

## **PENERAPAN TEKNOLOGI SOLAR CHIMNEY PADA ATAP UNTUK MENINGKATKAN SISTEM PENGHAWAAN ALAMI DI GAD HOMESTAY PEKALONGAN**

Syeren Syanuna<sup>1</sup>, Sugini<sup>2</sup>, dan Bellinda Chairunnisa<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>Surel: [sugini@uii.ac.id](mailto:sugini@uii.ac.id)

**ABSTRAK:** Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah penerapan solar chimney dapat meningkatkan kinerja penghawaan alami pada GAD Homestay Pekalongan. Metode riset yang dilakukan dengan komparasi kinerja kasus eksisting dengan kasus termodifikasi dengan alternatif solar chimney yang dikembangkan. Uji komparasi dilakukan dengan tahapan observasi pada lokasi untuk mengumpulkan data. Kemudian, menemukan variabel permasalahan dan melakukan pengujian simulasi bangunan dengan software CFD. Berdasarkan hasil proses desain dan evaluasi tiga alternatif didapatkan desain terbaik, yaitu atap solar chimney atap condong dengan kemiringan 30°. Atap solar chimney memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan vertikal solar chimney karena Indonesia dengan iklim tropis dan ketinggian matahari yang mendekati 0 lintang membutuhkan variasi kemiringan untuk mendapatkan kinerja cerobong surya yang lebih efektif.

**Kata kunci:** Konsep Keberkelanjutan, Penghawaan Alami, Solar Chimney

### **PENDAHULUAN**

#### **Latar Belakang**

Dalam situasi saat ini, banyak masyarakat yang masih tidak menyadari dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh tingginya konsumsi energi pada bangunan. Hal tersebut menjadikan konsep arsitektur berkelanjutan penting untuk diterapkan karena peningkatan jumlah populasi manusia dari waktu ke waktu menyebabkan menurunnya sumber daya alam yang tersedia. Konsep berkelanjutan bertujuan untuk meminimalkan dampak negatif dari bangunan di lingkungan dengan efisiensi dalam penggunaan material, energi, dan ekosistem secara luas.

Salah satu strategi yang digunakan untuk membuat bangunan lebih ramah lingkungan dan memiliki manfaat yang dapat berkelanjutan, yaitu pemilihan strategi pasif dalam meningkatkan kinerja termal bangunan (Sugini, Dr, 2012). Strategi pasif untuk peningkatan kerja termal yang efektif untuk Indonesia yang beriklim hangat lembab adalah peningkatan ventilasi angin dalam ruang. Dalam konsep perancangan dasar, pergerakan angin dapat dibangkitkan dengan sistem ventilasi silang konvensional. Namun demikian, pada kasus urban dimana bangunan tidak mempunyai bidang papir ke halaman luar, maka hal ini tidak mungkin dilakukan (Sugini & Mufida, 2019). Untuk itu perlu inovasi lain. Potensi radiasi matahari yang berlimpah untuk Indonesia dengan *altitude* tinggi haruslah dimanfaatkan. Teknologi *solar chimney* adalah teknologi yang bekerja dengan memanfaatkan kemampuan mengembang udara panas dan efek hisap sehingga udara diam yang ada di dalam ruang dapat mengalami pergerakan. Pemanfaatan energi matahari membuat *solar chimney* pada atap dapat memberikan udara segar pada bangunan sebagai sistem penghawaan alami walaupun ruang atau bangunan tersebut tidak terpapar dengan halaman luar secara cukup. Untuk itu, riset untuk mengetahui kemampuan *solar chimney* dalam mencapai kinerja termal menjadi penting dan menarik.

Uji penerapan konsep berkelanjutan dengan atap *solar chimney* akan dilakukan pada bangunan eksisting GAD *Homestay* Pekalongan yang terletak di kawasan perkotaan dengan penduduk yang padat. Bangunan ini belum memaksimalkan sirkulasi udara alami

karena bentuknya tertutup oleh dinding yang tinggi dan sedikit bukaan sehingga tidak terbentuk *cross ventilation*. Akibat dari permasalahan tersebut, penghawaan alami pada *homestay* ini kurang baik dan boros dalam penggunaan listrik untuk AC (*Air Conditioner*). Jika hal itu dilakukan secara terus-menerus akan meningkatkan pemanasan global karena sektor bangunan merupakan penyumbang konsumsi energi sekaligus emisi gas rumah kaca paling besar di antara sektor yang lain (Ching, 2008).

