

Analisis Desain Bukaannya Ventilasi Terhadap Arah Aliran Angin pada Rumah Tinggal

* Archie G Misman, Sangkertadi Sangkertadi, & Cynthia E V Wuisang

Universitas Sam Ratulangi, Indonesia

Archie.misman@gmail.com, sangkertadi@unsrat.ac.id, cynthia.wuisang@unsrat.ac.id

Abstrak: Analisis Desain Bukaannya Ventilasi Terhadap Arah Aliran Angin pada Rumah Tinggal

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh desain bukaannya ventilasi pada rumah tinggal di Royal Residence terhadap arah aliran angin yang masuk untuk meningkatkan kenyamanan termal dalam ruang. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode kuantitatif, dimana nilai-nilai diambil dengan pengukuran langsung di lokasi kemudian di analisis menggunakan simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*) Cradle CFD dan Energy 2D. Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain bukaannya ventilasi eksisting *Casement Top Hung* menghasilkan kecepatan angin rata-rata dalam ruang sebesar 0.281 m/s, tidak cukup baik untuk mengalirkan udara ke dalam ruang secara merata, tipe bukaannya *Vertically Pivoted* menghasilkan kecepatan angin rata-rata 1.28 m/s dan udara dialirkan secara merata sehingga angin yang masuk ke dalam ruang memberikan kenyamanan termal pada penghuni. Pengaruh arah bukaannya sangat mempengaruhi kecepatan dan persebaran udara yang masuk sehingga suhu udara yang dirasakan penghuni dalam ruangan nyaman. Sehingga penempatan jendela bukaannya dan jenis tipe bukaannya harus memperhatikan kondisi lingkungan lansekap sekitar agar angin yang masuk ke dalam ruang dapat tersebar keseluruhan ruangan secara merata untuk mendukung kenyamanan termal udara pada penghuni. Hasil ini dapat dijadikan sebagai bahan evaluasi terhadap trend pemilihan tipe jenis ventilasi dan masukan untuk penelitian selanjutnya dalam meningkatkan kenyamanan termal rumah tinggal yang dibutuhkan pada kondisi lingkungan lansekap yang berbeda.

Kata kunci: **CFD; Desain Bukaannya; Kenyamanan Termal; Pola Aliran Udara; Rumah Tinggal**

Abstract: Analysis of Design Openings Ventilation Regarding Wind Flow Direction in Residential Houses

This research aims to analyze the effect of the design of ventilation in residential houses at the Royal Residence on the direction of incoming wind flow to increase indoor thermal comfort. The research was carried out using quantitative methods, where values were taken by direct measurements at the location and then analyzed using CFD simulations Cradle CFD and Energy 2D. The research results show that the existing ventilation design of *Casement Top Hung* produces an average indoor wind speed of 0.281 m/s, not good enough to flow air into the room evenly, the *Vertically Pivoted* type produces an average wind speed of 1.28 m/s, and the air is channeled evenly so that the wind that enters the room provides thermal comfort to the occupants. The direction of the opening greatly influences the speed and distribution of incoming air to support air comfortable for people. The landscape greatly affects the placement of openings and the types of windows where wind can be spread throughout the room evenly to provide thermal comfort for occupants. These results can be used as an evaluation in trends of selection window types and for further research in improving the thermal comfort of residential in different landscape environmental conditions.

Keywords: **CFD; Openings Design; Thermal Comfort; Wind-Induced Air Motion; Home**

History & License of Article Publication:

Received: 09/06/2024 **Revision:** 29/06/2024 **Published:** 01/06/2025



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang dilintasi garis khatulistiwa, sehingga Indonesia mempunyai suhu yang panas dan lembab. Hal inilah yang melatarbelakangi mengapa Indonesia selalu mengalami musim berangin kencang dan kemarau. Di khatulistiwa, Matahari tepat berada di atas pada sore hari saat ekuinoks sehingga rentang cahayanya selalu sama, sekitar 12 jam. Berdasarkan penelusuran 115 stasiun persepsi BMKG, rata-rata suhu udara pada April 2024 adalah 27,74°C. Suhu udara klimatologi biasa bulan April 2024 periode 1991-2020 di Indonesia adalah 26,85°C (dalam cakupan tipikal 20,08°C - 28,63°C). Kekhasan suhu udara rata-rata pada bulan April 2024 menunjukkan ketidakteraturan positif dengan nilai 0,89°C. Keanehan suhu udara Indonesia pada bulan April 2024 merupakan nilai keanehan tertinggi pertama sepanjang periode pengamatan yang dimulai sekitar tahun 1981. Indonesia juga merupakan negara dengan jumlah penduduk terbesar keempat di dunia. Luas wilayah properti Indonesia adalah 1.892.410,09 kilometer persegi dengan kepadatan penduduk 146 orang per kilometer persegi pada tahun 2022 berdasarkan data Badan Pusat Statistik.

