

PENGHAWAAN ALAMI UNTUK KENYAMANAN TERMAL PADA KASUS BANGUNAN GOR BAMBU RUNCING DI TEMANGGUNG

Fitria Hasna Syafira¹, Etik Mufida², Meizzhan Hady³

¹Mahasiswa Jurusan Arsitektur, Universitas Islam Indonesia

¹Surel: 19512114@students.uii.ac.id

ABSTRAK: *Penghawaan alami pada ruang olahraga sangat penting diterapkan karena dapat mempengaruhi kenyamanan termal bagi pengguna ruang. Tujuan utama dari penelitian ini untuk mengetahui penerapan sistem penghawaan alami, faktor-faktor yang mempengaruhi penghawaan alami, dan pola pergerakan angin serta kecepatan angin dalam penghawaan alami untuk kenyamanan termal ruang pada bangunan. Metode analisis menggunakan studi literatur dan simulasi dengan software CFD. Hasil dari penelitian yakni penerapan sistem penghawaan dapat dengan cross ventilation maupun stack effect ventilation agar terjadi pertukaran udara dalam ruang. Faktor-faktor yang mempengaruhi penghawaan adalah bukaan pada bangunan sebagai jalur keluar dan masuk angin. Pola pergerakan udara dan kecepatan angin akan berpengaruh terhadap keberhasilan penghawaan alami untuk kenyamanan termal. Rekomendasi yang dapat diterapkan yakni mengarahkan pola pergerakan agar dapat mengenai tubuh pengguna bangunan GOR.*

Kata kunci: Penghawaan alami, kenyamanan termal, GOR

PENDAHULUAN

Olahraga merupakan salah satu kebutuhan pokok bagi manusia pada saat ini, karena dapat membuat tubuh lebih sehat dan fisik yang lebih bugar. Olahraga dapat dilakukan di dalam maupun luar bangunan. Selain memiliki manfaat bagi kesehatan, kegemaran masyarakat terhadap aktivitas olahraga juga dapat menciptakan adanya event-event olahraga yang membutuhkan sarana dan prasarana salah satunya adanya gedung olahraga. Menurut Ishak (2013), bangunan menjadi identitas dari arsitektur dan terjaga keberlanjutannya dengan terujinya faktor lingkungan atau iklim, salah satunya dengan pemakaian energi yang efisien atau hemat energi.

Kenyamanan merupakan hal utama yang harus diperhatikan bagi pengguna ruang, terutama kenyamanan pada pengguna bangunan GOR yang melakukan aktivitas berat yakni olahraga seperti basket, voli, senam, dan lain-lain. Salah satu kenyamanan yang harus dipenuhi yakni kenyamanan termal. Menurut Sarinda et al. (2017), manusia pasti akan berupaya mencari kondisi yang nyaman pada suatu lingkungan. Terutama pada zaman sekarang, 90% manusia akan menghabiskan waktunya di gedung atau dalam ruangan, sehingga suhu ruang, pergerakan udara, dan kecepatan angin sangat penting dalam kondisi nyaman. Ketika suhu ruang meningkat serta pergerakan udara dan kecepatan angin tidak efektif, maka kenyamanan pengguna dapat terganggu sehingga berpengaruh terhadap aktivitas yang dilakukan. Meningkatnya suhu ruang dapat disebabkan karena beberapa hal, seperti masuknya radiasi matahari ke dalam ruang yang merambat melalui selubung bangunan maupun bukaan pada bangunan, perubahan iklim yang menyebabkan pemanasan global, kurangnya penghawaan yang masuk ke dalam ruang, dan lain sebagainya. Dalam hal ini maka kenyamanan termal dalam ruang dapat dicapai salah satunya dengan udara yang masuk ke dalam ruangan melalui penghawaan alami. Penghawaan alami sangat efisien di terapkan pada bangunan karena dapat menghemat penggunaan penghawaan buatan seperti AC sehingga kesehatan pengguna juga lebih baik dibandingkan dengan kesehatan pengguna pada bangunan dengan menggunakan penghawaan buatan secara terus menerus.

Penghawaan atau ventilasi dapat didefinisikan sebagai jalur yang digunakan untuk keluar dan masuknya udara atau pertukaran udara melalui celah-celah bukaan pada

bangunan. Ventilasi pada bangunan harus dirancang dengan baik agar dapat mengalirkan udara pada ruang dengan efektif sehingga pengguna ruang dapat merasa nyaman. Besar bukaan dan letak bukaan harus dapat menangkap angin agar dapat masuk ke dalam ruangan. Udara panas di dalam bangunan juga harus dikeluarkan melalui bukaan pada outlet.

Menurut ASHRAE (1989), kenyamanan termal merupakan kondisi ketika seseorang dapat merasa nyaman pada kondisi suhu tertentu dan tidak merasa panas maupun tidak merasa dingin. Menurut Soegijanto (1999) dalam Betariah (2017), pengendalian terhadap perubahan iklim dapat digunakan untuk memenuhi kenyamanan termal salah satunya dengan pengendalian pergerakan udara untuk ventilasi dan pertukaran udara dalam ruang. Adanya pergerakan udara yang cukup dapat mencapai nyaman walaupun suhu maupun kelembaban dalam ruang tinggi, serta dapat mendinginkan ruang dan melepaskan panas dari permukaan kulit melalui penguapan.