### Rumusan Masalah

Seperti apakah desain teknologi *solar chimney* untuk meningkatkan penghawaan alami GAD *Homestay* Pekalongan?

### Tujuan

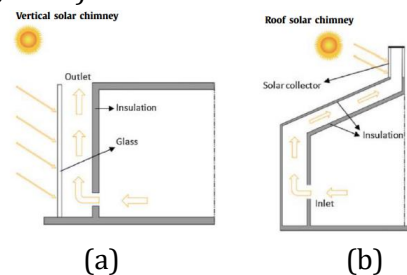
Tujuan mengembangkan teknologi *solar chimney* dapat meningkatkan penghawaan alami GAD *Homestay* Pekalongan agar sesuai dengan standar.

### Batasan Penelitian

Masalah yang dikaji dalam penelitian ini terbatas pada kinerja penghawaan alami pada GAD *Homestay* Pekalongan dilihat dari proporsi ventilasi, kecepatan, dan distribusi angin dalam ruang.

## TINJAUAN PUSTAKA

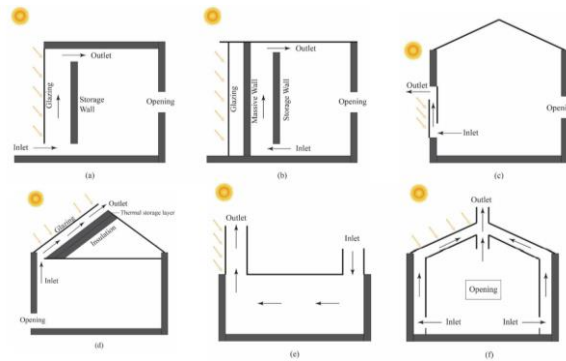
Vertikal *solar chimney* memiliki kelebihan, yaitu kaca eksternal mendapatkan radiasi matahari, tidak diperlukan kolektor surya, aliran udara di cerobong bisa langsung naik tanpa tikungan, lebih mudah dikendalikan dengan *inlet* dan *outlet* untuk kondisi iklim yang berbeda, serta tinggi tumpukan tidak dibatasi oleh tinggi atap. Sedangkan kekurangan vertikal *solar chimney* diperlukan isolasi untuk mencegah perpindahan panas langsung antara cerobong dengan ruang interior karena suhu tinggi. Kelebihan *roof solar chimney*, yaitu area kolektor mudah dicapai, lebih mudah di bongkar pasang, tidak perlu menara tambahan dan lebih murah daripada desain vertikal. Sedangkan kekurangan *roof solar chimney* adalah perpindahan panas antara udara panas dengan kaca lebih tinggi dari cerobong vertikal serta tikungan tambahan menghilangkan tekanan yang lebih besar. Gambar 1 menunjukkan bahwa dua jenis cerobong asap, yaitu *vertical solar chimney* dan *roof solar chimney* (Xamán, 2019).



**Gambar 1** (a) *Vertical solar chimney* (b) *Roof solar chimney*

Sumber: Jiménez-Xamán dan N.O. Moraga, 2019

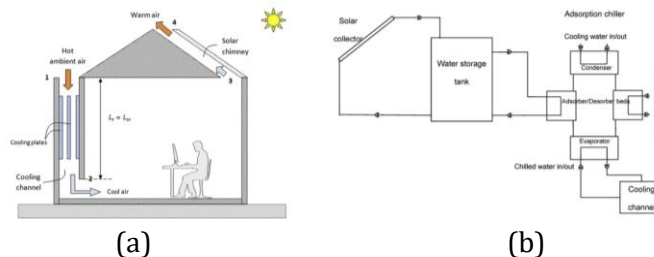
Gambar 2 menunjukkan cerobong surya yang biasa digunakan pada bangunan-bangunan. Terlihat bahwa tiga kategori dapat ditemukan dan diterapkan pada dinding, atap, atau jendela. Kategori tersebut adalah: (1) Dinding *trombe*; (2) atap cerobong surya; dan (3) gabungan cerobong surya.