Sulawesi Utara merupakan sebuah wilayah di Indonesia dengan luas wilayah 14.500,28 kilometer persegi. Wilayah Sulawesi Utara dengan ibukota Manado memiliki luas wilayah 162,35 kilometer persegi, dengan jumlah penduduk 460.430 jiwa atau 17,10% dari total penduduk di Wilayah Sulawesi Utara. Kepadatan penduduk sebesar 2.836 jiwa per kilometer persegi pada tahun 2024 dan laju pertumbuhan penduduk Kota Manado setiap tahunnya sebesar 0,50%, sehingga kebutuhan hidup penduduk juga akan meningkat. Meningkatnya kebutuhan akan penginapan membuat pembenahan terjadi di berbagai wilayah di Kota Manado, salah satunya adalah pengembangan penginapan di Kawasan Mapanget.

Kualitas lingkungan dan laju pertumbuhan penduduk di Kota Manado menunjukkan Indeks Kualitas Air 50,00%, Indeks Kualitas Udara 89,58%, Indeks Kualitas Lahan 28,37%, dan Indeks Kualitas Lingkungan Hidup 61,29%. Suhu yang tercatat memiliki nilai minimum 19.30°C, nilai maksimum 36.20°C dan nilai rata-rata 27.15°C, dengan kelembaban minimum 32%, maksimum 100% dan rata-rata 82,39%, dan nilai kecepatan angin di ruang terbuka memiliki nilai minimum 0.00 m/s, maksimum 19 m/s, dan nilai rata-rata 2.80 m/s (BPS Sulawesi Utara, 2024). Udara yang kian bertambah panas dan tingginya kelembaban disekitar menjadi masalah utama pada bangunan yang berada di iklim tropis lembab.

Dalam bidang teknik, suatu struktur harus memenuhi tiga komponen. Itu adalah; pertama, struktur merupakan hasil pengerjaan; kedua, struktur harus memberikan kenyamanan (fisik dan mental) kepada klien yang membangun; ketiga, struktur harus mempunyai pilihan untuk membatasi penggunaan energi. Ketiga komponen ini merupakan ukuran yang harus dipenuhi dalam perencanaan, misalnya rumah pribadi, sehingga klien yang membangun akan merasa nyaman saat memanfaatkannya (Karyono, 2000). Kenyamanan hangat adalah suatu kondisi otak manusia yang mengkomunikasikan kepuasan

dengan iklim umum (ASHRAE 55-1992). Kenyamanan ini dirasakan tubuh ketika terjadi keseimbangan hangat dimana intensitas yang diciptakan tubuh identik dengan penyampaian dan perolehan intensitas dalam tubuh. Untuk mencapai kenyamanan hangat yang ideal, penting untuk mengontrol atau mengatur aktivitas serbaguna dari penghuninya, termasuk dengan mengatur sistem ventilasi, mengatur arah angin secara tepat, memberikan tirai pada bagian-bagian bangunan yang mudah terkena radiasi sinar matahari, dan itu bahkan dianjurkan untuk merencanakan alat pelindung sinar matahari untuk membatasi intensitas sinar matahari (Santoso, 2012). Sifat termofisik material pemandangan berdampak pada perubahan iklim mikro, khususnya suhu radiasi normal yang disebabkan oleh suhu permukaan material (S Sangkertadi dkk 2022).

Kelangsungan ventilasi dalam suatu ruangan sangat mempengaruhi kenyamanan hangat ruangan tersebut karena dalam sistem pendingin dalam ruangan, kenyamanan hangat tidak dapat dipisahkan dari faktor-faktor yang mendorong suhu dan pergerakan udara (Webb, 2013). Perkembangan angin dalam ruangan dipengaruhi oleh arah struktur dan format ventilasi atau bukaan dinding. Sehingga udara luar yang sempurna dan sehat dapat menggantikan udara dalam ruangan sehingga menjadikan rumah kokoh (Damastuti dan Nasihien, 2017). Ventilasi sendiri merupakan suatu siklus dimana udara bersih (udara luar) masuk (secara sengaja) ke dalam suatu ruangan sekaligus mendorong udara kotor yang ada di dalam ruangan tersebut keluar. Agar udara dapat masuk dan keluar diperlukan bukaan sebagai bukaan ventilasi untuk melewati ruangan dengan menggunakan proses ventilasi silang (Razak, 2015). Penelitian yang dilakukan pada objek masjid menunjukkan bahwa fokus dengan suhu rendah berada di dekat bukaan, bukan fokus yang tidak dekat bukaan dan ventilasi silang (Amin., dkk, 2004).