Pada penelitian ini, penulis menggunakan kasus pada bangunan GOR Bambu Runcing Temanggung yang memiliki masalah pada sistem penghawaan alami dikarenakan kecilnya bukaan ventilasi serta orientasi bukaan tidak mengarah pada arah datangnya angin sehingga menyebabkan ruangan olahraga menjadi panas dan pengap. Hal ini tentu tidak nyaman digunakan untuk pengguna ruang dengan aktivitas olahraga.

Adapun tujuan utama dari penulisan ini untuk mengetahui penerapan sistem penghawaan alami, faktor-faktor yang mempengaruhi penghawaan alami, dan pola pergerakan angin serta kecepatan angin dalam penghawaan alami untuk kenyamanan termal ruang pada bangunan.

STUDI PUSTAKA

Kenyamanan Termal

Kenyamanan merupakan sasaran utama pada bidang arsitektur. Kenyamanan sangat penting karena akan mempengaruhi aktivitas penggunanya. Menurut Rilatupa (2008), kenyamanan dapat dibagi menjadi 2 yakni secara psikis dan secara fisik. Sedangkan kenyamanan termal adalah suatu kondisi yang memberikan kesan memuaskan bagi penggunanya sehingga pengguna tidak menyatakan apakah menghendaki perubahan suhu yang lebih panas atau malah dingin pada ruangan.

Berdasarkan Samsuddin, et al. (2017), kenyamanan termal dapat dicapai dengan aliran udara yang baik dan cukup, mampu membawa udara panas ke luar bangunan, mampu mengurangi perolehan panas, dan dapat mencegah radiasi langsung maupun dari permukaan dalam.

Berdasarkan Mufida (2020), pada PPT perkuliahan “Faktor Kenyamanan Termal”, dijelaskan bahwa terdapat 6 faktor yang memengaruhi kenyamanan termal, yakni sebagai berikut:

a. Temperatur Udara

Merupakan ukuran derajat panas atau dingin udara di atmosfer. Temperatur udara disebut juga DBT (*Dry Bulb Temperature*) yang memengaruhi panas yang dilepas dan diterima dengan cara konveksi.

b. Temperatur Radiasi (T_{mrt})

Benda panas atau dingin dapat memengaruhi persepsi temperatur karena benda tersebut dapat memancarkan maupun menyerap energi radian yang mengaktifkan organ sensori walaupun tidak ada kontak dengan tubuh. MRT merupakan temperatur rata-rata pada permukaan benda melingkupi ruang perluasan area permukaan. T_{mrt} merupakan suhu rata-rata permukaan selubung bangunan. Tubuh manusia sangat responsif terhadap MRT karena secara fisiologis, kulit tubuh mempunyai absorptivitas dan emissivitas yang tinggi (0,99).

c. Kelembaban Relatif (RH)

Kelembaban relatif adalah ratio antar kelembaban absolut dengan titik jenuh, dan dinyatakan dalam persen (%) karena kelembaban berkenaan dengan kandungan uap air dalam volume udara hangat. Jumlah uap air pada udara ditunjukkan dengan kelembaban absolut. Titik jenuh menunjuk pada jumlah uap air maksimal. Kelembaban relatif akan memengaruhi evaporasi (penguapan) keringat. Namun di tropis lembab, keringat tidak mudah menguap karena tekanan air sangat rendah. Kenyamanan termal dapat tercapai pada kondisi lingkungan dan kelembaban yang tinggi bila ada aliran udara.

d. Kecepatan Angin (V_a)

Angin yang diam dalam ruangan dapat menyebabkan ruangan menjadi sesak dan panas, namun jika kecepatan angin tinggi, juga dianggap sebagai '*draughty*'. Pada panas lembab, aliran udara dapat meningkatkan pelepasan panas tubuh.

e. Aktivitas

f. Pakaian

Promote Heat Loss dan *Resist Heat Gain* menjadi aspek dalam kenyamanan termal. *Promote Heat Loss* merupakan strategi mendorong pelepasan panas dari dalam ruang dan tubuh manusia untuk keluar bangunan. Strategi yang dapat dilakukan yakni dengan merancang bukaan-bukaan ventilasi maupun jendela untuk pertukaran udara. Sedangkan *Resist Heat Gain* yaitu strategi untuk menghindari perolehan panas ke dalam bangunan. Strategi ini dapat dilakukan menerapkan material-material yang dapat menahan radiasi misalnya batu, beton, kayu, dll. Material pelapis atap juga dapat diterapkan untuk menghindari panas matahari karena atap menjadi selubung bangunan utama yang banyak terpapar panas matahari. Konsep green building dengan memanfaatkan tanaman pada bangunan juga dapat dilakukan.

Penghawaan Alami

Menurut Sudiarta (2016), penghawaan alami didefinisikan sebagai proses pertukaran udara dalam bangunan melalui elemen-elemen bangunan yang terbuka. Dengan penghawaan alami maka suatu ruangan dapat mencapai kenyamanan termal bagi penggunanya karena aliran udara yang masuk dapat mempercepat proses penguapan pada permukaan kulit pengguna ruang sehingga memberikan rasa sejuk.

Berdasarkan SNI 03-0572-2001, ventilasi adalah proses untuk memasukkan udara segar masuk ke dalam bangunan. Sedangkan ventilasi alami dapat terjadi karena adanya perbedaan tekanan udara di luar bangunan yang menyebabkan adanya perbedaan temperatur, sehingga gas-gas panas naik ke atap. Maka ventilasi alami harus dibuat secara permanen dengan adanya jendela, pintu, atau sarana bukaan lainnya.