**Gambar 2** (a),(b),(c) Cerobong Surya Vertikal;  
 (d),(e) Cerobong Surya Atap; (f) Cerobong Surya Gabungan  
 Sumber : Shi L, Zhang GM, Yang W, Huang DM, Cheng XD, & Setunge S., 2018

Parameter elemen bangunan adalah tipologi konstruksi (selubung, elemen konstruksi, pintu, jendela), sistem utilitas (ventilasi, sistem pendingin, kenyamanan), dan iklim sekitar (Andres Soto, 2021). Penentuan model *solar chimney* diperlukan dengan mengukur kecepatan udara, luas *inlet* dan *outlet*, radiasi matahari, tinggi cerobong, dan suhu udara dalam ruangan. Dimensi optimum cerobong surya, yaitu panjang 1,4 m, lebar 0,6 m, celah udara 0,2 m, dan sudut kemiringan 45 ° .

(Azadeh Jafari, 2016) mengatakan bahwa sistem yang diusulkan terdiri dari empat bagian, yaitu pendingin adsorpsi, unit panas matahari (kolektor pelat datar dan penyimpan udara panas), cerobong, dan saluran pendingin. Cerobong surya terdiri dari permukaan kaca yang menghadap ke selatan dan dinding penyerap. Radiasi matahari, yang melewati kaca dan diserap oleh dinding, memanaskan udara di dalam cerobong asap (Gambar 3). Permukaan yang menerima radiasi adalah besi yang dicat hitam dan ketebalan insulasi 5 cm. Cerobong surya terdiri dari pelat kaca, pelat penyerap panas gelap, lapisan bahan pelindung termal, penyangga logam, saluran masuk udara dan saluran keluar udara. Saluran ventilasi berada di antara pelat kaca dan pelat penyerap panas (Xinyu Zha, 2017).



**Gambar 3** (a) Skema ruangan, (b) Skema sistem pendingin surya  
 Sumber: A. Jafari dan A. Haghighi Poshtir, 2016

### METODA EVALUASI

Metode evaluasi yang digunakan untuk mengevaluasi bangunan GAD Homestay Pekalongan, yaitu:

1. Melakukan observasi dan pengukuran di lokasi dengan menggunakan aplikasi Zephyrus Wind Meter.
2. Menggunakan *software Computational Fluid Dynamic* (CFD) untuk simulasi penghawaan alami.



**Gambar 4** Skema Metode Uji dan Evaluasi

Tabel berikut merupakan variabel, parameter, dan indikator yang dijadikan acuan dalam evaluasi ini.

**Tabel 1** Variabel, Parameter, dan Indikator

Variabel	Parameter	Indikator
Penghawaan alami	Kecepatan udara	SNI 03-6572-2001 Kecepatan udara yang baik adalah 0,25 m/s. Kecepatan udara tersebut dapat dibuat lebih besar dari 0,25 m/s tergantung dari kondisi temperatur udara kering dalam ruang.
	Jumlah bukaan ventilasi	Untuk rumah tinggal, jumlah bukaan ventilasi tidak kurang dari 5% terhadap luas ruangan.

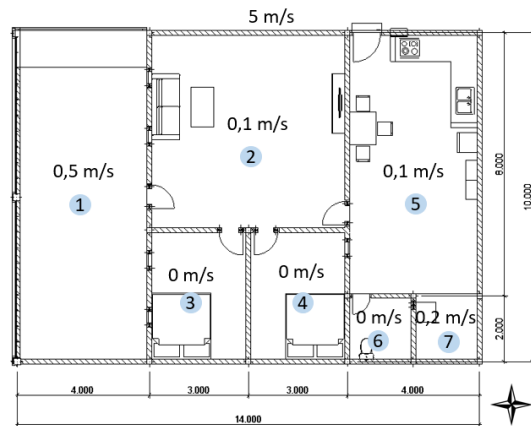
#### DATA BANGUNAN EKSISTING

GAD *Homestay* Pekalongan berlokasi di Jalan H. Sabrawi, Tirto, Kecamatan Pekalongan Barat, Kota Pekalongan, Jawa Tengah. Bangunan ini terletak di kawasan perkotaan dengan penduduk yang padat. Posisi Bangunan di sudut ruas jalan dan menghadap ke arah Selatan. Bangunan ini memiliki luas 140 m<sup>2</sup> dengan 1 lantai.



