

TAMAN DALAM SEBAGAI SISTEM PENGHAWAAN ALAMI PADA HUNIAN (STUDI KASUS: RUMAH DI CIPAYUNG)

(Courtyard As a Natural Ventilation System in Residences (Case Study: House in Cipayung))

Inggit Musdinar Sayekti Sihing Yang Mawantu¹; Harfa Iskandaria¹; Catherine A. Pakpahan¹

¹ Program Studi Arsitektur, Universitas Budi Luhur, Jakarta
Inggit.musdinar@budiluhur.ac.id

Abstract

The pandemic has passed, but the healthy home improvement is needed. Homes are required to be more prepared for the possibility of a pandemic in the future. Natural ventilation is important in reducing the transmission of the virus. Natural ventilation allows air exchange in the house. Houses often change from their original shape due to the need for space for their occupants. So that only left one side of the building, which is connected to the outside. This problem is solved by adding a courtyard. This study describes the conditions before and after the addition of courtyard to a house in Cipayung. This study used a measurement method with anemometer and thermometer. The results of the study show that the yard does not fully meet the standard requirements for thermal comfort in housing. The air temperature values are already fulfilled the requirement. However, relative humidity and air velocity have not been met. Very high rainfall intensity affects the results of relative humidity measurements. In terms of the ratio of the room area and the room area, it has been met, but the rate of air exchange is greatly influenced by the speed of air entering the room.

Keywords: residence, courtyard, natural ventilation, thermal comfort.

Abstrak

Pandemi telah berlalu, namun demikian upaya penyehatan rumah perlu terus dilakukan. Rumah dituntut untuk lebih siap jika terjadi kemungkinan pandemi di masa mendatang. Penghawaan alami menjadi penting dalam menekan penularan virus. Penghawaan alami memungkinkan pertukaran udara dalam rumah. Rumah seringkali mengalami perubahan dari bentuk awal karena tuntutan kebutuhan ruang dari penghuni. Sehingga hanya menyisakan satu sisi bangunan yang berhubungan dengan ruang luar. Permasalahan ini diselesaikan melalui penambahan taman dalam. Penelitian ini mendeskripsikan kondisi sebelum dan sesudah penambahan *courtyard* pada rumah di Cipayung. Penelitian ini menggunakan metode pengukuran menggunakan *anemometer* dan *thermometer*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *courtyard* belum memenuhi persyaratan standar kenyamanan termal pada hunian. Nilai temperatur udara terpenuhi. Namun kelembaban relatif dan kecepatan udara belum terpenuhi. Kelembaban ruang diduga karena pengukuran dilakukan saat intensitas hujan sangat tinggi. Secara rasio luas ruangan dan luas bukaan telah dipenuhi, namun laju pertukaran udara sangat dipengaruhi oleh kecepatan udara yang masuk ke dalam ruangan.

Kata kunci: rumah, taman dalam, penghawaan alami, kenyamanan termal.

Pendahuluan

Penghawaan alami adalah suatu proses pertukaran udara di dalam bangunan melalui bantuan elemen-elemen bukaan pada bangunan. Prosesnya yakni udara segar dari luar ruangan yang bertekanan masuk ke dalam ruangan, sehingga menggantikan udara di dalam ruangan yang memberikan kenyamanan secara alami (López-Cabeza dkk., 2023). Keberadaan jendela pada

rumah penting untuk kesehatan penghuni. Namun pada hunian di Jakarta yang cukup padat dan berhimpit, dinding yang berhubungan langsung dengan luar semakin terbatas. Samping kiri rumah, samping kanan rumah, dan bagian belakang rumah merupakan bangunan penuh yang berbatasan dengan tetangga. Penambahan taman dalam atau *courtyard* menjadi solusi atas kebutuhan bukaan.

Penelitian ini membahas perubahan kondisi rumah yang telah melakukan perubahan dengan menambahkan *courtyard*. Penempatan *courtyard* pada denah adalah di bagian tengah rumah, sehingga diharapkan dapat menjangkau area rumah yang sisi-sisinya telah berbatasan dengan dinding masif (Gambar 1). Obyek penelitian merupakan rumah tinggal yang berorientasi ke arah selatan. Penelitian ini melihat sejauh mana perubahan akibat penerapan *courtyard*.



