

PENGARUH KEMIRINGAN *SOLAR CHIMNEY* TERHADAP EFEKTIVITAS KINERJA PENGHAWAAN ALAMI PADA BANGUNAN PERKULIAHAN

**(Studi Kasus : Ruang Kelas IV/2 Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia)**

Syeren Syanuna¹, Sugini², Isyirin Yus Fauziah³

¹Jurusan Arsitektur, Universitas Islam Indonesia

Surel : 19512195@students.uui.ac.id

***ABSTRAK:** Dalam situasi saat ini, banyak masyarakat yang masih tidak menyadari dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh tingginya konsumsi energi pada bangunan. Salah satu strategi yang digunakan untuk membuat bangunan lebih ramah lingkungan dan memiliki manfaat yang berkelanjutan adalah dengan penerapan solar chimney. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan kinerja penghawaan alami pada solar chimney 30° dengan solar chimney 45° pada ruang kelas IV/02 FTSP UII. Metode riset yang dilakukan dengan komparasi kinerja kasus eksisting dengan kasus termodifikasi dengan dua model uji solar chimney. Uji komparasi dilakukan dengan tahapan observasi pada lokasi untuk mengumpulkan data. Kemudian, melakukan pengujian simulasi bangunan dengan software CFD dan mengolah data hasil simulasi menggunakan software SPSS 25. Hasil perbandingan membuktikan bahwa terdapat perbedaan kinerja solar chimney antara kemiringan 30° dengan kemiringan 45° dalam meningkatkan kinerja penghawaan alami pada ruang kelas IV/02 FTSP Universitas Islam Indonesia. Penerapan solar chimney 45° memberikan hasil yang lebih tinggi dibandingkan dengan solar chimney 30°. Solar chimney dengan kemiringan 45° mampu meningkatkan rata-rata kecepatan angin hingga 0.076 m/s. Oleh karena itu, disimpulkan bahwa kemiringan solar chimney memiliki pengaruh pada peningkatan efektivitas kinerja penghawaan alami.*

Kata kunci: kemiringan, konsep berkelanjutan, penghawaan alami, *solar chimney*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dalam situasi saat ini, isu tentang energi dan pembangunan berkelanjutan adalah sesuatu yang sangat penting. Hal ini disebabkan peningkatan konsumsi energi semakin tinggi seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk yang dapat menyebabkan kerusakan lingkungan. Bangunan merupakan penyumbang konsumsi energi sekaligus emisi gas rumah kaca paling besar (Ching, 2008). Oleh karena itu, konsep berkelanjutan perlu diterapkan untuk meminimalkan dampak negatif dari bangunan di lingkungan dengan efisiensi dalam penggunaan energi.

Salah satu strategi yang digunakan untuk membuat bangunan lebih ramah lingkungan dan memiliki manfaat yang berkelanjutan adalah pemilihan strategi pasif dalam meningkatkan kinerja termal bangunan (Sugini, 2012). Strategi pasif peningkatan kerja termal yang efektif untuk Indonesia yang beriklim hangat lembab adalah peningkatan ventilasi angin dalam ruang atau penghawaan alami. Potensi yang dapat dikembangkan pada daerah beriklim tropis adalah memanfaatkan sumber energi dari matahari. Penelitian dilakukan di ruang kelas IV/02 Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP) Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Penggunaan energi terbesar pada gedung perkuliahan adalah sistem penghawaan buatan.

Pemanfaatan energi matahari dengan membuat *Solar Chimney* memiliki manfaat untuk meningkatkan penghawaan alami pada bangunan. *Solar Chimney* adalah teknologi yang dapat mendorong pergerakan udara di seluruh bangunan menggunakan sinar matahari sehingga dapat menghemat energi. Pada dasarnya masalah penggunaan energi matahari adalah ketidakstabilan daya yang dihasilkan karena bergantung pada intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel surya. Intensitas cahaya matahari yang diterima dapat dimaksimalkan dengan memasang panel dengan sudut kemiringan yang tepat. Indonesia dengan iklim tropis dan ketinggian matahari yang mendekati 0 lintang membutuhkan variasi kemiringan untuk mendapatkan kinerja solar chimney yang lebih efektif (Sugini, Mufida, & Risdiyano, 2021). Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada pengaruh kemiringan solar chimney terhadap efektivitas kinerja penghawaan alami pada bangunan FTSP Universitas Islam Indonesia.

