

## **EFEKTIVITAS *ECO-COOLER* DALAM PERBAIKAN KONDISI TERMAL BANGUNAN DENGAN SISTEM PENGHAWAAN ALAMI YANG *SUSTAINABLE* DAN SEHAT**

**(Studi Kasus Aula SMA N 1 Magelang)**

Dwiwangga Sang Nalendra Hadi<sup>1</sup>, Supriyanta<sup>2</sup>, Raditya Alvin Dea Rachmadi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Arsitektur, Universitas Islam Indonesia

<sup>1</sup>Surel: [19512096@students.uui.ac.id](mailto:19512096@students.uui.ac.id)

**ABSTRAK:** *Bangunan Aula SMA N 1 Magelang tertutupi oleh bangunan kelas pada sisi barat dan timurnya sedangkan orientasi bangunan pada utara dan selatan ditutupi oleh dinding yang masif (tidak terdapat bukaan). Selain itu, dalam upaya mencapai kenyamanan termal, ruangan aula seluas 164 m<sup>2</sup> dipasang AC sebanyak empat unit. Terdapatnya potensi angin sebagai salah satu parameter untuk mencapai kenyamanan termal, membuat sistem penghawaan alami perlu ditinjau untuk menggantikan AC dalam perbaikan konsumsi energi bangunan sekaligus membuat bangunan yang sehat. Peneliti melakukan pendekatan dengan eco-cooler yang pernah ditinjau sebagai teknologi berkelanjutan yang mampu memberikan efek penyejukan dengan intervensi berupa kecepatan angin. Sebagai kebaruan, teknologi dicoba diuji dengan konfigurasi ventilasi silang. Metode pengujian menggunakan software Computational Fluid Dynamics (CFD) berupa flowsquare dan autodesk CFD agar didapat hasil yang objektif. Hasil penelitian menunjukkan teknologi eco-cooler yang dipasang pada fasad selatan (sebagai potensi arah angin terbesar) mampu meningkatkan kecepatan angin sehingga kenyamanan termal dapat tercapai. Peneliti merekomendasikan pembuatan bukaan dengan eco-cooler pada fasad selatan dan penggantian fixed glass window pada bangunan existing agar penghawaan alami dapat lebih optimum.*

**Kata kunci:** *eco-cooler, penghawaan alami, teknologi berkelanjutan*

### **PENDAHULUAN**

Berdasarkan data statistik listrik dan energi pada 2011 sebagaimana yang dikutip Gunawan (2012), sekitar 50% dari total konsumsi energi di Indonesia dihabiskan oleh bangunan. Lebih lanjut diuraikan pula sekitar 50% dari konsumsi energi listrik digunakan untuk membuat iklim buatan yang nyaman melalui pemanasan, pendinginan, ventilasi, dan pencahayaan. Konsumsi energi bangunan menghabiskan 25% dari biaya total operasional bangunan (Gunawan, 2012, p. 15). Data tersebut menjadi fakta bahwa konsumsi energi listrik pada suatu bangunan menjadi salah satu faktor yang penting untuk ditinjau dalam mencegah krisis energi kedepannya. Berkaitan dengan konsumsi energi listrik yang dominan digunakan untuk membuat iklim buatan, inovasi teknologi ramah lingkungan dapat menjadi solusi dalam mereduksi penggunaan energi. Penghawaan alami misalnya dapat dijadikan pendekatan dalam menciptakan iklim bangunan yang nyaman, sehat, dan tanpa energi tambahan (Amin, 2018, p. 86).

Penghawaan alami menciptakan aliran udara yang baik pada bangunan sekaligus membantu menurunkan suhu agar ruangan menjadi lebih nyaman. Sistem ini dapat menjadi solusi dalam menyediakan udara segar dan alami untuk menurunkan hawa panas akibat suhu atau iklim di Indonesia (Arifin et al., 2018, p. 68). Selain sebagai solusi untuk mencapai kenyamanan termal, penghawaan alami diperlukan untuk menciptakan bangunan yang sehat, khususnya saat pandemik covid-19.

Pada ruang tertutup, virus SARS-CoV-2 sebagai penyebab covid-19 memiliki risiko penularan yang lebih tinggi, berkaitan dengan paparan partikel pernafasan yang berkepanjangan dan buruknya ventilasi atau saluran udara yang kurang memadai (Park et al., 2021, p. 2). Dalam penelitian Nishiura et al. (2020) menunjukkan bahwa penularan virus memiliki potensi 18,7 kali lebih besar dibanding dengan ruang terbuka (Nishiura et al., 2020, p. 2). Selain bahaya covid-19, ventilasi yang buruk dapat mengakibatkan penyakit pernafasan lainnya, seperti TBC dan SARS (Li et al. 2007 dalam Park et al., 2021, p. 2). Ventilasi sebenarnya sangat berpengaruh dalam menjaga kesehatan pernafasan, khususnya mengurangi jumlah infeksi bahkan dapat menyelamatkan nyawa. Distribusi yang tepat dari udara bersih di luar ruangan dapat menghindari kontaminasi virus dalam ruangan (Park et al., 2021, p. 2). Oleh karena itu, penghawaan alami penting dalam menciptakan bangunan yang sehat bagi pengguna.

