

## **SISTEM VENTILASI ALAMI SATU SISI PADA KAMAR KOS DENGAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* (CFD)**

### ***Single-sided Natural Ventilation Systems on Boarding Room with Computational Fluid Dynamics Method***

**Sahabuddin Latif**

Prodi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar

Jalan Sultan Alauddin No. 259, Makassar 90221

Surel: sahabuddin.latief@unismuh.ac.id

Diterima : 8 Agustus 2020;      Disetujui : 29 Oktober 2020

#### **Abstrak**

*Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi kondisi eksisting dan strategi perbaikan sistem ventilasi kamar kos yang mempunyai bukaan ventilasi hanya pada satu sisi dinding untuk mendapatkan distribusi aliran udara optimum dalam ruangan. Penelitian menggunakan metode survei dan eksperimen, analisis dengan metode simulasi komputer. Parameter input dalam simulasi diperoleh melalui pengukuran di lapangan berupa dimensi geometri kamar kos, letak dan luas bukaan ventilasi, serta parameter iklim mikro. Simulasi dilakukan pada kondisi eksisting dan strategi terhadap letak serta rasio bukaan. Perlakuan terhadap kecepatan angin untuk input adalah 0,25 m/det, 0,5 m/det, 0,75 m/det dan 1,00 m/det. Hasil riset menunjukkan bahwa sistem ventilasi eksisting kamar kos berkinerja buruk karena temperatur dalam ruangan dapat mencapai 7 °C diatas temperatur luar. Peningkatan rasio bukaan menjadi 20,26% dari luas lantai, dengan rincian 11,77% bukaan ventilasi atas, dan 8,45% bukaan ventilasi bawah, mengakibatkan distribusi aliran udara meningkat, ventilasi silang terjadi dengan inlet pada bukaan bawah dan outlet pada bukaan atas, efeknya temperatur ruangan dapat diturunkan terutama pada kecepatan angin inlet diatas 0,25 m/det.*

**Kata Kunci:** Aliran udara, iklim tropis lembap, kenyamanan termal, Computational Fluid Dynamics, ventilasi alami

#### **Abstract**

*This study aims to identify existing conditions and strategies to improve the ventilation system of boarding room that have ventilation openings on only one side of the wall to get the optimum airflow distribution in the room. The study used survey and experimental methods, analysis with the computational simulation method. Input parameters in the simulation are obtained through measurements in the field in the form of room geometry dimensions, location and area of ventilation openings, and microclimate parameters. Simulations are carried out on existing conditions and strategies on the location and opening ratio. The treatment of wind speed for input (v) is 0.25 m/sec, 0.5 m/sec, 0.75 m/sec and 1.00 m/sec. The results showed that the existing ventilation system of the boarding room performed poorly because the indoor temperature could reach 7 °C above the ambient temperature. Increased open ratio to 20.26% of floor area, with details of 11.77% of upper ventilation openings, and 8.45% of lower ventilation openings, resulting in increased airflow distribution, cross ventilation occurs with inlets at lower openings and outlets at upper openings, the effect is room temperature can be lowered especially at wind speeds above 0.25m/sec.*

**Keywords:** Airflow, thermal comfort, humid tropical climate, Computational Fluid Dynamics, natural ventilation

#### **PENDAHULUAN**

Kenyamanan termal pada ruang interior merupakan salah satu tujuan dari perancangan sebuah bangunan untuk memberikan perlindungan kepada manusia dari pengaruh iklim yang kurang menguntungkan. Seharusnya bangunan dapat berfungsi sebagai pelindung dari panas, dingin dan tiupan angin yang mengakibatkan ketidaknyamanan terhadap

penghuni (Latif et al. 2019e). Termasuk kamar kos yang banyak disewa oleh mahasiswa sebagai tempat mereka beraktivitas sepulang dari kampus. Menurut Latif et al. (2019e), ruang kamar kos mengalami panas pada siang maupun malam hari disebabkan sistem ventilasi alami tidak berfungsi dengan baik.

Indonesia yang beriklim tropis lembap, memiliki karakter udara panas serta aliran udara yang minim

dengan kandungan uap air tinggi. Kondisi ini menyebabkan penghuni merasa tidak nyaman (Latif et al. 2019b; Latif et al. 2019a)

Strategi untuk mencapai kenyamanan termal dalam bangunan, harus ditunjang dengan penggunaan sistem ventilasi yang tepat. Guna efisiensi energi, maka penggunaan sistem ventilasi alami sangat dianjurkan. Sistem ventilasi mekanis seperti kipas angin yang hemat energi dapat dianjurkan untuk memberikan kenyamanan kepada pengguna, jika dengan sistem ventilasi alami kenyamanan tidak tercapai (Hamzah et al. 2017).

Strategi penting pada bangunan agar terjadi pertukaran panas secara konveksi, yakni dengan menerapkan bukaan pada bidang dinding seperti jendela, jelusi dan sebagainya yang memungkinkan pertukaran udara terjadi secara optimal (Karyono 2010; Ishak et al. 2018). Demikian juga Busato (2003), menyimpulkan bahwa aliran udara dalam ruang, serta penguapan keringat juga mempengaruhi kenyamanan termal, di samping kondisi temperatur udara.

Menurut Talarosha (2005), pendekatan dengan menggunakan elemen arsitektur, elemen lanskap, material/bahan bangunan dan mengatur orientasi bangunan yang tepat, merupakan strategi untuk mencapai kenyamanan termal dalam ruangan.

Huda dan Pandiangan (2012), melakukan penelitian termal dan paparan panas untuk peningkatan kualitas lingkungan tempat kerja. Penelitian ini menggunakan CFD untuk menganalisis sistem ventilasi ruang kerja karyawan, dihasilkan beberapa rekomendasi untuk mengubah luasan *inlet* dan *outlet* serta *turbin ventilator*. Hasil analisis bisa menurunkan temperatur ruang dari 31-33 °C menjadi 28-30°C dan kecepatan angin dari 0,1-0,2 m/det menjadi berkisar 0,2-0,7 m/det.

Latif et al. (2016b), telah melakukan studi kenyamanan termal di sekolah dasar dengan memadukan pengukuran parameter lingkungan dengan tingkat kenyamanan yang dirasakan siswa yaitu menggunakan *Thermal Sensation Vote* (TSV) dan *Thermal Comfort Vote* (TCV). Hasilnya walaupun distribusi aliran udara interior minim, dan temperatur udara diatas standar kenyamanan termal, namun sebagian besar siswa masih merasakan kondisi termal nyaman.

Cherian (2011), telah melakukan kajian mendalam terhadap sistem ventilasi alami bangunan pada iklim tropis lembab. Ditemukan bahwa ekspresi distribusi aliran udara internal ruangan, sebagai persentase dari kecepatan udara lingkungan luarnya.

Penelitian menggunakan strategi aliran udara untuk pendinginan ruangan dan bangunan dalam rangka memanfaatkan potensi positif dari iklim tropis lembab telah dilakukan oleh (Latif et al. 2019c)

Menurut Chenvidyakarn (2007), ukuran dan bentuk bukaan jendela merupakan variabel penting yang menentukan distribusi aliran udara dalam ruangan. Untuk meningkatkan kecepatan aliran udara dalam ruangan sebaiknya letak bukaan pada posisi berlawanan serta arah datang angin membentuk sudut ke *inlet*. Rasio bukaan *outlet* yang lebih besar dibanding *inlet* juga dapat meningkatkan aliran udara dalam ruangan. Jika diinginkan aliran udara lebih merata dalam ruangan, maka buatlah *outlet* lebih kecil dibanding *inlet* (Busato 2003).

Konfigurasi dan bentuk bukaan juga memiliki efek pada kecepatan aliran udara internal. Bentuk bukaan horizontal persegi pada *inlet* lebih baik dibanding berbentuk vertikal. *Inlet* horizontal memberikan kinerja lebih optimal jika sudut datang angin pada posisi sekitar 45°(Busato 2003).

Kinerja ventilasi silang akan lebih optimal dalam ruangan, jika perlakuan bukaan pada tiga dinding berbeda, namun konfigurasi tersebut tidak umum dilakukan. Untuk ruangan yang memiliki bukaan di dua sisi berdekatan, distribusi aliran kecepatan udara lebih tinggi dapat dicapai ketika sudut datang angin tegak lurus *inlet* (Chenvidyakarn 2007; Busato 2003).