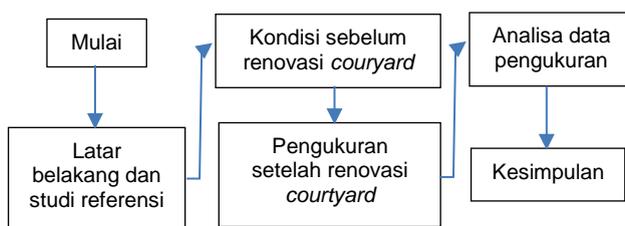
Gambar 1: Kondisi lingkungan di sekeliling obyek studi kasus

(Sumber:

<https://www.google.com/maps/place/Munjul,+Kec.+Cipayung,+Kota+Jakarta+Timur,+Daerah+Khusus+Ibukota+Jakarta/@-6.3538034,106.893516>)

Metode

Penelitian ini akan menggunakan metode pengukuran, yakni dengan mengambil data pada waktu pagi, siang dan sore hari dari 3 hari yang berbeda. Waktu pengukuran yang diambil adalah pagi pada pukul 09.00, siang pada pukul 12.00, dan sore pada pukul 15.00. Hasil pengukuran disandingkan dengan standar kenyamanan termal pada hunian. Analisa juga mencakup kebutuhan pertukaran udara dalam ruang. Langkah-langkah penelitian (Gambar 2) sebagai berikut:



Gambar 2: Alur Penelitian (Sumber: Analisis Penulis)

Studi kasus penelitian ini adalah suatu rumah tinggal di Cipayung, Jakarta Timur.

Pemilihan rumah ini sebagai studi kasus pada penelitian dikarenakan rumah tinggal ini melakukan adaptasi dengan pandemi yang terjadi di Indonesia pada pertengahan Maret tahun 2020 hingga akhir 2022. Langkah yang diambil sebagai bentuk adaptasi ini adalah dengan menambahkan *courtyard*. Perubahan sebelum dan sesudah ditambahkan *courtyard* menjadi menarik untuk diteliti.

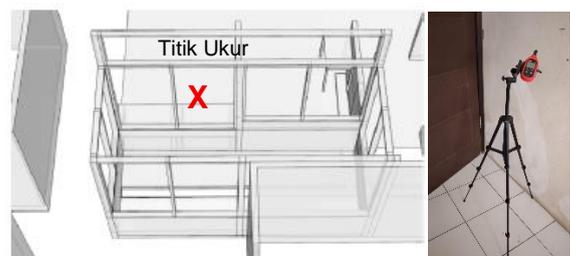
Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat yang membantu mengambil data kecepatan udara, temperatur, dan kelembaban relatif. Berikut ini adalah alat (Gambar 3) yang digunakan untuk pengukuran obyek penelitian:

1. *Mini Temperature Humidity Meter*, merk Lini-T seri UT333.
2. *Anemometer*, merk Benetech seri GM816.



Gambar 3: Termometer dan Anemometer (Sumber: dokumentasi penulis)

Instrumen pengukur diletakkan pada penyangga dengan ketinggian 100 cm dari ± 0.00 lantai rumah (Gambar 4). Pada saat pengukuran, pintu dan jendela geser dalam kondisi terbuka. Selubung *courtyard* pada sisi utara menjadi titik ukur. Sisi selubung utara terdapat pintu dan jendela. Sedangkan sisi selubung yang lain hanya terdapat jendela saja. Sisi ini dianggap memiliki potensi memasukkan udara paling besar dibandingkan sisi yang lain.



