

PENGARUH TIPE BUKAAN TERHADAP KENYAMANAN TERMAL RUANG KELAS BANGUNAN LAMA DAN BARU

(THE EFFECT OF OPENING TYPE ON THERMAL CONVENIENCE OF THE OLD AND NEW BUILDING CLASSROOM)

Ali Anton Senoaji¹, Arif Kusumawanto², dan Sentagi Sesotya Utami²

¹Megister Teknik Sistem Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

²Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

^{1,2}Jl.. Teknik Utara No. 3 Berek Kocoran Caturtunggal Depok Sleman 55281

email: aliantonsenoaji@smkn3jogja.sch.id

Abstrak

Tujuan dari penelitian yaitu menganalisis pengaruh bukaan terhadap kenyamanan termal ruang kelas pada bangunan lama dan baru, di SMK Negeri 3 Yogyakarta. Penelitian ini menggunakan metode komparatif kualitatif yaitu dan hasil simulasi IES VE 2018. Pengukuran udara luar dilakukan pada 10 titik pengukuran dan sebanyak 5 titik pengukuran disetiap kelasnya, dengan ketinggian 1,5 m. Pengukuran lapangan dilakukan pada bulan Maret tahun 2019, waktu 06.30-16.30 WIB. Parameter yang digunakan dalam penelitian yaitu temperatur udara, kelembaban dan kecepatan angin. Temperatur udara dan kelembaban diukur dengan menggunakan alat thermo hygrometer. Kecepatan angin diukur dengan menggunakan alat anemometer. Metode pengumpulan data dilakukan dengan metode pengamatan dan pengukuran. Validasi data menggunakan *Root Mean Squared Error (RMSE)*. Hasil penelitian menunjukkan kenyamanan termal ruang kelas terbaik diperoleh pada saat simulasi menggunakan tipe bukaan ke atas atau *Awning Windows*, dengan area bukaan penuh. Hasil simulasi menunjukkan distribusi aliran udara yang nyaman di dalam ruang kelas pada kecepatan angin di atas 0,15-0,28 m/det, Temperatur 25,07 -27,10° C.

Kata kunci: *tipe bukaan, termal ruang, IES VE 2018, RMSE*

Abstract

This study was aimed at analyzing the effect of opening type on the thermal convenience of classrooms in old and new buildings at SMK Negeri 3 Yogyakarta. This study used a qualitative comparative method and the simulation of IES VE 2018. The field air measurement is carried out at 10 measurement points and 5 measurement points in each class, with a height of 1.5 m. Field measurements were carried out in March 2019, at 06.30-16.30 WIB. The parameters used in the study were air temperature, humidity and wind speed. Air temperature and humidity were measured using a Thermo hygrometer. Wind speed was measured using an anemometer. The data collection method is carried out by observation and measurement. Root Mean Squared Error (RMSE) was used to validate the data. The results show the best thermal convenience of the classroom was obtained during the simulation using the type of Windows Awning, with a full aperture area. Simulation results show a comfortable distribution of airflow in the classroom at wind speeds above 0.15-0.28 m/sec, Temperature 25.07-27.10°C.

Keywords: *opening type, thermal space, IES VE 2018, RMSE*

PENDAHULUAN

Faktor kenyamanan pada sarana pendidikan sangat penting karena berpengaruh pada kesehatan, produktivitas pengguna bangunan khususnya untuk para siswa dan siswi dalam proses pembelajaran di sekolah (Rojali, 2017). Proses pembelajaran di sekolah memerlukan kondisi ruang kelas yang nyaman. Idealnya ruang kelas yang nyaman memenuhi prinsip-prinsip *visibility* (keleluasaan pandangan), *accessibility* (kemudahan pencapaian), fleksibilitas (keluwesan), *comfort* (kenyamanan), dan estetika (keindahan). Ruang kelas perlu memiliki sistem penghawaan dan pencahayaan alami yang cukup, agar memberi kenyamanan pengguna dalam melakukan aktivitasnya. Penerapan pasif desain pada bangunan dengan penggunaan penghawaan dan pencahayaan alami yang cukup, dapat memberikan keuntungan yang lain yaitu meminimalkan energi listrik yang diperlukan (Rahmi, 2015).

Adanya visi misi sekolah mengakibatkan manajemen sekolah perlu memiliki metode atau cara untuk meningkatkan mutu dan kualitas para siswa. Pengelola sekolah selain menyiapkan kurikulum pembelajaran yang sesuai dengan kebutuhan dunia industri, juga menyediakan fasilitas ruang kelas dan ruang praktik yang aman, dan nyaman secara visual, audio, dan termal. Kenyamanan termal pada saat proses pembelajaran di dalam kelas merupakan salah satu faktor penting yang

dapat mempengaruhi kenyamanan (*comfort*) aktifitas belajar mengajar di sekolah (Hamzah, Mulyadi, & Amin, 2016).

Pemanfaatan penghawaan alami di sekolah diharapkan masih dapat memenuhi kebutuhan kenyamanan termal di dalam kelas. Memasukkan aliran udara pada sistem penghawaan alami pada sebuah ruangan, akan dapat meningkatkan kenyamanan termal di dalam ruang (Gratia, Bruyere, & De Herde, 2004). Pada sistem penghawaan alami, upaya untuk menambah laju kecepatan aliran udara yang masuk ke dalam ruangan akan dapat meningkatkan jangkauan zona kenyamanan termal (Liping & Hien, 2007).

Sekolah Menengah Kejuruan Negeri (SMKN) 3 Yogyakarta merupakan salah satu sekolah menengah tertua di Indonesia (cagar budaya) yang didirikan pada masa kolonial sejak tahun 1919. Bangunan sekolah dirancang dengan banyak bukaan/ventilasi untuk memanfaatkan penghawaan alami secara optimal.

Hasil pengamatan dan pengukuran di ruang kelas pada saat studi awal yakni tanggal 21 Maret 2018 memberikan data suhu udara (temperatur) ruang kelas dari pukul 07.00 WIB sampai pukul 17.00 WIB. Data subyektif menunjukkan adanya kenaikan dari suhu normal kurang lebih 1-3°C di siang hari pukul 12.30 WIB. Rata-rata temperatur ruang kelas berkisar 26-30°C; kelembaban 55-76%; dan kecepatan udara 0,2-0,5 m/s.

Data lingkungan termal tersebut merupakan unsur yang membentuk iklim mikro di suatu kawasan termasuk di SMK N 3 Yogyakarta.

Meningkatnya suhu udara di Yogyakarta (Kharisma, 2019) dan aktivitas pengembangan bangunan SMK N 3 Yogyakarta mengakibatkan perubahan iklim mikro di kawasan tersebut. Perubahan-perubahan suhu, kelembaban, dan kecepatan angin dapat mempengaruhi kondisi kenyamanan termal di dalam kelas.