Untuk mencapai kondisi kenyamanan termal dalam bangunan, arsitek harus menyesuaikan rancangan bangunannya dengan iklim setempat, dengan pemilihan material yang tepat, dan penggunaan sistem ventilasi secara efektif. Oleh sebab itu terciptanya kenyamanan termal pada bangunan selain dipengaruhi oleh faktor manusia, maka faktor sistem ventilasi pada bangunan berperan penting dalam menciptakan kondisi nyaman dalam suatu ruangan (Latif et al. 2016a).

Allocca et al. (2003), telah melakukan penelitian mendalam terhadap perilaku aliran udara alami yang terjadi pada ruangan yang memiliki satu sisi bukaan ventilasi (*single-sided ventilation*). Model CFD diterapkan untuk menentukan efek daya apung, distribusi *velocity* angin, atau kombinasi keduanya dalam ruangan. Disarankan untuk menentukan *inlet* berada di bagian bawah bidang dinding, dan *outlet*-nya di bagian atas. Perhitungkan besar luasan, posisi dan jarak antar ventilasi bawah dan atas.

Aturan tentang ventilasi alami di Indonesia sudah ada yaitu SNI 03-6572 tahun 2001 tentang Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung, yang mengatur rasio

bukaan terhadap luas lantai minimal 5%, namun belum mengatur letak bukaan (BSN 2001). Latif et al. (2016a) telah melakukan riset tentang distribusi aliran udara ruang kelas, merekomendasikan letak dan rasio bukaan 21,6% dari luas lantai dengan rincian *inlet* 14,5% serta *outlet* 7,1% posisi berhadapan.

Strategi pendinginan ruangan telah banyak diteliti, namun penelitian kamar yang ukuran kecil belum banyak terutama di Indonesia. Penelitian ini bertujuan mengkaji rasio dan letak bukaan sistem ventilasi satu sisi pada kamar kos untuk mendapatkan distribusi aliran udara optimum dalam ruangan, sebagai tindak lanjut dari penelitian serupa yang telah dilakukan oleh Latif et al. (2019e). Perbedaan dengan penelitian sebelumnya adalah pengujian dilakukan terhadap performa sistem ventilasi satu sisi dengan perlakuan *velocity*/kecepatan udara *inlet* berbeda, dengan orientasi angin tegak lurus bidang ventilasi, menggunakan metode simulasi CFD. Oleh karena itu penulis merasa penting mengkaji kinerja sistem ventilasi alami satu sisi pada kamar kos yang berlokasi di pondok Istiqomah Jalan Talasalapang-1 Makassar.

## METODE

Obyek riset adalah kamar kos (KK), berlantai dua terdiri dari 47 kamar dan terpilih sebuah kamar yang terletak pada lantai atas sebagai obyek penelitian.

Riset ini, merupakan penelitian dengan menggunakan metode simulasi komputer yaitu *Computational Fluid Dynamics (CFD) SolidWorks* 2016, yang didukung oleh data survei lapangan. Tahapan proses pembuatan model, set kondisi awal, pengaturan *meshing* dan iterasi sudah bisa dilakukan hanya menggunakan *software* ini (Latif et al. 2019c; Latif et al. 2019d).

Data kamar kos (KK) dikumpulkan melalui survei. Dari data survei, dibuatlah model dengan menggunakan *SolidWorks* CAD. Menginput berbagai data parameter termal pada obyek KK dan lingkungan ke dalam pengaturan domain simulasi CFD.

Langkah kerja pada riset ini dimulai dengan membuat geometri KK. Model/geometri KK dibuat delapan tipe sistem ventilasi berdasarkan letak, perlakuan dan rasio bukaan. Langkah selanjutnya, mendefinisikan material fisik dan sifat material fluida yang akan disimulasi, lalu menentukan kondisi batas (*domain*), *boundary conditions* dan *set goals*. Selanjutnya proses

*meshing* akan dilakukan oleh *software* secara otomatis pada tahap iterasi (Latif et al. 2019c).

Data parameter input dalam simulasi di diperoleh melalui pengukuran di lapangan berupa dimensi kamar kos, luas bukaan ventilasi, dan parameter iklim mikro. Parameter input untuk kondisi iklim makro diambil dari data iklim lingkungan pada tanggal 25-26 Agustus 2016, diperoleh dari alat Vaisala yang berstasiun di Kampus Teknik Universitas Hasanuddin Gowa.

Simulasi CFD digunakan untuk mengetahui kinerja sistem ventilasi alami terhadap distribusi aliran udara di dalam kamar kos. Simulasi dilakukan sebanyak delapan kali yaitu dua simulasi ventilasi eksisting dengan perlakuan pintu kamar dan jendela terbuka atau tertutup. Dua kali simulasi perbaikan yaitu simulasi KK tipe-3 dan 4, rasio bukaan kamar ditingkatkan dengan perlakuan pintu kamar dan jendela terbuka atau tertutup. Setelah didapat posisi dan rasio bukaan yang optimal, selanjutnya dilakukan empat simulasi dengan perlakuan kecepatan input angin hanya dari arah tegak lurus bidang dinding masing-masing 0,25 m/det; 0,5 m/det; 0,75 m/det dan 1,00 m/det untuk menilai performa sistem bukaan yang diusulkan. Distribusi suhu udara dan kecepatan aliran udara ditampilkan berupa potongan kontur disesuaikan dengan besar ruangan, dan posisi bukaan.

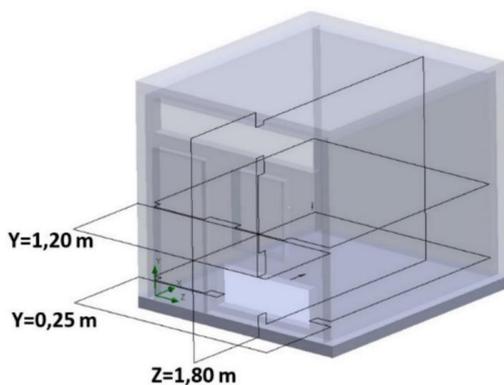
Parameter simulasi KK tipe-1 di-input berdasarkan kondisi iklim makro pukul 15.20 WITA pada saat iklim mikro mencapai puncak temperatur tertinggi di dalam KK. Pada saat tersebut tercatat temperatur lingkungan luar 32,47 °C, kelembapan relatif udara 57,40%, kecepatan angin input diasumsikan 1,0 m/det (di data ukur tercatat 0,05 m/det) dengan besar radiasi permukaan rata-rata 16,94 watt/m<sup>2</sup>.

Parameter simulasi KK tipe-2 di-input berdasarkan kondisi iklim mikro pukul 23.00 WITA. Temperatur di KK tercatat 32,12 °C, kelembapan relatif udara 65,37%, kecepatan angin input diasumsikan 1,0m/det (di data ukur tercatat 0,05 m/det) dengan besar radiasi permukaan rata-rata 8 watt/m<sup>2</sup>.

Parameter input simulasi KK tipe-3 dan 4 menggunakan data ukur lingkungan luar dan data ukur interior pukul 10.00 WITA. Data pengukuran iklim luar yaitu temperatur 29,00 °C, kelembapan relatif udara 41,35% dan kecepatan udara 2,78 m/det (aplikasi *input inlet* pada simulasi ini adalah 1 m/det). Data pengukuran interior KK adalah: temperatur 33,88 °C, kelembapan relatif udara 59,45% dan kecepatan udara 0,055 m/det. Radiasi rata-rata permukaan dinding menggunakan data radiasi simulasi eksisting-1 yaitu 16.94 Watt/m<sup>2</sup>, pemilihan

sumber panas radiasi yang sama dengan simulasi tersebut untuk kemudahan menilai kinerja sistem ventilasi hasil eksperimen. Distribusi suhu udara dan kecepatan aliran udara ditampilkan berupa potongan kontur tampak vertikal ( $Z=1,8$  m).

