

PENGARUH MODIFIKASI JENDELA DAN PENAMBAHAN ATAP STACK VENTILATION TERHADAP PENINGKATAN KINERJA PENGHAWAAN ALAMI

Studi Kasus: Filosofi Kopi Yogyakarta

Divana Findy Aprilla
Jurusan Arsitektur, Universitas Islam Indonesia
Surel: 21512011@students.uii.ac.id

ABSTRAK: Penelitian ini menganalisis penghawaan alami dan kenyamanan termal di Filosofi Kopi Jogja sebagai bagian dari upaya untuk meningkatkan kualitas lingkungan dalam ruangan dan efisiensi energi pada bangunan komersial, penelitian ini secara khusus menganalisis kondisi penghawaan alami dan kenyamanan termal di kafe Filosofi Kopi Jogja. Meskipun memiliki rasio bukaan dan luas area yang melebihi standar (SNI), ventilasi silang yang diterapkan saat ini tidak optimal dalam kenyamanan termalnya karena orientasi bangunan tidak sesuai dengan arah angin dominan. Akibatnya, sirkulasi udara menjadi terhambat sehingga hanya 48,5% area yang nyaman di siang hari untuk angin tenggara dan 29% untuk angin barat (CFD). Untuk meningkatkan kenyamanan termal berdasarkan hasil simulasi (CFD) penelitian ini merekomendasikan penggantian jendela casement top hung bagian (D) di sisi samping bangunan menjadi jendela pivot vertikal, serta penambahan atap stack ventilation. Modifikasi ini diprediksi mampu meningkatkan area nyaman menjadi 69,5% untuk angin tenggara dan 58,4% untuk angin barat terhadap peningkatan kenyamanan termal.

Kata Kunci: kenyamanan termal, penghawaan alami, ventilasi silang

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Filosofi Kopi Jogja, kedai kopi populer di Yogyakarta, terkenal dengan suasana yang nyaman dan kopinya yang lezat. Namun, dalam beberapa tahun terakhir, kedai kopi ini menghadapi keluhan pengunjung terkait rasa panas dan tidak nyaman, terutama pada siang hari. Hal ini diduga kuat disebabkan oleh desain bangunan yang kurang optimal dalam hal penghawaan alami. Penghawaan alami memegang peranan penting dalam menciptakan kenyamanan termal di dalam bangunan. Kenyamanan termal didefinisikan sebagai kondisi lingkungan termal yang membuat penghuni merasa puas (ASHRAE Handbook Fundamentals, 2017). Penelitian "The impact of natural ventilation on thermal comfort in office buildings" (2016) menunjukkan bahwa penghawaan alami yang dapat secara signifikan meningkatkan kenyamanan termal di dalam bangunan. Studi lain, "A study of natural ventilation in traditional Indonesian houses" (2015), menemukan bahwa rumah tradisional Indonesia yang mengoptimalkan penghawaan alami menawarkan kenyamanan termal yang lebih baik dibandingkan dengan bangunan modern yang bergantung pada pendingin ruangan.

Meskipun Filosofi Kopi Jogja memiliki beberapa jendela dan pintu yang dapat dibuka, faktor-faktor lain seperti arah angin dominan dan keberadaan tanaman serta bangunan di sekitarnya dapat menghambat aliran udara alami. "Natural Ventilation in Buildings: A Design Manual for Architects and Engineers" (2009) memberikan panduan untuk desain bangunan yang dapat memaksimalkan potensi penghawaan alami. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penghawaan alami di Filosofi Kopi Jogja dan mengidentifikasi peluang untuk meningkatkan kenyamanan termal melalui strategi dan intervensi yang tepat.

Rumusan Penelitian

1. Bagaimana kondisi penghawaan alami di Filosofi Kopi Jogja dan pengaruhnya terhadap kenyamanan termal pengunjung?
2. Apa saja strategi dan intervensi yang dapat diterapkan untuk meningkatkan kenyamanan termal di Filosofi Kopi Jogja melalui penghawaan alami?
3. Bagaimana strategi dan intervensi tersebut dalam meningkatkan kenyamanan termal di Filosofi Kopi Jogja?

Tujuan Penelitian

1. Menganalisis kondisi penghawaan alami di Filosofi Kopi Jogja dan pengaruhnya terhadap kenyamanan termal pengunjung.
2. Mengembangkan strategi dan intervensi yang efektif untuk meningkatkan kenyamanan termal di Filosofi Kopi Jogja melalui penghawaan alami.
3. Mengevaluasi strategi dan intervensi tersebut dalam meningkatkan kenyamanan termal di Filosofi Kopi Jogja.

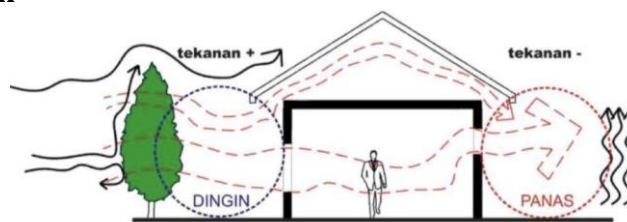
Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi:

1. Pemilik dan pengelola Filosofi Kopi Jogja: untuk meningkatkan kenyamanan termal bagi pengunjung dan meningkatkan pengalaman mereka.
2. Desainer bangunan dan arsitek: untuk merancang bangunan yang lebih nyaman secara termal, terutama di daerah dengan iklim panas dan lembab.
3. Peneliti lain: untuk mengembangkan pengetahuan dan pemahaman tentang penghawaan alami dan kenyamanan termal di bangunan.