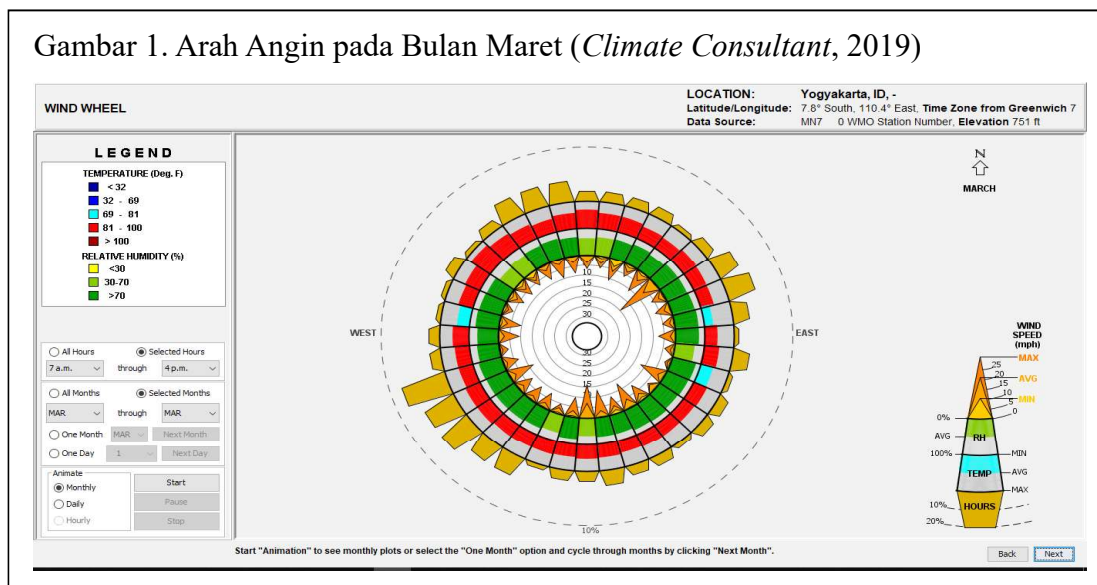
Mengingat pentingnya kondisi kenyamanan termal di ruang kelas, sementara pengembangan dan pembangunan fisik di SMK N 3 Yogyakarta tidak bisa dihindari, perlu ada upaya dari manajemen sekolah untuk mempertahankan serta menciptakan ruang-ruang kelas yang nyaman secara termal. Dan salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mempertahankan serta menciptakan kenyamanan termal di dalam kelas yaitu

dengan cara mengoptimalkan pengaruh bukaan bangunan di sekolah atau ruang kelas.

METODE PENELITIAN

Kota Yogyakarta berada pada daerah iklim tropis lembab. Menurut hasil dari simulasi *Climate Consultant* 6.0 (2018), prakiraan bulan Maret, suhu rata-rata di Kota Yogyakarta 20-27°C, kelembaban udara 30-70% dengan rata-rata kecepatan angin 2-20m/det.

Penelitian ini, menggunakan metode komparatif kualitatif yaitu dengan membandingkan dua analisis yang dihasilkan dari pengukuran lapangan dan hasil simulasi IES VE 2018. Pengukuran udara luar sebanyak 10 titik pengukuran dan sebanyak 5 titik pengukuran disetiap kelasnya, dengan ketinggian 1,5 m. Pengukuran lapangan dilakukan pada bulan Maret tahun 2019 waktu 06.30-16.30 WIB dengan pertimbangan



pada bulan tersebut posisi matahari berada tegak lurus pada lokasi bangunan. Dengan posisi tersebut dapat diasumsikan bahwa kondisi radiasi matahari terbesar sehingga menyebabkan kondisi temperatur terpanas.

Parameter yang digunakan dalam penelitian yaitu temperatur udara, kelembaban, dan kecepatan angin. Temperatur udara dan kelembaban diukur dengan menggunakan alat *thermo hygrometer*. Kecepatan angin diukur dengan menggunakan alat anemometer.

Metode pengumpulan data dilakukan dengan metode pengamatan dan pengukuran, yaitu guna mendapatkan model dan ukuran ruang kelas, bentuk dan ukuran detail bukaan jendela dan pintu, serta perletakan pintu dan jendela tersebut. Validasi data menggunakan *Root Mean Squared Error (RMSE)* yaitu metode untuk mengevaluasi data yang digunakan untuk mengukur tingkat akurasi