**Gambar 5** Eksterior GAD *Homestay* Pekalongan

Kondisi GAD *Homestay* Pekalongan menunjukkan bahwa bukaan di eksterior bangunan hanya terdapat di bagian selatan dengan material rangka besi seperti pada Gambar 2.2. Bangunan GAD *Homestay* Pekalongan memiliki area umum terbuka yang mencakup ruang tamu, dapur, ruang makan, dan ruang laundry. Area lainnya termasuk dua kamar tidur dan satu kamar mandi. Pada bagian utara dan timur bangunan tidak terdapat bukaan sehingga udara tidak mengalir. Bukaan ventilasi di dalam bangunan tidak berfungsi secara maksimal karena tidak terjadi pertukaran udara ke seluruh bagian ruangan atau *cross ventilation*. Oleh karena itu, bangunan ini boros penggunaan listrik untuk pendingin ruangan, seperti AC dan kipas angin.

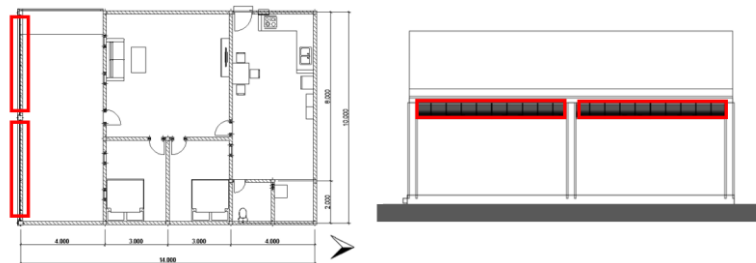


**Gambar 6** Hasil Analisis Kecepatan Angin

**Tabel 2** Data Kecepatan Angin GAD Homestay Pekalongan

Ruang	1	2	3	4	5	6	7	Rata-Rata
Kec. Angin (m/s)	0,5	0,1	0	0	0,1	0	0,2	0,12 m/s

Data kecepatan angin diambil pada pukul 15.00. Hasil pengukuran kecepatan angin di luar bangunan adalah 5 m/s. Kecepatan angin di dalam bangunan paling rendah 0 pada ruang 3 (kamar tidur 1), ruang 4 (kamar tidur 2), dan ruang 6 (kamar mandi). Sedangkan kecepatan angin paling tinggi pada teras 0,5 m/s karena terdapat bukaan yang besar (Gambar 6). Tabel 2 menunjukkan hasil perhitungan rata-rata kecepatan angin seluruh ruang 0,12 m/s artinya angin yang masuk ke dalam bangunan belum maksimal dan masih bisa ditingkatkan lagi.



**Gambar 7** Perhitungan Luas Bukaan Bangunan Eksisting

Aliran udara tidak maksimal disebabkan oleh ventilasi yang di dalam bangunan tidak berfungsi dengan baik dan tidak terjadi *cross ventilation*. Oleh karena itu, perhitungan luas bukaan pada bangunan *homestay* hanya dihitung pada ventilasi dengan rangka besi di bagian depan bangunan untuk mengevaluasi luas bukaan mencapai standar atau tidak (Gambar 7).

Pada pagar terdapat lubang sirkulasi udara  $400 \times 60 \times 2 = 48000 \text{ cm}^2$

Luas lantai bangunan  $1400 \times 1000 = 1400000 \text{ cm}^2$

$48000/1400000 \times 100\% = 3,42\%$

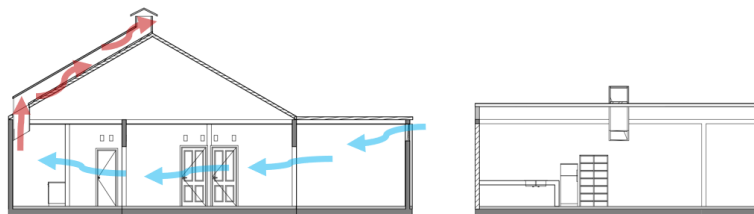
Jumlah bukaan ventilasi pada bangunan *homestay* adalah 3,42% padahal untuk rumah tinggal, jumlah bukaan ventilasi tidak kurang dari 5% terhadap luas ruangan sehingga belum memenuhi standar.