Gambar 4: Titik ukur (a) dan posisi alat ukur (b) (Sumber: dokumentasi penulis)

Kajian Teori Kenyamanan Termal

Rumah dengan sirkulasi udara yang baik dan kecukupan sinar matahari memenuhi persyaratan sebagai ruang isolasi di masa pandemi (Yatmo dkk., 2021). Dengan memperhatikan dimensi dan posisi bukaan, maka udara yang masuk ke dalam ruangan dapat dioptimalkan (Lucas dkk., 2018). Oleh karena itu diperlukan strategi bukaan ketika tidak lagi memungkinkan memberikan bukaan dari sisi bangunan yang berbatasan dengan tetangga.

Penambahan *courtyard* merupakan upaya untuk memenuhi kebutuhan rumah akan pertukaran udara siang hari untuk beraktivitas. Namun tantangan iklim di wilayah tropis perlu diperhatikan untuk mencapai kenyamanan termal. Standar 55 yang direkomendasikan adalah sebagai berikut:

1. Kecepatan udara 0,2–1,5 m/s
2. Temperatur dalam ruang 26-32°C
3. Kelembaban relatif 60-70%
4. Luas bukaan ventilasi minimal 5-20% dari luas ruangan

Penghawaan Alami

Penghawaan alami memberikan beberapa efek yang mempengaruhi resiko penularan virus dengan cara memasukkan udara segar, yang kemudian mengurangi konsentrasi *droplet* (Sheikhnejad dkk., 2022), serta mengurangi kelembaban yang ditimbulkan oleh pengguna ruangan (Carlotti dkk., 2022). Hal ini juga didukung oleh pernyataan (Ren dkk., 2021) yang memanfaatkan laju dan pasokan udara bersih ke dalam ruang untuk menekan penyebaran virus (Buonomano dkk., 2023).

Ventilasi

Persyaratan ventilasi pada iklim tropis antara lain: konfigurasi ventilasi siang untuk memaksimalkan aliran udara, rasio tinggi bukaan (*stuck effect*), orientasi bangunan, dan dimensi bukaan. SNI (Badan Standarisasi Nasional, 2001) menganjurkan persyaratan untuk hunian sebagai berikut:

1. Laju pertukaran udara 6-12 ACH (*Air Change per Hour*)
2. Luas bukaan ventilasi minimal 5% dari luas ruangan
3. Kecepatan udara 0.5-1 m/s

Kedua peraturan tersebut terdapat *gap* pada kecepatan udara yang dipersyaratkan, serta luas bukaan minimal. Laju aliran udara dapat dicapai melalui persamaan:

$$Q = Cv.A.V$$

Dengan:

Q = laju aliran udara, m³/detik

A = luas bebas dari bukaan *inlet*, m²

V = kecepatan angin, m/detik

Cv = *effectiveness* dari bukaan (Cv dianggap sama dengan 0.5~0.6 untuk angin yang tegak lurus dan 0.25~0.35 untuk angin yang diagonal).

Courtyard

Kepadatan kota merupakan awal mula pemikiran *courtyard*. Lingkungan yang padat dan miskin bukaan mengakibatkan lingkungan termal yang buruk (Nugroho dkk. Kondisi ini juga berakibat pada kualitas udara (Piedra dkk., 2020). Maka renovasi dengan memberikan *courtyard* pada hunian perlu untuk dilakukan (Hou dkk., 2024; Niu dkk. *Courtyard* dinilai sebagai strategi pasif yang paling efektif dalam menjawab kekurangan bukaan pada hunian (Ghaffarianhoseini dkk., 2015; Gupta & Joshi, 2021).

Pada wilayah dengan 4 musim, *courtyard* dapat memenuhi persyaratan ventilasi pada musim panas sekaligus sebagai pemanasan pada musim dingin. Namun berbeda saat penerapan *courtyard* di wilayah tropis yang perlu memperhatikan konfigurasi bukaan, orientasi, tinggi bukaan dan jenis penutupnya (Ghaffarianhoseini dkk., 2015; Sun dkk., 2023).