Gambar 2. Situasi Eksisting Bangunan



Sumber: *Google earth* diakses Maret 2019

Gambar 3. Peta SMK Negeri 3 Yogyakarta



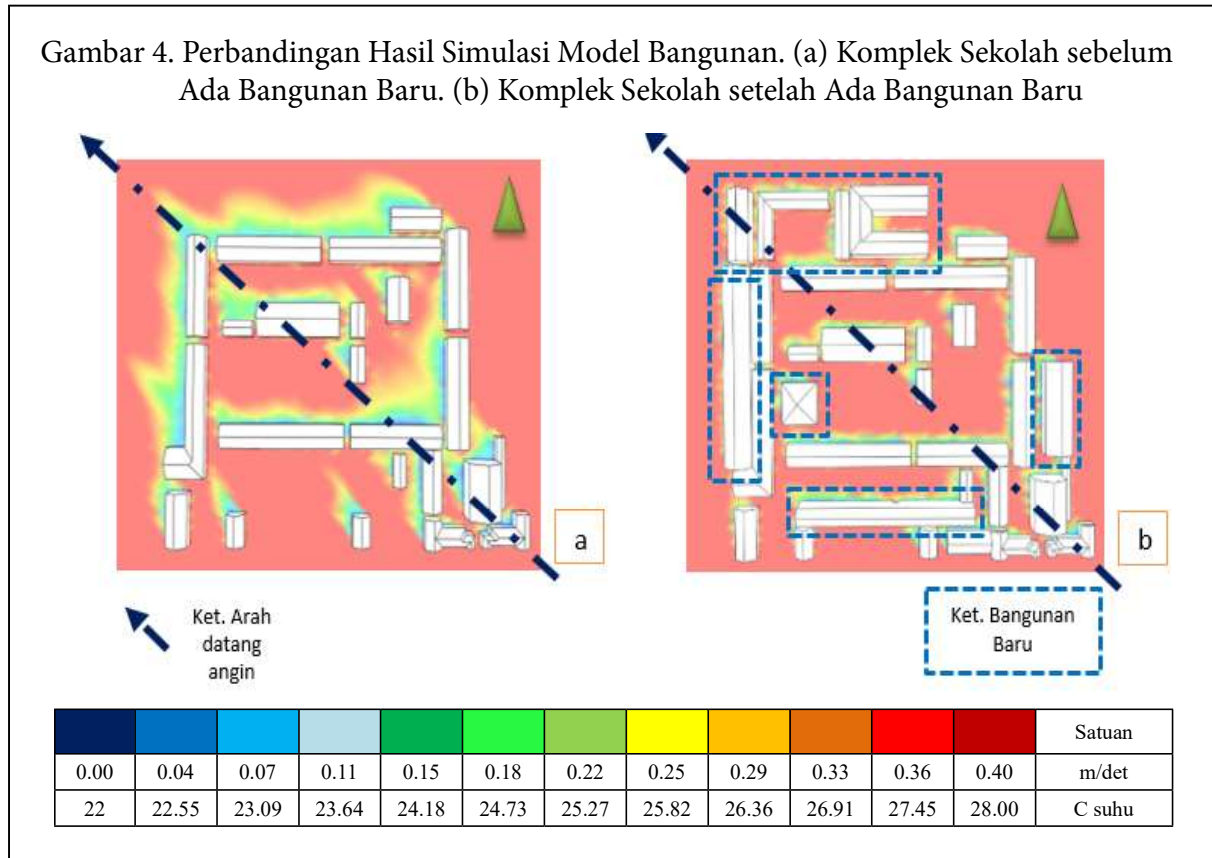
Sumber: Manajemen SMK N 3 Yogyakarta

hasil prakiraan suatu model.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi obyek penelitian adalah ruang kelas di SMK Negeri 3 Yogyakarta, yaitu ruang kelas 38 (bangunan lama) dan ruang kelas 78 (bangunan baru). Survei pengambilan data dilakukan pada tanggal 21 Maret 2019. Kondisi cuaca pada hari itu cerah dan panas. Alat ukur yang digunakan antara lain *Thermo hygrometer* dan Anemometer.

Hasil pengukuran yang dilakukan pada tanggal 21 Maret 2019 pukul 06.30-16.30 WIB diperoleh data suhu udara luar minimum 27,5°C maksimum 29,5°C; kelembaban relatif 55,3-57,9%; kecepatan angin 0,07-0,51 m/det. Hasil pengukuran suhu ruang kelas berkisar 26-33°C, kelembaban 55-76% dan kecepatan angin 0,00-0,4 m/det. Hal ini menunjukkan pengukuran pada hari itu cuaca



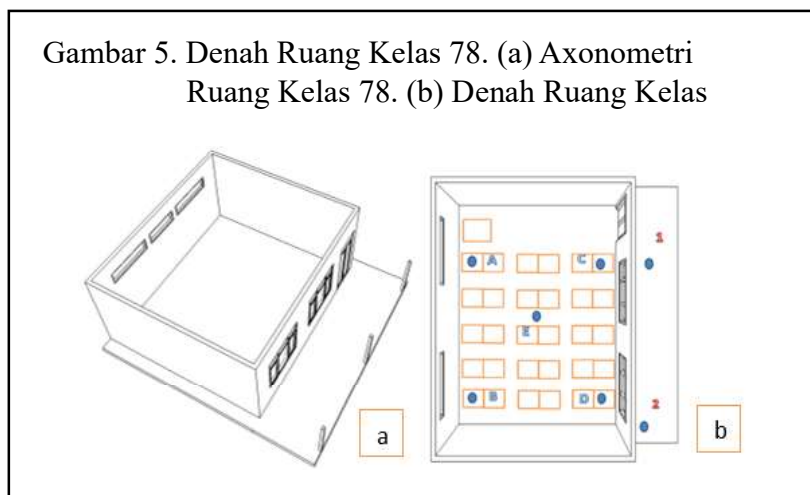
panas melebihi batas kenyamanan termal.

Hasil simulasi Gambar 4a menunjukkan cakupan aliran udara masih banyak dan aliran udara tidak banyak yang terhambat. Simulasi Gambar 4b menunjukkan aliran udara berkurang, karena adanya bangunan baru yang menghambat aliran udara di lingkungan sekolah.

Angin yang berhembus dari arah tenggara memberikan aliran sirkulasi udara, pada bangunan lama dan baru, angin langsung menerobos jendela di sisi selatan dan langsung keluar dari sisi utara. Dari sisi jendela selatan didominasi warna hijau $\pm 0,15-0,22$ m/det. Artinya, ada gerakan/

hembusan udara yang nyaman, yang menerpa bangunan, dan masuk ke dalam ruang kemudian ke luar dengan hembusan angin yang lebih rendah dengan warna mengarah ke biru $\pm 0,04-0,11$ m/det. Suhu minimum $\pm 22^{\circ}\text{C}$ dan suhu maksimum mencapai $\pm 28^{\circ}\text{C}$.

Pengambilan data pengukuran ruang kelas 78, diambil 5 titik (A, B, C, D, E) dan 2 titik pengukuran ruang luar (1, 2) dengan ketinggian pengukuran 1,5 m (Gambar 5). Hasil pengukurun ruang kelas 78; diperoleh rentang suhu pada kondisi jendela tertutup $28,1-32^{\circ}\text{C}$; kelembaban 69-70; kecepatan angin 0 m/det; pengukuran kondisi jendela terbuka $27,8-29,8^{\circ}\text{C}$; kelembaban 69-70,



kecepatan angin 0 m/det. Kondisi ruangan menunjukkan semakin siang suhu semakin naik dan kondisi ruangan pukul 12.30 WIB merupakan suhu tertinggi hingga 32°C. Kondisi suhu akan menurun pada saat jendela dibuka dengan menunjukkan suhu 29,8°C.

Dari tabel hasil pengukuran di ruang kelas 78, dapat dilihat bahwa pada saat jendela ruang kelas ditutup dan siswa berada di ruang kelas selama 30-60 menit, ada kecenderungan ruang kelas terasa panas. Apabila jendela dibuka, suhu ruangan menjadi turun, ruang kelas menjadi hangat.