TINJAUAN PUSTAKA

Penghawaan Alami



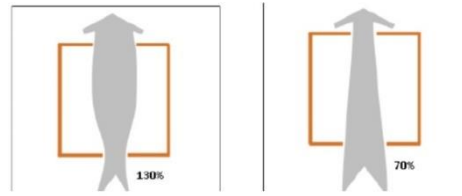
Gambar 1 Skema Penghawaan
Sumber : (Sudiarta, 2016)

Penghawaan alami adalah pertukaran udara di dalam ruang melalui area terbuka, yang bertujuan untuk memberikan kenyamanan termal dengan sirkulasi udara gedung yang baik. Keadaan nyaman didefinisikan sebagai netralitas suhu, di mana seseorang tidak merasa terlalu dingin atau terlalu panas (Wang, 2018). Iklim makro memiliki efek pada arah angin. Bagaimanapun, iklim mikro berdampak pada aliran angin, yang dipengaruhi oleh iklim dan bentuk di sekitar struktur. Merancang penahan angin dengan massa bangunan miring untuk membelokkan angin yang lebih kuat adalah cara lain untuk mengendalikan lingkungan di sekitar bangunan. (Sudiarta, 2016).

Ventilasi silang merupakan salah satu strategi desain arsitektur yang paling efektif untuk mencapai kenyamanan termal dan kualitas udara yang baik di dalam bangunan (Wang, 2018). Teknik ini memanfaatkan aliran udara alami untuk mendinginkan dan menyegarkan ruang, dengan memanfaatkan perbedaan tekanan udara dan angin (Sudiarta, 2016).

Ventilasi silang menawarkan berbagai manfaat, di antaranya:

1. Meningkatkan Kenyamanan Termal (Wang, 2018)
2. Meningkatkan Kualitas Udara (Wang, 2018)
3. Meningkatkan Kesehatan dan Kesejahteraan (Zhai, 2020)
4. Meningkatkan Efisiensi Bangunan (Wang, 2018)



Gambar 2 Skema system cross ventilation
Sumber : (Latifah, 2013)

Ventilasi silang bekerja berdasarkan prinsip perbedaan tekanan udara (Sudiarta, 2016). Ketika terdapat dua bukaan di sisi berlawanan suatu ruangan, perbedaan tekanan udara antara bukaan tersebut akan mendorong aliran udara melalui ruangan (Sudiarta, 2016). Kecepatan aliran udara tergantung pada perbedaan tekanan udara dan ukuran bukaan (Sudiarta, 2016).

Kenyamanan termal

Merupakan fenomena subjektif yang menggambarkan persepsi individu terhadap kondisi termal di lingkungannya. Setiap orang memiliki tingkat kenyamanan termal yang berbeda, meskipun berada di lingkungan dengan suhu yang sama (Wang, 2018).

Beberapa penelitian terdahulu telah meneliti pengaruh ventilasi alami terhadap kenyamanan termal di bangunan di Yogyakarta. Setyowati dan Handayani (2021) melakukan pengukuran dan simulasi di kafe dengan ventilasi alami dan menemukan bahwa suhu dan kelembaban dalam ruangan tergolong nyaman secara termal. Sari dan Darmawan (2020) melakukan studi kasus pada beberapa kafe di Yogyakarta dan menemukan bahwa desain ventilasi alami yang optimal dapat meningkatkan kenyamanan termal.

Penelitian-penelitian ini menunjukkan bahwa ventilasi alami memiliki potensi untuk menjadi solusi efektif untuk meningkatkan kenyamanan termal di bangunan di Yogyakarta. Hal ini terutama relevan dengan Filosofi Kopi Yogyakarta, yang merupakan bangunan semi-terbuka dengan bukaan yang besar. Oleh karena itu, penting untuk menganalisis bagaimana ventilasi alami dapat dioptimalkan untuk meningkatkan kenyamanan termal di Filosofi Kopi Yogyakarta.

Kenyamanan Termal Fanger di Iklim Tropis Indonesia

Salah satu metrik yang umum digunakan untuk mengukur kenyamanan termal adalah indeks Fanger (PMV). PMV adalah skala tujuh poin yang berkisar dari -3 (terlalu dingin) hingga +3 (terlalu panas), dengan 0 mewakili kondisi termal yang netral. Menurut ASHRAE Standard 55, PMV yang ideal untuk orang dewasa yang tidak aktif adalah antara -0,5 dan +0,5.

PMV dihitung dengan mempertimbangkan berbagai faktor seperti suhu udara, kelembaban udara, kecepatan aliran udara, jenis pakaian, dan tingkat aktivitas penghuni. Nilai PMV 0 menunjukkan kondisi termal yang netral, di mana penghuni merasa nyaman. Nilai PMV negatif menunjukkan kondisi termal yang terlalu dingin, sedangkan nilai PMV positif menunjukkan kondisi termal yang terlalu panas.