Salah satu iklim yang berpengaruh yakni angin dan udara. Angin merupakan udara yang bergerak. Menurut Widyanto (2018), angin bergerak secara vertikal maupun horizontal dengan kecepatan yang bervariasi. Bergeraknya massa udara terjadi karena adanya faktor pendorong yakni perbedaan tekanan udara antara satu tempat dengan tempat lain. Angin akan bergerak dari tempat dengan tekanan udara tinggi ke tempat dengan tekanan udara rendah. Menurut Oktora (2008), udara adalah campuran atau kumpulan gas yang mengandung nitrogen dan oksigen. Oksigen penting untuk kehidupan sehari-hari makhluk hidup.

Menurut Lippsmeier (1997) dalam Rohmah (2018), standar kecepatan angin yang nyaman, antara lain:

- a. 0,25 m/s nyaman tanpa gerakan udara
- b. 0,25-0,5 m/s nyaman dengan gerakan angin
- c. 1-1,5 m/s terjadi aliran udara ringan hingga tidak menyenangkan
- d. >1,5 m/s tidak nyaman.

Namun menurut Givoni (1994) dalam Rohmah (2018), ketika suhu udara luar mencapai 28-32°C, maka kenyamanan dalam ruangan dapat dicapai dengan kecepatan angin antara 1,5-2,0 m/s.

- **Faktor-faktor yang Mempengaruhi Penghawaan Alami Untuk Kenyamanan Termal**

Menurut Marunung (2012) dalam Hardy (2019), faktor-faktor yang memengaruhi penghawaan alami adalah lokasi bangunan, pengaturan bukaan (pintu, ventilasi alami, jendela), penataan ruang, dan vegetasi di luar bangunan.

Menurut Arifah et al. (2017), desain bukaan yang berpengaruh terhadap kenyamanan termal yaitu memperhatikan beberapa faktor sebagai berikut:

- a. Peletakkan dan orientasi bukaan : Peletakkan *inlet* akan berpengaruh terhadap kecepatan angin dan aliran angin dalam ruang.
- b. Lokasi bukaan : harus terjadi *cross ventilation* dengan *inlet* dan *oulet* terdapat perbedaan elevasi sehingga udara dalam ruang dapat bertukar.
- c. Dimensi bukaan : Ukuran *inlet* yang lebih kecil dibandingkan dengan besaran *outlet* akan meningkatkan kecepatan angin dan sebaliknya.
- d. Tipe bukaan : *Inlet* harus dapat mengarahkan udara, mendukung laju dan pergantian udara, dan fleksibel untuk dibuka tutup.
- e. Pengarah bukaan : Pengarah bukaan berpengaruh terhadap pola aliran dalam ruang.

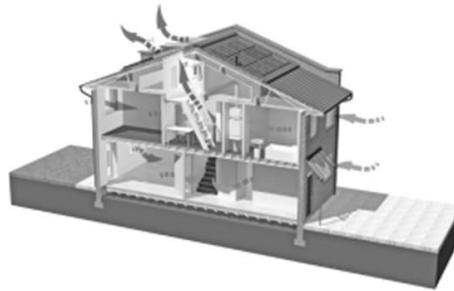
- **Penerapan Sistem Penghawaan Alami untuk Kenyamanan Termal**

Sistem penghawaan alami dengan *cross ventilation* harus dilakukan pada suatu ruang untuk pertukaran udara. *cross ventilation* juga menjadi syarat tata udara dalam bangunan GOR. *cross ventilation* atau ventilasi silang dapat didefinisikan sebagai sistem ventilasi dengan perletakan bukaan yang memiliki fungsi untuk memasukkan udara ke dalam ruang dan mengeluarkan udara panas keluar ruang sehingga bukaan menghadap angin datang (*inlet*) dan berseberangan dengan bukaan menghadap angin keluar (*outlet*) (Rizani, 2007). Pertukaran udara ini bertujuan untuk mengeluarkan udara kotor di dalam ruang yang mengandung karbondioksida hasil dari pernapasan manusia, debu, dll. Udara panas di dalam ruang juga perlu dikeluarkan dan diganti dengan udara bersih yang mengandung oksigen dari luar ruangan melalui *inlet*.

Bukaan pada inlet harus mengarah langsung ke arah datangnya angin agar dapat masukkan angin ke dalam bangunan secara optimal. Bukaan *inlet* dan *outlet* dapat berupa lubang angin dari kisi-kisi, jendela, pintu, maupun susunan roster. Peletakan bukaan pada sistem *cross ventilation* dapat dibedakan menjadi dua yakni posisi diagonal dan posisi berhadapan. Namun, tidak semua bangunan dapat menerapkan posisi bukaan sesuai teknik pada sistem *cross ventilation* ini karena kendala dalam bangunan sekitar, dll.