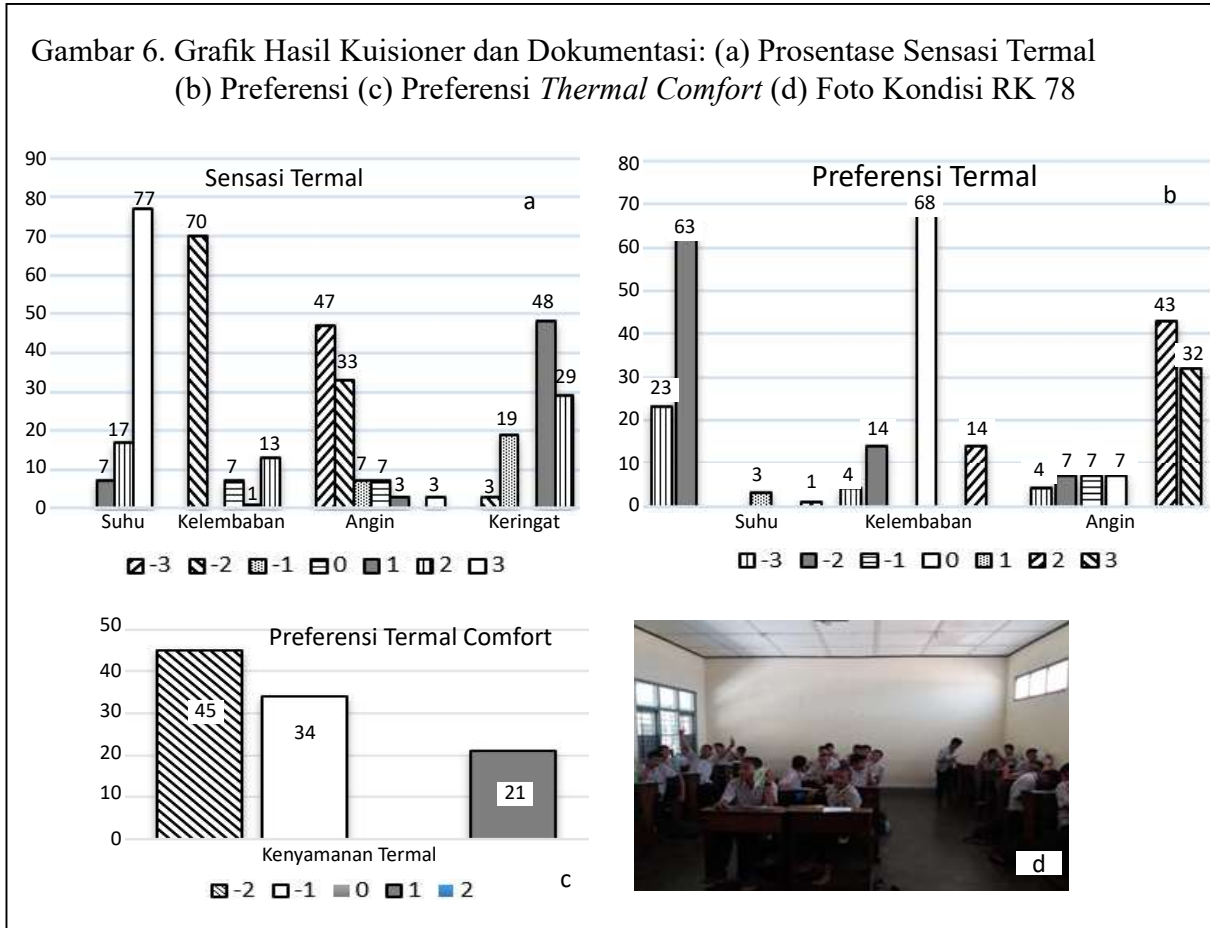
Gambar 6a menunjukkan sensasi termal yang dirasakan oleh siswa. Sebanyak 77% siswa merasakan mengatakan kondisi suhu di ruang kelas 78 terasa panas, 70% kering, 47% tidak berangin, dan 48% kadang berkeringat. Gambar 6b menunjukkan siswa di ruang kelas 78, 63% ruang kelas dingin, 68% kondisi ruang kelas memiliki kelembaban normal, dan 43% ruang kelas mendapatkan aliran

udara/angin. Gambar 6c menunjukkan 45% siswa mengatakan kondisi termal ruang kelas tidak nyaman.

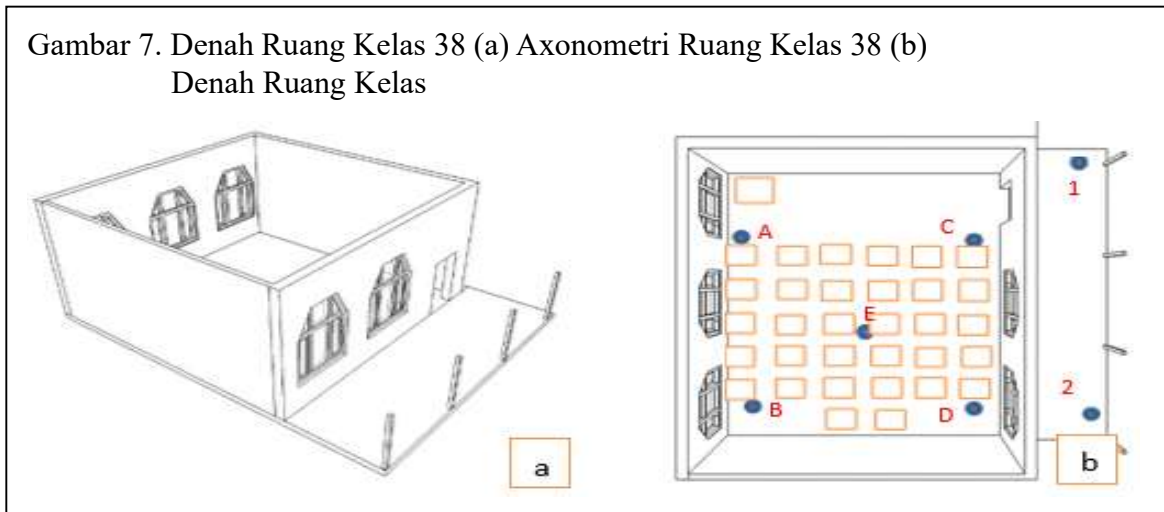
Gambar 6d menunjukkan suasana ruang kelas 78 dengan kondisi panas. Hal tersebut mungkin disebabkan suhu lingkungan luar yang tinggi hingga 33°C dan kecepatan angin 0,5 m/det.

Pengambilan data pengukuran ruang kelas 38 diambil 5 titik (A, B, C, D, E) dan 2 titik pengukuran ruang luar (1, 2) dengan ketinggian pengukuran 1,5 m (Gambar 7). Hasil pengukuran ruang kelas 38 diperoleh rentang suhu pada kondisi jendela tertutup 28-30,7°C; kelembaban 65-71; kecepatan angin 0 m/det. Pengukuran kondisi jendela terbuka 27,8-28,4°C; kelembaban 66- 68; kecepatan angin 0 m/det. Kondisi ruangan menunjukkan semakin siang suhu semakin naik dan kondisi ruangan pukul 12.30 merupakan suhu tertinggi hingga 30,7°C. Kondisi suhu menurun pada saat jendela

Gambar 6. Grafik Hasil Kuisioner dan Dokumentasi: (a) Prosentase Sensasi Termal (b) Preferensi (c) Preferensi *Thermal Comfort* (d) Foto Kondisi RK 78