**Gambar 10** 3D Model Alternatif 1

Pada gambar 10 menunjukkan bahwa alternatif 1 SCAC pada desain bangunan GAD *Homestay* Pekalongan menggunakan *solar chimney* pada atap dengan sudut kemiringan 30° sebagai kemiringan atap umum di lokasi. Model *solar chimney* alternatif 1 memiliki lebar 60 cm dan celah udara 28 cm dengan tinggi saluran masuk menyesuaikan atap.



**Gambar 11** Potongan A-A' dan Potongan B-B' Alternatif 1

Perhitungan luas bukaan pada bangunan alternatif 1 SCAC dihitung pada ventilasi dengan rangka besi di bagian depan bangunan, seluruh ventilasi di dalam bangunan, dan *solar chimney* (Gambar 11). Pada pagar terdapat 2 lubang sirkulasi udara berukuran 400 x 60 cm. Ventilasi pada GAD *Homestay* berukuran 12 x 25 cm dan berjumlah 20. Luas *solar chimney* berukuran 28x60 cm.

$$\text{Pagar} = 400 \times 60 \times 2 = 48000 \text{ cm}^2$$

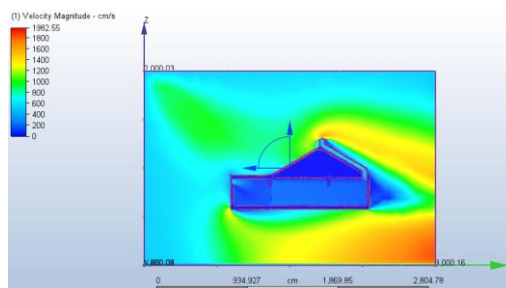
$$\text{Ventilasi} = 12 \times 25 \times 20 = 6000 \text{ cm}^2$$

$$\text{Pintu terbuka} = 80 \times 190 = 15200 \text{ cm}^2$$

$$\text{Solar chimney} = 28 \times 60 \text{ cm} = 1680 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luas lantai bangunan } 1400 \times 1000 = 1400000 \text{ cm}^2$$

Total Luas Bukaan =  $48000 + 6000 + 1680 + 15200 / 1400000 \times 100\% = 70880 / 1400000 \times 100\% = 5,06\%$  Perhitungan luas bukaan dan simulasi kecepatan angin alternatif 1 sudah mencapai standar SNI 03-6572-2001 standar minimal 5%.



**Gambar 12** Hasil Simulasi Penghawaan Alternatif 1

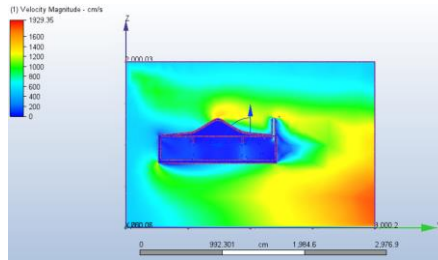
Sumber: *Software CFD*, 2021

Gambar 12 adalah hasil pengujian penghawaan alternatif 1 menggunakan *software CFD* menunjukkan bahwa angin yang masuk ke dalam bangunan cenderung merata





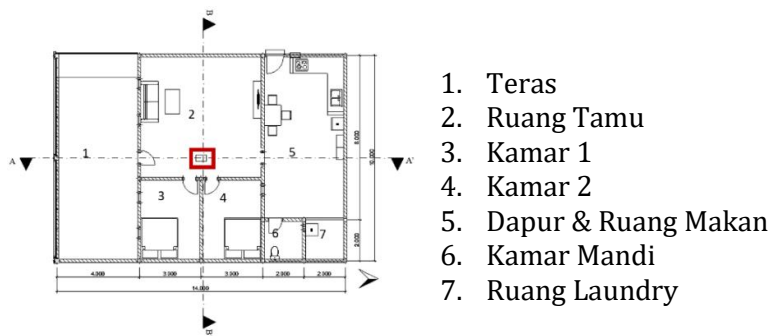
Luas lantai bangunan  $1400 \times 1000 = 1400000 \text{ cm}^2$   
Total Luas Bukaannya =  $48000 + 6000 + 15200 + 1400 / 1400000 \times 100\% = 70600 / 1400000 \times 100\% = 5,04\%$  Perhitungan luas bukaan dan simulasi kecepatan angin alternatif 1 sudah mencapai standar SNI 03-6572-2001 standar minimal 5%.