Penghawaan alami menjadi salah satu faktor dalam membangun kenyamanan termal melalui kecepatan angin yang melewati area tersebut. Menurut Ashrae-55, kenyamanan termal dalam suatu ruangan dapat dicapai dengan parameter sebagai berikut:

**Tabel 1.** Standar performa termal suatu bangunan atau ruang berdasarkan ASHRAE 55

<i>Standart Thermal Performance</i>			
No.	Faktor yang mempengaruhi <i>thermal performance</i>	Kategori	Standar
1.	Tingkat Metabolisme	Faktor Personal	ANSI/ ASHRAE 55
2.	Tingkat Insulasi pada Pakaian		
3.	Temperatur Udara	Faktor Lingkungan	
4.	Kecepatan Angin		
5.	Temperatur Rata-Rata Radiasi		
6.	Kelembaban Relatif		

Sumber: Dokumentasi penulis (2021)

Berdasarkan beberapa penelitian, sulitnya mencapai suhu netral yang sesuai zona kenyamanan termal dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya karena rancangan yang menyebabkan radiasi sinar matahari cukup tinggi, sirkulasi udara dengan kecepatan udara yang relatif kecil serta besarnya tingkat kelembaban udara akibat faktor iklim tropis lembab (Roonak et al., 2009, dalam Santoso, 2012, p. 15). Dalam upaya membangun kenyamanan termal pada iklim tropis sekaligus merespon kesehatan pada masa pandemik, sirkulasi udara alami dalam rancangan bukaan harus merespon kecepatan angin yang sesuai agar kenyamanan termal menurut Ahsrae-55 dapat tercapai. Terdapat empat tingkatan kondisi untuk kecepatan udara yaitu: a)  $< 0.25$  m/s adalah nyaman, gerakan udara tidak terasa; b)  $0.25 - 0.5$  m/s adalah nyaman, gerakan udara terasa; c)  $1.0 - 1.5$  m/s gerakan udara terasa ringan sampai tidak menyenangkan; d) diatas  $1.5$  m/s gerakan udara terasa tidak menyenangkan (Lippsmeier, 1997, dalam Munawaroh & Elbes, 2019, p. 86).

Arsitektur berkelanjutan ditinjau sebagai cara untuk meminimalisir dampak negatif lingkungan dari bangunan dengan peningkatan efisiensi dan pemilahan dalam penerapan material, energi, dan ruang lingkup secara luas (Agung et al., 2020, p. 11). Salah satu inovasi material yang menerapkan konsep *reuse* adalah *eco-cooler* dari botol plastik bekas yang dikembangkan oleh Ashis Paul (Huq, 2016). Penerapan *eco-cooler* dari botol plastik bekas telah sukses membuat permukiman kumuh di Bangladesh yang memiliki suhu ruang panas menjadi lebih dingin sehingga kenyamanan termal dapat tercapai. Ashis Paul sebagai penemu teknologi ini mengambil ide dari konsep termal sederhana dimana ketika kita menghembuskan udara dengan mulut terbuka ke telapak tangan akan dihasilkan sensasi panas pada kulit, sebaliknya jika menghembuskan udara dengan mulut seperti bersiul

udara akan terasa sejuk di tangan. Morfologi bentuk botol plastik yang memiliki bentuk semakin kecil ke tutupnya membuatnya cocok sebagai prototipe yang dikembangkan. Dalam hal ini, botol plastik bekas dibelah sehingga membentuk corong kemudian diintegrasikan dengan panel kardus. Bagian tutup botol yang kecil dihadapkan ke dalam ruangan sehingga aliran udara dari luar terfokus yang menyebabkan ruang mendapatkan aliran udara sejuk. Konsep *eco-cooler* menerapkan sistem penghawaan alami.

Bhanuprakash (2018) melakukan pengujian *eco-cooler* pada ruang kelas. Menggunakan botol bekas sebagai protipenya, ia menyimpulkan terdapat perubahan suhu meskipun tidak signifikan. *Eco-cooler* didefinisikan sebagai alat pendingin nol listrik, nol polusi, biaya rendah, mudah dibuat, dan mudah dipasang yang akan membantu mengurangi suhu pada ruang hingga 3°C pada kondisi optimal saat dipasang di dalam ruangan. Hasil dari penelitian Bhanuprakash juga menunjukkan bahwa penggunaan botol dengan diameter 4 inci di bagian *inlet* dan diameter 1 inci di *outlet* akan memberikan hasil yang lebih baik (Bhanuprakash et al., 2018, p. 6).

Lebih lanjut, *eco-cooler* juga pernah ditinjau oleh Kasantikul (2020) dengan analisis menggunakan prototipe dan CFD (*Computational Fluid Dynamics*) untuk menguji keefektivitasan dari teknologi tersebut. Dalam tinjauannya, Kasantikul membuat dua prototipe, pertama menggunakan botol plastik bulat, kedua botol plastik kotak. Dalam percobaannya, kisaran kecepatan udara diatur antara 1-3 m/s untuk perbandingan antara suhu diperoleh dari pengukuran dalam ruangan ketika eksperimen dengan prototipe dan satunya berasal dari hasil analisis CFD. Studi ini mengungkapkan bahwa hasil dari program CFD dan hasil eksperimen sangat mirip; suhu ruangan dapat diturunkan sebesar 1-3 derajat celcius. botol *eco-cooler* kotak dapat lebih mengurangi suhu kamar daripada botol bulat. *Eco-cooler* yang terbuat dari botol persegi panjang berukuran 500 mililiter mereduksi suhu ruang tertinggi hingga 3,66°C. Dalam penelitiannya, Kasantikul menambahkan bahwa faktor kecepatan udara dan ukuran *eco-cooler* mempengaruhi pengurangan suhu dalam ruangan (Kasantikul, 2020, p. 69).

Penelitian Bhanuprakash (2018) dan Kasantikul (2020) menguji keefektivitasan *eco-cooler* dalam menurunkan suhu ruang. Secara khusus, kasantikul (2020) menggunakan simulasi CFD dalam menguji efektivitas penurunan suhu oleh *eco-cooler*. Peneliti berupaya meninjau efektivitas *eco-cooler* dalam meningkatkan kecepatan angin sebagai salah satu faktor penurunan suhu (efek penyegaran) dengan CFD. Angin sebagai fluida menjadi fokus pada penelitian ini.