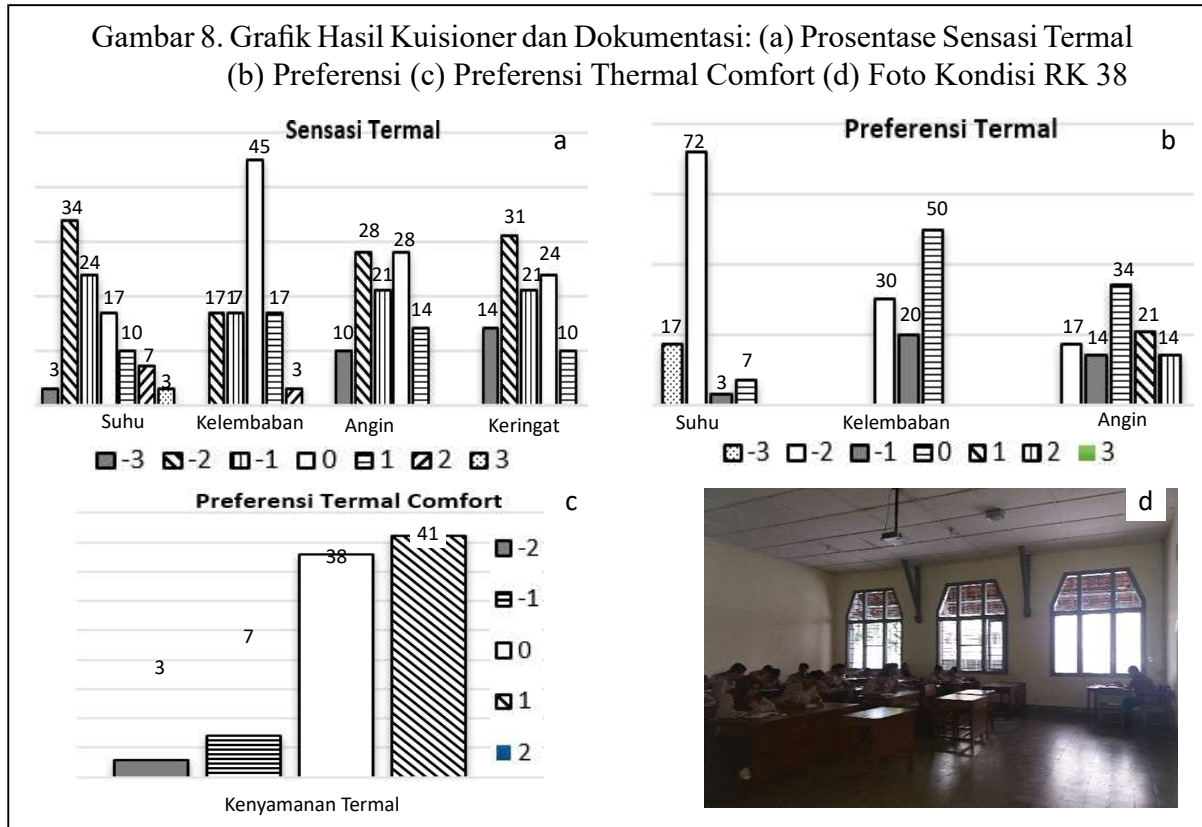
Gambar 7. Denah Ruang Kelas 38 (a) Axonometri Ruang Kelas 38 (b) Denah Ruang Kelas



dibuka dengan menunjukkan suhu 28,4°C.

Dari tabel hasil pengukuran di ruang kelas 38 dapat dilihat bahwa pada saat

jendela ruang kelas ditutup dan siswa berada di ruang kelas selama 30-60 menit, ada kecenderungan ruang kelas terasa hangat.



Apabila jendela dibuka suhu ruangan menjadi turun ruang kelas menjadi agak hangat.

Gambar 8a menunjukkan sensasi termal yang dirasakan oleh siswa. Ada 34% siswa merasakan mengatakan kondisi suhu di ruang kelas 38 terasa sejuk, 45 % netral, 28% terkadang ada angin, dan 31% kadang berkeringat. Gambar 8b menunjukkan preferensi siswa di ruang kelas 38, 72% ruang kelas dingin, 50% kondisi ruang kelas memiliki kelembaban normal, dan 34% ruang kelas mendapatkan aliran udara/angin. Gambar 8c menunjukkan 41% siswa mengatakan kondisi termal ruang kelas agak nyaman.

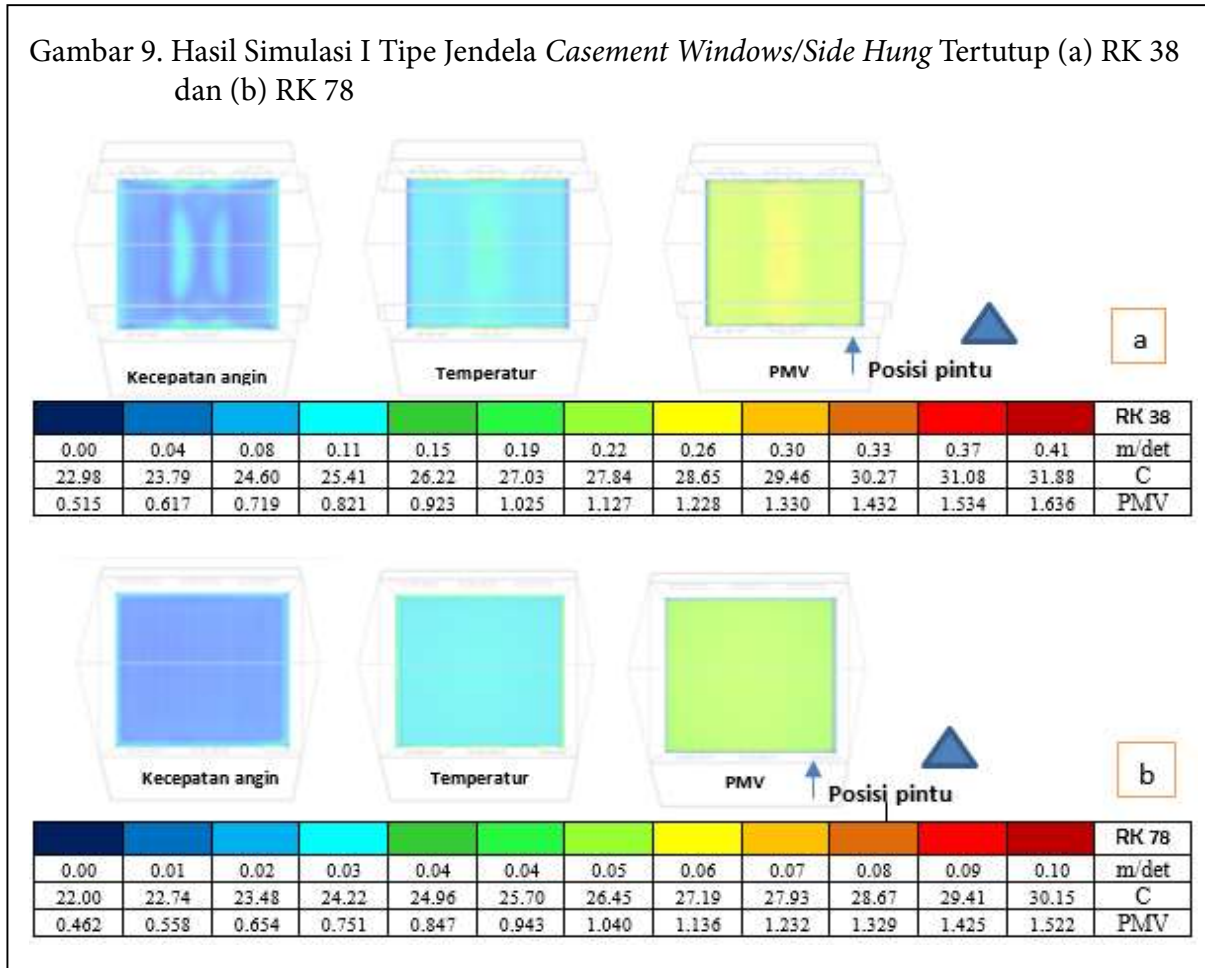
Gambar 8d menunjukkan suasana

ruang kelas 38 dengan kondisi agak nyaman. Hal tersebut disebabkan suhu lingkungan luar yang tinggi hingga 33°C dan kecepatan angin 0,5 m/det, tetapi ruang kelas memiliki bukaan yang lebar sehingga angin yang mengalir ke dalam ruang kelas masih cukup untuk memberikan kenyamanan pada siswa.