Simulasi KK tipe-5, 6, 7, dan 8 adalah simulasi perbaikan setelah hasil simulasi KK tipe-3 dan 4 yang tidak berhasil meningkatkan aliran udara dan menurunkan temperatur ruang secara signifikan terutama saat pintu kamar tertutup. Untuk upaya itulah pada simulasi KK tipe-5, 6, 7 dan 8 diusulkan setelah melakukan beberapa eksperimen dengan mengubah-ubah luas bukaan dan posisi bukaan ventilasi. Simulasi KK tipe-5, 6, 7, dan 8 ini bertujuan untuk menguji performa model dengan velocity aliran udara lingkungan 0,25 m/det; 0,5 m/det; 0,75m/det dan 1 m/det. Parameter input simulasi menggunakan data ukur lingkungan luar dan data ukur interior pukul 10.00 WITA. Data pengukuran iklim luar yaitu temperatur 29,00 °C, kelembapan relatif udara 41,35% dan kecepatan udara 2,78 m/det (aplikasi *input inlet* pada simulasi ini adalah 1 m/det). Data pengukuran interior KK adalah: temperatur 33,88 °C, kelembapan relatif udara 59,45% dan kecepatan udara 0,055 m/det. Radiasi rata-rata permukaan dinding menggunakan data radiasi simulasi eksisting-1 yaitu 16,94 Watt/m<sup>2</sup>. Distribusi suhu udara dan kecepatan aliran udara ditampilkan berupa potongan kontur tampak vertikal ( $Z=1,8$  m), dan tampak atas/horizontal ( $Y=0,25$  m), dan ( $Y=1,2$  m), lihat Gambar 1.



**Gambar 1** Potongan Kontur

Performa *velocity*/kecepatan aliran udara hasil simulasi, selanjutnya dikomparasikan dengan menggunakan standar kecepatan aliran udara nyaman menurut Vector Olgay dalam Lippsmeier (1994) adalah 0,1-1,5 m/det. Namun dalam penelitian ini standar minimum aliran udara yang dipakai adalah 0,25 m/det, karena aliran udara sudah terasa nyaman di permukaan kulit. Standar ini juga sudah digunakan pada penelitian sebelumnya (Latif

et al. 2016 a). Hasil simulasi dibandingkan antara satu perlakuan dengan perlakuan yang lain.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengukuran Iklim Makro

Survei pengumpulan data ukur iklim mikro dilaksanakan pada tanggal 25 sampai 26 Agustus 2016, pada kondisi cuaca saat itu cerah. Alat ukur yang digunakan adalah *Vaisala* yang berlokasi di Gedung Departemen Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Kabupaten Gowa.

Pengukuran dilakukan selama 24 jam, dimulai pukul 09.00 hingga 09.00 WITA besok harinya. Tercatat temperatur udara berkisar 19,1-33,4 °C, dengan rata-rata 26,29 °C. Rata-rata kelembapan udara relatif 56,76% pada kisaran 30,82-84,90%. Kecepatan angin berkisar 0,5-5,7 m/det, dengan persentase arah datangnya dari arah Barat sebesar 12%.

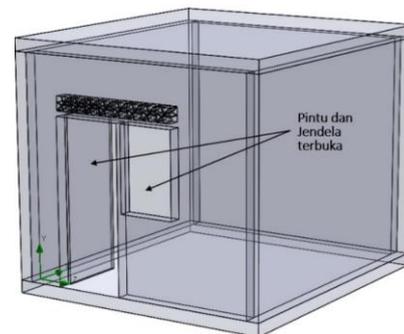
### Hasil Pengukuran Iklim Mikro

Hasil pengukuran kamar kos (KK) lantai atas, luas 8,83 m<sup>2</sup> (2,85x3,1 m), tinggi plafon 2,63 m, memiliki orientasi menghadap ke arah Tenggara. Hasil pengukuran temperatur berkisar 30,36 °C-35,34 °C (temperatur tertinggi terjadi pukul 15:20 WITA), dengan rata-rata 32,98 °C. Kelembapan relatif udara berkisar 54,33-70,09%, dengan rata-rata 63,20%.

### Hasil Simulasi CFD Kondisi Eksisting

#### *Hasil simulasi kamar kos eksisting-1*

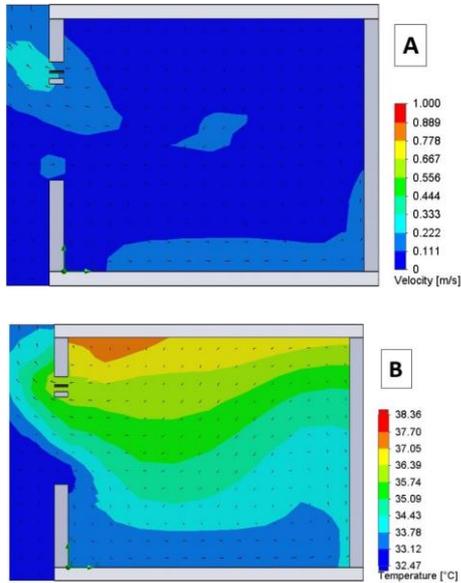
Gambar 2, memperlihatkan bukaan pada KK tipe-1 dengan pintu dan jendela terbuka. Simulasi ini menggambarkan kondisi siang hari disaat temperatur luar tinggi.



**Gambar 2** Ventilasi KK Tipe-1

Gambar 3a, memperlihatkan hasil simulasi distribusi kecepatan udara dalam KK pada kondisi eksisting dengan pintu dan jendela terbuka. Terlihat kecepatan udara ruangan cukup baik pada area sekitar jendela hingga dinding yang posisinya berseberangan. Arah

aliran yang masuk melalui jendela kemudian menurun lalu berputar ke atas terus ke plafon dan keluar melalui ventilasi loster di atas jendela. Kecepatan udara *input* 1 m/det ternyata dapat memenuhi standar kecepatan aliran udara yang nyaman terasa pada kulit, di hampir seluruh ruang (Lippsmeier 1994).



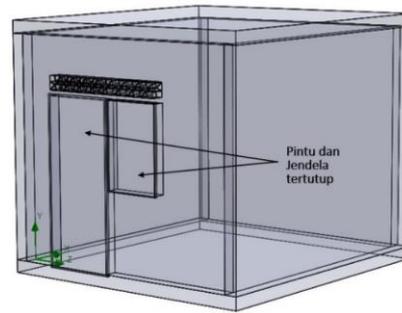
**Gambar 3** Distribusi Temperatur dan Kecepatan Udara KK Tipe-1, (A) Velocity, potongan Z=1,8 m; (B) Temperatur, potongan Z=1,8 m.

Gambar 3b, menunjukkan potongan kontur temperatur, hasil simulasi menunjukkan dengan kecepatan *input velocity* 1 m/det temperatur udara di dalam KK cukup baik untuk mengangkut panas dalam ruang, karena terlihat distribusi panas yang lebih tinggi dari iklim eksternal hanya naik sekitar 0,40 °C di daerah tengah ruang sampai ke atas sekitar plafon. Memang ada masalah pada luas bukaan jendela dan posisinya sehingga dengan *input inlet* sebesar 1 m/det masih menyisakan area yang tidak teraliri udara terutama di atas lantai dan plafon dekat jendela.

**Hasil simulasi kamar kos eksisting-2**

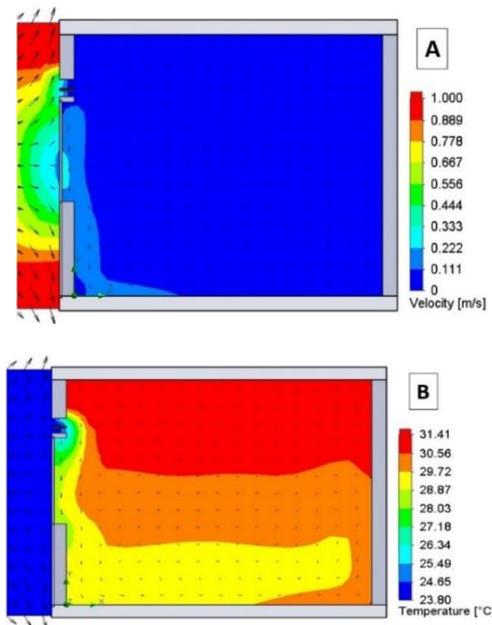
Gambar 4, memperlihatkan bukaan pada KK tipe-2 dengan pintu dan jendela tertutup. Simulasi ini menggambarkan kondisi malam hari disaat penghuni kamar beristirahat.