Dalam konteks Filosofi Kopi Jogja, analisis penghawaan alami bertujuan untuk memastikan bahwa kondisi termal di dalam ruangan memenuhi standar kenyamanan termal. Hal ini dilakukan dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti desain bangunan, orientasi bangunan, penggunaan material bangunan, dan strategi penghawaan alami.

Standar Kecepatan Udara

Menurut SNI 03-6572-2001, kecepatan minimal udara yang baik untuk kenyamanan termal adalah 0,25 m/s. Semakin besar kecepatan udara, semakin baik, dengan mempertimbangkan suhu udara kering dalam ruang.

CFD (Computational Fluid Dynamics)

CFD (Computational Fluid Dynamics) merupakan metode analisis dan simulasi fluida yang memanfaatkan data terstruktur dan analisis numerik untuk menyelesaikan berbagai permasalahan terkait fluida (Wang, 2019). CFD mampu menganalisis aliran fluida viskoas dan non-viskoas, aliran turbulen, perpindahan panas, dan reaksi kimia (Wang, 2019). Kemampuan ini memungkinkan CFD untuk diterapkan dalam berbagai bidang, seperti aerodinamika, teknologi energi, industri manufaktur, dan rekayasa lingkungan (Wang, 2019). Manfaat CFD antara lain mempercepat proses desain dan pengembangan, meningkatkan pemahaman tentang fenomena fluida, dan memprediksi kinerja sistem (Wang, 2019). Salah satu contoh studi penggunaan CFD adalah penelitian Wang et al. (2019) yang meneliti stabilitas vortis zombie dalam piringan protoplanet (Wang et al., 2019).

Tabel 1 Variabel, Parameter, dan Indikator

Variabel	Parameter	Indikator
Penghawaan alami	Kecepatan Angin	SNI 03-6572-2001 0,25 m/s merupakan batas minimal kecepatan angin untuk penghawaan alami.
	Keadaan Sekitar	SNI 03-6572-2001 1. Halaman berdinding dengan ukuran yang sesuai, atau daerah yang terbuka keatas. 2. Teras terbuka, pelataran parkir, atau sejenis.
Bukaan Bangunan	Ventilasi	SNI 03-6572-2001 Luas ventilasi lebih dari 5% luasan lantai suatu ruang yang akan diberikan penghawaan alami.
	Jendela	Jurnal (Arifin & Hidayat, 2018) Luas ventilasi jendela minimal terhadap luas bidang fasad = 40% dan luas bukaan jendela minimal terhadap luas lantai ruangan = 20% SNI 03-6572-2001 Luas ventilasi lebih dari 5% luasan lantai suatu ruang yang akan diberikan penghawaan alami.
	Pintu	www.archify.com

Sumber : Penulis 2024

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di Filosofi Kopi Jogja, yang terletak di Jalan Magelang, Yogyakarta. Lokasi ini dipilih karena kedai kopi ini memiliki desain bangunan yang terbuka dan terdapat beberapa pohon di sekitar bangunan. Hal ini memungkinkan untuk melakukan analisis penghawaan alami dan kenyamanan termal dengan baik.

Variabel Penelitian

1. Variabel Independen: Penghawaan alami
2. Variabel Dependen: Kenyamanan termal

Parameter dan Indikator

Variabel Independen:

1. Arah angin dominan: Diukur dengan menggunakan kompas atau alat pengukur arah angin.
2. Vegetasi: Diukur dengan jumlah pohon, jenis pohon, dan luas area yang ditanami pohon.
3. Desain bangunan: Diukur dengan luas bukaan, bentuk bukaan, dan posisi bukaan.

Variabel Dependen:

1. Suhu udara: Diukur dengan menggunakan termometer.
2. Kelembapan udara: Diukur dengan menggunakan higrometer.
3. Kecepatan angin: Diukur dengan menggunakan anemometer.

Indikator Kenyamanan Termal:

1. Perasaan termal: Diukur dengan menggunakan kuesioner kepada pengunjung kedai kopi.
2. Tingkat kepuasan termal: Diukur dengan menggunakan kuesioner kepada pengunjung kedai kopi.
3. Tingkat produktivitas: Diukur dengan mengamati aktivitas pengunjung kedai kopi.

Data-data/Model Penelitian

Data penelitian akan dikumpulkan melalui:

1. Pengukuran: Pengukuran parameter penghawaan alami dan kenyamanan termal di Filosofi Kopi Jogja.
2. Kuesioner: Kuesioner kepada pengunjung kedai kopi untuk mengetahui perasaan termal, tingkat kepuasan termal, dan tingkat produktivitas mereka.

Model penelitian yang akan digunakan adalah:

1. Analisis regresi: Analisis regresi akan digunakan untuk mengetahui hubungan antara variabel independen (penghawaan alami) dengan variabel dependen (kenyamanan termal).

Perangkat Penelitian (Software) yang Digunakan

1. Microsoft Excel: Digunakan untuk mengolah data hasil pengukuran dan kuesioner.
2. CFD (Computational Fluid Dynamics): Digunakan untuk simulasi aliran udara dan temperatur di dalam bangunan, memungkinkan analisis detail pola aliran udara dan distribusi temperatur, memberikan gambaran menyeluruh tentang kenyamanan termal di berbagai area.