Berikut disajikan simulasi IES VE 2018 untuk mendapatkan tingkat kenyamanan termal ruang kelas yang terbaik.

Pertama, simulasi I tipe jendela *case-ment windows/side hung* tertutup. Gambar 9a menunjukkan simulasi RK 78 dengan pintu jendela tertutup. Distribusi kecepatan udara dan temperatur ruangan berupa potongan kontur kecepatan udara secara vertikal ($Z =$

Gambar 9. Hasil Simulasi I Tipe Jendela *Casement Windows/Side Hung* Tertutup (a) RK 38 dan (b) RK 78



1,5m), (Z=3m), dan tampak horisontal (X=1m), (X= 3,5m), (X=7m). Terlihat bahwa kecepatan angin berada pada *range* 0-0,10 m/det. Suhu ruangan berada di *range* 22-30,15°C. Bagian tengah bangunan area yang dipakai untuk kegiatan belajar mengajar terlihat tidak banyak angin, kecepatan rendah 0-0,02 m/det. Ada aliran udara melalui bukaan di atas jendela dengan kecepatan 0,04-0,05 m/det yang terlihat mengalir ke atas dekat plafon mengarah ke *bovenlich*.

Berdasarkan Gambar 9b simulasi RK 38 dengan pintu jendela tertutup.

Distribusi kecepatan udara dan temperatur ruangan berupa potongan kontur kecepatan udara secara vertikal (Z=1,5m), (Z=3,5m), dan tampak horisontal (X=1m), (X=4,5m), (X=8m). Terlihat bahwa kecepatan angin Gambar 9b lebih tinggi dibandingkan Gambar 9a walaupun dalam kondisi pintu jendela tertutup. Kecepatan angin berada di *range* 0-0,41 m/det. Suhu ruangan berada di *range* 22,98-31,88°C. Bagian tengah ruang kelas juga sedikit ada angin dengan kecepatan 0,08-0,11 m/det. Hal itu dikarenakan lubang bukaan di atas jendela ukurannya lebih besar daripada

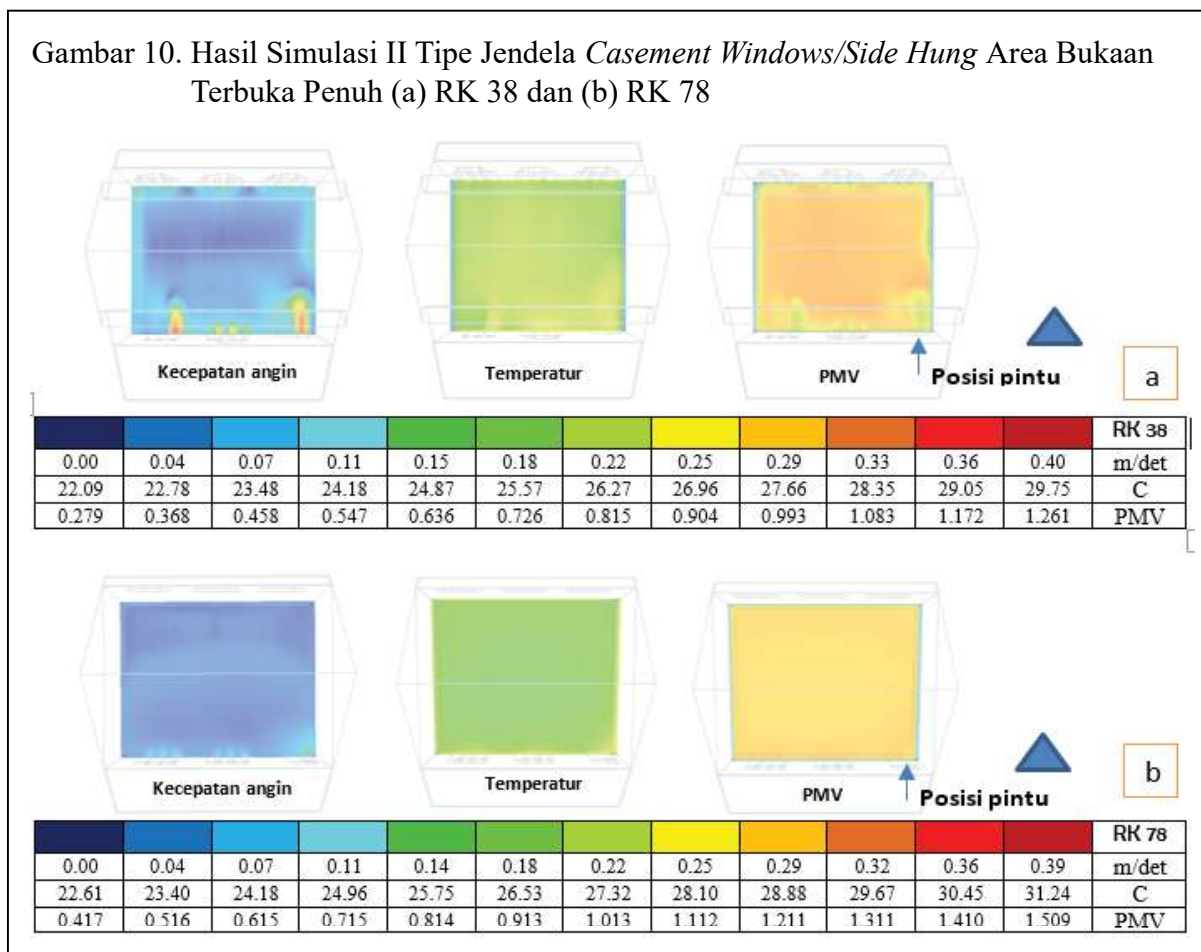
lubang bukaan Gambar 9a.

Kedua, simulasi II tipe jendela *casement windows/side hung* area bukaan terbuka penuh (Gambar 10). Gambar 10a menunjukkan simulasi RK 78 dengan tipe jendela terbuka ke samping, pintu jendela area bukaan terbuka penuh. Terlihat bahwa kecepatan angin berada pada *range* 0-0,39 m/det. Suhu ruangan berada di *range* 22,61-31,24°C. Kecepatan tinggi berada di dekat *outlet* sebelah utara. Hal ini disebabkan oleh angin yang akan keluar bersamaan melalui *bovenlich*. Kecepatan angin bagian tengah ruang terlihat rendah 0,04 m/det;

tidak banyak angin dikarenakan aliran udara masuk melalui bukaan jendela di sebelah selatan dengan kecepatan 0,14-0,18 m/det; bergerak ke atas; berkumpul di atas dengan kecepatan 0,11 m/det menuju ke arah *bovenlich*.