Rumusan Masalah

Apakah kemiringan *Solar Chimney* dengan sudut 30° dengan sudut 45° memiliki perbedaan dalam meningkatkan kinerja penghawaan alami pada ruang kelas IV/2 Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP) Universitas Islam Indonesia?.

Tujuan

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui perbedaan kinerja penghawaan alami pada *Solar Chimney* kemiringan 30° dengan solar chimney 45° pada ruang kelas IV/2 Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP) Universitas Islam Indonesia.

Batasan Penelitian

Penelitian ini berfokus pada ruang kelas IV/2 di FTSP Universitas Islam Indonesia. Masalah yang dikaji dalam penelitian ini terbatas pada simulasi kinerja penghawaan alami dilihat dari *Solar Chimney* dengan kemiringan 30° dan 45°.

STUDI PUSTAKA

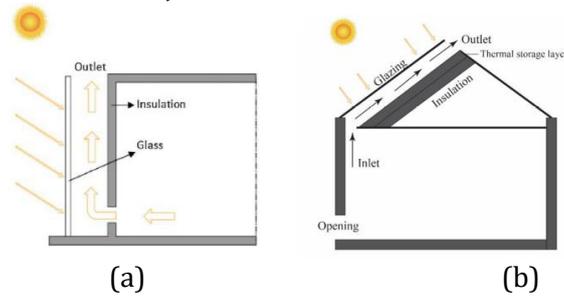
Solar Chimney

Solar Chimney (SC) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengubah radiasi panas matahari menjadi angin. Cerobong surya atau *solar chimney* adalah jenis sistem pemanas dan pendingin matahari pasif yang dapat digunakan untuk mengatur suhu bangunan dan memberikan ventilasi sehingga dapat mencapai desain bangunan yang hemat energi. *Solar Chimney* bekerja dengan memanfaatkan kemampuan mengambang udara panas dan efek hisap sehingga udara diam yang ada di dalam ruang dapat mengalami pergerakan.

Strategi penghawaan alami didasarkan pada penggunaan *solar chimney* sebagai outlet menara angin yang menarik udara hangat keluar dari ruang dan menarik udara segar melalui jendela ke dalam ruang untuk menggantikannya. Cerobong yang mendominasi bentuk atap ditutup dengan lembaran polikarbonat yang dicat hitam untuk menjebak radiasi matahari di atas cerobong. Perangkat panas ini meningkatkan efek tumpukan di dalam cerobong dan menarik udara hangat dari ruang di bawah. Cerobong menggunakan angin untuk menciptakan tekanan negatif di bagian atas yang selanjutnya meningkatkan pergerakan udara cerobong.

Solar Chimney memiliki dua jenis, yaitu *Vertical Solar Chimney* (VSC) dan *Sloped Solar Chimney* (SSC) (Gambar 1). *Sloped Solar Chimney* (SSC) memiliki kinerja yang lebih baik dari *Vertical Solar Chimney* (VSC) jika diterapkan pada daerah dengan iklim tropis (Sugini,

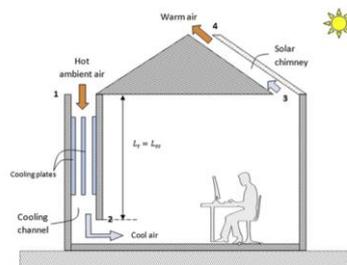
Mufida, & Risdiyano, 2021). SSC memiliki potensi sebagai strategi pendinginan pasif untuk pengembangan arsitektur berkelanjutan.



Gambar 1 (a) Vertical Solar Chimney (b) Sloped Solar Chimney

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

Penentuan model *Solar Chimney* diperlukan dengan mengukur kecepatan udara, luas *inlet* dan *outlet*, radiasi matahari, tinggi cerobong, dan suhu udara dalam ruangan (Andres Soto, 2021). (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. *Solar chimney* terdiri dari permukaan kaca dan dinding penyerap. Radiasi matahari yang melewati kaca dan diserap oleh dinding, memanaskan udara di dalam cerobong asap (Gambar 2). 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 2. Skema solar chimney pada ruangan

Sumber : A. Jafari dan A. Haghighi Poshtir, 2016

Dimensi optimum *Solar Chimney*, yaitu panjang 1,4 m, lebar 0,6 m, celah udara 0,2 m, dan sudut kemiringan 45°. Penelitian ini mengutamakan penyerapan radiasi matahari melalui bidang serapan dengan kemiringan. Penelitian lain mengungkapkan bahwa setelah dimensi lebar *Solar Chimney*, variabel kedua yang secara signifikan menentukan kinerja *Solar Chimney* adalah kemiringan (Al-Kayiem, Sreejaya, & Chikere, 2017). Variasi kemiringan *Solar Chimney* memainkan peran penting dalam kinerja (Jianliu & Weihua, 2013). Indonesia dengan iklim lembab hangat dan ketinggian matahari mendekati nol lintang perlu fokus pada variasi kemiringan untuk mendapatkan kinerja cerobong surya yang lebih efektif.