Alternatif yang dapat digunakan agar tetap dapat mengeluarkan udara panas yakni dengan menempatkan posisi *outlet* di atas tepatnya pada atap bangunan yang disebut juga sistem *stack effect ventilation*. *Stack effect* termasuk dalam ventilasi pasif yang berarti mampu mengeluarkan udara dari dalam ruang ke luar ruangan tanpa bantuan ventilasi mekanis. Berdasarkan Dojayakonstruksi (2018) dalam websitenya, *stack effect* adalah pergerakan udara pada bangunan dengan daya penggerak *bouyancy*. Semakin besar beda suhu udara dan elevasi antar *inlet* dan *outlet* maka penggerak *bouyancy* juga semakin besar *stack effect* terjadi secara optimal untuk mencapai kenyamanan termal pada suatu

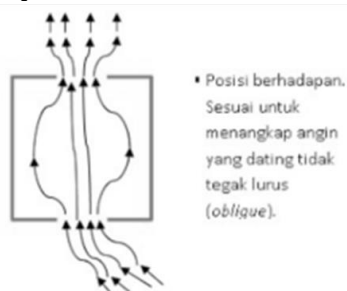
bangunan. *Stack effect* di ruang atap berfungsi untuk mendinginkan suhu udara agar dapat mengurangi atau mencegah peningkatan suhu ruang di bawahnya. Udara hangat akan keluar dari dalam ruang menuju ke luar melalui *outlet* berupa lubang ventilasi di permukaan atap.



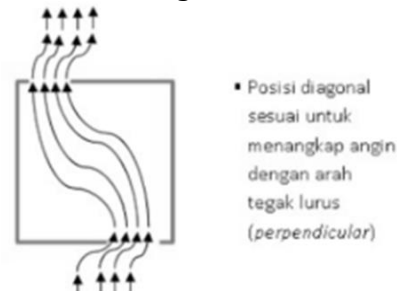
Gambar 1 Prinsip Stack Effect
Sumber: Doajayakonstruksi.wordpress.com

• **Pola Pergerakan Udara pada Penghawaan Alami untuk Kenyamanan Termal**
Menurut Utami et al.(2016), pola pergerakan angin dipengaruhi oleh peletakkan inlet dan outlet, yakni sebagai berikut:

- a. Posisi *inlet* dan *outlet* diletakkan berhadapan jika angin yang datang membentuk sudut atau tidak tegak lurus terhadap *inlet*. Sebaliknya, ketika angin datang tegak lurus terhadap inlet, maka *inlet* dan *outlet* diletakkan secara diagonal.



Gambar 2 Pergerakan Udara Bukaan Berhadapan
Sumber : Latifah (2013)



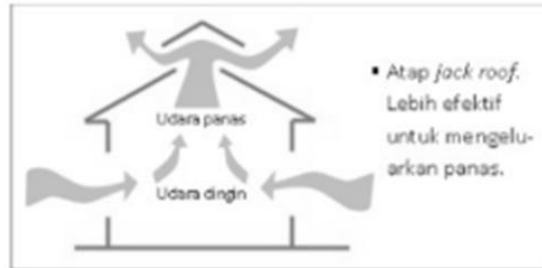
Gambar 3 Pergerakan Udara Bukaan Diagonal
Sumber : Latifah (2013)

- b. *Inlet* dan *outlet* yang diletakkan pada satu bidang, tetap dapat menggerakkan udara masuk dan keluar dengan menambahkan sirip-sirip pada bukaan yang dapat mengarahkan udara untuk masuk atau keluar ruang.



Gambar 4 Pergerakan Udara Bukaan 1 Bidang
Sumber : Latifah (2013)

- c. *Inlet* dan *outlet* lebih baik diletakkan dengan perbedaan elevasi. *Inlet* diletakkan pada ketinggian 0,5-0,8 m dari lantai agar angin dapat terkena tubuh manusia yang melakukan aktivitas. Sedangkan *outlet* berada lebih tinggi karena akan mengeluarkan udara panas yang berada di ruang bagian atas.

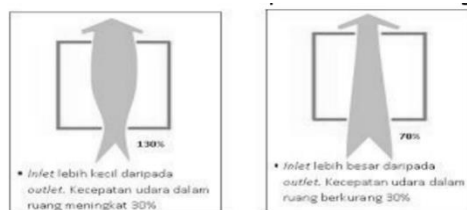


Gambar 5 Pergerakan Udara Bukaan Atas Bawah
Sumber: Latifah (2013)

- **Kecepatan Angin pada Penghawaan Alami untuk Kenyamanan Termal**

Menurut Latifah (2013), kecepatan angin yang dapat mencapai kenyamanan termal di negara Indonesia yang beriklim tropis lembab, membutuhkan kecepatan angin sekitar 0,6 m/s hingga 1,5 m/s.

Menurut Utami et al. (2016), besaran *inlet* dan *outlet* akan memengaruhi kecepatan udara di dalam ruang. Ketika *inlet* lebih kecil, maka kecepatan udara di dalam ruang dapat meningkat.



Gambar 6 Kecepatan Angin
Sumber: Latifah (2013)

Gedung Olahraga

Menurut Palupi (2004), gedung memiliki arti tempat, ruang, wadah, dan tempat berlindung dari cuaca. Sedangkan olahraga diartikan sebagai kegiatan manusia yang digunakan untuk membina potensi, mental, serta kerohanian manusia untuk kebahagiaan dan kesejahteraan manusia.

Sport Hall atau aula olahraga adalah sebuah tempat yang digunakan untuk melakukan aktivitas olahraga tertentu dalam ruangan yang tertutup dengan terdapat sarana dan prasarana yang memenuhi dan dapat memfasilitasi kegiatan olahraga dengan baik. *Sport Hall* harus dirancang dengan baik dan fungsional bagi penggunaannya dan dapat mengidentifikasi diri sebagai sebuah sarana olahraga bagi masyarakat. (Febriansyah, 2011).

