

ANALISIS ALIRAN UDARA UNTUK MENINGKATKAN KENYAMANAN TERMAL PADA RUANG KELAS DI MAUMERE – NUSA TENGGARA TIMUR

Maria Carolin Tandafatu, ST., MT¹, Noralita M. Soludale², Febryanti Alwisye Wara³.

¹²³Fakultas Teknik Universitas Nusa Nipa

e-mail: jo.carol26@gmail.com

ABSTRAK

Desain bangunan yang berada di daerah beriklim tropis, perlu memperhatikan tingkat penghawaan dan kenyamanan thermal di dalam suatu ruangan. Faktor desain bukaan, desain bangunan, faktor internal dan faktor eksternal mempengaruhi penghawaan alami dan kenyamanan thermal. Ruang kelas merupakan ruang dimana terjadi aktifitas tatap muka dalam proses kegiatan belajar dan mengajar. Kegiatan yang terjadi di dalam ruang kelas dengan waktu penggunaan ruang dari pagi hingga malam, membutuhkan penghawaan dan kenyamanan thermal yang baik. Agar kualitas belajar menjadi lebih optimal, perlu memperhatikan pengaliran udara yang baik, sehingga mampu memberikan kenyamanan dalam ruang kelas. Analisis dan identifikasi dilakukan pengukuran langsung, dengan menyimpulkan pengaruh luas bukaan, posisi bukaan dan material bukaan terhadap kecepatan angin, sehingga mampu mengoptimalkan kenyamanan thermal dan penghawaan alami dalam ruangan. Penelitian ini diharapkan akan menjadi rujukan dalam mendesain ruang kelas yang nyaman dan membantu meningkatkan kualitas belajar

Kata Kunci: Aliran udara, kenyamanan termal, ruang kelas.

1. PENDAHULUAN

Tujuan utama dalam perancangan suatu bangunan yaitu meningkatkan kualitas hidup manusia. Dalam memperhatikan kualitas hidup manusia, keberadaan bangunan yang merupakan lingkungan binaan tidak terlepas dari pertimbangan dan batasan. Dilihat dari perkembangan arsitektur, keberadaan bangunan selalu dipengaruhi oleh kondisi iklim, geografis, dan ketersediaan sumber daya. Bangunan yang berkualitas yaitu bangunan yang memberikan kenyamanan dalam beraktifitas bagi penghuninya. *Thermal comfort* atau kenyamanan thermal menjadi salah satu faktor utama dalam menciptakan suasana yang nyaman di dalam bangunan. Perasaan nyaman menjadi kebutuhan manusia dalam melakukan aktifitas, dengan tingkat yang optimal mampu membantu meningkatkan kualitas dari aktifitas manusia itu sendiri. Kenyamanan termal adalah kondisi pikir seseorang yang mengekspresikan kepuasan dirinya terhadap lingkungan termalnya. [6].

Kenyamanan yang dapat diberikan dari sebuah bangunan dalam konteks lingkungan yang dibatasi pertimbangan faktor alam. Dalam upaya mencapai kenyamanan pada bangunan di daerah yang beriklim tropis seperti Indonesia khususnya kota Maumere, dengan karakteristik kecepatan angin, kelembaban dan suhu udara yang relatif tinggi serta radiasi panas matahari dapat mencapai tingkatan di luar zona nyaman manusia, dengan mempertimbangkan desain bangunan berupa bukaan jendela dan ventilasi dan sumber pendingin alami yaitu kecepatan angin. Ventilasi (penghawaan) alami dibutuhkan agar udara didalam ruangan tetap sehat dan nyaman. Penghawaan alami menawarkan ventilasi yang sehat, nyaman dan tanpa energi tambahan. [5].