Penghawaan Alami

Penghawaan alami atau ventilasi alami merupakan suatu proses perputaran udara melalui elemen bukaan pada bangunan. Sirkulasi udara yang baik akan memberikan kenyamanan bagi pengguna bangunan. (Lippsmeier, 1994) menyatakan bahwa standar kecepatan udara dalam bangunan, yaitu :

- 0,25 m/s nyaman, tanpa terasa adanya gerakan udara.
- 0,25-0,5 m/s nyaman, gerakan udara terasa.
- 1,0-1,5 m/s aliran udara ringan sampai tidak menyenangkan.

d. Diatas 1,5 m/s tidak menyenangkan.

Penghawaan alami yang baik dapat diterapkan dengan mendesain elemen arsitektur untuk memaksimalkan udara yang masuk ke dalam bangunan. Bentuk dan ukuran bukaan menjadi faktor yang menentukan aliran udara. Selain itu, penghawaan juga dipengaruhi oleh letak bangunan dan iklim setempat.

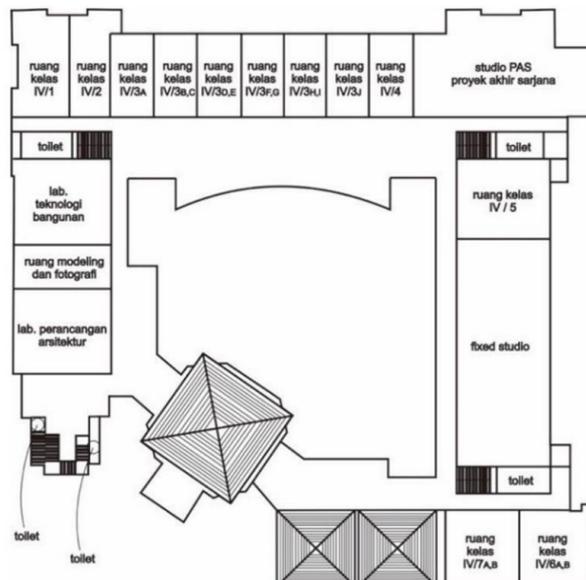
METODA EVALUASI

Penelitian ini dilakukan di bangunan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia yang terdiri dari empat lantai. Lokasinya berada di Jalan Kaliurang Km.14,5, Besi, Sleman, Krawitan, Umbulmartani, Kec. Ngemplak, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta (Gambar 3).



Gambar 3 Lokasi Penelitian
Sumber : Google Maps, 2022

Gambar 4 merupakan denah lantai empat. Bangunan FTSP Universitas Islam Indonesia terdiri dari empat sisi yang pada sisi utara terdapat sepuluh ruangan. Pada penelitian ini menggunakan ruang kelas IV/02 yang kurang memaksimalkan pada penghawaan alami. Pada ruangan ini terdapat aktivitas belajar mengajar yang dilakukan oleh banyak orang secara rutin sehingga memerlukan kenyamanan penghawaan alami. Ruangan ini tertutup dan terasa gerah sehingga pengguna merasa kurang nyaman jika melakukan aktivitas pada ruang tersebut.



Gambar 4. Denah Lantai 4

Sumber : Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun, 2019

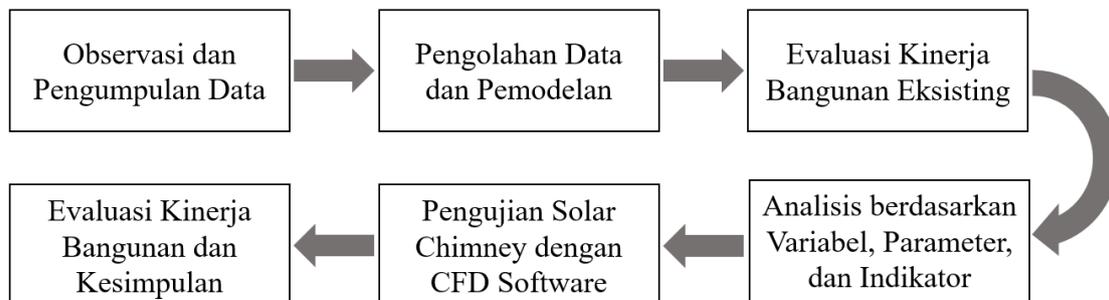
Dari studi literatur yang telah diuraikan diatas, maka dalam penelitian ini menggunakan beberapa variabel sebagai variabel independent, variabel dependen, maupun variabel