Berdasarkan SK SNI-T26-1991-03, Menpora (1994) dalam Rakhmawati et al. (2016), ventilasi alami dan ventilasi buatan dapat digunakan pada gedung olahraga. Syarat tata udara dalam gedung olahraga yaitu luas bukaan minimal 6% dari luas lantai dengan pergerakan ventilasi harus pergerakan ventilasi silang (*Cross Ventilation*). Dijelaskan dalam SNI 03-6572-2001 tentang Tata Cara Perencanaan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara, dikatakan bahwa standar laju udara pada gedung olahraga yakni 1.1 m/s.

METODE

Penulis menggunakan metode pengumpulan data secara kuantitatif dengan survey ke lapangan secara langsung serta melakukan pengukuran data suhu dan kecepatan angin baik di dalam maupun di luar ruang. Pengukuran data menggunakan beberapa aplikasi digital dan alat ukur suhu ruang. Dari data yang dihasilkan, dilakukan metode analisis data dengan mengacu pada beberapa kajian literatur dari jurnal, buku, maupun artikel yang ada di internet. Serta dengan melakukan pengujian menggunakan *CBE thermal comfort chart* dan *software CFD (Computational Fluid Dynamic)* untuk mengetahui pergerakan udara dan kecepatan angin dalam ruang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

- **GOR Bambu Runcing Temanggung**



Gambar 7 Lokasi GOR
Sumber: Peneliti, 2022

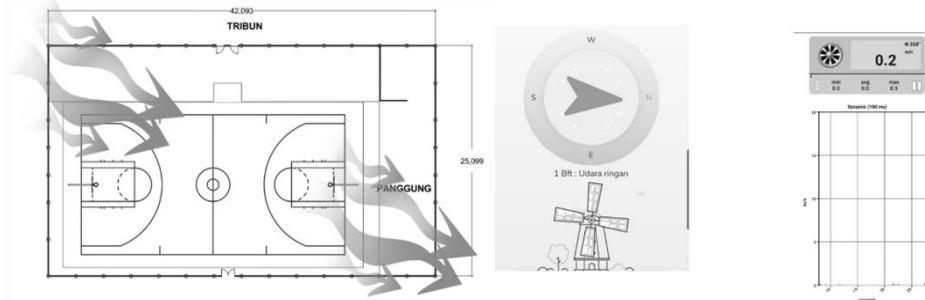
Bangunan GOR Bambu Runcing Temanggung merupakan bangunan olahraga indoor untuk basket, voli, futsal, senam, dll. Bangunan ini berlokasi di Jl. Gerilya, Kowangan, Temanggung, Jawa Tengah. Luas bangunan sekitar 1000 m² dengan ukuran 25x42 m. Lingkungan sekitar GOR yakni terdapat Stadion Bumi Phala yang biasa digunakan untuk perlombaan sepak bola, gedung koni yang biasa digunakan untuk olahraga pencak silat, gedung dan lapangan tenis yang biasa digunakan untuk olahraga tenis dan badminton, serta Taman Kartini yang terdiri dari bioskop mini, taman bermain, area olahraga, dan area kolam renang.

- **Data Pengukuran Bangunan Eksisting Gor Bambu Runcing Temanggung**



Gambar 8 Data Suhu dan Kelembaban Ruang
Sumber: Peneliti, 2022

Didapatkan data suhu ruangan 30,4 derajat Celcius dengan kondisi pintu terbuka serta kelembaban mencapai 64%. Data ini didapatkan menggunakan alat pengukur suhu ruangan.



Gambar 9 Data Kecepatan Angin Ruang
Sumber: Peneliti, 2022

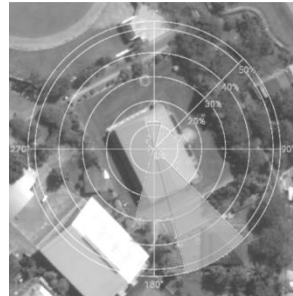
Arah angin di dalam ruangan melaju dari selatan ke arah utara dengan kecepatan angin antara 0,0 m/s hingga 0,2 m/s. Data ini didapatkan menggunakan aplikasi pengukuran "Angin".

Tabel 1 Data Iklim Luar

Jam	Arah Angin	Kec.Angin	Hembusan Angin	Suhu Udara	Kelembaban Relatif	Ukuran Gelombang
13.00	↑	0,9 m/s	2,7 m/s	29,9 °C	64%	1,6 m

Sumber: Aplikasi Windy 2021

Pengukuran yang didapatkan menggunakan aplikasi "Windy" dan alat ukur suhu ruang pada pukul 12.12-13.00 WIB.

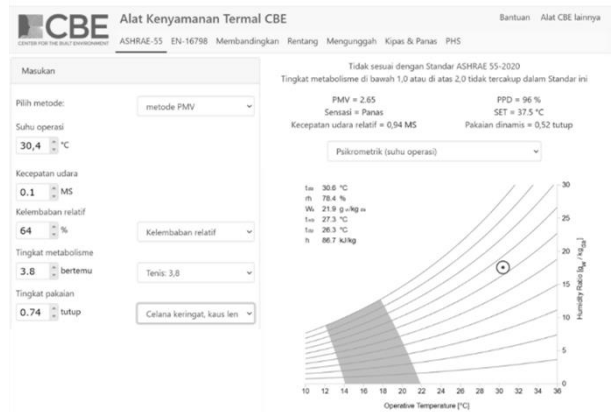


Gambar 10 Windrose
Sumber: globalwindatlas.info (2021)

Pengukuran angin melalui website atlas angin global dengan lokasi pada GOR Bambu Runcing Temanggung, angin berhembus paling kencang dari arah tenggara ke arah barat laut dengan hembusan angin 4,51 m/s. Ukuran kecepatan angin ini menjadi data utama yang dipakai pada simulasi.