Gambar 5a, memperlihatkan hasil simulasi distribusi kecepatan udara dalam KK pada kondisi eksisting dengan pintu dan jendela tertutup pada malam hari. Terlihat kecepatan udara ruangan sangat minim, aliran udara terjadi di sekitar permukaan jendela bagian dalam dengan kecepatan antara 0,01-0,02 m/det. Kecepatan udara *input* 1 m/det ternyata tidak



**Gambar 4.** Ventilasi KK Tipe-2

dapat memberikan dampak yang signifikan menaikkan distribusi aliran udara interior. Gambar 5b, menunjukkan hasil simulasi distribusi temperatur udara dalam KK pada kondisi eksisting dengan pintu dan jendela tertutup pada malam hari. Hasil simulasi memperlihatkan dengan kecepatan *input velocity* 1 m/det temperatur udara di dalam KK tidak efektif untuk mengangkut panas dalam ruang keluar, karena terlihat distribusi panas masih tinggi dari iklim eksternal dengan selisih lebih dari 7 °C, hal ini membuktikan sistem ventilasi pada kamar ini buruk.



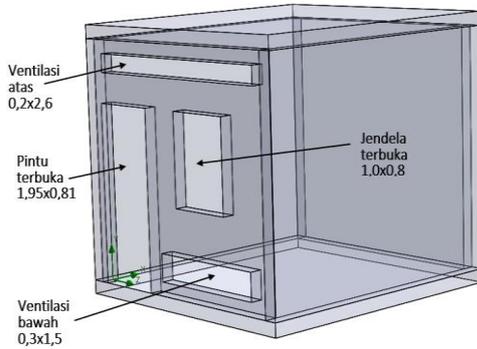
**Gambar 5** Distribusi Temperatur dan Kecepatan Udara KK Tipe-2, (A) Velocity, potongan Z=1,8 m; (B) Temperatur, potongan Z=1,8 m.

**Hasil Simulasi CFD Perlakuan Sistem Bukaan Ventilasi**

**Hasil simulasi KK tipe-3**

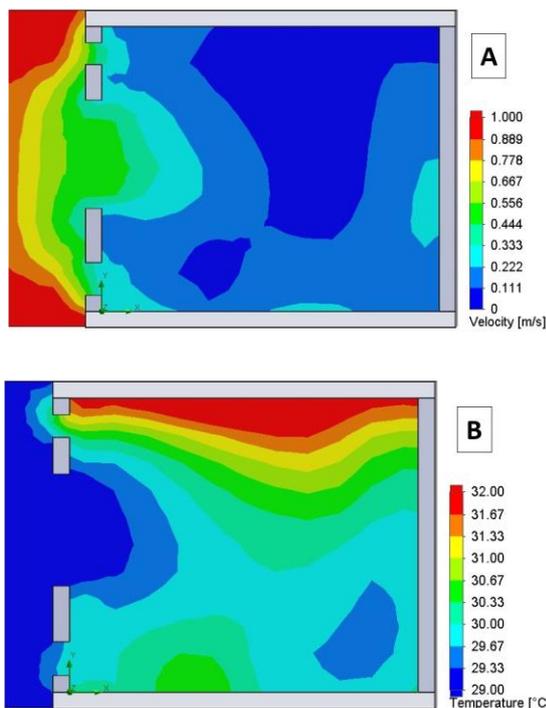
Gambar 6, memperlihatkan bukaan pada KK tipe-3 yang digunakan untuk simulasi perbaikan awal terhadap rasio bukaan untuk upaya pengaliran meningkatkan udara pada KK, agar terjadi aliran udara silang antara bukaan atas dan bawah yang

berada pada sisi depan dari kamar tersebut. Kondisi bukaan jendela terbuka luasnya ditambah menjadi 0,8 m<sup>2</sup>, tambah bukaan di bawah jendela dengan luas 0,45 m<sup>2</sup>, ditambah bukaan di atas pintu dan jendela seluas 0,52 m<sup>2</sup>. Pintu pada saat simulasi dianggap terbuka, sehingga luas total bukaan adalah 3,35 m<sup>2</sup> atau 37,91% dari luas lantai.



Gambar 6 Ventilasi KK Tipe-3

Gambar 7a, memperlihatkan hasil simulasi distribusi kecepatan udara dan distribusi temperatur dalam KK tipe-3 Gambar 7b. Terlihat distribusi aliran kecepatan udara ruangan masih minim berkisar antara 0,11-0,55 m/det. Jika dilihat potongan kontur temperatur, hasil simulasi menunjukkan dengan kecepatan *input velocity* 1 m/det dapat menurunkan temperatur udara di dalam ruang efektif yaitu ruang yang biasa

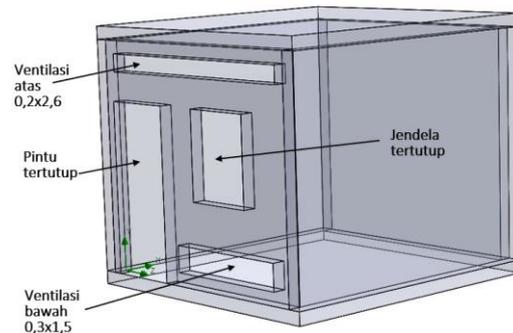


Gambar 7 Distribusi Temperatur dan Kecepatan Udara KK Tipe-3, (A) *Velocity*, potongan Z=1,8 m; (B) Temperatur, potongan Z=1,8 m.

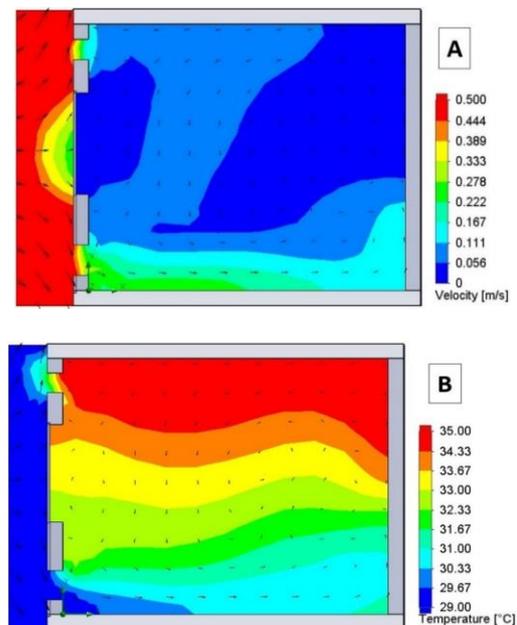
digunakan penghuni beraktivitas yang berkisar antara 29 °C-30,67 °C.

**Hasil simulasi KK tipe-4**

Gambar 8, memperlihatkan sistem bukaan pada KK tipe-4. Simulasi KK tipe-4 ditujukan untuk upaya perbaikan pengaliran udara pada kamar kos, agar terjadi aliran udara silang antara bukaan atas dan bawah yang berada pada satu sisi depan dari kamar. Perbedaan dengan simulasi perbaikan awal (tipe-3) terletak pada bukaan pintu, dimana tipe-3 pintu dianggap terbuka sedangkan pada simulasi tipe-4 ini pintu dianggap tertutup.



Gambar 8 Ventilasi KK Tipe-4



Gambar 9 Distribusi Temperatur dan Kecepatan Udara KK Tipe-4. (A) *Velocity*, potongan Z=1,8 m; (B) Temperatur, potongan Z=1,8 m.

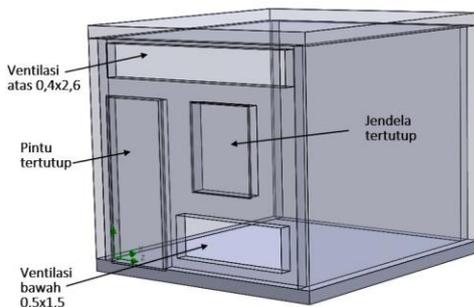
Kondisi bukaan pada simulasi KK tipe-4 adalah jendela tertutup dan pintu tertutup, bukaan ventilasi di bawah jendela dengan luas 0,45 m<sup>2</sup>, ditambah bukaan ventilasi atas seluas 0,52 m<sup>2</sup>, sehingga luas

total bukaan adalah 0,97 m<sup>2</sup> atau 10,98% dari luas lantai.