Pergerakan udara pada ruangan dengan kecepatan pergerakan udara dibawah 1 m/s membuat suasana ruangan menjadi tidak stabil, sedangkan pergerakan udara dengan kecepatan hingga 1 m/s menyebabkan ruangan terasa nyaman, namun jika di dalam ruangan suatu ruangan yang pergerakan udaranya mempunyai kecepatan di atas lebih dari 1m/s dapat menimbulkan iklim yang tidak nyaman dan memerlukan perawatan khusus pada ruangan tersebut (Lestari, 2011). Kecepatan angin untuk hiburan dalam ruangan berada pada kecepatan terjauh antara 0,1 m/s hingga 0,5 m/s. Jika melebihi batas tersebut, sensasinya dianggap janggal (Prianto dan Depecker, 2002). Ada tiga batasan hiburan hangat menurut Prinsip Publik Indonesia: (1). Sejuk 20.5°C - 22.8°C (TE), kelembapan relatif setengah dengan batas 24°C (TE) dan tingkat lengket 80%; (2). Kenyamanan ideal 22.5°C - 25.8°C (TE), kelembapan relatif 70% dengan suhu 28°C (TE) dan kelembapan 80%; (3). Hangat 25.8°C - 27.1°C (TE), kelembapan relatif 60% dengan batas 31°C dan tingkat lengket 80%. (SNI 03-6572-2001).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis aliran udara pada ruang tamu di dalam rumah tinggal dan memberikan rekomendasi berupa jenis tipe bukaan ventilasi yang sesuai untuk memberikan kenyamanan termal yang optimal bagi pengguna dengan menggunakan simulasi Cradle CFD dan Energy 2D. Hal ini dilakukan dengan melihat adanya kebutuhan untuk memiliki rumah tinggal yang nyaman oleh masyarakat, dimana pembangunan rumah tinggal yang terjadi saat ini memiliki trend tipe bukaan ventilasi yang berbeda-beda menurut estetika tetapi belum mampu untuk menurunkan suhu udara dalam ruangan sehingga kebanyakan menggunakan pengkondisian udara buatan.

METODE

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah kuantitatif, serta dilakukan simulasi dengan bantuan software Cradle CFD dan Energy 2D berdasarkan hasil yang didapat dengan menggunakan alat ukur di lapangan, kemudian dilakukan penjelasan secara deskriptif dalam menganalisa data yang bertujuan untuk menguji hipotesis yang ada. Data yang akan dianalisis pada penelitian ini yaitu rumah tinggal yang terletak di Perumahan Royal Residence, Kecamatan Mapanget, Kota Manado.

Metode Pengumpulan Data

Data pengguna rumah tinggal dikumpulkan dengan melakukan survei lokasi. Di lakukan pengukuran model dan ukuran rumah tinggal, ukuran detail bukaan jendela dan pintu, peletakan pintu dan jendela, serta lingkungan lansekap mikro *site*. Selain itu diadakan pengukuran parameter termal seperti kecepatan angin, suhu udara, suhu permukaan dan kelembaban. Data-data tersebut diinput ke program komputer Cradle CFD dan Energy 2D.

Penelitian dilakukan dengan membuat geometri rumah tinggal pada aplikasi SketchUp. Geometri rumah tinggal dibuat delapan belas tipe, kemudian di *export* ke 3D model dengan format AutoCAD DXF File, di *export* kembali ke format IGES untuk digunakan pada aplikasi Cradle CFD. Kemudian pada aplikasi Cradle CFD di lakukan *Build Analysis Model, Part Material, Register Region, Conditions, set Octree Parameter* dan *Mesh Parameter*, kemudian *Execute* dan akan di dapatkan *Convergence Status*, hasil tersebut diinput ke *Launch Solver* dan *Execute* maka akan didapatkan hasil simulasi suhu dan kecepatan angin.