Gambar 10b menunjukkan simulasi ruang kelas 38 dengan tipe jendela terbuka ke samping, pintu jendela area bukaan terbuka penuh. Terlihat bahwa kecepatan berada di *range* 0-0,40 m/det. Suhu ruangan berada di *range* 22,09-29,75°C. Kecepatan tinggi berada di dekat *outlet* sebelah utara antara 0,22-0,25 m/det. Hal ini disebabkan oleh

Gambar 10. Hasil Simulasi II Tipe Jendela *Casement Windows/Side Hung* Area Bukaan Terbuka Penuh (a) RK 38 dan (b) RK 78

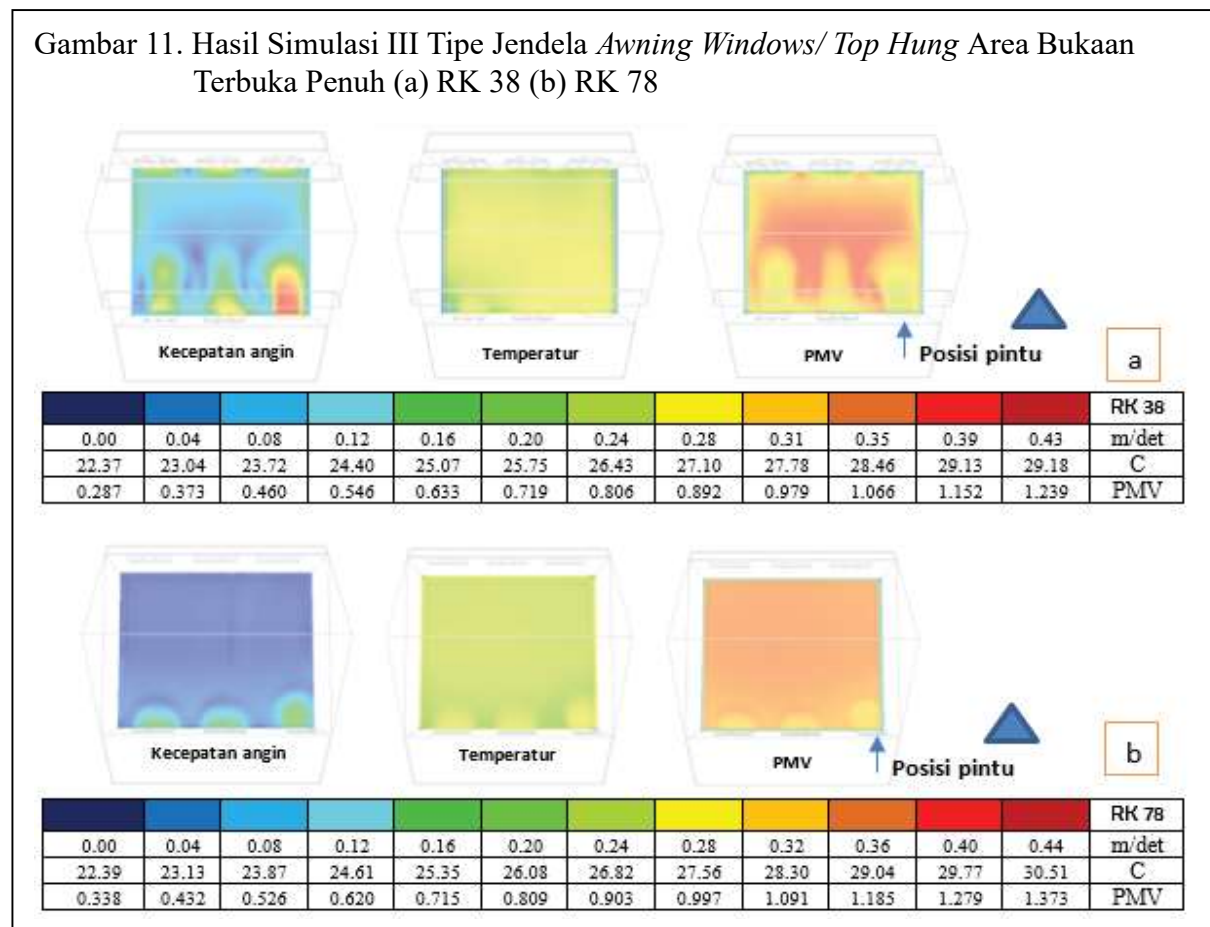


angin yang akan keluar bersamaan melalui jendela. Aliran angin lebih banyak daripada Gambar 10a.

Ketiga, Simulasi III Tipe jendela *awning windows/top hung* area bukaan terbuka penuh (Gambar 11). Berdasarkan Gambar 11a simulasi RK 78 dengan tipe jendela terbuka ke atas, pintu jendela area bukaan terbuka penuh. Kondisi ruang terlihat ada aliran udara masuk melalui lubang bukaan di sebelah selatan dengan kecepatan 0,12 m/det. Kecepatan angin RK 78 berada pada *range* 0-0,44 m/det. Suhu ruangan berada di *range* 22,39-30,51°C.

Kecepatan angin bagian tengah ruang masih rendah dengan kecepatan 0,04-0,08 m/det. Masih tidak banyak angin dikarenakan aliran udara masuk melalui bukaan jendela di sebelah selatan dengan kecepatan 0,12m/det; bergerak ke atas terjebak di atas terjadi penumpukan udara yang akan keluar di *outlet* dengan kecepatan 0,11-0,32 m/det.

Berdasarkan Gambar 11b simulasi RK 38 dengan tipe jendela terbuka ke atas, pintu jendela area bukaan terbuka penuh. Kondisi ruang terlihat ada aliran udara masuk melalui lubang bukaan di sebelah selatan dengan kecepatan 0,31 m/det. Kecepatan angin RK