Pada area tropis, *courtyard* tidak boleh berlebihan agar kenyamanan termal tetap terpenuhi (Defiana, 2021). Ventilasi pada *courtyard* bahkan mampu mendinginkan panas, akan tetapi tergantung pada kecepatan angin. *Courtyard* yang dilengkapi dengan vegetasi sangat direkomendasikan untuk membantu pendinginan (Piedra dkk., 2020). Selain vegetasi, teritisan juga perlu diperhatikan. Dengan memperhatikan *high* (H) dan *distance* (D) dengan rasio H/D < 1 maka pendinginan dicapai melalui teritisan *courtyard* (Sun dkk., 2024).

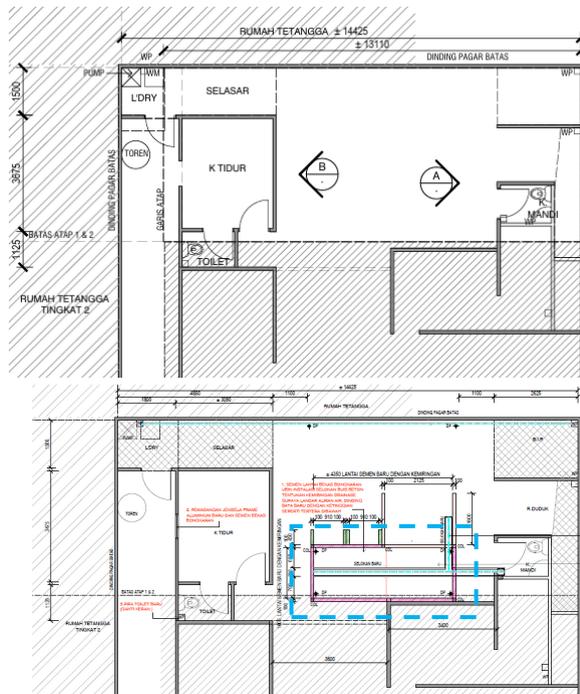
Hasil Penelitian dan Pembahasan Kondisi Obyek Penelitian

Obyek penelitian merupakan rumah satu lantai yang dibangun pada tahun 1994

dengan luas tanah 312,4 m² dan luas bangunan 240 m². Pada rumah tinggal ini terdiri dari 11 ruang, yang terdiri dari: teras depan, ruang tamu, 3 ruang tidur, ruang keluarga, ruang makan, dapur, 2 KM/ WC, dan gudang. Dari awal berdirinya, rumah ini tentunya mengalami perubahan. Perubahan dilakukan dengan memaksimalkan lahan, sehingga bukaan pada rumah tinggal ini hanya tersisa di sisi selatan bangunan. Sisi Selatan yang terdapat bukaan ini juga merupakan orientasi bangunan rumah tinggal ini. Pengembangan bangunan ini dikarenakan kurangnya ruang yang dibutuhkan untuk dapat mengakomodasi kegiatan dalam rumah dengan jumlah anggota keluarga yang bertambah.

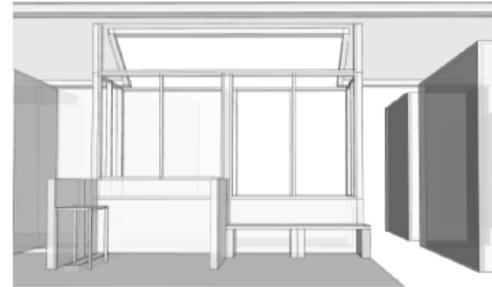
Penambahan Courtyard

Pemilihan *courtyard* sebagai upaya untuk menghadirkan penghawaan alami pada rumah tinggal di Cipayung, akibat sisi kanan, sisi kiri, dan sisi belakang dari rumah tinggal ini tidak memungkinkan diberi bukaan (Gambar 5), karena berbatasan langsung dengan rumah tetangga. Rumah tetangga sebelah kanan merupakan rumah tinggal 2 lantai. Rumah tetangga sebelah kiri merupakan bangunan 1 lantai. Sedangkan bagian sisi belakang berbatasan dengan rumah tinggal tetangga 2 lantai.