Parameter input simulasi di dapatkan melalui pengukuran langsung di lapangan pada dimensi ruang tamu, ukuran bukaan ventilasi, dan parameter iklim mikro/*site*. Kondisi iklim mikro diambil dari data lingkungan pada hari Selasa, 16 April 2024, diperoleh dari data BMKG Kota Manado. Sementara untuk data termal di dalam ruang tamu diperoleh dari alat *Hot Wire Anemometer* untuk mengukur kecepatan angin, *Elitech Data Logger* untuk mencatat suhu dan kelembaban udara, *Uni-T Professional Thermal Imager* untuk mengukur suhu permukaan bidang.

Simulasi CFD dilakukan untuk mengetahui aliran udara pada jenis bukaan ventilasi alami di dalam ruang tamu. Simulasi dilakukan pada jenis tipe bukaan ventilasi eksisting dan delapan jenis tipe bukaan yang ditemukan pada rumah tinggal umumnya. Simulasi dilakukan sebanyak tiga puluh enam kali, dengan rincian setiap jenis bukaan dilakukan simulasi pada pukul 12:30 dengan kondisi pintu terbuka dan tertutup, serta pada pukul 15:30 dengan kondisi pintu terbuka dan tertutup. Perlakuan kecepatan input angin masing-masing pukul 12:30 nilai rata-rata 0.377 m/s dan pukul 15:30 nilai rata-rata 0.185 m/s. Distribusi suhu udara dan kecepatan aliran udara ditampilkan sesuai dengan besar ruangan dan posisi bukaan.

Metode Analisis Data

Data hasil simulasi dianalisis dengan menggunakan komparasi. Hasil dari pengukuran langsung jenis tipe bukaan eksisting dibandingkan dengan hasil simulasi pada jenis tipe bukaan yang sama, kemudian hasil simulasi tersebut dibandingkan dengan simulasi jenis tipe bukaan lainnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Lokasi objek penelitian di Perumahan Royal Residence Paniki Dua, Kecamatan Mapanget, Kota Manado, Provinsi Sulawesi Utara dengan objek penelitian berupa rumah tinggal satu lantai.



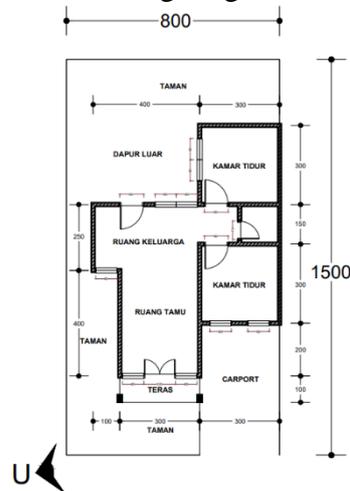
Sumber: Google Earth, 2024

Gambar 1. Lokasi Rumah Penelitian



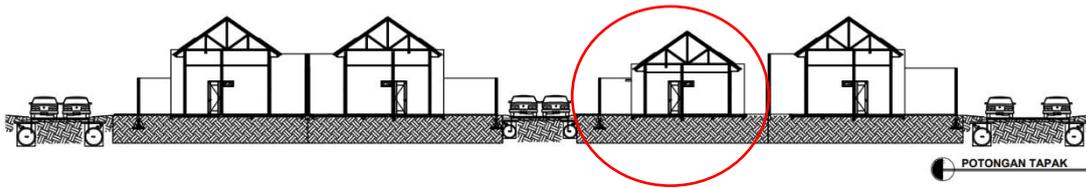
Sumber: Dokumentasi Penulis, 2024

Gambar 2. Kondisi Lingkungan Lansekap Mikro



Sumber: Digambar Penulis, 2024

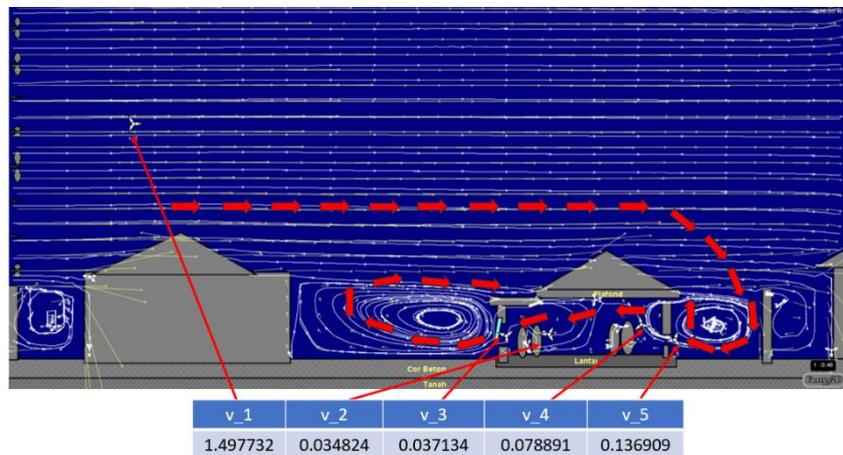
Gambar 3. Denah Rumah Tinggal Penelitian