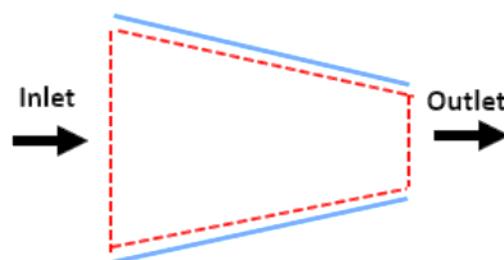
Kajian ini melengkapi tinjauan tentang *eco-cooler* yang sebelumnya disimpulkan oleh Bhanuprakash (2018) dan Kasantikul (2020) efektif dalam menurunkan suhu ruang. Sebagaimana kecepatan angin juga berpengaruh dalam kenyamanan termal, kecepatan angin yang memiliki efek penyegaran dapat ditinjau sebagai salah satu faktor penurunan suhu ruang (Melita et al., 2017, p. 3). Atas dasar tersebut dirumuskan pertanyaan mengapa *eco-cooler* menciptakan sistem penghawaan alami yang *sustainable* dan sehat? Bagaimana perubahan kecepatan angin pada *eco-cooler*? Bagaimana efektivitas *eco-cooler* dalam intervensi untuk mencapai kenyamanan termal?

Agar penelitian dapat lebih terfokus dalam menjawab rumusan masalah, peneliti menggunakan studi kasus pada aula SMA N 1 Magelang sebagai ruang pertemuan banyak orang. Aula ini memiliki isu kinerja bangunan yang dibawah standar, khususnya berkaitan dengan kenyamanan termal. Selain itu, berkaitan dengan ruangan aula sebagai tempat pertemuan banyak orang, terdapat potensi penularan virus covid-19 (Hu et al., 2021). Peneliti mengintervensi bukaan dengan *eco-cooler* untuk melihat keefektivitasan teknologi tersebut dalam menciptakan penghawaan alami yang *sustainable* dan sehat. Ruangan harus

berventilasi baik agar aerosol bermuatan virus dalam jumlah yang signifikan tidak menumpuk (Klompas et al., 2020). Secara khusus, ventilasi alami banyak disarankan dan berhasil digunakan dalam upaya menangani epidemi secara historis, ventilasi alami menjadi solusi efektif untuk mencegah penyebaran virus daripada menggunakan sistem mekanis (Zhai, 2020). Sistem penghawaan alami juga ditinjau sebagai sistem yang bermanfaat dalam menekan potensi penyebaran droplet virus covid-19 (Bluyssen et al., 2021, p. 1). Tercapainya ruangan yang sehat tersebut dilakukan pendekatan dengan intervensi teknologi *eco-cooler* sebagai sistem penghawaan alami.

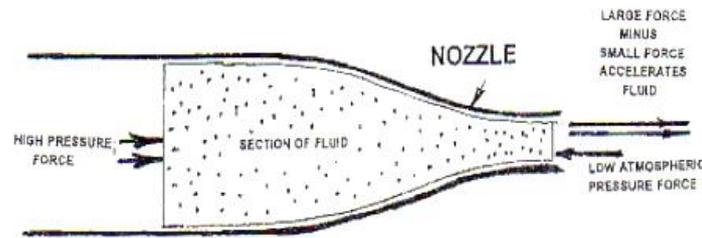
## KAJIAN TEORI

Pada wilayah dengan iklim tropis lembap, kenyamanan termal dapat meningkat dengan intervensi hembusan angin yang menyentuh kulit tubuh manusia secara langsung. Terjadi proses evaporasi keringat melalui hembusan angin sehingga rasa kenyamanan termal meningkat (Sangkertadi, 2006 dalam Pratiwi & Arifin, 2021, p. 2). Teknologi *eco-cooler* menjadi salah satu metode guna meningkatkan kenyamanan termal pengguna melalui fungsinya untuk menangkap angin. *Eco-cooler* dibuat dengan membelah botol plastik bekas dan mengintegrasikan satu sama lain menjadi satu rangkaian dalam panel penahan. Bagian tutup yang memiliki diameter kecil dipasang ke dalam ruangan dengan maksud agar ruangan tersebut mendapat aliran udara terfokus sehingga menjadi sejuk. Prinsip kerjanya sama dengan nozel yang merupakan suatu saluran dengan ujung sempit dan digunakan untuk mengalirkan fluida (zat cair atau gas). Nozel didefinisikan sebagai alat yang didesain guna mengontrol karakteristik atau arah aliran fluida (utamanya guna meningkatkan kecepatan) saat masuk ke suatu ruang atau pipa tertutup (Kasantikul, 2020, p. 69). Nozel sering ditemukan berupa tabung yang memiliki luasan penampang bervariasi dan digunakan untuk mengarahkan aliran fluida. Dalam suatu nozzle, kecepatan fluida dapat meningkat dengan cara mengorbankan energi tekanannya (Sonntag, 2003 dalam Kasantikul, 2020, p. 69).



**Gambar 1.** Arah aliran fluida melalui suatu nozel.  
Sumber: Kasantikul B. (2020)

*Eco-cooler* memiliki ujung terbuka pada bagian luar yang lebih lebar daripada bagian dalamnya dengan maksud aliran udara yang masuk ke dalam ruangan tidak membawa radiasi matahari yang panas (Bhanuprakash et al., 2018, p. 3). Prinsip kerjanya ketika udara masuk ke dalam botol yang lebih lebar kemudian melewati leher botol, udara akan dikompresi disana. Kompresi tersebut mampu meningkatkan kecepatan udara dengan mengurangi tekanannya. Udara terkompresi tersebut akan membuat ekspansi dengan cepat untuk segera keluar dari botol *eco-cooler*. Ekspansi ini mampu menciptakan semacam tekanan rendah yang menarik udara sekitarnya ke dalam aliran *eco-cooler* (Bhanuprakash et al., 2018, p. 3).