Gambar 5: Denah Eksisting (a) & Rencana Courtyard (b)

Penempatan *courtyard* ini diletakkan di tengah (Gambar 6) bangunan rumah ini dengan pertimbangan mampu menjadi sistem penghawaan alami yang menjangkau ke ruang-ruang yang ada di sekelilingnya. Dan perlu dievaluasi keberhasilan *courtyard* dan efeknya terhadap penyehatan rumah.



Gambar 6: Visualisasi 3D courtyard sisi utara

Courtyard berukuran panjang 4 m dan lebar 1,4 m. Dan tingginya menyesuaikan dengan eksisting rumah yakni 3,2 m. *Courtyard* ini dibuat dengan melubangi bagian rumah dari lantai, dinding, hingga atap. Geometri persegi panjang *courtyard*, memanjang timur-barat, dengan lubang di selubung sisi utara diharapkan mampu menangkap angin yang datang dari arah Selatan.

Keempat sisi *courtyard* ini menggunakan material kaca dengan kusen aluminium. Jendela kaca yang ada pada sisi-sisi yang melingkungi *courtyard* ini merupakan jendela yang dibuka dengan sistem geser. Ukuran dari pintu saat terbuka maksimal adalah 4.56 m² pada sisi utara dan 2.28 m² pada pintu sisi selatan. Sedangkan pada jendela ukuran luas bukaan terbuka maksimal adalah 1.12 m². Kondisi rumah ini baik sisi kanan, kiri, dan belakang sudah tertutup oleh dinding. Bagian dinding yang masih memungkinkan terjadinya pertukaran udara hanya pada sisi depan rumah tinggal yang menghadap ke arah Selatan.

Sesuai arahan dari pemerintah, bahwa rumah tinggal dengan penghawaan alami lebih disarankan. Karena jika suatu ruangan memiliki pergantian udara yang memadai, hal ini dapat membantu menekan penularan virus yang menyerang saluran pernafasan. Penghawaan alami memungkinkan pergerakan udara dalam ruang, sehingga udara dalam ruang selalu baru.

Sebelum renovasi dilakukan, telah dilakukan pengukuran awal pada lokasi yang akan dijadikan *courtyard*. Titik

pengukuran adalah titik yang sama untuk pengukuran setelah renovasi. Pengukuran awal dilakukan pada 4 Oktober 2024 pukul 12.00 dan dilakukan satu kali pengambilan data dengan hasil: suhu udara 34.7°C, kelembaban relatif 86% dan kecepatan udara 0,00 m/s.

Perubahan Setelah Penambahan Courtyard

Renovasi dilakukan sesuai dengan gambar rencana, diawali dengan membongkar lantai hingga atap. Saat atap dilubangi terlihat perbedaan besar pada seluruh ruangan. Sebelumnya ruangan terlihat sangat gelap dan pengap (Gambar 7a). Sesudah renovasi dilakukan ruangan menjadi terang (Gambar 7b). Bentuk *courtyard* yang memanjang timur-barat. Dengan overstek pendek dan pembayangan dari bentuk yang pipih bertujuan untuk mengurangi radiasi panas dan tetap memungkinkan udara bergerak keluar-masuk.



Gambar 7: Sebelum (a) dan sesudah (b) pembongkaran rumah untuk courtyard (Sumber: dokumentasi penulis)

Pertimbangan bentuk yang kecil memanjang juga berkaitan dengan proses memasukkan dan mengeluarkan udara ke dalam ruangan. Bentuk yang kecil memanjang ini juga memperhatikan penerapan efek cerobong yang mampu menjamin pergantian udara dalam ruang. *Courtyard* bertujuan memasukkan udara bersih secara diagonal dan menghisap udara kotor dengan pola efek cerobong. Keberhasilan *courtyard* dipengaruhi oleh elemen bentuk geometri dasar dan material selubung, serta lubang vertikal mengalirkan udara ke dalam bangunan

Pemilihan jenis pintu dan jendela yang menjadi pembatas keliling *courtyard* adalah dengan sistem geser (Gambar 8). Pemilihan ini bertujuan untuk dapat memaksimalkan pergerakan udara (Aryani dkk., 2016) tanpa harus terganggu ketika terjadi angin yang

mendorong masuk maupun angin hisap (Ngo dkk., n.d.).