Penelitian yang dilakukan Sahabuddin, Baharuddin Hamzah, dan Ihsan (2014) pada ruang kelas gedung kuliah bersama Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin di Kabupaten Gowa, disimpulkan bahwa penambahan luas inlet dan outlet dengan rasio yang tepat pada ruang kelas, dapat mengoptimalkan sirkulasi udara untuk menciptakan kenyamanan termal. [4] Menurut Anisa Budiani Arifah, M. Satya Adhitama dan Agung Murti Nugroho (2017), hasil penelitian pada Bangunan Rumah Susun Aparna Surabaya, menunjukkan kinerja bukaan jendela dapat meningkatkan kecepatan angin serta perluasan persebaran angin dalam ruang dengan mengganti tipe bukaan menjadi jendela geser vertical dan jendela nako dan menambah dimensi bukaan menjadi 21%. [1]. Penelitian lainnya mengenai pengaruh luas bukaan ventilasi terhadap penghawaan alami dan kenyamanan thermal pada rumah tinggal hasil modifikasi dari rumah tradisional minahasa, kenyamanan termal dan penghawaan alami salah satunya dipengaruhi oleh luas bukaan ventilasi pada selubung bangunan yang mengalirkan udara kedalam bangunan sehingga akan terjadi pertukaran udara dalam bangunan. analisis pengaruh luas bukaan ventilasi terhadap kenyamanan termal dan penghawaan alami akan dilakukan dengan menyimpulkan pengaruh luas bukaan terhadap kecepatan angin dalam bangunan disaat menyentuh kulit, di saat jendela tertutup dan terbuka, serta menyimpulkan apakah kecepatan angin tersebut memenuhi standar dalam bangunan. (Novan H. Toisi dan Kussoy Wailan John - 2012). [3].

Dari penelitian sebelumnya dengan kesimpulan dan temuan pada kondisi di lapangan maka penelitian dilakukan pada ruang kelas di Universitas Nusa Nipa Maumere, untuk menganalisis aliran angin di dalam ruang kelas untuk mendapatkan kenyamanan termal yang optimal.

2. METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian berada pada lingkungan kampus Universitas Nusa Nipa Maumere. Data yang diambil pada penelitian ini berdasarkan pada kondisi thermal dalam ruang kelas, data komponen desain bukaan jendela dan ventilasi yang digunakan. Tidak semua ruang kelas dijadikan sebagai obyek penelitian, hanya beberapa yang diambil sebagai sample, hal ini untuk menghindari adanya kesamaan data di lapangan. Menganalisis secara obyektif dengan menggunakan simulasi CFD analysis menggunakan WInAir4 (CFD) dari Ecotect, untuk mendapatkan data kecepatan angin dan kenyamanan termal pada obyek penelitian di dalam lingkungan kampus Universitas Nusa Nipa Maumere digunakan metode PMV (*Predicted Mean Vote*) dalam CBE (*Center for the Build Environment*).

Proses penelitian ini memiliki beberapa tahapan antara lain :

▪ Pemilihan Obyek Penelitian :

Subyek penelitian adalah beberapa ruang kelas yang dipilih berdasarkan perbandingan, yang digunakan untuk kegiatan perkuliahan di dalam lingkungan kampus Universitas Nusa Nipa Maumere. Dipilih 6 (enam) Ruang kelas yang dijadikan objek penelitian, yang berada pada tiga gedung berbeda, yaitu gedung Fakultas Teknik, Gedung Nawacita, dan Gedung Sapientia.

Ketiga gedung ini berada pada satu wilayah dalam lingkungan Universitas Nusa Nipa. Masing-masing gedung diambil dua ruang kelas, dengan perbedaan dalam ukuran luasan ruang, orientasi bangunan, arah ruang, bentuk ruang, material, keberadaan vegetasi sekitar, dan level lantai. Dari perbandingan diatas dipilih enam ruang kelas yang berbeda yaitu:

Tabel. 1. Kondisi Ruang Kelas sebagai Obyek Peneliti

No.	Nama ruang kelas	Nama Gedung	Orientasi gedung	Arah ruang	Bentuk ruang	Material	Vegetasi sekitar	Level lantai	Jenis bukaan Jendela
1.	T.1.3	Fakultas Teknik	Timur Laut-Barat Daya	Timur Laut-Barat Daya	Persegi panjang	Beton bertulang	Tidak Ada Vegetasi	Lt.1	Jendela Swing/Ayun (engsel atas)
2.	T.1.5	Fakultas Teknik	Timur Laut-Barat Daya	Timur Laut-Barat Daya	Persegi panjang	Beton bertulang	Tidak Ada Vegetasi	Lt.1	Jendela Swing/Ayun (engsel atas)
3.	S.II.4	Sapientia	Utara-Selatan	Utara-Selatan	Persegi panjang	Beton bertulang	Tidak Ada Vegetasi	Lt.2	Jendela Swing/Ayun (engsel atas)
4.	S.II.3	Sapientia	Utara-Selatan	Utara-Selatan	Persegi panjang	Beton bertulang	Tidak Ada Vegetasi	Lt.2	Jendela Swing/Ayun (engsel atas)
5.	NC.6	Nawacita	Timur Laut-Barat Daya	Timur Laut-Barat Daya	Persegi panjang	Beton bertulang	Ada Vegetasi	Lt.1	Jendela Swing/Ayun (engsel atas)
6.	NC.3	Nawacita	Timur Laut-Barat Daya	Timur Laut-Barat Daya	Persegi panjang	Beton bertulang	Ada Vegetasi	Lt.1	Jendela Swing/Ayun (engsel atas)

▪ **Persiapan Instrument Penelitian dan Pengumpulan Data :**

Pada tahap ini, semua alat instrument disiapkan, dan diatur sesuai dengan kondisi lingkungan kampus. Software dari alat ukur diinstal agar mudah dalam menginput data hasil ukur ke dalam program. Instrument yang digunakan yaitu : Elitech Rc-4Hc Lcd Digital Temperature Humidity Data Logger, Verliant Heat Stress WGBT dan Anemometer dengan Teknolgi Thermal menggunakan sensor baling-baling yang mengubah putaran baling-baling menjadi kecepatan angin. Ketiga alat ini dipasang pada sisi dalam ruang kelas (dibagian tengah ruang) dan pada sisi luar ruang kelas (dengan melihat arah datangnya angin).



Gambar 1. Elitech Digital Temperature yang dipasang pada Interior dan Eksterior Ruang Kelas



Gambar 2. Verliant Heat Stress WGBT yang dipasang pada interior dan eksterior Ruang Kelas



Gambar 3. Anemometer yang dipasang pada Interior dan Eksterior Ruang Kelas.

Setelah instrument penelitian mencatat data di lapangan, kemudian data-data yang ada diinput ke dalam program instrument yang digunakan.

▪ **Analisis Data :**

Pada proses ini data dari instrumen dimasukkan ke dalam program didapat hasil rata-rata dari keenam ruang kelas yang dijadikan obyek penelitian didapat :

- Iklim yang diambil adalah iklim Maumere;
- Arah bangunan disesuaikan dengan letak real arah mata angin;
- Kecepatan angin rata-rata adalah 3 m/s;
- Suhu udara maksimal di dalam ruang kelas dari keenam kelas yaitu 30°C;
- Suhu udara maksimal di luar ruang kelas dari keenam kelas yaitu 32°C

Untuk mengukur kecepatan aliran angin menggunakan simulasi CFD analysis menggunakan WInAir4 (CFD) dari Ecotect.



Gambar 4. Proses Identifikasi Data (Input Data) ke dalam Simulasi WinAir4 (CFD) dari Ecotect.

Dari data yang ada, diambil perbandingan pada tiap kelas dengan memasukan beberapa variable perbandingan yang dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel. 2. Perbandingan Ruang Kelas

Kelas	Ukuran Jendela	Simulasi	Ukuran Kelas
Fak.Teknik T.1.3	2.14 x 1.15 m (4 buah)	TANPA KACA	4.38 x 11.55 m
Fak.Teknik T.1.5	2.14 x 1.15 m (2 buah)	MENGGUNAKAN KACA (berarti posisi tertutup) + bangunan sekitar	4.38 x 5.86 m
Sapientia II.13	1.05 x 1,34 m (3 buah)	MENGGUNAKAN KACA(berarti posisi tertutup)	6.44 x 10.61 m (DILANTAI 2)
Sapientia II.14	1.05 x 1,34 m (2 buah)	TANPA KACA + tanpa bangunan sekitar	6.44 x 7.03 m (DILANTAI 2)
Nawacita 6	0.48 x 1.18 m (23 buah)	TANPA KACA + tanpa bangunan sekitar	6.40 x 10.5 m
Nawacita 3	0.48 x 1.18 m (13 buah)	DENGAN KACA (berarti posisi tertutup)	6.40 x 14 m