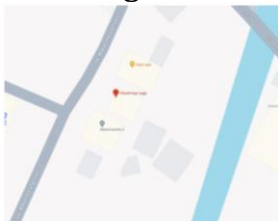
Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian akan dilakukan sebagai berikut:

1. Tinjauan pustaka: Melakukan tinjauan pustaka untuk mempelajari tentang konsep penghawaan alami, kenyamanan termal, dan metode penelitian yang relevan.
2. Pengumpulan data: Mengumpulkan data tentang parameter penghawaan alami dan kenyamanan termal di Filosofi Kopi Jogja.
3. Analisis data: Menganalisis data hasil pengukuran dan kuesioner dengan menggunakan analisis regresi.
4. Interpretasi hasil: Menginterpretasikan hasil analisis data untuk mengetahui hubungan antara penghawaan alami dengan kenyamanan termal di Filosofi Kopi Jogja.
5. Penyusunan laporan: Menyusun laporan penelitian yang berisi latar belakang penelitian, tinjauan pustaka, metode penelitian, hasil penelitian, dan pembahasan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Bangunan



Gambar 3 Lokasi bangunan

Sumber: google maps, 2024



Gambar 4 Citra bangunan

Sumber : google earth, 2024



Gambar 5 Data angin

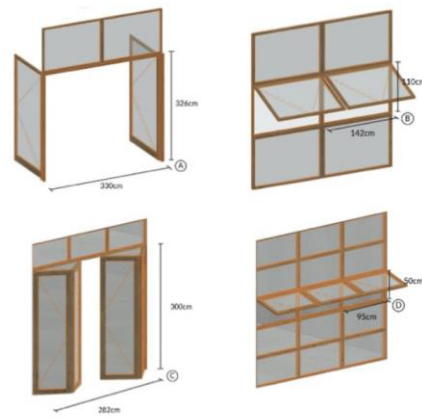
Sumber: <https://www.wasp.dk/>

Filosofi Kopi Jogja, kedai kopi seluas 425 meter persegi, memadukan desain estetis dan fungsional untuk menghadirkan kenyamanan bagi pengunjung. Menghadap ke timur tenggara, bangunan ini memanfaatkan ventilasi alami melalui jendela dan pintu besar, lubang udara strategis, dan ketinggian bangunan. Atap menyorok dan pepohonan rindang di sekitarnya memberikan peneduhan, meminimalisir penggunaan pendingin mekanis. Filosofi Kopi Jogja menjadi bukti bahwa desain berkelanjutan dan ramah lingkungan dapat menghasilkan estetika dan kenyamanan, serta selaras dengan filosofi kedai kopi yang menjunjung tinggi kelestarian alam.



Gambar 6 Bukaannya bangunan

Sumber: Penulis 2024



Gambar 7 3d Bukaannya bangunan

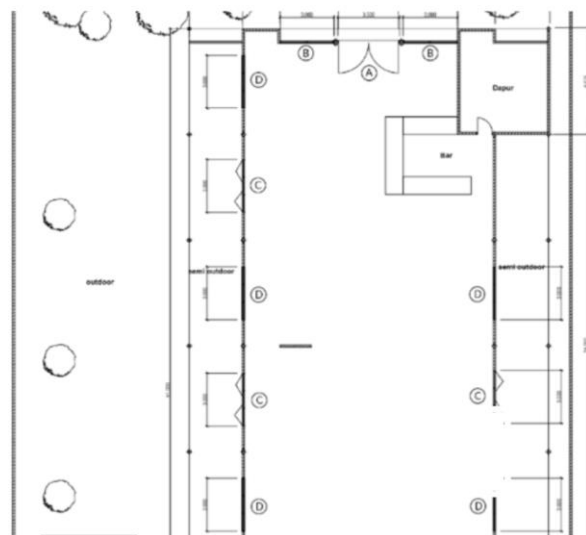
Sumber: Penulis 2024

Desain bangunan ini mengutamakan fleksibilitas dalam pengaturan sirkulasi udara. Seluruh bukaan, termasuk pintu utama, dapat dibuka secara penuh selama jam operasional. Jenis bukaan yang digunakan didominasi oleh jendela gantung (casement top hung), baik sebagai inlet maupun outlet udara. Selain itu, terdapat dua lubang bundar berdiameter 70 cm pada sisi belakang bangunan yang berfungsi sebagai outlet tambahan, melengkapi sistem ventilasi alami.