kontrol. Tabel berikut merupakan variabel, parameter, dan indikator yang dijadikan acuan dalam penelitian (Tabel 1).

Tabel 1. Variabel, Parameter, dan Indikator

	Variabel	Parameter	Indikator
Independen	Kemiringan solar chimney	Sudut kemiringan solar chimney	Semakin banyak radiasi matahari yang diserap oleh solar chimney, maka penghawaan alami juga semakin meningkat. Penyerapan radiasi matahari memerlukan variasi kemiringan solar chimney untuk mendapatkan kinerja penghawaan alami yang lebih efektif.
Dependen	Penghawaan alami	Kecepatan angin	SNI 03-6572-2001 Kecepatan angin yang baik adalah 0,25 m/s. Kecepatan angin tersebut dapat dibuat lebih besar dari 0,25 m/s tergantung dari kondisi temperatur udara kering dalam ruang.

Dalam penelitian ini pengujian dilakukan dengan dua model, yaitu *Solar Chimney* kemiringan 30° dan *Solar Chimney* kemiringan 45°. Penelitian ini menggunakan metode analisis komparatif dengan pendekatan kuantitatif dimana hasil data dianalisis berdasarkan variabel, parameter, dan indikator yang telah ditentukan dengan membandingkan antara bangunan eksisting dengan model uji (Gambar 4).