Menurut ASHRAE (*American society of heating, refrigerating and air conditioning engineers*, 1989), kenyamanan termal merupakan kondisi dimana seseorang merasa nyaman dengan keadaan temperature lingkungannya, yang apabila digambarkan dalam konteks sensasi dimana seseorang tidak merasakan temperatur udara terlalu panas maupun terlalu dingin. Faktor-faktor kenyamanan termal menurut ASHRAE di penagruhi oleh faktor lingkungan dan manusia, antara lain :

- Temperatur Udara, temperatur udara merupakan factor utama dari kenyamanan termal walaupun hal ini tergantung pada ciri perasaan subjektif dan kenyamanan berperilaku. Standar kenyamanan termal untuk kategori hangat nyaman menurut SNI 03-6572-2001 adalah 25,8 OC – 27,1 OC.
- Kelembaban udara, kelembaban udara relatif untuk daerah tropis menurut SNI 03-6572- 2001 adalah sekitar 40% - 50%. Untuk ruangan yang memiliki kapasitas padat seperti ruang pertemuan, kelembaban udara relatif yang dianjurkan adalah antara 55%-60%.
- Kecepatan Angin, kecepatan udara yang baik menurut SNI 03-6572-2001 0,25 m/s. Kecepatan udara tersebut dapat dibuat lebih besar dari 0,25 m/s tergantung dari kondisi temperature udara kering dalam ruang..
- Temperatur radiant, radiasi matahari mempunyai pengaruh yang besar terhadap sensasi termal.
- Insulasi pakaian, jenis dan bahan pakaian yang digunakan oleh individu dapat berpengaruh terhadap kenyamanan termal. Manusia dapat memilih dan menentukan jenis pakaian yang dikenakan sesuai kondisi lingkungan sekitar.
- Aktivitas, segala aktivitas yang dilakukan manusia akan memberikan pengaruh terhadap peningkatan metabolisme tubuh.

Dari hasil pengukuran data di lapangan, dipakai untuk mencari standar kenyamanan termal. Untuk menentukan standar kenyamanan termal menurut ASHRAE digunakan metode PMV (Predicted Mean Vote) dalam CBE (Center for the Build Environment).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

▪ Tinjauan Kenyamanan Termal

Sensasi dan kenyamanan termal yang diprediksi menggunakan Model PMV (*Predicted Mean Vote*), dengan memasukan faktor-faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal yaitu : faktor lingkungan (Suhu,

kelembaban udara, kecepatan angin, suhu radiasi) dan faktor manusia (jenis pakaian dan aktivitas). PMV merupakan index yang mengindikasikan sensasi dingin (*cold*) dan hangat (*warmth*) yang dirasakan oleh manusia pada skala +3 sampai -3. Dari skala PMV (*Predicted Mean Vote*) ditentukan untuk menemukan permasalahan dari sensasi yang dirasakan dari segi bangunan dan bagaimana rekomendasi desain yang baik, agar ruang kelas dapat memberikan kenyamanan termal bagi pengguna ruang. Dilihat dari table perbandingan data lapangan (Lihat Tabel 2), didapatkan hasil evaluasi PMV mengenai kenyamanan termal dengan melihat skala ASHRAE yang terdapat pada CBE (*Center for the Built Environment*), yaitu :