Gambar 8: Courtyard dengan sistem bukaan geser (Sumber: dokumentasi penulis)

Analisa Hasil Pengukuran

Sampel pengukuran diambil setiap hari pada 3 waktu yang berbeda. Pengukuran dilakukan pada bulan Januari dengan menyertakan kondisi cuaca saat ini. Januari masuk dalam musim penghujan dan tergolong pada puncak curah hujan yang tinggi. Data diambil sesuai dengan waktu pengukuran dan titik ukur yang telah dijelaskan dalam metode. Penjelasan mengenai kondisi cuaca (Tabel 1) saat pengukuran adalah sebagai berikut:

Tabel 1: Kondisi cuaca saat pengukuran obyek

Hari	Pengambilan Data	Kondisi Cuaca
1	4 Januari 2025	Cerah, berawan
2	11 Januari 2025	Mendung di pagi hari, hujan di siang hari
3	19 Januari 2025	Mendung dan hujan sedang
4	25 Januari 2025	Mendung atau berawan

(Sumber: analisis penulis)

Pengukuran temperatur dan kelembaban relatif dalam satu instrumen yaitu temperatur dan *humidity* meter. Proses pengambilan data dilakukan sewaktu, dengan merekam angka yang tertera pada alat. Data temperatur dan data kelembaban relatif (Tabel 2) adalah sebagai berikut:

Tabel 2: Hasil Pengukuran Temperatur dan Kelembaban Relatif

Hari	09.00		12.00		15.00	
	°C	%	°C	%	°C	%
1	35.5	75.4	35.4	72.1	35.6	73.8
2	28.7	79.2	32.0	74.2	28.8	78.8
3	28.3	84.1	30.4	76.3	30.4	76.1
4	28.9	79.0	29.1	81.8	28.8	79.8

(Sumber: analisis penulis)

Dari tabel 3, jika disandingkan dengan temperatur ideal untuk iklim tropis pada bahasan literatur, yakni pada nilai antara $26^{\circ}\text{C} < T < 32^{\circ}\text{C}$. Dari tabel 2 dapat dilihat bahwa temperatur harian berada di *range* $28.3^{\circ}\text{C} < T < 35.6^{\circ}\text{C}$. Maka dapat disimpulkan bahwa 75% data yang terkumpul menunjukkan bahwa penambahan *courtyard* memberikan kontribusi untuk pendinginan ruang yang sebelumnya 34.7°C .

Selain hasil pengukuran dari temperatur udara, hasil pengukuran kelembaban juga sangat berpengaruh pada kenyamanan termal. Kelembaban relatif yang direkomendasikan pada iklim tropis adalah pada nilai 60%-70%. Berdasarkan tabel 2, maka dapat dikatakan tidak ada yang memenuhi persyaratan kenyamanan termal, karena level kelembaban relatif berada di atas 70%. Nilai terendah 72,1% dan nilai tertinggi 84,1%. Angka kelembaban relatif yang diperoleh saat pengukuran diduga karena proses pengambilan sampel dilakukan saat musim penghujan.

Tabel 3: Hasil Pengukuran Kecepatan Udara

Hari	09.00		12.00		15.00	
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1

(Sumber: analisis penulis)

Pengukuran kecepatan udara yang dicapai dari penambahan *courtyard* ini targetnya adalah sesuai yang direkomendasikan yakni pada rentang 0.2-1.5 m/s. Namun data yang diperoleh (Tabel 3) menunjukkan bahwa hanya 16,67 % yang

memenuhi. Dan dari 4 hari pengambilan sampel pengukuran terdapat 2 hari yang tidak terjadi pergerakan angin sama sekali. Namun jika dibandingkan dengan sebelum penambahan, *courtyard* dinilai sudah berfungsi memasukkan angin ke dalam ruang. Sebelum ditambahkan *courtyard*, sama sekali tidak ada pergerakan udara dalam ruang.