Gambar 8 Tampak Bangunan

Sumber: Penulis 2024

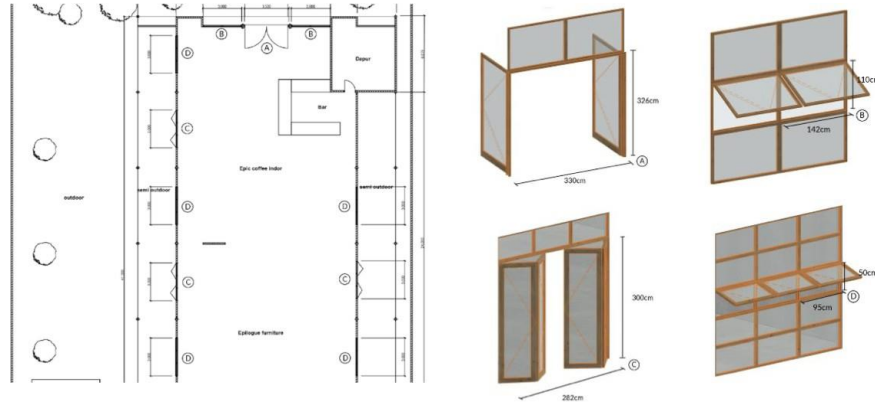


Gambar 9 3d Denah Bangunan

Sumber: Penulis 2024

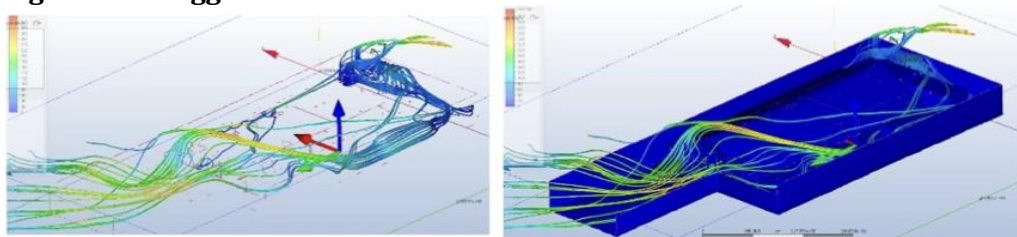
Standar yang ditetapkan dalam SNI 03-6572-2001 luas minimal suatu bukaan udara pada suatu ruang adalah 5- 10% dari luas ruangan. Sedangkan presentase luas bukaan udara pada ruang adalah sebesar 12% dengan luas total bukaan 54m² dan total luas ruang 425m².

Hasil Simulasi



Gambar 10 Denah dan Bukaan Filosofi Kopi
Sumber: Penulis 2024

1. Angin dari Tenggara



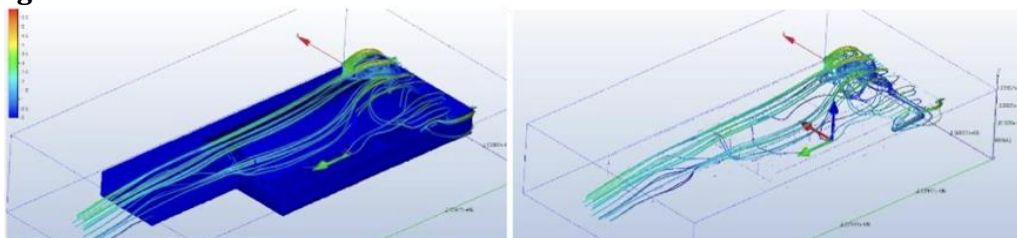
Gambar 11 Simulasi CFD Angin dari tenggara
Sumber: Penulis 2024

Simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) dilakukan untuk menganalisis pola aliran udara dan temperatur di sekitar dan di dalam bangunan. Simulasi ini menggunakan kecepatan angin 2,5 m/s di sisi depan dan kiri bangunan untuk mensimulasikan angin dominan dari arah tenggara. Hasil simulasi menunjukkan bahwa angin yang masuk melalui area parkir yang dibatasi dinding bangunan sekitar mengalir ke fasad bangunan dan area outdoor samping.

Namun, aliran angin terhambat oleh efek turbulensi dan tidak dapat melewati seluruh selubung bangunan. Akibatnya, angin keluar melalui bukaan samping depan. Gerakan angin yang cenderung ke atas membawa udara panas ke atap bangunan, namun terhambat dan berbelok keluar melalui bukaan samping.

Kondisi ini menyebabkan udara panas terjebak di dalam bangunan, sehingga berpotensi menimbulkan ketidaknyamanan termal

2. Angin dari Barat

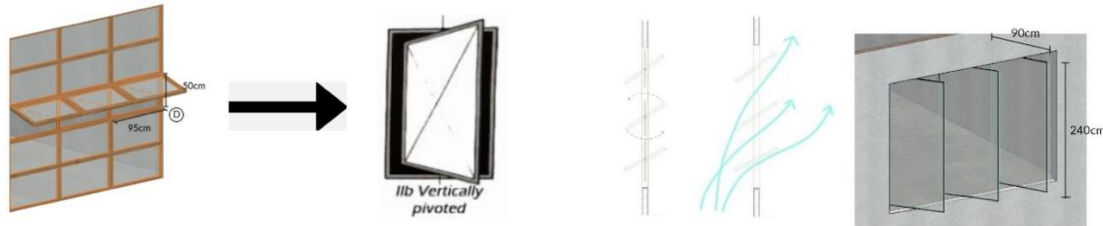


Gambar 12 Simulasi CFD Angin dari Barat
Sumber: Penulis 2024

Simulasi CFD juga dilakukan dengan memasukkan kecepatan angin 2,5 m/s di sisi barat bangunan untuk mensimulasikan angin dominan dari arah belakang. Hasil simulasi menunjukkan bahwa angin dari arah barat dapat masuk ke dalam bangunan melalui bukaan di sisi belakang dan mengalir ke arah depan. Namun, aliran angin ini tidak sekuat angin dari arah tenggara dan tidak dapat melewati seluruh selubung bangunan. Akibatnya, sebagian besar angin dari arah barat keluar melalui bukaan di sisi depan.