**Gambar 2.** Cara kerja *eco-cooler* yang menerapkan prinsip nozel  
Sumber: Bhanuprakash (2018)

## METODE PENELITIAN

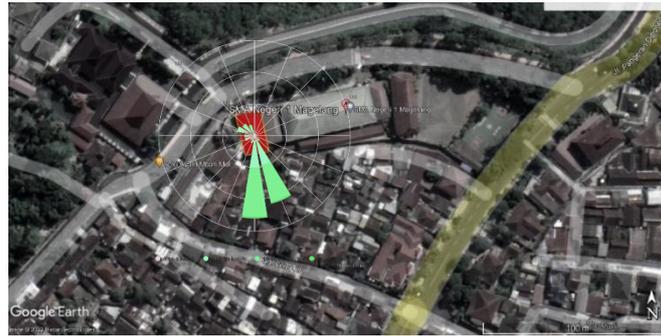
Penelitian menggunakan metode kuantitatif untuk mendapatkan hasil yang lebih terukur. Hasil yang terukur tersebut diperoleh dengan simulasi komputer yang dapat merepresentasikan fakta menggunakan *software* untuk mendapatkan hasil yang mendekati keadaan sebenarnya (Lapenangga, 2014). Dalam menemukan keefektifitasan *eco-cooler* sebagai teknologi penghawaan alami yang mampu mempercepat kecepatan angin ke dalam bangunan, analisis dilakukan dengan Autodesk CFD (*Computational Fluid Dynamics*) dan flowsquare. Secara khusus, Autodesk CFD digunakan untuk menguji secara detail teknologi *eco-cooler* yang diusulkan dengan hasil akhir berupa perubahan kecepatan angin sehingga dihasilkan data secara kuantitatif. Pengujian dengan autodesk dilakukan dengan membuat prototipe integrasi *eco-cooler* dalam bangunan. Flowsquare digunakan untuk melihat kecenderungan perubahan kecepatan angin pada bangunan saat dilakukan intervensi dengan teknologi *eco-cooler*. Kedua simulasi tersebut saling melengkapi kajian mengenai keefektifitasan *eco-cooler* sebagai teknologi penghawaan alami.

Data untuk simulasi diperoleh dengan melakukan observasi ke dalam bangunan aula SMA N 1 Magelang untuk mengukur suhu dan kelembapan dengan hygrometer-thermometer HTC-2. Alat tersebut mampu merekam suhu dan kelembapan dalam dan luar ruangan pada waktu-waktu tertentu (Rohman et al., 2021, p. 1). Data diperoleh dengan pengukuran suhu dan kelembapan dalam ruangan saat pagi hari (pukul 08.00), siang (12.00), dan sore (17.00). Selain observasi, data kecepatan angin lingkungan didapat dengan aplikasi meteoblue.

Pengujian kenyamanan termal berdasarkan parameter ashrae-55 dilakukan dengan CBE Berkeley edu. *Software* tersebut digunakan untuk menguji kenyamanan termal *existing* yang berdasarkan data pengukuran suhu dan simulasi CFD setelah intervensi bukaan dengan teknologi *eco-cooler*. Kemampuan *software* tersebut tepat digunakan dalam mengukur kenyamanan termal secara digital dan terukur (Tartarini et al., 2020).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Aula SMA N 1 Magelang terletak pada lantai dua dengan luasan 164 m<sup>2</sup> yang dibagi menjadi dua ruang, ruang utama sebagai tempat aktivitas dan ruang tambahan berupa gudang fasilitas penunjang. Bagian fasad utara dan selatan memiliki potensi sebagai bagian yang dilalui angin karena tidak terdapat bangunan penghalang sebagaimana pada fasad timur dan baratnya. Namun, dalam rancangannya, bukaan diorientasikan pada bagian fasad timur yang tertutupi bangunan kelas dan fasad barat yang tertutupi musholla. Penggunaan gudang terletak pada bagian utara aula sedangkan orientasi aula (view penonton) dihadapkan pada fasad selatan yang menyebabkan kedua fasad tersebut ditutupi oleh dinding yang masif. Dalam tinjauan arah angin terbesar berdasarkan *windrose* pada meteoblue, aula memiliki potensi penghawaan alami yang efektif pada fasad selatannya. Angin terbesar datang dari arah selatan dengan kecepatan 4.1667 m/s.



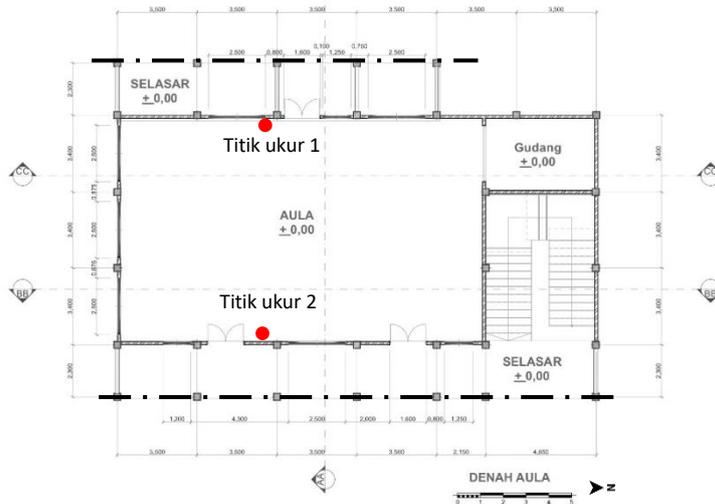
**Gambar 3.** Letak aula dan potensi angin terbesar pada tapak  
Sumber: <https://earth.google.com/web/dan meteoblue.com> (2021)

Dalam persyaratan ruang yang sehat ketika pandemik covid-19, ventilasi sebagai bagian dari penghawaan alami diperlukan guna mengalirkan udara dari dan ke luar ruangan sehingga tidak terdapat droplet virus yang mengendap. Kondisi existing pada aula SMA N 1 Magelang memiliki selubung yang tertutup pada keempat sisinya. Sisi utara dan selatan ditutupi selubung bangunan sedangkan sisi barat dan timur bukaan ditutupi oleh kaca yang tidak bisa dibuka (*fixed glass window*). Dari observasi tidak ditemukan ventilasi sebagai penyalur udara dengan pertimbangan efisiensi penggunaan AC sehingga tidak terjadi kebocoran. Hal ini membuat persyaratan ruang aula SMA N 1 Magelang tidak sesuai dengan rancangan ideal dalam merespon kondisi covid-19 sehingga perlu dilakukan intervensi desain.