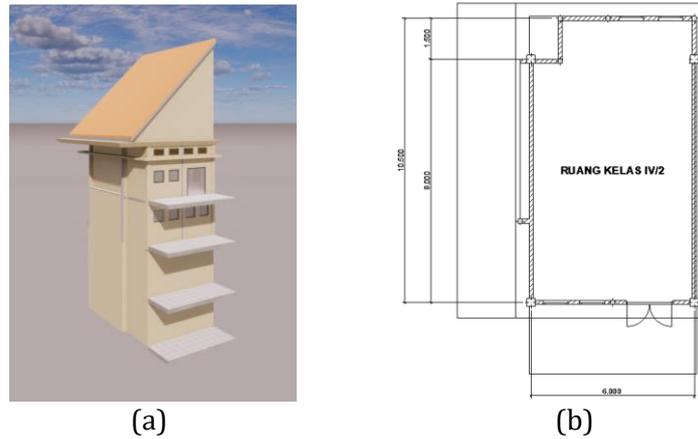


Gambar 5. Skema Metode

HASIL DAN PEMBAHASAN

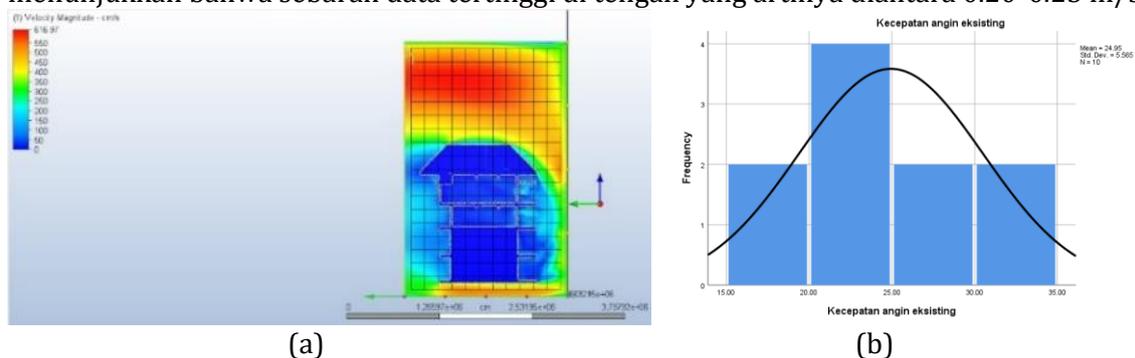
Bangunan Eksisting

Pada penelitian ini menggunakan ruang kelas IV/2 yang kurang memaksimalkan pada penghawaan alami. Berdasarkan data windrose DI Yogyakarta rata-rata kecepatan angin adalah 11,9 km/h dari arah Selatan. Bangunan eksisting ruang kelas IV/2 memiliki ukuran 6 x 1,5 m dengan 2 bukaan berukuran 90 x 90 cm di sisi selatan dan utara. Selain itu, di bagian atas ruang ini juga terdapat 4 bukaan yang lebih kecil dengan ukuran 50 x 90 cm di sisi selatan dan utara. Berikut merupakan gambar dari ruang kelas IV/2 (Gambar 5).



Gambar 6. (a) 3D Model Eksisting (b) Ruang Kelas IV/2

Simulasi bangunan dilakukan menggunakan Computational Fluid Dynamics Software. Berdasarkan hasil simulasi bangunan eksisting Ruang Kuliah IV/02 menggunakan CFD software menunjukkan pola persebaran angin (Gambar 6a). Maka hasil simulasi yang diperoleh pada bangunan eksisting mean 0.242 m/s, median 0.230 m/s., dan modus 0.215 m/s. Sedangkan Gambar 6b menunjukkan histogram hasil simulasi dengan SPSS yang menunjukkan bahwa sebaran data tertinggi di tengah yang artinya diantara 0.20-0.25 m/s.



Gambar 7. (a) Hasil Simulasi CFD Eksisting (b) Histogram SPSS Hasil Simulasi Eksisting

Solar Chimney Kemiringan 30°

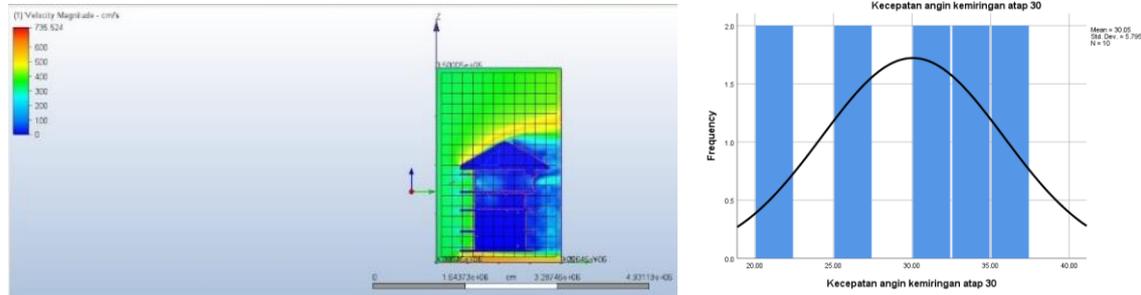
Gambar 5 menunjukkan solar chimney di atap dengan kemiringan 30°. Pengujian pada model ini sama dengan proses pengujian pada model eksisting, yaitu dengan memberikan besaran angin pada inlet 11,9 km/h.



Gambar 8. 3D model Solar Chimney 30°

Simulasi CFD dengan solar chimney kemiringan 30° dilakukan menggunakan CFD Software untuk mengetahui kecepatan angin yang masuk ke dalam bangunan. Dari hasil pengujian

terlihat bahwa angin masuk melalui bukaan di sebelah selatan dan angin menyebar di dalam ruangan. Kemudian udara yang di dalam ruangan menguap dan keluar melalui solar chimney di atap (Gambar 8a). Hasil simulasi dengan menerapkan solar chimney kemiringan 30° menunjukkan mean 0.300 m/s, median 0.313 m/s, dan modus 0.347 m/s. Sedangkan Gambar 8b menunjukkan histogram hasil simulasi solar chimney dengan kemiringan 30° dengan SPSS menunjukkan bahwa sebaran data terdistribusi dengan rata yang artinya solar chimney kemiringan 30° itu kecepatan angin pada tiap titik amatan cenderung rata.



Gambar 9. (a) Hasil Simulasi CFD Solar Chimney 30° (b) Histogram SPSS Hasil Simulasi Solar Chimney 30°

Hasil simulasi sesuai dengan penelitian (Al-Kayiem, Sreejaya, & Chikere, 2017) yang menjelaskan bahwa variabel yang secara signifikan menentukan kinerja *Solar Chimney* adalah kemiringan. Secara teoritis, konsep ini logis karena kemiringan *Solar Chimney* yang akurat dengan ketinggian rata-rata matahari akan meningkatkan intensitas radiasi yang jatuh di *Solar Chimney*.