Gambar 9a, memperlihatkan distribusi aliran kecepatan udara ruangan sangat minim berkisar antara 0-0,27 m/det, aliran udara di atas 0,25 m/det terjadi di bagian bawah ruangan sekitar permukaan lantai akibat bukaan ventilasi bawah, yang berfungsi sebagai *inlet*. Gambar 9b, menunjukkan hasil simulasi distribusi temperatur udara KK tipe-4. Terlihat distribusi temperatur udara berkisar antara 30,33-35 °C, berlapis-lapis dengan suhu yang rendah di bagian bawah dan semakin ke atas semakin panas. Sistem ventilasi tipe-4 sudah cukup efektif untuk mengalirkan udara panas keluar ruangan interior dengan arah aliran dari ventilasi bawah terus berputar di depan dinding di seberangnya lalu naik dan keluar pada ventilasi atas, yang berfungsi sebagai *outlet*.

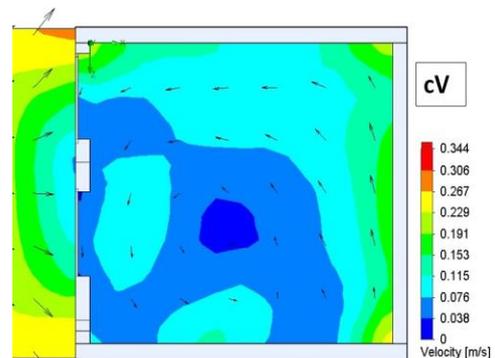
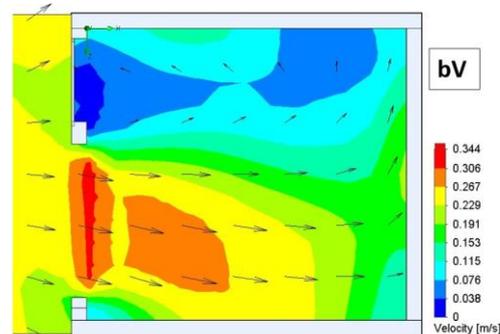
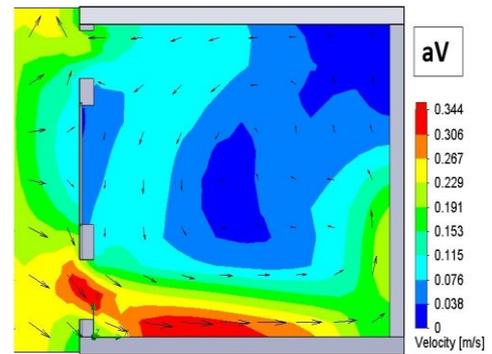
**Hasil simulasi KK tipe-5**

Luas lantai 3,1x2,85 (8,835 m<sup>2</sup>), dengan bukaan ventilasi satu sisi 1,79 m<sup>2</sup> atau 20,26% dari luas lantai dengan rincian 11,77% bukaan ventilasi atas, dan 8,45% bukaan ventilasi bawah. Pintu dan jendela pada simulasi KK tipe-5 sampai KK tipe-8 dianggap tertutup lihat Gambar 10.

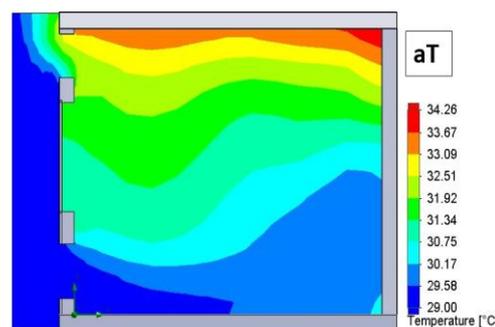


**Gambar 10** Ventilasi KK Tipe-5, 6, 7 dan 8

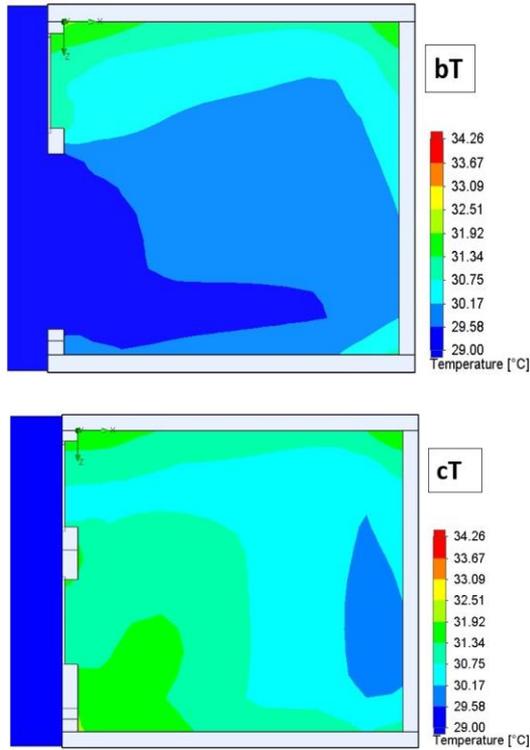
Gambar 11 (aV, bV, cV), memperlihatkan hasil simulasi distribusi kecepatan udara dan Gambar 12 (aT, bT, cT), memperlihatkan distribusi temperatur udara pada KK tipe-5 dengan *input* parameter *velocity* angin lingkungan 0,25 m/det. Terlihat distribusi aliran kecepatan udara ruangan meningkat berkisar antara 0-0,34m/det, aliran udara diatas 0,25 m/det terjadi di bagian bawah ruangan sekitar permukaan lantai akibat bukaan ventilasi bawah jendela. Terlihat distribusi temperatur udara berkisar antara 29,00-34,26 °C, berlapis-lapis dengan suhu yang rendah di bagian bawah dan semakin ke atas semakin panas. Sistem ventilasi KK tipe-5 sudah cukup efektif untuk mengalirkan udara panas keluar ruangan interior dengan arah aliran dari ventilasi bawah terus menyusuri permukaan lantai lalu naik keluar pada ventilasi atas. Temperatur efektif terjadi antara 29,00-30,75°C.



**Gambar 11** Distribusi Kecepatan Udara KK Tipe5. (aV) Velocity, potongan Z=1,8 m; (bV) Velocity, potongan Y=0,25 m.; (cV) Velocity, potongan Y=1,2 m.



**Gambar 12** Distribusi Temperatur Udara KK Tipe-5. (aT) Temperatur, potongan Z=1,8 m;



**Gambar 12 (lanjutan)** Distribusi Temperatur Udara KK Tipe-5. (bT) Temperatur, potongan Y=0,25 m; (cT) Temperatur, potongan Y=1,2 m.