**Gambar 4.** Bagian dalam aula yang menggunakan *fixed glass window* dan AC  
Sumber: Dokumentasi penulis (2021)

Dalam meninjau kondisi bangunan *existing*, ruangan aula terukur memiliki luasan 164 m<sup>2</sup> dengan bukaan berupa jendela dan pintu pada bagian dinding barat dan timur. Pada fasad barat yang memiliki luasan bidang 64 m<sup>2</sup> terhitung memiliki bukaan jendela seluas 19,4 m<sup>2</sup> dan pintu dengan luasan 4 m<sup>2</sup> (kurang lebih bukaan menggunakan 36% luasan dinding barat). Pada fasad timur juga memiliki luasan selubung 64 m<sup>2</sup> dengan luas bukaan jendela sebesar 14,425 m<sup>2</sup> dan bukaan berupa pintu sebesar 8 m<sup>2</sup> (bukaan sebesar 35% dari total luasan dinding timur). Namun, jendela menggunakan *fixed glass* sehingga tidak memungkinkan penghawaan alami. Sebagai gantinya, pintu menjadi bukaan yang dapat digunakan sebagai alur penghawaan alami ketika dibuka. Dalam meninjau kondisi kenyamanan termal *existing*, digunakan pengukuran menggunakan termometer HTC-2 untuk mengetahui suhu ruang dan kelembapannya. Setelah itu ditinjau apakah ruangan tersebut secara termal nyaman atau tidak menggunakan parameter ASHRAE-55-2020 yang diuji menggunakan *tools* pada CBE Berkeley.

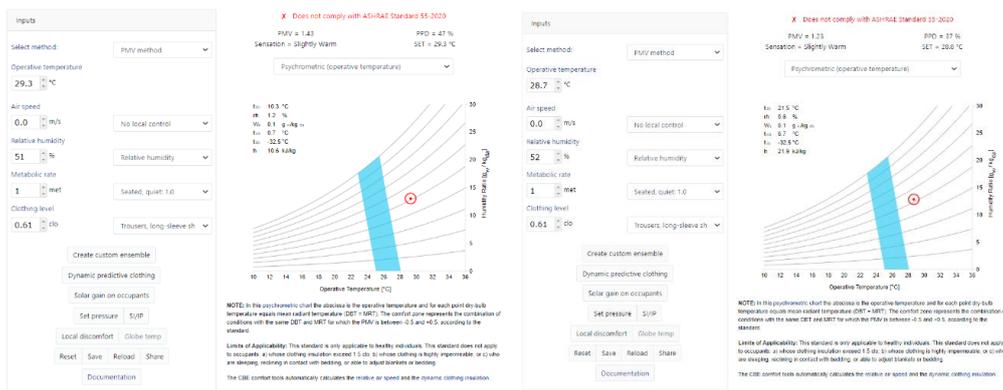


**Gambar 5.** Denah aula *existing* dan titik ukur suhu dengan HTC-2  
 Sumber: Dokumentasi penulis (2021)

**Tabel 2.** Hasil pengukuran suhu (°C) dan kelembapan (%) menggunakan HTC-2

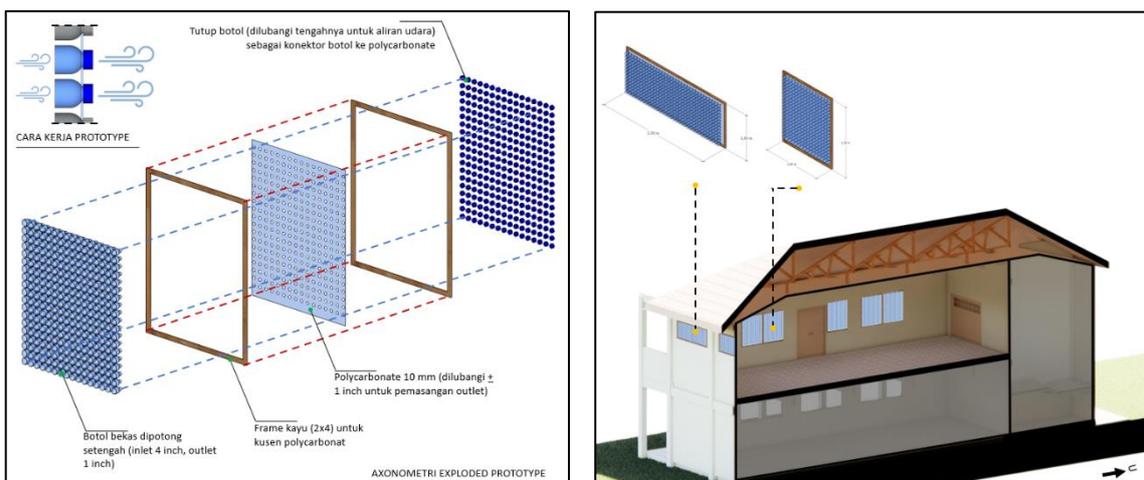
Titik Ukur	Pukul	Suhu	Kelembapan	Suhu maksimum terekam	Suhu Minimum terekam	RH Maksimum terekam	RH Minimum terekam
1	08.00	24.7	62	30	22,8	69	51
	12.00	29.3	51				
	17.00	27	55				
2	08.00	26.3	56	29,4	25,1	72	40
	12.00	28.7	52				
	17.00	28.9	55				

Sumber: Dokumentasi penulis (2021)