Sumber: Digambar Penulis, 2024

Gambar 4. Potongan Tapak Kawasan Rumah Tinggal Penelitian

Pada gambar 1, 2, dan 4 memperlihatkan kondisi lingkungan rumah tinggal penelitian. Orientasi bangunan ke arah timur – barat, dengan pola peletakan bangunan *grid*, serta posisi jarak antar bangunan cukup rapat membuat hantaran sinar panas pada matahari ke dalam ruangan berkurang. Namun, penghalang berupa bangunan di depan dan belakang lokasi penelitian tersebut membuat terjadinya turbulen di sekitar bangunan dimana udara masuk dari belakang bangunan dan terus mengalir ke depan, sehingga udara terhambat untuk masuk dan mempengaruhi kelancaran peredaran udara pada ventilasi silang. Rumah di depan menjadi penghalang yang menurunkan nilai kecepatan udara dibandingkan rumah di belakang lokasi penelitian. Terdapat beberapa titik dimana kecepatan angin melemah, hal ini mempengaruhi kenyamanan aero-termal seperti terlihat pada gambar 5.



Sumber: Analisis Penulis, 2024

Gambar 5. Hasil visualisasi pola sirkulasi angin menggunakan Energy 2D

Tabel 1. Hasil Perhitungan Suhu Rata-rata dalam Ruang dengan Bantuan Simulasi Cradle CFD

No	Tipe Jendela	Pukul 12:30 (°C)	Pukul 15:30 (°C)	Rata-rata
1	<i>Casement Top Hung</i>	33.6	37	35.30
2	Jendela Kisi-kisi	33.6	36.8	35.21
3	<i>Louvre</i>	33.6	37	35.30
4	<i>Casement Side Hung</i>	33.6	37	35.30
5	<i>Horizontally Pivoted</i>	33.6	35.5	34.55
6	<i>Casement Buttom Hung</i>	33.6	37.02	35.12
7	<i>Vertically Pivoted</i>	33.5	35.03	34.17

8	<i>Vertically Sliding</i>	33.6	37.37	35.48
9	Gabungan Kisi-kisi dan <i>Louvre</i>	33.6	36.8	35.22

Sumber: Analisis Penulis, 2024

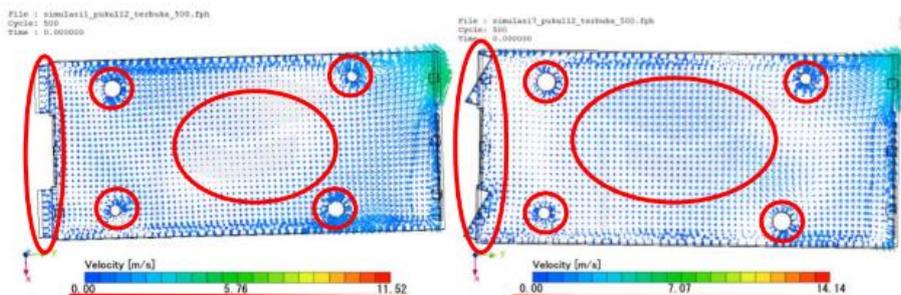
Dari hasil simulasi pada tabel 1 diatas maka didapatkan suhu terendah adalah dari tipe bukaan jendela *vertically pivoted* dengan nilai rata-rata 34.17°C dan suhu tertinggi adalah tipe bukaan jendela *vertically sliding* dengan nilai rata-rata 35.48°C.