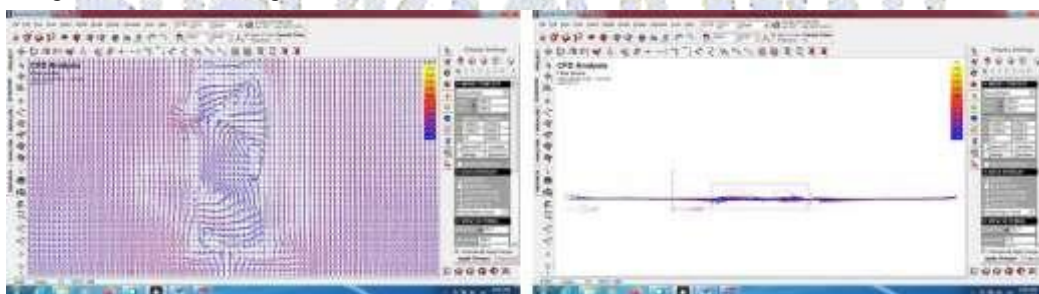
Gambar 5. Data Hasil Kenyamanan Termal dengan Menggunakan Indeks PMV (*Predicted Mean Vote*)

Data diatas menunjukkan temperature suhu rata-rata terpanas dalam ruang adalah 30°C, dengan kecepatan angin 0,1 m/s, aktifitas duduk (aktifitas umum yang dilakukan di dalam ruang kelas) dengan standar 70 %, dan pakaian yang dikenakan adalah baju kemeja, celana panjang, sepatu dan kaus kaki dengan level 0,57. Kesimpulan dari gambar diatas hasil yang didapatkan dengan memasukan data ukur lapangan, adalah bahwa ruang kelas yang menjadi obyek penelitian jauh dari standar kenyamanan termal menurut ASHRAE, titik merah yang jauh dari garis biru, dengan hasil PMV 1.78, dari skala termasuk dalam kategori *Warm*. Hal ini menunjukkan bahwa ruang kelas yang digunakan untuk aktifitas kuliah yaitu ruang kelas fakultas Teknik, Gedung Nawacita dan Gedung Sapientia, jauh dari standar kenyamanan termal.

▪ **Tinjauan Aliran Udara di Dalam Kelas**

Untuk mengetahui pergerakan angin di dalam ruang kelas, digunakan simulasi CFD analysis menggunakan WInAir4 (CFD) dari Ecotect pada ruang kelas disesuaikan dengan keadaan di lapangan untuk memberikan perbandingan pada Jenis bukaan; Arah hadap (orientasi); dan Bangunan sekitar. Dengan memasukan data pengukuran di lapangan ke dalam simulasi WInAir4 (CFD) dari Ecotect didapatkan hasil kecepatan dan aliran udara di dalam ruang kelas sebagai berikut :

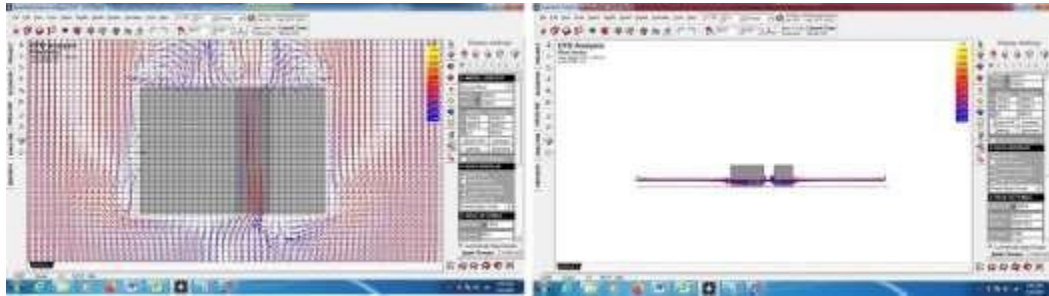
- 1) Ruang kelas T.13 (Gedung Fakultas Teknik)



Gambar 6. Hasil Simulasi CFD Aliran Udara Ruang Kelas T.13

- Dari gambar diatas didapat bahwa aliran udara masuk ke dalam ruangan. Bukaan berfungsi dengan baik apabila tidak ada kaca, kondisi bukaan 100% di buka (tanpa kaca).