Peryaratan luas bukaan minimal 5 % dari luas ruangan, telah dipenuhi. Luasan *courtyard* adalah 5.6 m^2 dan luasan ruangan 26.65 m^2 . Luasan bukaan efektif pada selubung *courtyard* 7.95 m^2 .

Jika dilakukan evaluasi perhitungan nilai menggunakan formula laju pergerakan udara(Q):

$$Q = Cv.A.V$$

Cv menggunakan nilai sebesar 0.25, karena arah datangnya angin secara diagonal, dari bentuk *courtyard* yang pipih memanjang ke arah timur-barat.

A = luas bukaan efektif dari ukuran selubung *courtyard* = 7.96 m^2 .

V = kecepatan udara yang terekam adalah 0,1 m/s.

Sehingga nilai $Q = 0.199 \text{ m}^3/\text{s}$. Untuk perhitungan ACH (*Air Change per Hour*) pada volume ruangan ($26.65 \text{ m}^2 \times 3.2 \text{ m}$) = 85.28 m^3 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{ACH} &= \frac{Q \times 60}{V} \\ &= \frac{0.199 \times 60}{85.28} \\ &= 0.14 / \text{hour}^{-1} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan tersebut masih belum memenuhi persyaratan ACH. Hal ini dikarenakan data kecepatan udara yang masuk ke dalam ruangan nilainya 0.1 m/s. Nilai ACH selain memenuhi rasio luas bukaan dan luas ruangan, juga dipengaruhi besarnya kecepatan angin yang masuk ke dalam ruangan.

Penutup Kesimpulan

1. Penambahan *courtyard* belum sepenuhnya memenuhi persyaratan kenyamanan termal. Temperatur mengalami penurunan setelah penambahan *courtyard*. Namun

- kecepatan udara dalam ruang belum terpenuhi, demikian pula dengan ACH.
- Kelembaban relatif belum memenuhi persyaratan. Nilai kelembaban yang tinggi ini diduga karena pengambilan pengukuran pada musim penghujan dan pada saat pengukuran dalam kondisi turun hujan.
 - Kelembaban yang tinggi juga disebabkan oleh kondisi sebelum dan sesudah penambahan *courtyard*. Bangunan membutuhkan waktu untuk beradaptasi dari yang kedap sepenuhnya menjadi terbuka sebagian. Bangunan masih dalam proses mengering melalui penggantian udara dalam ruangan dengan *courtyard*.

Saran

- Pengambilan data pengukuran hanya dilakukan saat musim penghujan, dan perlu dilakukan pengambilan data saat musim kemarau. Dengan pertimbangan sebagai evaluasi terhadap keberhasilan *courtyard* pada 2 musim di iklim tropis lembab.
- Musim kemarau tahun 2025 diprediksi sebagai musim kemarau basah, yakni musim kemarau dengan intensitas curah hujan yang tinggi. Pengambilan data temperatur dan kelembaban relatif disarankan pada kondisi cuaca cerah. Sebagai pembandingan kontras dari data penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Aryani, S. M., Yusuf, A., Wahyuningsih, I., & Sasongko, S. (2016). The Study of The Courtyard Effectiveness as Solution for The House Design Transformation Problem on Natural Veentilation. *ICSBE*, 22–29.
- Badan Standarisasi Nasional. (2001). *Tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung*.
- Buonomano, A., Forzano, C., Giuzio, G. F., & Palombo, A. (2023). New ventilation design criteria for energy sustainability and indoor air quality in a post Covid-19 scenario. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 182(January), 113378. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113378>
- Carlotti, P., Massoulié, B., Morez, A., Villaret, A., Jing, L., Vrignaud, T., & Pfister, A. (2022). Respiratory pandemic and indoor aeraulics of classrooms. *Building and Environment*, 212(January), 108756. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108756>
- Defiana, I. (2021). Indoor temperature in perimeter spaces on warm humid tropical courtyard housing model. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 847(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/847/1/012010>
- Ghaffarianhoseini, A., Berardi, U., & Ghaffarianhoseini, A. (2015). Thermal performance characteristics of unshaded courtyards in hot and humid climates. *Building and Environment*, 87, 154–168. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.001>
- Gupta, R., & Joshi, M. (2021). Courtyard: A look at the relevance of courtyard space in contemporary houses. *Civil Engineering and Architecture*, 9(7), 2261–2272. <https://doi.org/10.13189/cea.2021.090713>
- Hou, C., Hu, W., Jiang, Y., & Gao, W. (2024). Optimization and Renovation Design of Indoor Thermal Environment in Traditional Houses in Northeast Sichuan (China)—A Case Study of a Three-Section Courtyard House. *Sustainability (Switzerland)*, 16(7). <https://doi.org/10.3390/su16072921>
- López-Cabeza, V. P., Rivera-Gómez, C., Roa-Fernández, J., Hernandez-Valencia, M., & Herrera-Limones, R. (2023). Effect of thermal inertia and natural ventilation on user comfort in courtyards under warm summer conditions. *Building and Environment*, 228(August 2022). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109812>
- Lucas, R. M., Neale, R. E., Madronich, S., & McKenzie, R. L. (2018). Are current guidelines for sun protection optimal for health? Exploring the evidence. *Photochemical and Photobiological Sciences*, 17(12), 1956–1963. <https://doi.org/10.1039/c7pp00374a>