Solar Chimney Kemiringan 45°

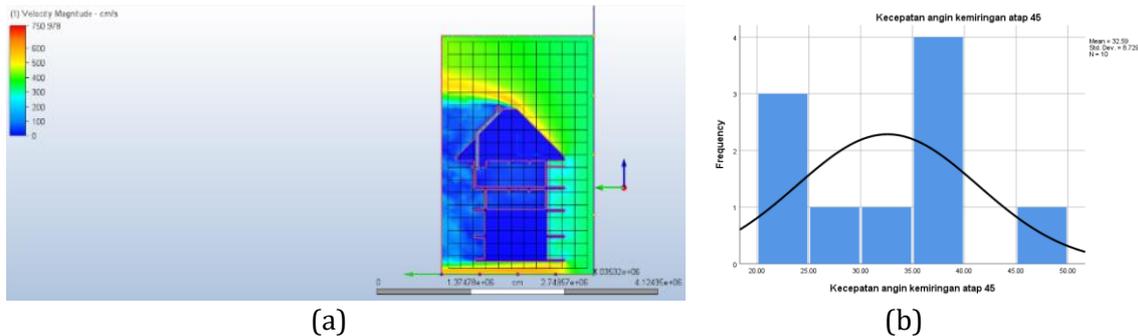
Gambar 7 menunjukkan solar chimney pada atap dengan kemiringan 45° sesuai dengan kemiringan atap bangunan eksisting. Model solar chimney ini memiliki lebar 60 cm dan celah udara 28 cm. Pengujian pada model ini juga sama dengan proses pengujian pada model eksisting, yaitu dengan memberikan besaran angin pada inlet $11,9$ km/h.



Gambar 10. 3D Model Solar Chimney 45°

Simulasi CFD software bangunan dengan penerapan solar chimney kemiringan 45° dilakukan menggunakan CFD Software untuk mengetahui kecepatan angin yang masuk ke dalam bangunan. Proses pengujian pada model solar chimney 45° mendapatkan hasil angin yang masuk ke dalam bangunan semakin besar. Hasil simulasi CFD solar chimney kemiringan 45° menunjukkan bahwa mean 0.325 m/s, median 0.348 m/s, dan modus 0.367 m/s (Gambar 10a). Histogram hasil simulasi solar chimney dengan kemiringan 45° dengan SPSS menunjukkan bahwa sebaran kecepatan angin terdistribusi merata dengan hasil rata-

rata 0.325 m/s (Gambar 10b). Oleh karena itu, solar chimney ini memiliki kinerja yang lebih baik.



Gambar 11. (a) Hasil Simulasi CFD Solar Chimney 45° (b) Histogram SPSS Hasil Simulasi Solar Chimney 30 °

Terlihat dengan hasil yang meningkat dari model solar chimney 30°. Angin lebih banyak yang menguap dan keluar melewati solar chimney menandakan bahwa cahaya matahari yang diserap lebih maksimal. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian (Andres Soto, 2021) yang menjelaskan bahwa dimensi optimum *Solar Chimney*, yaitu panjang 1,4 m, lebar 0,6 m, celah udara 0,2 m, dan sudut kemiringan 45°. Penelitian ini mengutamakan penyerapan radiasi matahari melalui bidang serapan dengan kemiringan.

Tabel 2 merupakan data hasil simulasi CFD Software pada bangunan eksisting, solar chimney 30°, dan solar chimney 45°. Kemudian didapatkan hasil mean, median, dan modus yang digunakan untuk mengolah data di software SPSS 25.

Tabel 2. Hasil Simulasi CFD Software

N	Eksisting (m/s)	Kemiringan 30° (m/s)	Kemiringan 45° (m/s)
1	0.157	0.213	0.229
2	0.215	0.301	0.329
3	0.198	0.350	0.484
4	0.300	0.324	0.367
5	0.348	0.263	0.295
6	0.234	0.210	0.210
7	0.227	0.347	0.372
8	0.242	0.372	0.380
9	0.284	0.347	0.367
10	0.284	0.273	0.220
Mean	0.249	0.300	0.325
Median	0.238	0.313	0.348
Modus	-	0.347	0.367

Dalam proses pengambilan hasil menggunakan metode uji Paired Sample T Test pada software SPSS 25 signifikansi 5% (0,05). Pedoman dalam pengambilan keputusan dalam uji *Paired-Sample T Test* berdasarkan nilai signifikansi (Sig.) hasil output SPSS sebagai berikut :

1. Jika nilai Signifikansi < 0.05, maka H0 ditolak dan H1 diterima
2. Jika nilai Signifikansi > 0.05, maka H0 diterima dan H1 ditolak

Tabel 3 merupakan data hasil *Paired Sample T Test* yang mengui bangunan eksisting, solar chimney kemiringan 30 °, dan solar chimney kemiringan 45 °.