- Udara panas yang ditunjukkan dengan panah berwarna merah yang masuk pada bagian barat (kiri) dibandingkan dengan sebelah kanan. Jadi apabila ada mahasiswa yang duduk di sebelah kanan ruang akan merasa lebih baik (nyaman) dibandingkan dengan mahasiswa yg duduk di sebelah kiri (walaupun terdapat angin yang masuk, tetapi merupakan angin panas)
- 2) Ruang kelas T.15 (Gedung Fakultas Teknik)



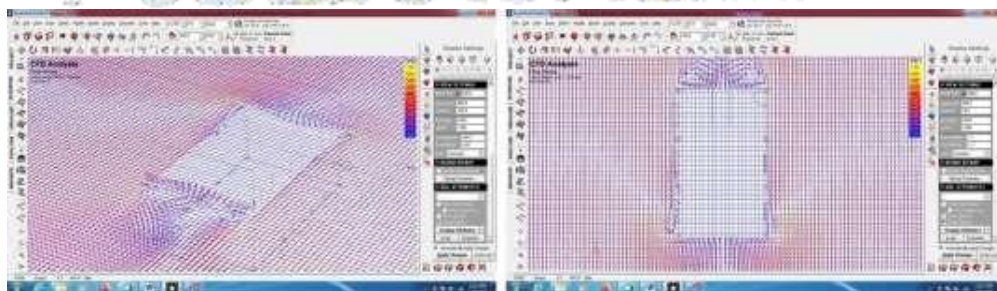
Gambar 7. Hasil Simulasi CFD Aliran Udara Ruang Kelas T.15

- Berdasarkan hasil simulasi aliran angin tidak dapat masuk ke dalam bangunan walaupun adanya bukaan pada bagian barat kelas;
 - Ketinggian maupun dimensi tidak mempengaruhi aliran untuk dapat masuk ke dalam bangunan, namun aliran angin dapat masuk pada selasar (dikondisikan pintu terbuka) dari arah selatan;
 - Gambar bawah menunjukkan aliran angin yang terjadi pada ketinggian 600 dr lantai (sesuai dengan ketinggian jendelanya), sehingga bisa dipastikan karena tidak ada angin yang masuk, maka akan terasa sumpek apabila tidak mendapat bantuan dari penghawaan buatan seperti AC atau kipas angin.
- 3) Ruang kelas SS II.14 (Gedung Sapiensia)



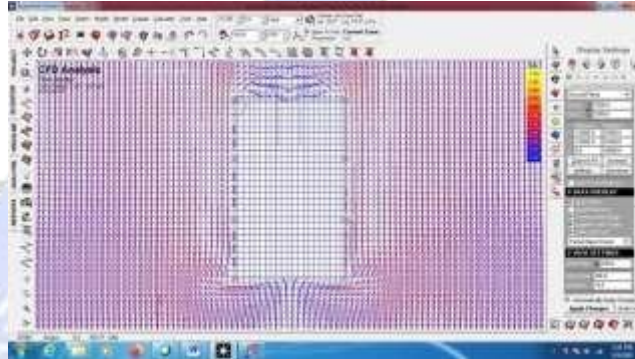
Gambar 8. Hasil Simulasi CFD Aliran Udara Ruang Sapiensia II.14

- Untuk ruang kelas di gedung Sapiensia, berbeda dengan keempat ruang kelas yang lain karena berada di lantai 2. Dan kondisi ruang kelas SS.II 14 berbeda dengan ruang kelas SS.II 13, dengan ukuran kelas yang lebih kecil dan jumlah bukaan yang sedikit.
 - Dikondisikan bangunan tidak disertakan bangunan lain yang berlantai 1. Dari hasil dapat dilihat terdapat aliran udara yang masuk, namun langsung keluar dan tidak terperangkap di tengah ruang. Hal ini dikarenakan faktor aliran angin yang datang bersifat kencang dan tidak terdapat bangunan yang selevel, sehingga terdapat benturan udara di area Selatan dan Utara dari ruang kelas.
 - Di bagian Utara, adanya aliran udara masuk, melalui getaran udara kemudian merambat ke material kaca jendela, sehingga terjadi getaran di jendela kaca menimbulkan bunyi seperti jendela diketuk.
- 4) Ruang kelas SS II.13 (Gedung Sapiensia)