Tabel 2. Hasil perhitungan kecepatan angin rata-rata dalam ruang dengan bantuan simulasi *Cradle CFD*

No	Tipe Jendela	Pukul 12:30 (m/s)	Pukul 15:30 (m/s)	Rata-rata
1	<i>Casement Top Hung</i>	0.265	0.15	0.207
2	Jendela Kisi-kisi	0.13	0.515	0.322
3	<i>Louvre</i>	0.255	0.255	0.255
4	<i>Casement Side Hung</i>	0.195	0.245	0.22
5	<i>Horizontally Pivoted</i>	0.26	0.34	0.3
6	<i>Casement Buttom Hung</i>	0.22	0.38	0.3
7	<i>Vertically Pivoted</i>	0.285	0.355	1.28
8	<i>Vertically Sliding</i>	0.095	0.205	0.15
9	Gabungan Kisi-kisi dan <i>Louvre</i>	0.29	0.415	0.352

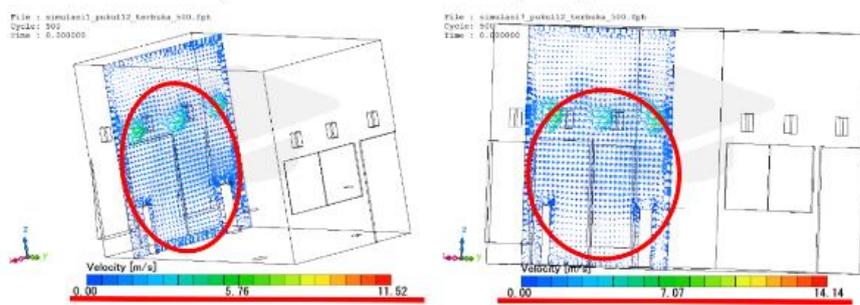
Sumber: Analisis Penulis, 2024

Dari hasil simulasi pada tabel 2 diatas maka didapatkan kecepatan angin terendah berada pada tipe bukaan jendela *vertically sliding* dengan nilai rata-rata 0.15 m/s dan kecepatan angin tertinggi ada pada tipe bukaan jendela *vertically pivoted* dengan nilai rata-rata 1.28 m/s.



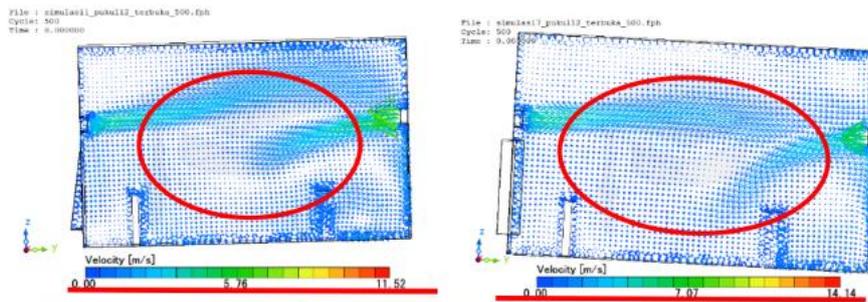
Sumber: Analisis Penulis, 2024

Gambar 6. Perbandingan Pola Aliran Udara Simulasi Jendela Eksisting dan Jendela yang Disarankan pada Z-Axis



Sumber: Analisis Penulis, 2024

Gambar 7. Perbandingan Pola Aliran Udara Simulasi Jendela Eksisting dan Jendela yang Disarankan pada Y-Axis



Sumber: Analisis Penulis, 2024

Gambar 8. Perbandingan Pola Aliran Udara Simulasi Jendela Eksisting dan Jendela yang Disarankan pada X-Axis

Aliran udara yang masuk pada simulasi 1 (kondisi eksisting jendela) menunjukkan nilai 0.3 m/s, namun pola aliran angin tidak tersebar secara merata sehingga sebagian penghuni merasakan ada angin yang berhembus sementara lainnya tidak. Hal ini disebabkan pertukaran udara tidak optimal dalam ruangan sehingga menyebabkan beberapa titik tidak terkena angin yang masuk. Kondisi tersebut membuat suhu udara panas yang ada dalam ruangan lambat untuk berganti, dan kenyamanan termal pada penghuni tidak tercapai. Sementara pada simulasi 7 jenis bukaan ventilasi *Vertically Pivoted* dengan kecepatan angin yang masuk sebesar 1.28 m/s, menunjukkan bahwa pola aliran angin tersebar cukup merata kesetiap sisi ruangan sehingga aliran angin dapat terasa oleh penghuni dan suhu udara dalam ruangan dapat berganti dengan cepat terlihat pada gambar 6, 7, dan 8. Hal ini dinilai mampu untuk memenuhi kenyamanan termal pada penghuni.

PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan dari hipotesis pertama menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan antara jenis bukaan ventilasi terhadap suhu dalam ruangan. Dari hasil pengukuran, perhitungan menggunakan bantuan simulasi dan jawaban kuisioner yang diisi oleh responden dalam hal ini para penghuni, jenis bukaan ventilasi eksisting dinilai belum mampu memenuhi kenyamanan termal dalam ruangan. Para penghuni merasakan angin yang berhembus jika berada dekat dengan bukaan lubang ventilasi. Simulasi menggunakan Cradle CFD yang dilakukan dengan 9 jenis bukaan ventilasi jendela menunjukkan bahwa arah bukaan mempengaruhi kecepatan aliran angin dari luar yang dapat

masuk ke dalam ruangan, semakin sesuai arah bukaan ventilasi maka aliran angin dapat tersebar secara merata dan karena adanya perbedaan tekanan maka udara dalam ruangan yang panas dapat mengalir ke luar ruangan.

Konsekuensi dari pengujian pertama ini sesuai dengan konsekuensi dari pengujian pemeriksaan sebelumnya yang menunjukkan bahwa terdapat pengaruh yang sangat besar pada jenis bukaan jendela dan ventilasi yang dapat mempercepat dan menyebarkan angin pada ruang privat sehingga desain pengembangan angin tidak terjadi. Tidak hanya mengalir menuju atap ruangan namun dapat menyebar secara merata (Arifah., dkk, 2017). Hal ini cenderung beralasan bahwa ada hubungan antara kualitas pembukaan dan kehangatan ruang yang dihubungkan dengan faktor merek dagang awal. Bukaan pada tipe Top Hung saat ini (jendela gantung) eksekusinya kurang menarik (Dhiyathalla., dkk, 2022). Jenis bukaan ventilasi terbaik berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan adalah jenis bukaan Vertically Pivoted dengan kecepatan angin yang masuk sebesar 1.28 m/s, dilihat dari visualisasi vektor angin yang tersebar jenis bukaan ini memiliki kecepatan udara paling merata, dan suhu udara 34.17°C yang paling ideal dibanding dengan jenis bukaan lainnya.

Berdasarkan hasil pengujian dari hipotesis kedua menunjukkan bahwa lingkungan lansekap mikro/ site berpengaruh dalam memberikan kenyamanan termal bagi manusia dalam ruang pada iklim tropis lembab. Simulasi menggunakan Energy 2D pada lingkungan lansekap sekitar menunjukkan bahwa rumah tinggal sekitar yang memiliki elevasi yang tinggi dapat membuat hantaran sinar panas pada matahari ke dalam ruangan berkurang. Penghalang, yaitu rumah depan dan belakang membuat terjadinya pola aliran turbulen di sekitar bangunan, sehingga mempengaruhi kelancaran ventilasi silang dimana udara yang terhambat untuk masuk. Selain itu pemilihan jenis jendela *Top Hung* memiliki kinerja yang kurang optimal sehingga aliran angin ke dalam ruangan tidak dapat menyebar, yang mempengaruhi kenyamanan termal sehingga suhu udara panas pun menetap.

Dampak lanjutan dari pengujian selanjutnya ini tidak sesuai dengan eksplorasi masa lalu terhadap desain aliran angin pada struktur bertingkat yang dipengaruhi oleh hambatan sebelum dan di belakang struktur. Dimana pada eksplorasi sebelumnya hal ini diselesaikan pada struktur bertingkat dimana desain aliran angin pada setiap tingkat pada dasarnya unik. Dampak dari struktur penghalang, baik bangunan atau tanaman, umumnya tidak akan menghambat kemajuan pendekatan udara, khususnya pada bangunan bertingkat. Bagaimanapun, penghalang yang dipasang di depan suatu bangunan akan menurunkan nilai koefisien kecepatan udara dalam ruangan dibandingkan dengan penghalang yang dipasang di belakangnya (Kindangen, 2005). Hal tersebut sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan pada rumah tinggal satu lantai di Royal Residence, rumah yang berada di depan lokasi penelitian menjadi penghalang yang menurunkan nilai kecepatan udara dibandingkan rumah di belakang lokasi penelitian. Terdapat beberapa titik dimana kecepatan angin melemah, hal ini mempengaruhi kenyamanan termal. Pada lokasi penelitian yang terletak di iklim tropis lembab, peran angin membantu kenyamanan termal secara epeporatif dengan menguapkan keringat di kulit sehingga menambah rasa dingin.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian kenyamanan termal pada rumah tinggal di Perumahan Royal Residence yang ditinjau berdasarkan 9 tipe jenis bukaan ventilasi alami dan lingkungan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Desain bukaan ventilasi yang telah ada pada rumah tinggal tersebut yaitu tipe *Casement Top Hung*, telah disimulasikan dan menghasilkan kecepatan angin rata-rata 0.281 m/s dengan suhu ruangan 35.8°C, dikarenakan aliran angin yang bergerak tidak merata ke seluruh ruangan sehingga tidak terjadi pertukaran udara membuat keadaan penghuni tidak nyaman. Berdasarkan hasil simulasi tipe jenis bukaan ventilasi *Vertically Pivoted* menghasilkan kecepatan angin 1.28 m/s dengan suhu ruangan 34.17°C, meskipun hasil kecepatan angin melampaui standar minimal dalam ruangan yaitu sekitar 0.1 – 0.5 m/s dan suhu udara 25.8 – 27.1°C namun hal ini dinilai mampu untuk membuat nyaman keadaan para penghuni ruangan tersebut yang disebabkan oleh pola persebaran angin yang merata. Konveksi alamiah terjadi yaitu pergerakan aliran udara yang tinggi akan menjadi lebih ringan dan bergerak keatas sehingga terjadi pertukaran udara di dalam ruangan tersebut. Pengaruh arah bukaan sangat mempengaruhi kecepatan dan persebaran udara yang masuk sehingga suhu udara yang dirasakan penghuni dalam ruangan nyaman.