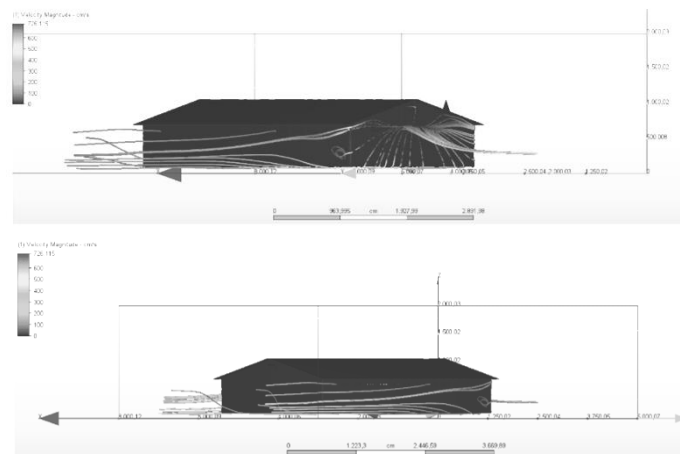
- **Evaluasi Kinerja Ruang Eksisting GOR Bambu Runcing**

Dari hasil pengukuran menggunakan *CBE Thermal Comfort Chart* dengan suhu relatif 30,4°C, kecepatan angin 0,1 m/s, kelembaban 64%, metabolisme 3,8, dan pakaian 0,74 clo tidak sesuai dengan standar dan mengakibatkan sensasi panas di dalam ruang. Hal ini ditunjukkan dengan data titik iklim mikro ruang berada di luar zona nyaman. Maka harus dilakukan perbaikan dan meningkatkan kinerja ruang pada penghawaan alami dengan merancang ulang ventilasi pada bangunan.



Gambar 11 CBE Thermal Comfort Chart
 Sumber: comfort.cbe.berkeley.edu (2021)

Setelah diuji menggunakan *software* CFD, aliran udara yang masuk ke dalam bangunan eksisting kurang baik. Hanya terdapat sedikit ventilasi dengan bukaan sempit pada dinding samping kanan yang merupakan arah datangnya hembusan angin. Adanya ventilasi di bagian dinding belakang GOR juga tidak dapat merespon angin karena tidak dapat menangkap angin yang berhembus. Pada bangunan sebenarnya, ventilasi ini juga tertutup oleh atap sehingga ventilasi tidak bekerja secara maksimal. Hal ini menyebabkan ruang pada GOR Bambu Runcing Temanggung menjadi panas karena sedikitnya aliran udara yang masuk.



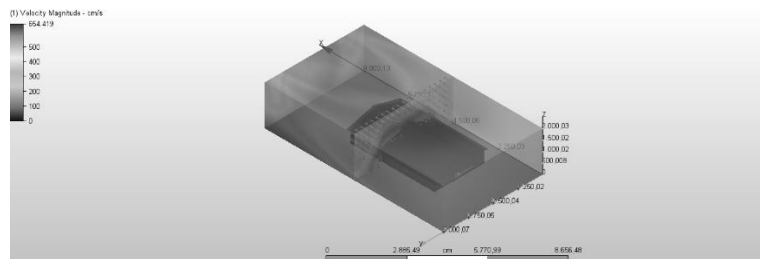
Gambar 12 Simulasi GOR Eksisting
 Sumber: Peneliti, 2022

Dari hasil evaluasi yang didapatkan, peletakkan serta besaran bukaan mempengaruhi kecepatan angin dan pola pergerakan udara di dalam ruang. Pada bangunan eksisting, pola pergerakan udara mengalir pada bagian atas ruang karena peletakkan *inlet* berada di atas sehingga tidak dapat mengenai tubuh pengguna ruang. Pola pergerakan udara tidak dapat bergerak mengenai seluruh ruang karena bukaan tidak menghadap ke arah datangnya angin, sehingga angin yang masuk membentuk sudut. Ketika angin membentuk sudut, maka peletakkan *inlet* dan *outlet* lebih baik sejajar. Namun pada bangunan eksisting peletakkan *inlet* dan *outlet* tidak sejajar karena *outlet* pada bagian depan dan samping kiri bangunan hanya sedikit dengan ukuran yang kecil. Kecepatan angin akan meningkat ketika *inlet* lebih kecil dari pada *outlet*. Angin yang masuk ke bangunan melalui *inlet* pada bagian samping dan belakang bangunan, namun ternyata ukuran *outlet* pada bagian depan dan samping kiri

bangunan lebih kecil dibanding *inlet* sehingga tidak terjadi peningkatan kecepatan angin. Kecepatan angin pada ruang hanya mencapai 0,2 m/s sehingga membutuhkan peningkatan yang tinggi untuk mencapai standar kecepatan angin bangunan olahraga yang mencapai 1,1 m/s.