Gambar 9. Hasil Simulasi CFD Aliran Udara Ruang Sapiensia II.13

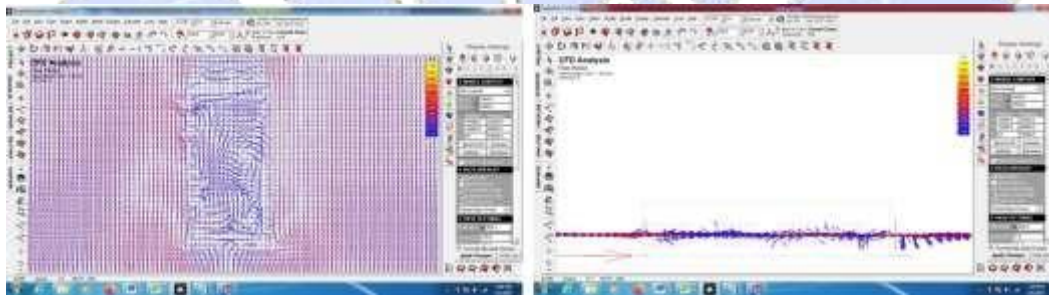
- Berdasarkan gambar simulasi hasil yang tidak jauh berbeda dengan ruang kelas Sapientia II.14, dimana aliran angin hanya menabrak jendela tetapi tidak masuk ke dalam ruang kelas. Hal ini dipengaruhi oleh letak dari bukaan itu sendiri yang seharusnya berada di sebelah Selatan dan Utara bukan di Timur dan Barat
- 5) Ruang kelas NC.3 (Gedung Nawacita)



Gambar 10. Hasil Simulasi CFD Aliran Udara Ruang Nawacita 3.

- Berdasarkan gambar simulasi, aliran udara yang tidak dapat masuk ke dalam ruang kelas, karena dikondisikan jendela menggunakan kaca (berarti dalam posisi tertutup), selalu udaranya tidak dapat masuk karena memang udaranya dari Selatan ke Utara, sehingga otomatis harus menggunakan AC.
- Sebaiknya letak jendela itu berada di sebelah Selatan-Utara, karena pada sisi ini aliran angin lebih berpengaruh. Hal ini menunjukkan bahwa yang menentukan adalah letak bukaan bukan ukuran ataupun model bukaan.

- 6) Ruang kelas NC.6 (Gedung Nawacita)



Gambar 11. Hasil Simulasi CFD Aliran Udara Ruang Nawacita 6.

- Ruang kelas NC.6 mempunyai dimensi ukuran yang paling besar dibandingkan kelas yang lain. Aliran angin yang mengalir dari Selatan ke Utara yang dapat masuk ke dalam kelas, menyebar ke area tengah kelas.
- Berdasarkan gambar diatas, model jendela dijadikan bukaan tanpa kaca sebagai bahan perbandingan sehingga udara tetap dapat masuk (seperti pada gambar), dimana tidak terdapat bangunan sekitar.
- Dilihat dari gambar simulasi, area ruang yang lebih panas berada di sisi sebelah Timur (pada gambar sisi Timur adalah bagian kiri), aliran udaranya berwarna agak kemerahan dibandingkan yang sebelah kanan, sehingga dapat dikatakan jika ada aktifitas perkuliahan pada siang hari, maka mahasiswa yang duduk di sisi sebelah kiri kelas, akan merasa lebih panas ketimbang disebelah kanan.

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisa keenam ruang kelas yang dijadikan obyek penelitian, dapat disimpulkan bahwa penekanan desain passive cooling dipengaruhi oleh faktor :

- 1) Orientasi bukaan;

- Perletakan dan orientasi bukaan inlet tidak hanya mempengaruhi kecepatan udara, tetapi juga pola aliran udara dalam ruangan, sedangkan lokasi outlet hanya memiliki pengaruh kecil dalam kecepatan dan pola aliran udara. Perletakan bukaan udara yang berada di sisi berlawanan dengan elevasi berbeda, akan menciptakan pola aliran udara yang bergerak dari inlet ke outlet. Orientasi inlet yang mengarah ke potensi arah datang angin akan mempengaruhi kecepatan udara untuk mencapai