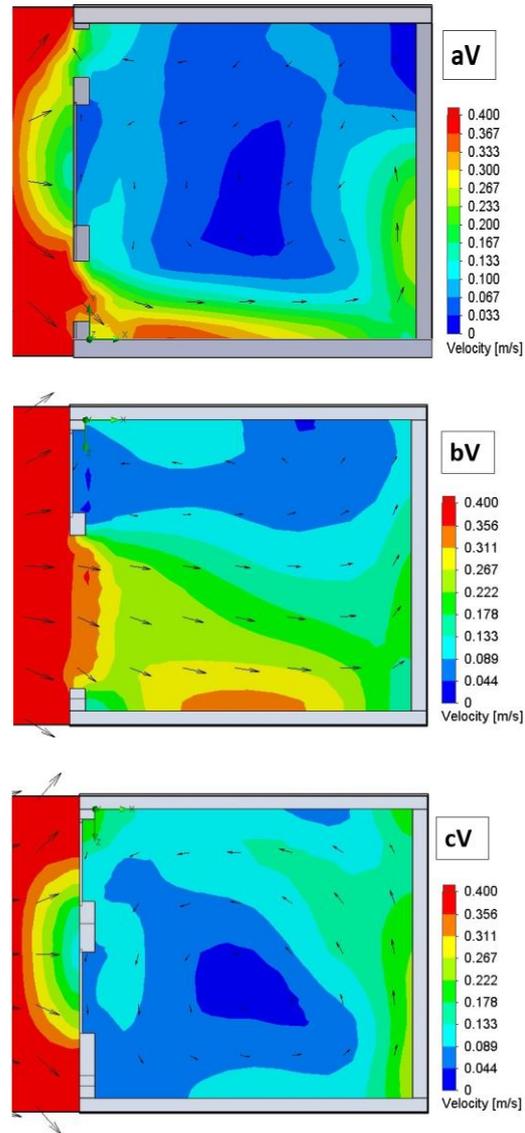
**Hasil simulasi KK tipe-6**

Gambar 13 (aV, bV, cV), memperlihatkan hasil simulasi distribusi kecepatan udara dan Gambar 14 (aT, bT, cT), memperlihatkan distribusi temperatur udara pada KK tipe-6 dengan *input* parameter *velocity* angin lingkungan 0,5 m/det. Terlihat distribusi aliran kecepatan udara ruangan meningkat berkisar antara 0-0,4 m/det, aliran udara diatas 0,25 m/det terjadi dibagian bawah ruangan sekitar permukaan lantai akibat bukaan ventilasi bawah jendela. Terlihat distribusi temperatur udara berkisar antara 29,00-35,36 °C, berlapis-lapis dengan suhu yang rendah di bagian bawah dan semakin keatas semakin panas. Sistem ventilasi KK tipe-6 sudah cukup efektif untuk mengalirkan udara panas keluar ruangan interior dengan arah aliran dari ventilasi bawah terus berputar di permukaan dinding di seberang lalu naik dan keluar pada ventilasi atas. Temperatur efektif terjadi antara 29,00-30,59 °C.

**Hasil simulasi KK tipe-7**

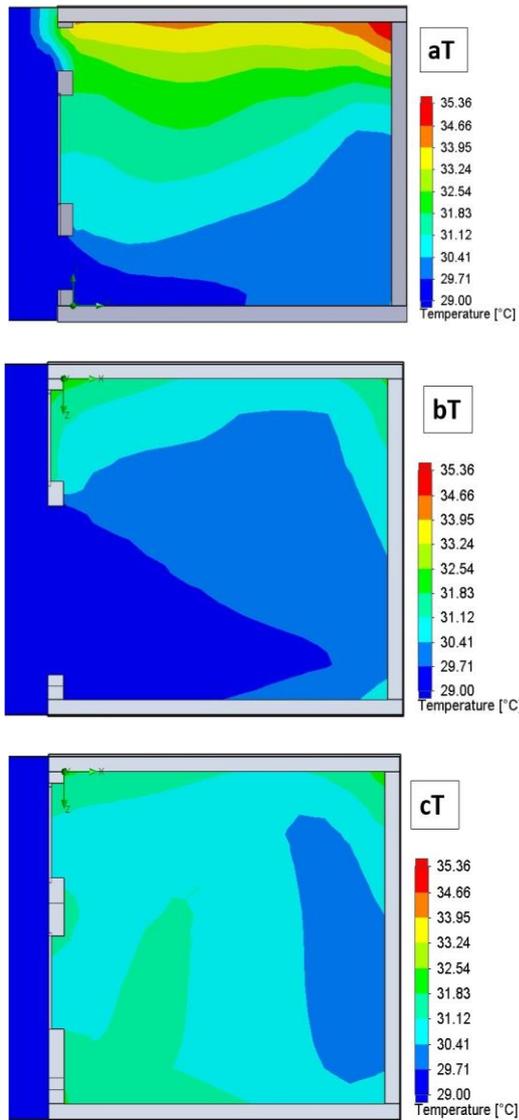
Gambar 15 (aV, bV, cV), memperlihatkan hasil simulasi distribusi kecepatan udara dan Gambar 16 (aT, bT, cT), memperlihatkan distribusi temperatur udara pada KK tipe-7 dengan *input* parameter *velocity* angin lingkungan 0,75 m/det. Terlihat distribusi aliran kecepatan udara ruangan meningkat berkisar antara 0-0,52 m/det, aliran udara diatas 0,25

m/det terjadi dibagian bawah ruangan sekitar permukaan lantai akibat bukaan ventilasi bawah jendela.

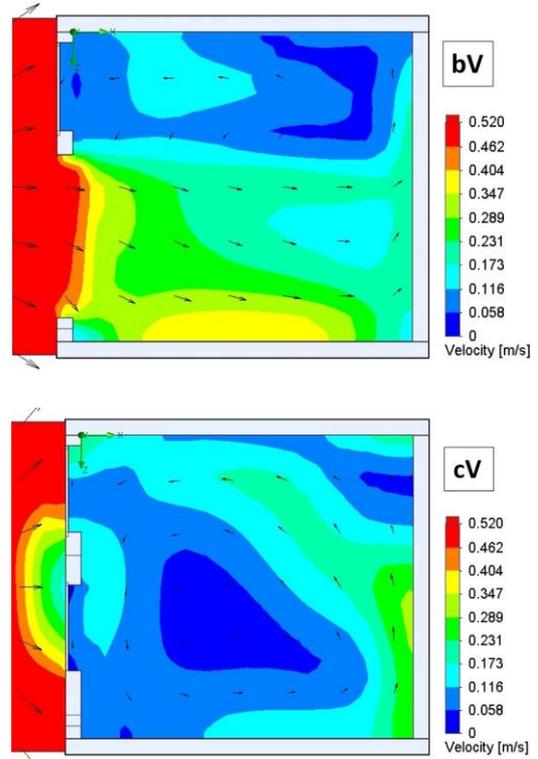
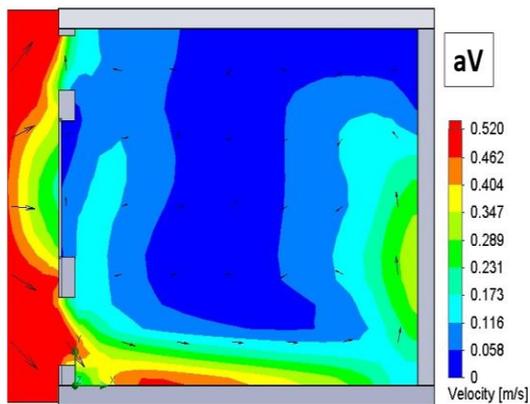


**Gambar 13** Distribusi Kecepatan Udara KK Tipe-6. (aV) *Velocity*, potongan Z=1,8 m; (bV) *Velocity*, potongan Y=0,25 m; (cV) *Velocity*, potongan Y=1,2 m.

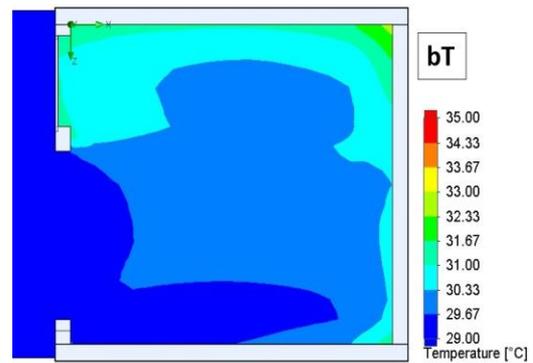
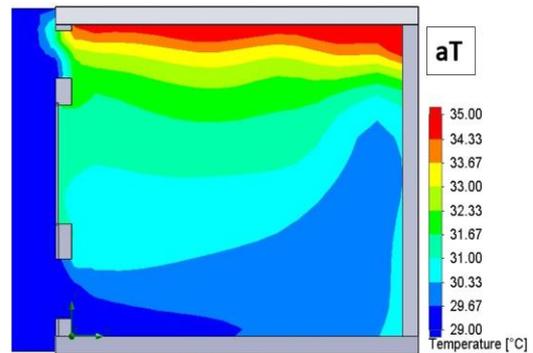
Terlihat distribusi temperatur udara berkisar antara 29,00-35,30 °C, berlapis-lapis dengan dengan suhu yang rendah di bagian bawah dan semakin keatas semakin panas. Sistem ventilasi KK tipe-7 sudah cukup efektif untuk mengalirkan udara panas keluar ruangan interior dengan arah aliran dari ventilasi bawah terus berputar di depan dinding yang berseberangan lalu naik dan keluar pada ventilasi atas. Temperatur efektif semakin luas terjadi antara 29,00-30,40 °C.