Rekomendasi

1. Mengganti jendela casement top hung di area (D) sisi samping bangunan dengan jendela pivot vertikal.



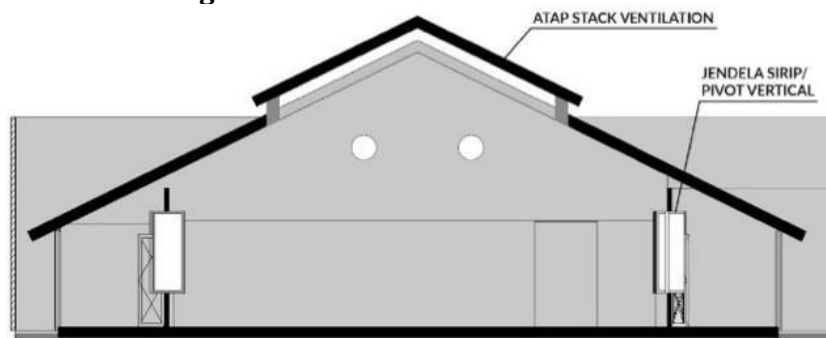
Gambar 13 Rekomendasi Jendela Pivot Vertikal

Sumber: Penulis 2024

Jendela eksisting di sisi tenggara bangunan memang efektif sebagai outlet saat angin datang dari arah tersebut, namun kurang optimal saat angin datang dari barat. Bangunan ini membutuhkan jendela yang dapat mengubah arah angin dan memasukkannya ke dalam ruangan.

Berdasarkan simulasi, angin barat mengalir sepanjang selasar semi-outdoor dan dapat dialirkan ke dalam ruangan melalui bukaan pivot vertikal. Keunggulan bukaan ini adalah sudut kemiringannya dapat diatur sesuai kebutuhan dan arah angin. Hal ini memungkinkan pengaturan ventilasi di malam hari untuk meminimalkan angin yang masuk.

2. Menambahkan strategi stack ventilation



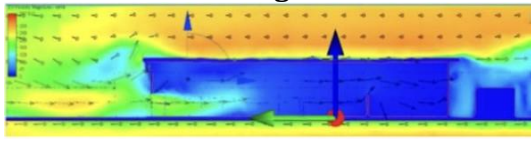
Gambar 14 Rekomendasi Stack Ventilation

Sumber: Penulis 2024

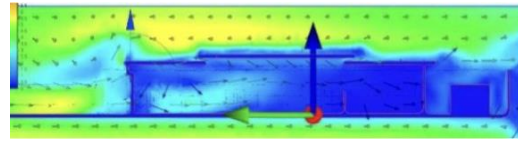
Permasalahan utama dalam bangunan ini adalah pergerakan angin yang masuk secara horizontal akan terus naik ke atas menuju atap yang panas. Karena atap tertutup, udara panas ini terperangkap dan keluar melalui bukaan samping, sehingga mengganggu kenyamanan termal pengguna.

Sistem ventilasi stack memanfaatkan strategi pendinginan pasif dengan memanfaatkan stratifikasi suhu. Prinsipnya, udara panas secara alami akan naik ke atas, sehingga terjadi pertukaran udara. Untuk meningkatkan efektivitasnya (menghasilkan aliran udara yang besar), diperlukan perbedaan suhu yang lebih besar. Hal ini akan menghasilkan sirkulasi udara dan pendinginan yang lebih efektif. Ventilasi stack membantu mengeluarkan udara panas yang terperangkap di dalam bangunan.

Hasil simulasi rancangan sesuai rekomendasi

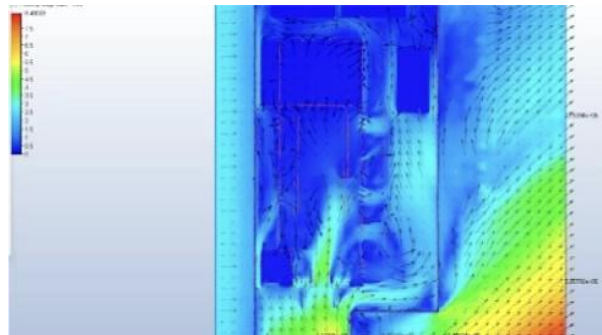


Gambar 15 Hasil simulasi sebelumnya
Sumber: Penulis 2024



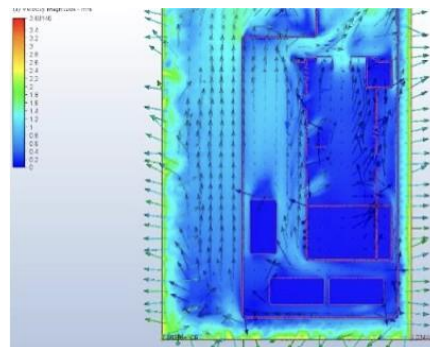
Gambar 16 Hasil Rancangan Rekomendasi
Sumber: Penulis 2024

Pada desain eksisting, pergerakan angin terhambat dan sulit keluar. Sebagian angin keluar melalui lubang angin di bagian belakang yang jauh, dan sebagian lagi keluar melalui bukaan samping (Gambar 12). Hal ini menyebabkan udara panas terperangkap di dalam bangunan. Sedangkan pada desain baru, aliran udara bergerak lebih bebas dan mengalir ke atas, keluar dari bangunan (Gambar 13). Selain itu, kecepatan angin di dalam bangunan pun meningkat. Perubahan ini menunjukkan bahwa desain baru mampu meningkatkan ventilasi alami dan mengurangi penumpukan panas di dalam bangunan, sehingga meningkatkan kenyamanan termal bagi para penghuninya.