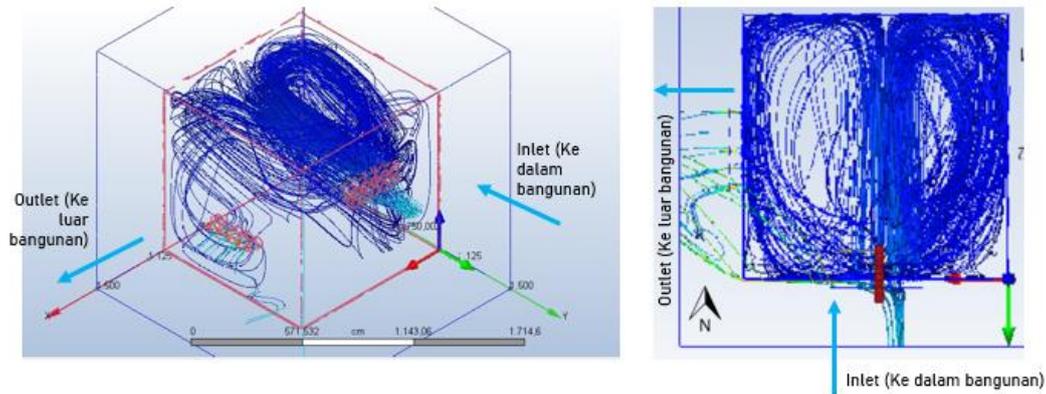
**Gambar 6.** Pengujian kenyamanan termal dengan *tools* CBE dengan data pengukuran saat siang hari (suhu rata-rata tertinggi), terlihat titik jauh dari kenyamanan termal  
 Sumber: <https://comfort.cbe.berkeley.edu/> (2021)

Dalam melakukan observasi dengan termometer HTC-2 dan pengujian menggunakan *tools* CBE berkeley edu yang memakai paramater ASHRAE 55-2020, ditemukan kondisi ruang aula tersebut tidak nyaman secara termal, khususnya pada waktu siang hingga sore hari. Beberapa rekomendasi untuk memperbaiki kondisi termal tersebut adalah dengan melakukan intervensi pada selubung bangunan, khususnya pada bukaan yang berupa *fixed glass*. Hal ini digunakan sebagai upaya untuk memasukkan angin sebagai sistem penghawaan alami agar pengguna mendapat efek penyegaran sehingga dapat nyaman secara termal. Prototipe *eco-cooler* diusulkan karena pernah dikaji dapat menurunkan suhu melalui peningkatan kecepatan angin. *Eco-cooler* pada fasad selatan (arah angin terbesar) diletakkan pada ketinggian 2,4 m dari lantai aula. Perbedaan ketinggian dengan fasad barat dan timur (ketinggian 1,3 m) dimaksudkan agar terjadi *up-down cross ventilation* dengan fasad barat dan timur yang dimaksudkan sebagai aliran *outlet* dari dalam bangunan. Konfigurasi tersebut dimaksudkan agar tercipta aliran angin yang tidak mengganggu bagian depan aula sebagai tempat presenter sekaligus memberikan efek penyegaran yang efektif bagi penonton.

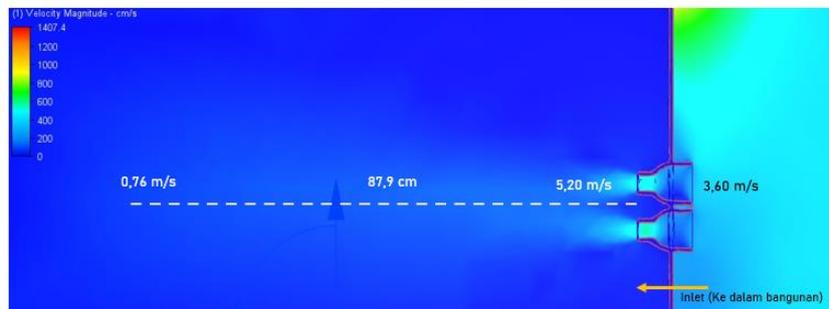


**Gambar 7.** Prototipe *eco-cooler* yang diusulkan (kiri) dan rencana integrasinya dalam bangunan (kanan).  
 Sumber: Dokumentasi penulis (2021)

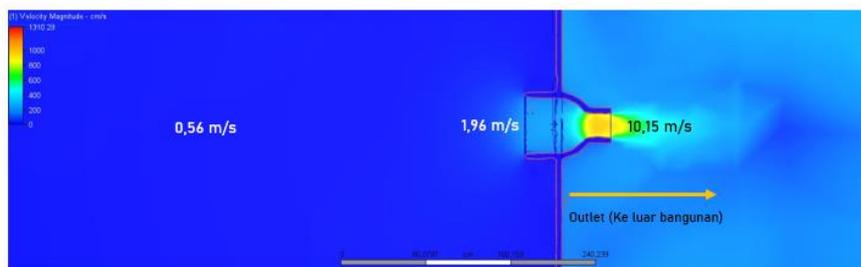
Menggunakan prototipe skalatis bangunan dimana *eco-cooler* dipasang pada bagian fasad selatan sebagai aliran *inlet* udara dan barat sebagai aliran *outlet* dengan sistem *up-down cross ventilation*. Gambar 8 menunjukkan aliran *cross ventilation* dalam ruangan. Pengujian ini juga mewakili sistem *cross ventilation* fasad selatan dan timur. Aliran udara dari luar di-setting 4.1667 m/s sebagaimana hasil analisis potensi angin terbesar dari selatan. Aliran terlihat memenuhi ruangan dan keluar menuju saluran *outlet* bangunan.



**Gambar 8.** Hasil pengujian konfigurasi prototipe *eco-cooler* menggunakan autodesk CFD pada modul skalatis. Terlihat aliran udara masuk dan memenuhi bangunan  
Sumber: Dokumentasi penulis (2021)

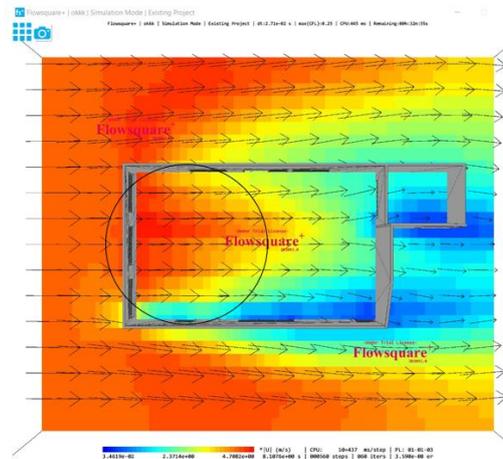


**Gambar 9.** Pada aliran *inlet*, *eco-cooler* mampu mempercepat kecepatan udara ke dalam bangunan. Bahkan jangkauan *eco-cooler* mampu mencapai lebih dari 85% Prototipe skalatis bangunan. Hal ini memperkuat penelitian tentang *eco-cooler* dalam upaya penurunan suhu ruang melalui peningkatan kecepatan udara.  
Sumber: Dokumentasi penulis (2021)