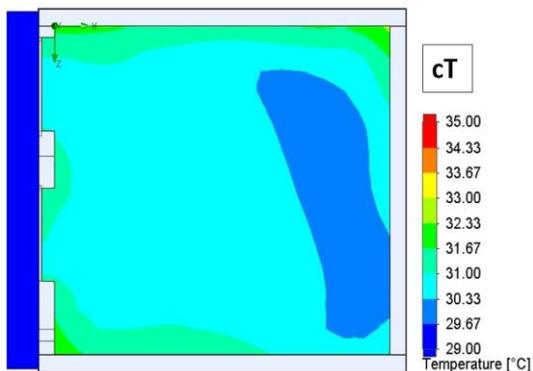
**Gambar 14** Distribusi Temperatur Udara KK Tipe-6.  
 (aT) Temperatur, potongan Z=1,8 m;  
 (bT) Temperatur, potongan Y=0,25 m;  
 (cT) Temperatur, potongan Y=1,2 m.



**Gambar 15** Distribusi Kecepatan Udara KK Tipe-7  
 (A) Velocity, potongan Z=1,8 m;  
 (B) Velocity, potongan Y=0,25 m. ;  
 (C) Velocity, potongan Y=1,2 m.



**Gambar 16** Distribusi Temperatur Udara KK Tipe-7.  
 (aT) Temperatur, Potongan Z=1,8 m; (bT)  
 Temperatur, Potongan Y=0,25 m;



**Gambar 16 (lanjutan)** Distribusi Temperatur Udara KK Tipe-7. (cT) Temperatur, Potongan Y=1,2 m.

**Hasil simulasi KK tipe-8**

Gambar 17 (aV, bV, cV), memperlihatkan hasil simulasi distribusi kecepatan udara dan Gambar 18 (aT, bT, cT), memperlihatkan distribusi temperatur udara pada KK tipe-8 dengan *input* parameter *velocity* angin lingkungan 1 m/det. Terlihat distribusi aliran kecepatan udara ruangan meningkat berkisar antara 0-0,6 m/det, aliran udara diatas 0,33 m/det terjadi di bagian bawah ruangan sekitar permukaan lantai akibat bukaan ventilasi bawah jendela. Terlihat distribusi temperatur udara berkisar antara 29,00-35 °C, berlapis-lapis dengan suhu yang rendah di bagian bawah dan semakin keatas semakin panas. Sistem ventilasi KK tipe-8 sudah cukup efektif untuk mengalirkan udara panas keluar ruangan interior dengan arah aliran dari ventilasi bawah terus berputar di depan dinding yang berseberangan lalu naik dan keluar pada ventilasi atas. Distribusi temperatur ruang efektif antara 29,00-30,33 °C, lebih luas bila dibanding dengan simulasi KK tipe-7.

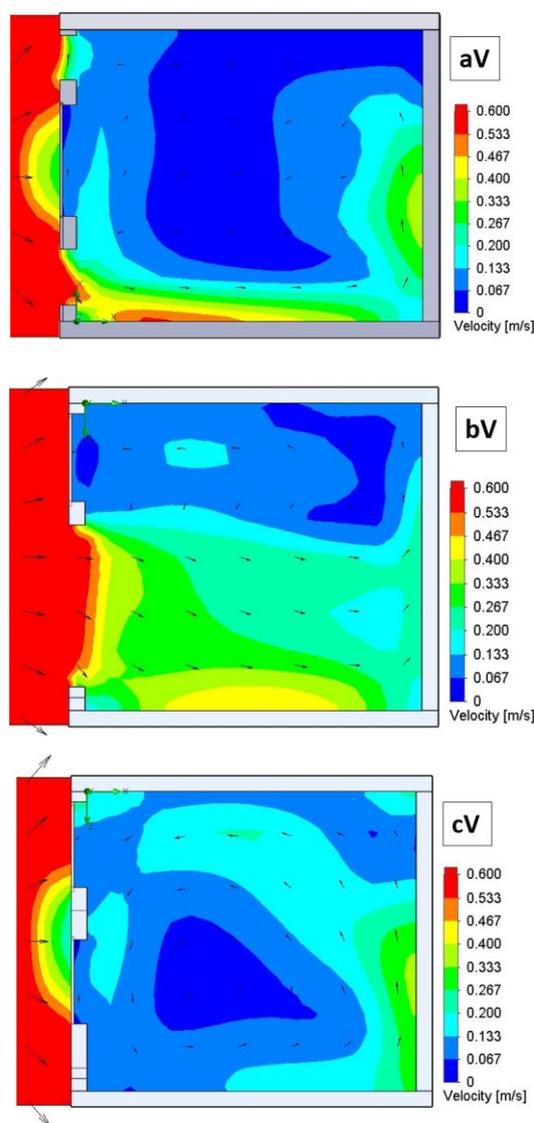
Hasil simulasi KK tipe-5, 6, 7 dan 8 menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan angin *input* semakin meningkat distribusi aliran udara dalam ruang, semakin rendah temperatur KK, semakin luas distribusi udara segar dari luar ke dalam ruang, namun jangkauan temperatur minimum-maksimum tidak selalu seiring dengan bertambahnya kecepatan angin *input*, karena dipengaruhi juga oleh konfigurasi letak dan luas bukaan (Chenvidyakarn 2007; Huda dan Pandiangan 2012).

Penelitian ini menunjukkan bahwa membuat perlakuan dengan menambah luas bukaan ventilasi, mengakibatkan peningkatan aliran udara yang signifikan, mendukung penelitian sebelumnya (Latif et al. 2019d; Busato 2003).

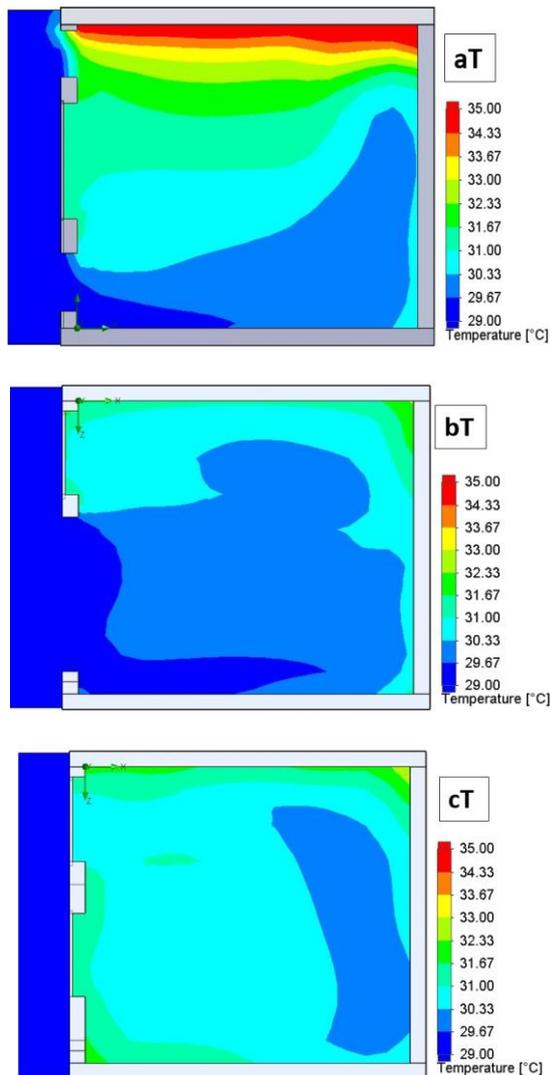
Penambahan luasan bukaan ventilasi dengan menentukan luas *outlet* lebih besar dari *inlet* mengakibatkan terjadi tekanan yang lebih besar di

sekitar *outlet*, hal ini berbeda dengan saran penelitian sebelumnya pada kasus Ruang Kelas yang menyatakan bahwa *outlet* harus lebih kecil dari *inlet* untuk meningkatkan distribusi kecepatan aliran udara yang lebih besar dan merata di dalam ruangan, seperti yang disarankan (Latif et al. 2016a). Penjelasan kondisi ini adalah disebabkan daya apung udara akibat akumulasi panas yang terkonsentrasi di bagian atas ruang sekitar plafon (Allocca et al. 2003).