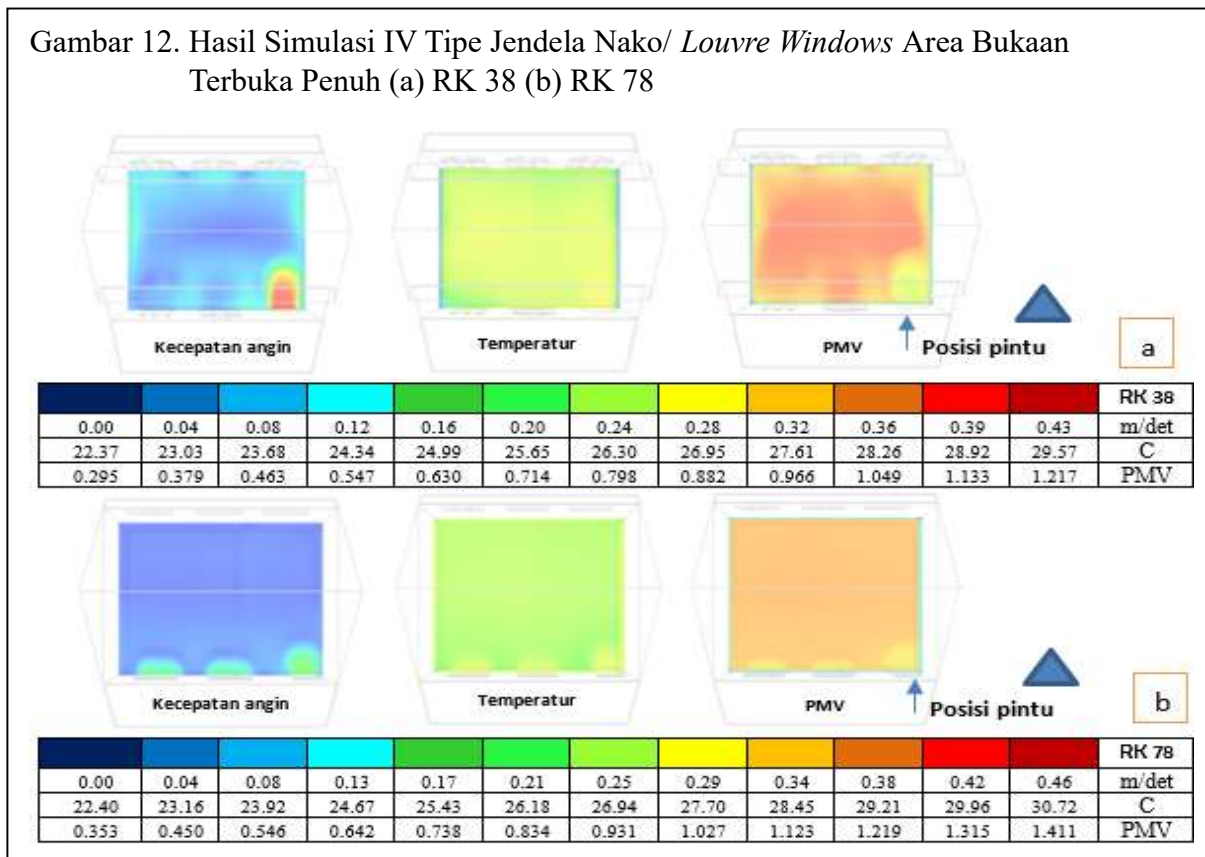
38 berada pada *range* 0-0,43 m/det. Suhu ruangan berada di *range* 22,37°C-29,18°C. Udara di ruang lebih merata, dengan cakupan udara ruang lebih besar. Kecepatan angin di bagian 0,04-0,12 m/det.

Keempat, simulasi IV Tipe jendela nako/*Louvre Windows* area bukaan terbuka penuh (Gambar 12). Berdasarkan Gambar 12a simulasi RK 78 dengan tipe jendela nako pintu jendela area bukaan terbuka penuh, kondisi ruang menunjukkan ada aliran udara masuk melalui bukaan dari sebelah selatan dengan kecepatan 0,08-0,13 m/det, bergerak keatas, menuju ke arah bukaan sebelah utara. Kecepatan angin RK 78 berada pada

range 0-0,46 m/det. Suhu ruangan berada di *range* 22,40-30,72°C. Bagian tengah RK 78 terlihat aliran angin lebih banyak, walaupun aliran angin rendah dengan kecepatan angin 0,04-0,08 m/det. Hal ini disebabkan oleh tipe bukaan yang dapat mengarahkan aliran angin kebagian bawah atau atas ruangan.

Gambar 12b menunjukkan simulasi RK 38 dengan tipe jendela nako, pintu jendela area bukaan terbuka penuh. Ada aliran udara masuk dari jendela sebelah selatan dengan kecepatan angin 0,24-0,32 m/det. Meratakan udara di ruangan walaupun masih dengan kecepatan angin yang rendah 0,04-0,12 m/det. Kecepatan angin RK 38 berada pada

Gambar 12. Hasil Simulasi IV Tipe Jendela Nako/ *Louvre Windows* Area Bukaan Terbuka Penuh (a) RK 38 (b) RK 78



range 0-0,43 m/det. Suhu ruangan berada di range 22,37-29,57°C. Posisi tinggi inlet sama dengan outlet.

SIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah diuraikan di atas, maka peneliti mengambil beberapa simpulan sebagai berikut. *Pertama*, adanya kegiatan pengembangan atau penambahan bangunan di SMK N 3 Yogyakarta menghambat pergerakan angin/udara sehingga mengurangi kecepatan angin yang masuk ke dalam kelas dan mempengaruhi tingkat kenyamanan ruang kelas. *Kedua*, hasil survei kenyamanan pengguna ruang kelas menunjukkan bahwa 38% responden di RK 78 mengatakan nyaman, 68% responden di RK 38 mengatakan nyaman dan menginginkan adanya peningkatan kecepatan angin di dalam ruang kelas. Adanya perbedaan kenyamanan ruang kelas ini, barangkali diakibatkan karena rasio bukaan RK 38 yang lebih besar dibandingkan dengan RK 78, perbedaan tinggi plafon, dan tebal dinding bangunan. *Ketiga*, tipe bukaan yang terbuka ke atas/*awning windows* merupakan tipe bukaan yang mampu meningkatkan kenyamanan termal ruang kelas 78 dan 38. Hal tersebut ditunjukkan dari hasil validasi data yang memiliki selisih *error* yang kecil dan hasil simulasi juga menunjukkan aliran angin yang merata di ruang kelas dan suhu yang rendah. Hasil analisis simulasi IES VE

2019 menunjukkan adanya pengaruh bukaan pada kondisi kenyamanan termal ruang kelas. Ruang kelas 38 yang merupakan bangunan lama cenderung lebih nyaman daripada ruang kelas 78 yang merupakan bangunan baru.

DAFTAR PUSTAKA

- Consultan Climate 6.0. (2018). Diunduh dari <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/climate-consultant/request-climate-consultant.php>.
- Gratia, E., Bruyere, I., & De Herde, A. (2004). How to use natural ventilation to cool narrow office buildings. *Building and Environment*, 39(10), 1157-1170.
- Hamzah, B., Mulyadi, R., & Amin, S. (2016). Analisis kenyamanan termal ruang kelas sekolah dasar di Kota Makassar. Dalam G. A. Susilo, P. H. Pramitasari, G. A. Putra, B. T. Ujjianto, & Hamka (Eds.), *Prosiding temu ilmiah IPLBI 2016* (pp. H001-006). Malang: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional.
- Kharisma, W. (2019, 29 April). Suhu Yogyakarta makin panas. *Pikiran Rakyat*. Diunduh dari <https://www.pikiran-rakyat.com/nasional/2019/04/29/suhu-yogyakarta-makin-panas>.
- Liping, W., & Hien, W. N. (2007). Applying natural ventilation for thermal comfort in residential buildings in Singapore. *Architectural Science Review*, 50(3), 224-233.
- Rahmi, D. H. (2015). Pengaturan penghawaan dan pencahayaan pada bangunan. *Arsit. dan Lingkung*. Diunduh dari <http://arsitekturdanlingkungan.wg.ugm.ac.id/2015/11/20/>.
- Rojali, M. D. (2017). Sistem penghawaan alami sebagai kenyamanan bangunan. *Repository Tugas Akhir Arsitektur Itenas*, 3.