**Gambar 10.** Pada aliran *outlet*, *eco-cooler* mampu mempercepat kecepatan udara ke luar bangunan. Hal ini menjelaskan kesuksesan prototipe *eco-cooler* dalam konfigurasi *cross*

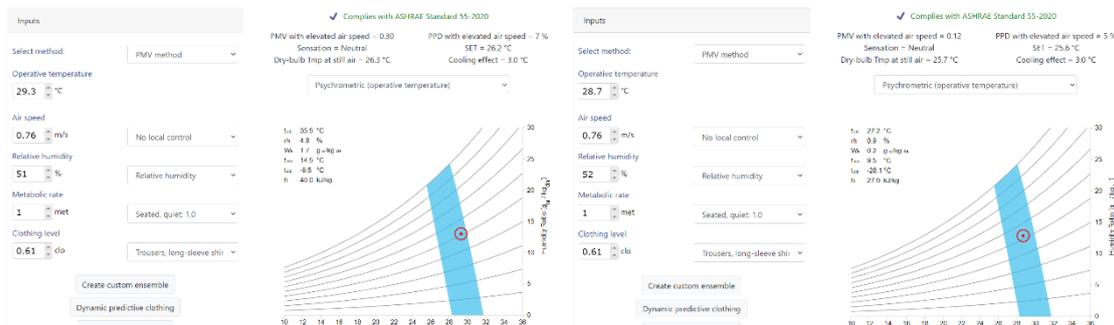
*ventilation*. Sebagai temuan baru, hal ini perlu dikaji lebih lanjut mengenai kenaikan signifikan pada aliran *outlet* di sistem *cross ventilation eco-cooler* tersebut.  
 Sumber: Dokumentasi penulis (2021)



**Gambar 11.** Pengujian dengan flowsquare untuk melihat integrasi teknologi *eco-cooler* dalam bangunan keseluruhan  
 Sumber: Dokumentasi penulis (2021)

Flowsquare menguji integrasi teknologi dalam bangunan. Parameter kecepatan angin sebesar 4.1667 m/s dari arah selatan digunakan untuk melihat kecenderungan kecepatan angin saat memasuki dalam bangunan. Terlihat warna pengujian di dalam ruangan semakin merah pekat menunjukkan *eco-cooler* mampu meningkatkan kecepatan angin di dalam ruangan. Jangkauan *eco-cooler* tersebut efektif hingga berada pada tengah aula, terlihat penurunan kecepatan angin dari tengah hingga belakang bangunan.

Pengujian menggunakan autodesk CFD yang menghasilkan data secara kuantitatif diperlukan untuk menganalisis keefektifitasan *eco-cooler* dalam menciptakan kenyamanan termal. Sebagaimana Lippmeir (1997) mengkategorisasikan kecepatan angin yang nyaman adalah kurang dari 1,5 m/s, *eco-cooler* sukses mempercepat kecepatan udara dari luar dan menghamburkannya ke dalam bangunan sehingga menyebar dan memiliki rata-rata kecepatan 0,76 m/s yang tergolong nyaman saat berada dalam bangunan. Hasil tersebut kemudian diuji dengan *tools* CBE dengan parameter yang sama saat pengujian pertama, tetapi melakukan intervensi pada kecepatan angin.



**Gambar 12.** Pengujian kenyamanan termal dengan *tools* CBE dengan data pengukuran saat siang hari (suhu rata-rata tertinggi) dengan intervensi peningkatan kecepatan angin setelah dipasang *eco-cooler*. Terlihat titik terletak pada zona kenyamanan termal.  
 Sumber: <https://comfort.cbe.berkeley.edu/> (2021)

Penggunaan *eco-cooler* dari botol plastik bekas menarik untuk ditinjau sebagai salah satu solusi dalam mencapai kenyamanan termal pada bangunan dengan efek penyejukan dari peningkatan kecepatan udara. Selain mencapai kenyamanan termal, Prototipe *eco-cooler* yang terbuat dari plastik bekas sesuai dengan karakter pembangunan berkelanjutan yang meminimalisir dampak negatif terhadap lingkungan dan menghemat konsumsi energi bangunan. Plastik juga memiliki dampak positif dari segi keunggulan sifatnya daripada material lain. Kemasan plastik mempunyai keunggulan dari sifatnya yang ringan dan kuat, *inert*, tidak mudah berkarat dan termoplastik (*heat seal*) serta dapat diberi warna sehingga mampu memberikan kesan visual yang menarik (Sulchan & Nur, 2007, p. 55).

Ventilasi silang efisien dalam hal nilai pertukaran udara dibandingkan dengan ventilasi satu sisi, dan ventilasi silang direkomendasikan untuk meminimalkan kemungkinan infeksi di gedung-gedung publik dengan kepadatan tinggi (Park et al., 2021, p. 8). Dalam studi kasus di Aula SMA N 1 Magelang, peneliti menggunakan konfigurasi *cross ventilation* sehingga sesuai dengan rekomendasi Park et al. (2021). Bukaannya yang direkomendasikan peneliti untuk diintervensi juga lebih dari 30% dari luas selubung. Hal ini sesuai rekomendasi Park et al. (2021) untuk membuka jendela minimal 30% guna memberikan tingkat ventilasi alami yang cukup untuk mencegah infeksi virus melalui udara di gedung publik. Prototipe *eco-cooler* yang diusulkan sebagai pengganti *fixed glass window* efektif dalam menciptakan sistem penghawaan alami yang sehat.