**Gambar 16** Hasil Simulasi Penghawaan Alternatif 2  
Sumber : *Software CFD, 2021*

Gambar 16 adalah hasil pengujian penghawaan alternatif 2 menggunakan *software CFD* menunjukkan bahwa angin yang masuk ke dalam bangunan dengan warna biru muda tidak merata dan masih terdapat bagian yang tidak terdapat aliran angin (warna biru tua), kecepatan angin yang masuk sekitar  $0 - 0,2 \text{ m/s}$  karena model *solar chimney* dengan cerobong yang vertikal ini kurang maksimal dalam menyerap sinar matahari sehingga belum mencapai standar kecepatan udara yang baik adalah  $0,25 \text{ m/s}$ .

### Analisis Kinerja Alternatif 3 *Solar chimney* kombinasi (SCSC & SCT) dan Pengujiannya



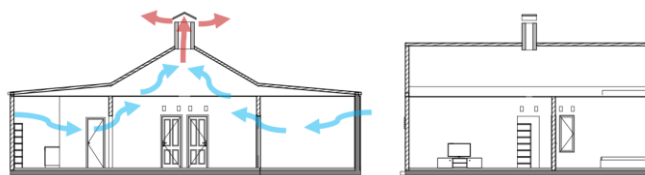
**Gambar 17** Peletakan *Solar chimney* Alternatif 3

Peletakan *solar chimney* alternatif 3 di tengah bangunan karena pada bagian tersebut dapat menerima udara dari utara maupun selatan (Gambar 17).



**Gambar 18** 3D Model Alternatif 3

Pada Gambar 18 menunjukkan bahwa alternatif 3 desain pada bangunan *GAD Homestay* Pekalongan menggunakan gabungan *solar chimney* atap dan *solar chimney* vertikal. Model *solar chimney* alternatif 3 memiliki lebar  $60 \text{ cm}$  dan celah udara  $28 \text{ cm}$  dengan tinggi  $100 \text{ cm}$ .



**Gambar 19** Potongan A-A' dan Potongan B-B' Alternatif 3

Perhitungan luas bukaan pada bangunan alternatif 3 dihitung pada ventilasi dengan rangka besi di bagian depan bangunan, seluruh ventilasi di dalam bangunan, dan *solar chimney* (Gambar 19). Pada pagar terdapat 2 lubang sirkulasi udara berukuran 400x60 cm. Ventilasi pada *GAD Homestay* berukuran 12x25 cm dan berjumlah 20. Luas *solar chimney* berukuran 28x60 cm.

$$\text{Pagar} = 400 \times 60 \times 2 = 48000 \text{ cm}^2$$

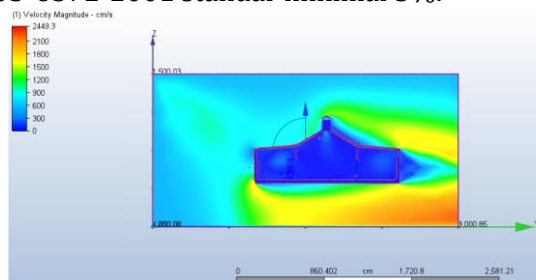
$$\text{Ventilasi} = 12 \times 25 \times 20 = 6000 \text{ cm}^2$$

$$\text{Pintu terbuka} = 80 \times 190 = 15200 \text{ cm}^2$$

$$\text{Solar chimney berukuran } 28 \times 60 \text{ cm} = 1680 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luas lantai bangunan } 1400 \times 1000 = 1400000 \text{ cm}^2$$

Total Luas Bukaan =  $48000 + 6000 + 1680 + 15200 / 1400000 \times 100\% = 70880 / 1400000 \times 100\% = 5,06\%$  Perhitungan luas bukaan dan simulasi kecepatan angin alternatif 1 sudah mencapai standar SNI 03-6572-2001 standar minimal 5%.