Tabel 3. Hasil Uji *Paired Samples T Test*

No	Model Uji	Signifikansi	Keterangan
1	Bangunan Eksisting - Solar Chimney 30°	0.061	Terima H0 (Tidak ada perbedaan)
2	Bangunan Eksisting - Solar Chimney 45°	0.048	Tolak H0 (Ada perbedaan)
3	Bangunan Solar Chimney 30° - Solar Chimney 45°	0.120	Terima H0 (Tidak ada perbedaan)

Dalam penelitian ini, terdapat tiga hipotesis yang mengkomparasi atau membandingkan dari tiap model uji menggunakan *Paired-Samples T Test* software SPSS 25. Berdasarkan ketiga hipotesis konseptual, yang terbukti terdapat perbedaan kecepatan angin adalah satu hipotesis benar dan dua hipotesis salah. Oleh karena itu, disimpulkan bahwa terbukti benar kemiringan *Solar Chimney* berpengaruh terhadap efektivitas kinerja penghawaan alami pada bangunan FTSP Universitas Islam Indonesia. Terdapat perbedaan dan pengaruh kecepatan angin dengan penerapan *solar chimney* kemiringan 45°

KESIMPULAN

Berdasarkan uji model dan analisis komparasi disimpulkan bahwa terdapat perbedaan kinerja solar chimney antara kemiringan 30° dengan kemiringan 45° dalam meningkatkan kinerja penghawaan alami pada ruang kelas IV/02 FTSP Universitas Islam Indonesia. Hasil simulasi dengan penerapan *solar chimney* 45° memberikan hasil yang lebih tinggi dibandingkan dengan solar chimney 30°. Perubahan rata-rata kecepatan angin dari bangunan eksisting dengan solar chimney 30° adalah 0.051 m/s. Sedangkan solar chimney dengan kemiringan 45° mampu meningkatkan rata-rata kecepatan angin hingga 0.076 m/s.

Hasil simulasi membuktikan bahwa kemiringan solar chimney memiliki pengaruh pada peningkatan efektivitas kinerja penghawaan alami. Dari hasil perbandingan tersebut dapat memberikan rekomendasi pemilihan kemiringan solar chimney yang menyesuaikan dengan iklim sekitar sehingga dapat meningkatkan kinerja penghawaan alami yang baik dan tidak bergantung pada penghawaan buatan yang banyak mengkonsumsi energi listrik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih untuk pihak Universitas Islam Indonesia yang telah mengizinkan untuk menggunakan ruang kelas IV/02 sebagai studi kasus pada penelitian ini. Terimakasih juga kepada Dr. Ir. Sugini, M.T., IAI., GP dan Isyryn Yus Fauziah, S.Ars. yang telah membimbing dan memberi masukan terkait dengan proses penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Kayiem, H. H., Sreejaya, K., & Chikere, A. O. (2017). *Experimental and numerical analysis of the influence of inlet configuration on the performance of a roof top solar chimney. Energy and Buildings.*
- 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.*
- Badan Standarisasi Nasional. (2001). SNI 03-6572-2001 Tata Cara Perencanaan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung. Jakarta.
- Ching, F. D. (2008). *Arsitektur : Bentuk, Ruang, dan Tatanan.* Jakarta: Erlangga.
- Jianliu, X., & Weihua, L. (2013). *Study on solar chimney used for room natural ventilation in Nanjing. Energy Build Vol. 66, 467-469.*
- Lippsmeier, G. (1994). *Tropenbau Building in the Tropics (Bangunan Tropis).*
- Sugini. (2012). *Thermal Comfort : Concept and Application to Design (Kenyamanan Termal Ruang : Konsep dan Penerapan pada Desain).* Graha Ilmu.
- Sugini, & Mufida, E. (2019). *Significance of the Position and High at Solar Chimney .*
- 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).*
- 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.*