Mengatur jarak letak ventilasi bagian atas dan bawah pada kasus bukaan ventilasi satu sisi, dapat mendukung terjadinya kros ventilasi secara alami. Menurut (Allocca et al. 2003), mengatur bukaan *inlet* di bagian bawah dan *outlet* di atas menguntungkan, karena akan meningkatkan aliran udara disebabkan daya apung.



**Gambar 17** Distribusi Kecepatan Udara KK Tipe-8. (aV) *Velocity*, potongan Z=1,8 m; (bV) *Velocity*, potongan Y=0,25 m; (cV) *Velocity*, potongan Y=1,2 m.



**Gambar 18** Distribusi Temperatur Udara KK Tipe-8. (aT) Temperatur, potongan Z=1,8 m; (bT) Temperatur, potongan Y=0,25 m; (cT) Temperatur, potongan Y=1,2 m.

Penelitian ini memiliki keterbatasan karena baru menganalisis pengaruh dari sudut *inlet* hanya tegak lurus bukaan ventilasi, belum memperhitungkan sudut datangnya angin dan *velocity* yang berbeda. Menurut Cherian (2011), merata distribusi kecepatan udara internal merupakan persentase dari aliran udara eksternal Chenvidyakarn (2007) juga menyarankan arah angin membentuk sudut ke *inlet* untuk meningkatkan kecepatan angin dalam ruangan.

## KESIMPULAN

Permasalahan panas pada kamar kos di pondok Istiqomah disebabkan rasio bukaan ventilasi yang minim dan tidak terjadi aliran udara silang. Sehingga mengakibatkan infiltrasi panas ke dalam ruang interior terperangkap dan terakumulasi sehingga

temperatur ruang interior dapat mencapai 7 °C lebih tinggi dibanding temperatur *ambient*.

Meningkatkan luas bukaan dan mengatur letak posisi bukaan ventilasi bagian atas dan bawah pada dinding kamar kos dapat meningkatkan distribusi aliran udara serta menyebabkan aliran udara silang terjadi, walaupun kamar hanya memiliki satu sisi bukaan. Untuk mendapatkan distribusi aliran udara optimum dalam ruangan, maka ditemukan rasio bukaan 20,26% dari luas lantai, dengan rincian 11,77% bukaan ventilasi atas, dan 8,45% bukaan ventilasi bawah. Rasio tersebut mengakibatkan distribusi aliran udara meningkat, ventilasi silang terjadi dengan *inlet* pada bukaan bawah dan *outlet* pada bukaan atas, efeknya temperatur ruangan dapat diturunkan terutama pada kecepatan angin *inlet* diatas 0,25 m/det.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada LP3M Universitas Muhammadiyah Makassar, atas bantuan pendanaan terhadap penelitian ini, yang tercantum dalam kontrak Nomor: 0105/KONTR-PENL/IIIV/1437/2016. Terima kasih juga ditujukan kepada saudara Rahmat dan teman-teman yang telah membantu peneliti dalam proses pengumpulan data lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Allocca, Camille, Qingyan Chen, dan Leon R Glicksman. 2003. "Design Analysis of Single-Sided Natural Ventilation." *Energy and Buildings* 35 (8): 785–95.
- Badan Standarisasi Nasional. 2001. "SNI 03-6572 Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung." Jakarta.
- Busato, Luiz. 2003. "Passive Cooling and Energy Efficient Strategies for the Design of a Hotel on the Southern Coast of Pernambuco, Brazil." *Learn*. London Metropolitan University.
- Chenvidyakarn, Torwong. 2007. "Passive Design for Thermal Comfort in Hot Humid Climates." *Journal of Architectural/Planning Research and Studies (JARS)* 5 (1): 1–28.
- Cherian, R. 2011. "Natural Ventilation for High-Rise Buildings in a Hot Humid Climates." In *Makalah disajikan dalam Network for Comfort and Energy Use in Buildings (NCEUB)*, London. <http://nceub.org.uk/>.
- Hamzah, Baharuddin, M. Ramli Rahim, Muhammad Taufik Ishak, dan Sahabuddin Sahabuddin.

2017. "Kinerja Sistem Ventilasi Alami Ruang Kuliah." *Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia* 6 (1): 51–58.  
<https://doi.org/10.32315/jlbi.6.1.51>.
- Huda, Listiani Nurul, dan Kristoffel Colbert Pandiangan. 2012. "Kajian Termal Akibat Paparan Panas dan Perbaikan Lingkungan Kerja." *Jurnal Teknik Industri* 14 (2): 129–36.  
<https://doi.org/10.9744/jti.14.2.129-136>.
- Ishak, Muhammad Taufik, Baharuddin Hamzah, Z Gou, M Ramli Rahim, dan Sahabuddin Latif. 2018. "Thermal Performance of Naturally Ventilated Classroom in the Faculty of Engineering Hasanuddin University, Gowa Campus." *International Journal of Engineering and Science Applications* 5 (1): 23–36.
- Karyono, Tri Harso. 2010. *Green Architecture: Pengantar Pemahaman Arsitektur Hijau di Indonesia*. Rajawali Pers.
- Latif, Sahabuddin, Baharuddin Hamzah, dan Ihsan. 2016a. "Pengaliran Udara Untuk Kenyamanan Termal Ruang Kelas Dengan Metode Simulasi Computational Fluid Dynamics." *Sinektika: Jurnal Arsitektur* 14 (2): 209–16.  
<https://doi.org/10.23917/sinektika.v14i2.1438>.
- Latif, Sahabuddin, Baharuddin Hamzah, M. Ramli Rahim, Rosady Mulyadi, dan Irnawaty Idrus. 2019a. "Thermal Investigation on the Attics of Buginese Traditional houses in South Sulawesi." In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 382:12024. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/382/1/012024>.
- Latif, Sahabuddin, Baharuddin Hamzah, Ramli Rahim, dan Rosady Mulyadi. 2019b. "Thermal Comfort Identification of Traditional Bugis House in Humid Tropical Climate." *Tesa Arsitektur* 17 (1): 61–71.  
<https://doi.org/10.24167/tesa.v17i1.1803>.
- Latif, Sahabuddin, Baharuddin Hamzah, Ramli Rahim, Rosady Mulyadi, dan Irnawaty Idrus. 2019c. "Computational Study of the Heat Ventilation on The Attics of Buginese Houses." In *1st International Conference on Science and Technology (ICOST)*. Makassar, 2-3 May 2019.  
<https://doi.org/10.4108/eai.2-5-2019.2284620>.
- Latif, Sahabuddin, Baharuddin Hamzah, Ramli Rahim, Rosady Mulyadi, dan Andi Erwin Eka Putra. 2019d. "Study of the Heat Ventilation with Inclined Chimney in the Attic." *International Journal of Geomate* 17 (64): 178–84.  
<https://doi.org/10.21660/2019.64.15375>.
- Latif, Sahabuddin, Irnawaty Idrus, dan Ahmad Ahmad. 2019e. "Kenyamanan Termal pada Rumah Kos (Studi Kasus Pondok Istiqomah di Makassar)." *Jurnal Linears* 2 (1): 1–7.  
<https://doi.org/10.26618/j-linears.v2i1.2364>.
- Latif, Sahabuddin, Ramli Rahim, dan Baharuddin Hamzah. 2016b. "Analisis Kenyamanan Termal Siswa di Dalam Ruang Kelas (Studi Kasus SD Inpres Tamalanrea IV Makassar)." In *Simposium Nasional RAPI XV*, 466–73. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Lippsmeier, George. 1994. *Tropenbau Building in the Tropics*. Diedit oleh Syahmir Nasution. Jakarta: Erlangga.
- Talarosha, Basaria. 2005. "Menciptakan Kenyamanan Thermal dalam Bangunan." *Jurnal Sistem Teknik Industri* 6 (3): 148–58.