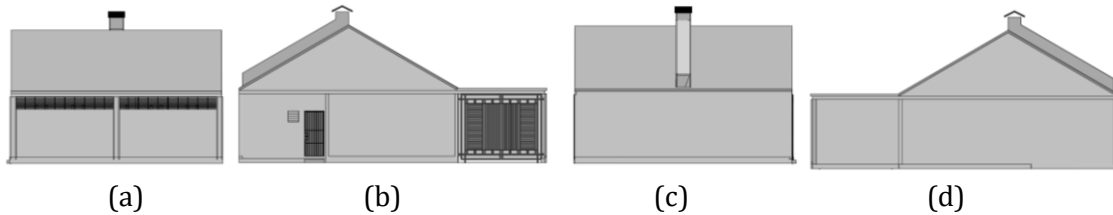
**Gambar 20** Hasil Simulasi *Software* CFD Bangunan Eksisting  
 Sumber: *Software* CFD, 2021

Gambar 20 adalah hasil pengujian penghawaan alternatif 3 menggunakan *software* CFD menunjukkan bahwa angin yang masuk ke dalam bangunan tidak merata karena ketinggian dari *solar chimney* kurang sehingga sinar matahari yang ditangkap tidak maksimal. Angin yang berwarna biru muda hanya terdapat di tiga titik saja dan lebih dominan berwarna biru tua yang artinya masih banyak bagian bangunan yang belum mendapatkan angin, kecepatan angin sekitar 0 - 0,2 m/s sehingga belum mencapai standar kecepatan udara yang baik adalah 0,25 m/s.

## PEMBAHASAN

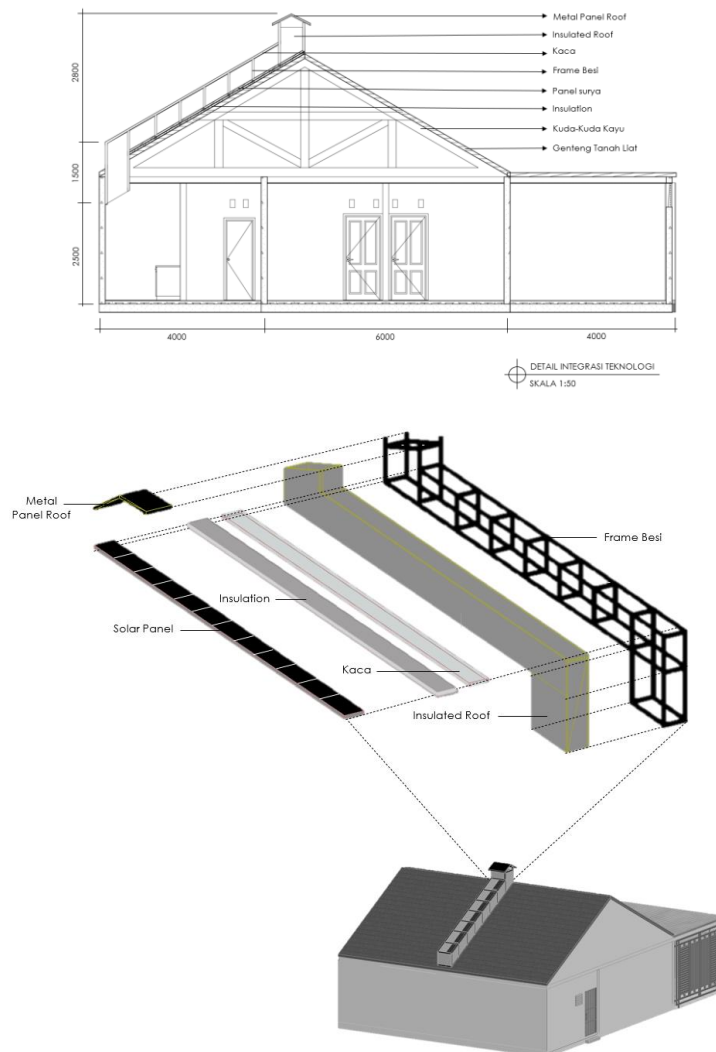
Berdasarkan hasil perhitungan luas bukaan ventilasi bangunan eksisting adalah 3,42%. Dengan penerapan solar chimney didapatkan hasil luas bukaan alternatif 1 SCAC sebesar 5,06%, alternatif 2 SCT sebesar 5,04%, dan alternatif 3 SC Kombinasi SCAC&SCT sebesar 5,06%. Standar penghawaan alami SNI 03-6572-2001, yaitu jumlah bukaan ventilasi tidak kurang dari 5% terhadap luas ruangan. Simulasi penghawaan pada bangunan eksisting menggunakan *software* CFD menunjukkan hasil tidak ada angin yang masuk ke dalam bangunan. Dengan penerapan *solar chimney* didapatkan hasil kinerja kecepatan angin alternatif 1SCAC merata sebesar 0,2 - 0,4 m/s, alternatif 2 SCT tidak merata sebesar 0 - 0,2 m/s, dan alternatif 3 SC Kombinasi SCAC&SCT tidak merata sebesar 0 - 0,2 m/s. Standar kecepatan angin yang baik di bangunan rumah tinggal adalah 0,25 m/s.