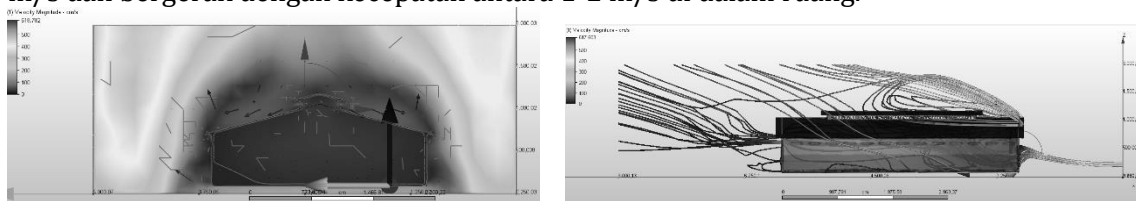
- **Evaluasi Kinerja Penghawaan GOR Bambu Runcing Setelah Perubahan**

Data yang didapat dari windrose menyatakan bahwa angin luar berhembus dengan kecepatan 4,51 m/s dari arah tenggara. Dari hasil simulasi yang dilakukan, dapat dilihat bahwa hembusan angin dari tenggara yang sebelumnya mencapai 4,51 m/s terjadi penurunan hingga menjadi sekitar 2-3 m/s. Hal ini terjadi karena angin menabrak bangunan sehingga berhembus melewati atas bangunan. Hasil pertukaran udara dalam ruang juga memengaruhi karena angin panas dari dalam ruang keluar melalui *outlet*.



Gambar 13 Simulasi GOR setelah Perubahan
Sumber: Peneliti, 2022

Gambar di bawah ini merupakan simulasi arah angin yang terjadi pada bangunan GOR yang menjadi kasus pada penelitian ini dengan menggunakan *software* CFD. Pergerakan angin pada bangunan dengan penerapan *cross ventilation* dan *stack effect ventilation* mengakibatkan udara panas keluar dari dalam ruang dan digantikan dengan udara dingin dari luar bangunan. Udara panas keluar dari outlet yang peletakkannya lebih tinggi dibandingkan *inlet*, karena udara panas berada pada bagian atas ruangan. Udara panas akan keluar melalui *stack effect* karena terdapat perbedaan suhu yakni dengan membuat area atas atap menjadi panas salah satunya dengan mengecat atap warna hitam. Kecepatan angin dalam ruang akan mengalami peningkatan karena *inlet* memiliki ukuran lebih kecil dari pada *outlet*. Angin yang masuk ke dalam ruang melalui *inlet* memiliki kecepatan antara 1-2 m/s dan bergerak dengan kecepatan antara 1-2 m/s di dalam ruang.



Gambar 14 Simulasi Arah Angin GOR setelah Perubahan
Sumber: Peneliti, 2022

Dari hasil evaluasi yang didapatkan, setelah penerapan *cross ventilation* dan *stack effect ventilation* pada bangunan terjadi peningkatan kinerja penghawaan ruang. Pola pergerakan udara akan menyentuh tubuh pengguna ruang karena *inlet* yang berada pada arah datangnya angin diterapkan dengan ketinggian sesuai aktivitas manusia dan menggunakan 3 jenis roster yang dapat mengarahkan angin mengenai tubuh pengguna. Peletakan *inlet* dan *outlet* dengan perbedaan elevasi juga diterapkan untuk mengeluarkan udara panas. Kecepatan angin meningkat karena perbedaan ukuran pada *inlet* dan *outlet*. Dari hasil simulasi, kecepatan angin mencapai 1-2 m/s. Hal ini berarti mencapai standar kecepatan angin pada GOR dengan standar 1,1 m/s dan menurut teori Givoni, kecepatan

angin 1,5-2 m/s nyaman ketika suhu udara di luar ruang antara 28-32°C. Didapatkan pengukuran suhu ruang luar pada halaman GOR Bambu Runcing mencapai 29,9°C.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian secara langsung, GOR Bambu Runcing Temanggung merupakan gedung olahraga yang memiliki permasalahan pada kinerja ruang dalam aspek penghawaan karena kurangnya bukaan dan arah *inlet* yang tidak menghadap langsung ke arah datangnya angin. Kesimpulan lain yang dapat diambil yakni sebagai berikut:

- A. Penghawaan alami akan berpengaruh terhadap kenyamanan termal suatu ruang terutama ruang olahraga. Sehingga ruangan olahraga harus memiliki *inlet* yang dapat menangkap angin dari luar dan mengalirkan udara melewati pengguna ruang untuk *body cooling*.
- B. Penerapan sistem penghawaan silang (*Cross Ventilation*) dan *stack effect ventilation* pada bangunan olahraga dapat digunakan untuk *building cooling* karena dapat mengeluarkan udara panas pada ruang dan memasukkan udara dingin dari luar ke dalam sehingga terjadi pertukaran udara.
- C. Dari hasil simulasi yang dilakukan menggunakan *software* CFD, dapat dilihat bahwa ketika bangunan tidak memiliki bukaan yang cukup dan bukaan tidak mengarah ke datangnya angin, maka pergerakan udara dan kecepatan angin pada ruang tidak maksimal. Namun ketika bangunan GOR ditambah *stack effect ventilation* dan *cross ventilation*, hasil simulasi menunjukkan bahwa angin dapat masuk lebih efisien dengan arah pergerakan udara dan kecepatan angin yang lebih baik.
- D. Hasil evaluasi bangunan eksisting, kinerja bangunan GOR Bambu Runcing tidak nyaman dengan kecepatan angin sebesar 0,2 m/s dan pola pergerakan udara yang tidak efektif. Ketika dilakukan perubahan kecepatan angin mencapai 1-2 m/s dan pola pergerakan udara dalam ruang lebih efektif.
- E. Pergerakan udara dipengaruhi oleh peletakkan bukaan *inlet* dan *outlet* pada bangunan. Sedangkan kecepatan angin akan dipengaruhi oleh ukuran *inlet* dan *outlet*. Ketika *inlet* lebih kecil, maka kecepatan angin akan meningkat.