- kenyamanan termal di dalam bangunan.
- Dengan melihat kondisi iklim di wilayah beriklim kering khususnya di Maumere, arah datang angin dari arah Selatan ke Utara, maka diharapkan kedepannya dalam mendesain ruang kelas yang nyaman perlu memperhatikan penempatan bukaan yang berorientasi pada arah Selatan, atau pada arah datangnya angin, jika lingkungan tersebut memiliki banyak gedung di sekitar.
 - Bangunan sekitar dapat memantulkan, menghalangi, mengarahkan, dan mengurangi atau menambah kecepatan aliran udara. Besar kecilnya pengaruh bangunan terhadap aliran udara bergantung kepada tinggi, lebar, panjang, dan bentuk bangunan tersebut. Permukaan material berwarna gelap akan menyerap radiasi panas matahari lebih cepat, sehingga panas mudah masuk dan menyebabkan suhu ruangan naik.
- 2) Model bukaan;
- Gerakan udara di dalam ruang kelas memberikan potensi untuk mencapai kenyamanan termal. Pergerakan angin yang masuk dan terjebak di dalam ruang membantu menurunkan suhu, secara teori maka diperlukan tipe inlet sebagai berikut :
 - Tipe inlet harus dapat mengarahkan gerak udara dalam ruang semaksimal mungkin ;
 - Tipe inlet harus optimal dalam mendukung laju udara (air flow) dan pergantian udara dalam ruang
 - Tipe inlet harus fleksibel untuk dibuka tutup sesuai kebutuhan.
 - Dengan melihat kondisi eksisting ruang kelas yang menjadi obyek penelitian, maka model bukaan yang ideal adalah model jendela Swing / ayun (Engsel atas) dan model jendela Sliding / geser, jika kondisi ruang tidak memungkinkan untuk menggunakan model jendela Swing / ayun (Engsel atas).
- 3) Dimensi bukaan;
- Bukaan bangunan sangat berpengaruh terhadap upaya pemanfaatan angin dalam pengkondisian ruangan.
 - Ukuran bukaan dapat disesuaikan dengan kebutuhan aliran angin. Kecepatan angin yang memasuki ruangan dipengaruhi oleh perbandingan luas inlet dan outlet.
 - Ketika inlet lebih besar dari pada outlet, maka kecepatan udara di dalam ruangan akan lebih rendah dari pada di luar. Ketika inlet lebih kecil dari outlet, maka kecepatan udara di dalam ruangan akan lebih tinggi dari pada di luar.
 - Semakin besar perbandingan luas outlet terhadap luas inlet, maka akan menciptakan kecepatan angin yang lebih tinggi, yang juga menghasilkan penyejukan lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arifah, Anisa Budiani, Muhammad Satya Adhitama, and Agung Murti Nugroho. 2017. *Pengaruh Bukaan Terhadap Kenyamanan Termal Pada Ruang Hunian Rumah Susun Aparna Surabaya*. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Arsitektur Universitas Brawijaya*, vol. 5, no. 4.
- [2] Mangunwijaya, 1980, *Pasal-Pasal Fisika Bangunan*, Gramedia, Jakarta.
- [3] Novan H. Toisi, John W. Kussoy. *Pengaruh Luas Bukaan Ventilasi Terhadap Penghawaan Alami Dan Kenyamanan Thermal Pada Rumah Tinggal Hasil Modifikasi Dari Rumah Tradisional Minahasa*, *Jurnal Arsitektur DASENG Universitas Sam Ratulangi Manado*, Vo.1, No.1.
- [4] Sahabuddin, Baharuddin Hamzah, dan Ihsan, 2014, *Pengaliran Udara Untuk Kenyamanan Termal Ruang Kelas Dengan Metode Simulasi Computational Fluid Dynamics*, Program Studi Arsitektur, Universitas Muhammadiyah Surakarta Sinektika, Vol.14 No.2, 209-216,
- [5] Satwiko, Prasasto, 2004, *Fisika Bangunan 1*, Andi Offset, Yogyakarta.
- [6] Szokolay, S.V, 1973, *Manual of Tropical Housing and Building*, Orient Longman, India.