Gambar 17 Hasil Rancangan Rekomendasi
Sumber: Penulis 2024

Penambahan atap stack ventilation membawa dampak positif pada ventilasi dan kenyamanan termal di dalam bangunan. Angin yang masuk dari depan kini dapat bergerak lebih leluasa karena pergantian angin yang lebih cepat, memungkinkan angin baru masuk dengan intensitas yang lebih besar. Jendela pivot vertikal yang berfungsi sebagai outlet pun menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan jendela eksisting, dikarenakan luas area bukaan yang lebih besar. Hal ini menghasilkan peningkatan area yang masuk dalam kategori nyaman di siang hari, di mana area dengan rata-rata kecepatan angin lebih dari 1 m/s mencapai 69,5%, dari sebelumnya hanya 48,5%. Secara keseluruhan, penambahan atap stack ventilation terbukti efektif dalam meningkatkan ventilasi alami dan meningkatkan kenyamanan termal di dalam bangunan.



Gambar 18 Hasil Rancangan Rekomendasi
Sumber: Penulis 2024

Jendela pivot menunjukkan kinerja yang optimal sebagai inlet, meningkatkan intensitas angin yang masuk ke ruangan secara signifikan. Hal ini dibuktikan dengan peningkatan persentase area yang memiliki kecepatan angin dalam ruangan mencapai 1 m/s sebesar 29%, dari 48,5% menjadi 58,4%.

Peningkatan ini menunjukkan bahwa jendela pivot mampu meningkatkan ventilasi alami di dalam ruangan, sehingga menciptakan lingkungan yang lebih sejuk dan nyaman bagi para penghuninya.

Kesimpulan Hasil Simulasi Ventilasi Alami Filosofi Kopi Jogja

1. Bangunan Filosofi Kopi dirancang dengan konsep penghawaan pasif menggunakan strategi cross ventilation di seluruh areanya. Namun, dalam praktiknya, strategi ini tidak bekerja secara maksimal. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu:
 - a. Orientasi bangunan yang tidak sejajar dengan arah datangnya angin, sehingga angin tidak melewati sisi lebar bangunan yang memiliki inlet dan outlet terdekat.
 - b. Outlet di bagian belakang bangunan yang terlalu kecil dan terlalu jauh dari inlet, sehingga angin sulit keluar saat memasuki bangunan dari depan.
 - c. Tidak terdapat bukaan pada sisi barat bangunan, sehingga angin dari arah barat tidak dapat masuk ke dalam bangunan.
 - d. Bukaan di sisi samping bangunan yang kurang efektif dalam memasukan angin ke dalam ruang.

Akibatnya, ventilasi alami di dalam bangunan tidak optimal, sehingga ruangan terasa panas dan pengap.

2. Meskipun Bangunan Filosofi Kopi memiliki rasio bukaan dan luas area yang melebihi standar SNI, bukaan udara pada bangunan ini belum bekerja secara optimal dalam mensirkulasikan angin. Hal ini menunjukkan bahwa luas bukaan bukanlah faktor utama dalam desain bangunan yang efektif dalam mensirkulasikan angin.

Ventilasi alami yang efektif membutuhkan pemahaman yang baik tentang pola aliran udara kompleks yang disebabkan oleh daya apung dan efek angin. Simulasi dengan software CFD 2023 merupakan langkah efektif untuk membantu memahami pola aliran udara tersebut dengan waktu yang singkat dan dapat menafsirkan gerakan angin dalam berbagai bentuk.

3. Berdasarkan simulasi dan data, diketahui bahwa kondisi angin pada bangunan ini dipengaruhi oleh dua arah angin dominan, yaitu tenggara dan barat. Untuk mencapai kenyamanan termal, diperlukan kecepatan angin minimum 0,9 m/s.