Hasil perhitungan luas bukaan dan simulasi penghawaan dengan *software* CFD menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang tidak signifikan antara ruangan dengan cerobong surya baik alternatif 1 (SCAC), alternatif 2 (SCT), dan alternatif 3 (gabungan SCAC&SCT). Alternatif desain terpilih yang sesuai standar luas bukaan dan kecepatan angin adalah alternatif 1 dengan penerapan atap *solar chimney*. Selain itu, alternatif 1 dengan atap *solar chimney* 30° juga memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan vertikal *solar chimney* karena Indonesia dengan iklim tropis dan ketinggian matahari yang mendekati 0 lintang membutuhkan variasi kemiringan untuk mendapatkan kinerja cerobong surya yang lebih efektif (Sugini et al., 2021)



**Gambar 21** Desain Terpilih Alternatif 1

(a) Tampak Selatan, (b) Tampak Utara, (c) Tampak Barat, (d) Tampak Timur



**Gambar 22** Aksonometri Konstruksi Alternatif 1

## KESIMPULAN

Berdasarkan riset uji alternatif model dan analisis komparasi pembahasan disimpulkan bahwa teknologi *solar chimney* atap condong (SCAC) dengan kemiringan 30°C adalah model *solar chimney* yang paling memberikan kinerja pengahawaan alami terbaik pada kasus bangunan. Yaitu memberikan kinerja ventilasi alamiah dengan angin yang merata sebesar 0,2 - 0,4 m/s.

## DAFTAR PUSTAKA

- Andres Soto, P. M. (2021). Simulation and experimental study of residential building with north side. *Journal of Building Engineering*.
- Azadeh Jafari, A. H. (2016). Passive solar cooling of single-storey buildings by an adsorption chiller. *Journal of Cleaner Production*.
- Ching, F. D. (2008). *Arsitektur : Bentuk, Ruang, dan Tatahan*. Jakarta: Erlangga.
- Shi L, Z. G. (2018). Determining the influencing factors on the performance of solar chimney in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 88, 223-238.
- Sugini, Dr. (2012). *Thermal Comfort : Concept and Application to Design (Kenyamanan Termal Ruang : Konsep dan Penerapan pada Desain)*. Graha Ilmu.
- Sugini, Mufida, E., & Risdiyano. (2021). Potential of sloped solar chimney for the architectural development of sustainable applied technology models for passive air ventilation. *Journal of Design and Built Environment*, 21(1), 13-20. <https://doi.org/10.22452/jdbe.vol21no1.2>
- Sugini, S., & Mufida, E. (2019). Significance of the position and height at performance vertical solar chimney on dense low-cost house in warm humid climate urban. In *Journal of Design and Built Environment* (Vol. 19, Issue 3). University of Malaya.
- Xamán, J. (2019). Solar Chimneys with A Phase Change Material for Buildings: An Overview Using CFD and Global Energy Balance. *Energy & Buildings*.
- Xinyu Zha, J. Z. (2017). Experimental and Numerical Studies of Solar Chimney for Ventilation in Low Energy Buildings. *International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning*.