- Ngo, H. N. D., Motoasca, E., Versele, A., Pham, H. C., & Breesch, H. (n.d.). *Effect of neighbourhood courtyard design on the outdoor thermal comfort in a tropical city*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1078/1/012035>
- Niu, H., Zhang, C., Hu, W., Hu, T., Wu, C., Hu, S., Silva, L. F. O., Gao, N., Bao, X., & Fan, J. (2022). Air Quality Changes during the COVID-19 Lockdown in an Industrial City in North China: Post-Pandemic Proposals for Air Quality Improvement. *Sustainability (Switzerland)*, *14*(18). <https://doi.org/10.3390/su141811531>
- Nugroho, A. M., Citraningrum, A., Iyati, W., & Hamdan, M. (2020). *Courtyard as Tropical Hot Humid Passive Design Strategy: Case Study of Indonesian Contemporary Boarding Houses in Surabaya Indonesia*. *20*(August), 1–12.
- Piedra, K., Bustamante, W., & Schmitt, C. (2020). Living and Comfort Conditions in Heritage Housing: The Inner Courtyard as a Uniting Element in the Cités of Santiago Poniente. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *503*(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/503/1/012010>
- Ren, C., Xi, C., Wang, J., Feng, Z., Nasiri, F., Cao, S. J., & Haghghat, F. (2021). Mitigating COVID-19 infection disease transmission in indoor environment using physical barriers. *Sustainable Cities and Society*, *74*(April), 103175. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103175>
- Sheikhnejad, Y., Aghamolaei, R., Fallahpour, M., Motamedi, H., Moshfeghi, M., Mirzaei, P. A., & Bordbar, H. (2022). Airborne and aerosol pathogen transmission modeling of respiratory events in buildings: An overview of computational fluid dynamics. *Sustainable Cities and Society*, *79*(May 2021), 103704. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103704>
- Sun, Q., Fan, Z., & Bai, L. (2024). Influence of space properties of enclosed patio on thermal performance in hot-humid areas of China. *Ain Shams Engineering Journal*, *15*(2), 102370. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102370>
- Sun, Q., Luo, Z., & Bai, L. (2023). The Impact of Internal Courtyard Configuration on Thermal Performance of Long Strip Houses. *Buildings*, *13*(2). <https://doi.org/10.3390/buildings13020371>
- Turner, D. (2022). Courtyard Housing: A Mid-Density Alternative House-Type. *Asylum*, *1*, 274–281. <https://doi.org/10.34074/aslm.2022103>
- Yatmo, Y. A., Mirza, M., Harahap, Y., & Atmodiwirjo, P. (2021). *Modular Isolation Units for Patients with Mild-to-Moderate Conditions in Response to Hospital Surges Resulting from the COVID-19 Pandemic*. *12*(November 2020), 43–53. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v12i1.4115>