## KESIMPULAN

Peningkatan kecepatan udara oleh *eco-cooler* mampu memberikan efek penyejukan dalam ruangan guna mencapai kenyamanan termal menurut parameter AHSRAE-55 pada aula yang cenderung panas. Selain itu, sebagaimana pengujian menggunakan Autodesk CFD, kecepatan udara yang dihasilkan pada bagian dalam ruangan tergolong nyaman karena <1,5 m/s (sesuai dengan teori oleh Lipssmeier 1997). Dari hal tersebut, *eco-cooler* dapat dijadikan alternatif penggantian AC yang boros energi pada bangunan studi kasus. Berkaitan dengan material botol plastik bekas, *eco-cooler* mampu mengurangi limbah plastik sehingga *sustainable* bagi lingkungan. Selain itu, sistem penghawaan alami yang ditawarkan juga mampu mereduksi bahaya terpaparnya virus covid-19 dan membuat ruangan semakin sehat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agung, A., Pranata, B., & Zuhri, S. (2020). STRATEGI ARSITEKTUR KEBERLANJUTAN PADA BANGUNAN OLAHRAGA. In *Jurnal Mahasiswa Arsitektur* (Vol. 1, Issue 1).
- Amin, A. R. Z. (2018). Studi Penghawaan Alami Pada Bangunan Sekolah Dasar di Pinggiran Sungai Musi Palembang. *Arsir*, 1(2), 86–99.
- Arifin, I. N., Terhadap, B., Termal, K., Masjid, P., Sudirman, J., & Syarif Hidayat, M. (2018). PENGARUH BUKAAN TERHADAP KINERJA TERMAL PADA MASJID JENDRAL SUDIRMAN.
- Bhanuprakash, C., Mummina, V., & Mahesh Chakravarthi, V. (2018). Performance Evaluation of an Eco-Cooler analysed by varying the Physical and flow Parameters. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 377(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/377/1/012024>

- Bluyssen, P. M., Ortiz, M., & Zhang, D. (2021). The effect of a mobile HEPA filter system on 'infectious' aerosols, sound and air velocity in the SenseLab. *Building and Environment*, 188. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107475>
- Gunawan, B. (2012). *Buku pedoman energi efisiensi untuk desain bangunan gedung di Indonesia*. Energy Efficiency and Conservation Clearing House Indonesia.
- Hu, M., Lin, H., Wang, J., Xu, C., Tatem, A. J., Meng, B., Zhang, X., Liu, Y., Wang, P., & Wu, G. (2021). Risk of coronavirus disease 2019 transmission in train passengers: an epidemiological and modeling study. *Clinical Infectious Diseases*, 72(4), 604–610.
- Huq, J. (2016). *How Bangladeshi inventors are making eco-friendly air conditioners from plastic bottles*. <https://observers.france24.com/en/20160602-bangladesh-air-conditioner-plastic-bottles-technology>
- Kasantikul, B. (2020). Eco-cooler Analysis for Room Temperature Reduction. In *MAHASARAKHAM INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING TECHNOLOGY* (Vol. 6, Issue 2).
- Klompas, M., Baker, M. A., & Rhee, C. (2020). Airborne Transmission of SARS-CoV-2: Theoretical Considerations and Available Evidence. In *JAMA - Journal of the American Medical Association* (Vol. 324, Issue 5, pp. 441–442). American Medical Association. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.12458>
- Lapenangga, A. K. (2014). *KAJIAN KENYAMANAN TERMAL DAN KUALITAS KESEHATAN DALAM ARSITEKTUR TRADISIONAL MASYARAKAT ADAT 'BOTI'KAB. TIMOR TENGAH SELATAN*.
- Lippsmeier, Georg. 1997. *Bangunan Tropis*. Jakarta: Erlangga.
- Melita, A. H., Satya Adhitama, M., & Nugroho, A. M. (2017). *PENGARUH BUKAAN TERHADAP KENYAMANAN SUHU PADA MASJID JAKARTA ISLAMIC CENTER*.
- Munawaroh, A. S., & Elbes, R. (2019). Penilaian kenyamanan termal pada bangunan perpustakaan Universitas Bandar Lampung. *ARTEKS: Jurnal Teknik Arsitektur*, 4(1), 85–98. <https://doi.org/10.30822/arteks.v4i1.83>
- Nishiura, H., Oshitani, H., Kobayashi, T., Saito, T., Sunagawa, T., Matsui, T., Wakita, T., & Suzuki, M. (2020). Closed environments facilitate secondary transmission of coronavirus disease 2019 (COVID-19). *MedRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.02.28.20029272>
- Park, S., Choi, Y., Song, D., & Kim, E. K. (2021). Natural ventilation strategy and related issues to prevent coronavirus disease 2019 (COVID-19) airborne transmission in a school building. *Science of the Total Environment*, 789. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147764>

- Pratiwi, N., & Arifin, S. S. (2021). ANALISIS PERFORMA MODEL ECO-COOLER SEBAGAI ALTERNATIF BUKAAN ALAMI. *Nature: National Academic Journal of Architecture*, 8(1), 1. <https://doi.org/10.24252/nature.v8i1a1>
- Rohman, A. S., Nurbaiti, U., & Fianti, F. (2021). ANALISIS KENYAMANAN SUHU RUANG. *EnviroScienteeae*, 17(1), 1–6.
- Santoso, E. I. (2012). *Indonesian Green Technology Journal KENYAMANAN TERMAL INDOOR PADA BANGUNAN DI DAERAH BERIKLIM TROPIS LEMBAB.*
- Sulchan, M., & Nur, E. (2007). Keamanan pangan kemasan plastik dan styrofoam. *Majalah Kedokteran Indonesia*, 57(2), 54–59.
- Tartarini, F., Schiavon, S., Cheung, T., & Hoyt, T. (2020). CBE Thermal Comfort Tool: Online tool for thermal comfort calculations and visualizations. *SoftwareX*, 12, 100563.
- Zhai, Z. (2020). Facial mask: A necessity to beat COVID-19. *Building and Environment*, 175, 106827.