Saran yang dapat diterapkan terkait penghawaan alami pada ruang olahraga yakni mengarahkan pergerakan udara yang dapat mengenai tubuh pengguna ruang yang sedang melakukan aktivitas olahraga. Karena, ketika orang tengah melakukan aktivitas olahraga, pori-pori kulit membuka dan menghasilkan keringat.

REFERENSI

- Arifah, Anisa Budiani, Muhammad Satya Adhitama, Agung Murti Nugroho. 2017. Pengaruh Bukaan terhadap Kenyamanan Termal pada Ruang Hunian Rumah Susun Aparta Surabaya. 5(4)
- ASHRAE. 2009. Handbook of Fundamental. USA: ASHRAE
- Betariah, Sukma. (2017). Pergerakan Udara dan Kenyamanan Thermal di Gedung Anggar Samarinda. Tesis. Program Magister Arsitektur. Universitas Diponegoro: Semarang
- Dep. Pekerjaan Umum. 2001. Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung. SNI 03-6572-2001
- Dojayakonstruksi. (2018, 6 November). *Kenali Stack Effect dan Manfaatnya pada Bangunan*, diperoleh dari <https://dojayakonstruksi.wordpress.com/2018/11/06/yuk-kenali-stack-effect-dan-manfaatnya-pada-bangunan/>
- Febriansyah. (2011). Sport Hall Ekspresi Struktur. Skripsi. Fakultas Teknik Perencanaan dan Desain. Arsitektur. Universitas Mercu Buana: Jakarta

- Hardy, I Gusti Ngurah Wiras. 2019. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Sistem Penghawaan dan Pencahayaan Rumah Tinggal di Dusun Pucung, Situs Purbakala Sangiran, Jawa Tengah. *Gewang*. 1(1), 2
- Ishak, Fahmi M. 2013. Aplikasi Penghawaan Alami pada Bangunan Beriklim Tropis. *Radial*. 1(1), 20
- Latifah, Nur Laela. 2013. Fisika Bangunan I. Jakarta: Griya Kreasi
- Mufida, Etik. 2020. Faktor Kenyamanan Termal. Dipresentasikan pada mata kuliah Kendali Lingkungan Termal. Universitas Islam Indonesia
- Oktora, Bunga. (2008). Hubungan Antara Kualitas Fisik Udara dalam Ruang (Suhu dan Kelembaban Relatif) dengan Kejadian Sick Building Syndrome (SBS) pada Pegawai Kantor Pusat Perusahaan Jasa Konstruksi X di Jakarta Timur Tahun 2008. Skripsi. Fakultas Kesehatan Masyarakat. Departemen Kesehatan Lingkungan. Universitas Indonesia: Depok
- Palupi, Ani Tyas. (2004). Gedung Olahraga di Bantul. Skripsi. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Arsitektur. Universitas Islam Indonesia: Yogyakarta
- Rakhmawati, F.T., Beta, S., Heru, S. 2016 Analisis Desain Ventilasi Alami dengan Metode Computational Fluid Dynamic Software Ansys Workbench pada Gedung Olahraga.
- Rilatupa, James. 2008. Aspek Kenyamanan Termal pada Pengkondisian Ruangan Dalam, 18(3), 192
- Rizani, Mohammad Debby. 2007. Penghawaan Alami dengan Sistem Cross-Ventilation Pada Rumah Tinggal, 3(1), 12
- Rohmah, Ngafifatur. (2018). Sistem Penghawaan Alami pada GOR Lembu Peteng di Tulungagung. Skripsi. Fakultas Teknik. Arsitektur. Universitas Brawijaya: Malang
- Samsudin, dkk. 2017. Konsep Arsitektur Tropis pada Green Building sebagai Solusi Hemat Biaya (Low Cost). Prosiding Temu Ilmiah IPLBI
- Sarinda, Arlik, Sudarti, Subiki. 2017. Analisis Perubahan Suhu Ruangan Terhadap Kenyamanan Termal di Gedung 3 FKIP Universitas Jember. *Jurnal Pembelajaran Fisika*. 6(3), 306
- Sudiarta, I Nyoman. 2016. Penghawaan Alami. Faculty of Law Arts and Social Sciences. School of education. Universitas Udayana; Indonesia
- Utami, Mamiiek Nur., Muhammad, I., Nurzaman, A. 2016. Penghawaan Alami pada Unit dan Koridor Rusunami the Jarrdin. *Reka Karsa*. 3-4
- Widyanto, Hafidin Bangun. (2018). Sistem Monitoring Kecepatan dan Arah Angin Berbasis Internet of Thing (IOT) Sebagai Peringatan Dini Bencana Alam. Skripsi. Fakultas Teknik. Teknik Elektro. Universitas Brawijaya: Malang