Pada arah tenggara, bangunan ini mampu memberikan kenyamanan bagi pengguna di siang hari pada 48,5% area yang dapat diakses, kecuali area outdoor. Sedangkan pada arah angin barat, terdapat 29% area yang memiliki kecepatan angin yang cukup. Simulasi dengan rekomendasi menunjukkan beberapa hasil positif, yaitu:

- a. **Ventilasi alami yang lebih baik:** Angin bergerak lebih leluasa dan mengalir ke atas keluar dari bangunan, menandakan ventilasi alami bekerja dengan baik untuk mengeluarkan udara panas dari dalam ruangan.
- b. **Peningkatan kecepatan angin:** Kecepatan angin dalam bangunan meningkat, membantu mendinginkan ruangan dan meningkatkan rasa nyaman bagi pengunjung.
- c. **Aliran angin yang optimal:** Angin yang masuk dari depan dapat bergerak lebih leluasa di dalam karena pergantian angin yang cepat, memungkinkan angin baru masuk dengan intensitas yang lebih besar.
- d. **Peningkatan area nyaman:** 69,5% area ruangan berada dalam kategori nyaman di siang hari, artinya sebagian besar area memiliki kecepatan angin lebih dari 1 m/s, yang dianggap nyaman bagi manusia.
- e. **Ventilasi yang baik:** 58,4% area ruangan memiliki intensitas angin masuk yang

mencapai 1 m/s, menunjukkan bahwa sebagian besar area ruangan memiliki ventilasi yang baik.

Secara keseluruhan, simulasi menunjukkan bahwa desain bangunan ini memiliki potensi untuk meningkatkan kenyamanan termal bagi para penggunanya melalui ventilasi alami yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifah, A.B., Adhitama, M.S. and Nugroho, A.M., 2017. Pengaruh bukaan terhadap kenyamanan termal pada ruang hunian rumah susun Aparna Surabaya (Doctoral dissertation, Brawijaya University).
- Aronin, J.E., 1953. Climate & architecture. Asniawaty, Baharuddin, Taufik Ishak, Muhammad. 2015. Prosiding Seminar Ilmiah Nasional 2015 "Pengaruh Kecepatan Aliran Udara Terhadap Tingkat Kenyamanan Termal Di Ruang Kuliah"
- ASHRAE. 1992. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Standard 55-1992. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, USA.
- Auliciems, A. & Szokolay, S. (2007). Thermal Comfort. PLEA Note 3. PLEA International University of Queensland.
- Elfiano, E., Hastuti, K., Rasyid, I., Firgiyandi, M. A. R., & Tobing, A. L., 2022. Studi aliran fluida melalui ventilasi penangkap angin bangunan gedung di Kota Pekanbaru.
- Brager, G., & De Dear, R. (2001). Developing an adaptive model for thermal comfort and preference. *Energy and Buildings*, 33(2), 149-161.
- Gunawan, B., 2012. Buku pedoman energi efisiensi untuk desain bangunan gedung di Indonesia. *Energy Efficiency and Conservation Clearing House Indonesia*.
- Sugiono. 2011. Metode Penelitian Kualitatif Kuantitatif dan R&D. Bandung: Alfabeta.
- Beckett, H.E., Godfrey, J.A. (1974). *Windows: Performance, Design, and Installation*. New York: Van Nostrand Reinhold Co (gambar)
- Herusu, Arifin. 2015. Tentang Iklim Tropis Lembab dan Tropis. Retrived from (Sumber: <http://herusu71.blogspot.co.id/2015/10/tentang-iklim-tropis-lembab-dantropis.html> pada tanggal 12/06/22)
- Kawatu, F.E., 2021. HIGH PERFORMANCE ARCHITECTURE SEBAGAI INDIKATOR PROSES PENGUKURAN KERANGKA KONSEPTUAL ARSITEKTUR HIJAU PADA BANGUNAN NON-RESIDENSIAL. *Jurnal Ilmiah Desain Sains Arsitektur (DeSciArs)*, 1(2), pp.37-47.
- Latifah, N.L., 2015. Fisika Bangunan 1. Griya Kreasi. Lippsmeier, Georg. (1997). *Bangunan Tropis*. Jakarta: Erlangga.
- Muhammad Hilmi Afifan. 2017 Pengaruh Susunan Batu Bata Pada Selubung Bangunan Terhadap Kecepatan Angin. *Jogjakarta, Indonesia*.
- Nicol, J. F. B., & Humphreys, M. A. (2002). Adaptive thermal comfort and energy efficiency. *International Journal of Biometeorology*, 46(3), 157-168.
- Nugraha, A. A., & Putri, I. K. (2020). Pengaruh orientasi bangunan terhadap kinerja ventilasi alami: Studi kasus rumah tinggal di daerah tropis. *Jurnal Teknik Sipil*, 10(2), 115-122.
- Pratama, D. (2019). Analisis kinerja ventilasi alami pada bangunan gedung perkantoran di daerah tropis. Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil, Yogyakarta.

- Santoso, B., & Supriyadi, Y. (2018). Optimasi ventilasi alami pada rumah tinggal tropis menggunakan simulasi CFD. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 15(1), 45-52.
- Lechner, Norbert, (2001), *Heating, Cooling, Lighting: Methods for Architects*, Jakarta: Rajawali Press
- Wilyanto, Eric. 2014. *Pengaruh Desain Arsitektural Terhadap Kenyamanan Termal Bangunan Iklim Tropis Lembab*
- Wang, Z., de Dear, R., Luo, M., Lin, B., He, Y., Ghahramani, A., & Zhu, Y. (2018). Individual difference in thermal comfort: A literature review. *Building and Environment*, 138, 181-193.
- Wang, Z., de Dear, R., Luo, M., Lin, B., He, Y., Ghahramani, A., & Zhu, Y. (2018). Individual difference in thermal comfort: A literature review. *Building and Environment*, 138, 181-193.