2. Dari aspek lingkungan, pada lokasi penelitian cahaya matahari tidak mengenai langsung permukaan bangunan karena rumah dihimpit oleh rumah lainnya yang memiliki elevasi lebih tinggi, selain itu cahaya dan panas terserap pada permukaan lantai teras yang terbuat dari cor beton. Namun demikian, rumah di depan dan belakang menjadi suatu struktur penghalang sehingga terjadi pola aliran angin turbulen di sekitar bangunan, yang kemudian mempengaruhi kelancaran ventilasi silang. Sehingga penempatan jendela bukaan dan jenis tipe bukaan harus memperhatikan kondisi lingkungan lansekap sekitar agar angin yang masuk ke dalam ruang dapat tersebar keseluruh ruangan secara merata untuk memberikan kenyamanan termal pada penghuni.

Desain bukaan ventilasi pada rumah tinggal perlu disesuaikan dengan kondisi lingkungan lansekap yang ada. Penempatan lubang ventilasi dan arah bukaan yang tepat membuat angin tersebar merata dalam ruangan yang membuat penghuni merasa nyaman berada dalam waktu yang lama. Penulis mengharapkan agar selanjutnya perlu dilakukan kajian mendalam atau jika bisa disimulasikan terlebih dahulu sebelum memilih jenis bukaan ventilasi jendela yang sesuai pada rumah tinggal agar aliran udara yang masuk ke dalam ruangan lebih optimal.

Dikarenakan penelitian ini terbatas pada satu wilayah yang menggunakan software simulasi Cradle CFD scFLOW dan Energy 2D, maka penulis mengharapkan hasil ini dapat dijadikan sebagai bahan evaluasi terhadap trend pemilihan tipe jenis ventilasi dan masukan untuk penelitian selanjutnya dalam meningkatkan kenyamanan termal rumah tinggal yang dibutuhkan pada kondisi lingkungan lansekap yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, M., Danusputra, H., & Prianto, E. (2004). Pengaruh Bukaan Terhadap Kenyamanan Thermal pada Bangunan Publik di Daerah Tropis. *Jurnal Unimus*, 1– 13.
- Anisa B.A., M.S Adhitama., & Agung M.N. (2017). Pengaruh Bukaan Terhadap Kenyamanan Termal Pada Ruang Hunian Rumah Susun Aparna Surabaya. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Arsitektur Universitas Brawijaya*, 5, 4.

- Damastuti, N., & Nasihien, R. D. (2017). Simulasi Kecepatan Angin dengan CFD Untuk Mengetahui Tingkat Kenyamanan Thermal Masjid Narotama II-1 II-2, 9, 1-4.
- Dhiyathalla, L., Gandarum, D. N., & Lahji, K. (2022). Pengaruh Karakteristik Bukaannya dan Orientasi Bangunan Terhadap Kenyamanan Termal Pada Ruang Kelas SMPN 3 Carita. *Prosiding Seminar Intelektual Muda*, 3(2), 131-139.
- Gosal, P., Sangkertadi., & Wuisang, C. (2023). Pengaruh Pohon Terhadap Kenyamanan Termal dalam Hunian Beriklim Tropis Lembab dengan Kasus di Kota Manado. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Arsitektur*.
- Hamzah, Baharuddin & Rahim, Ramli & Ishak, Muhammad & Latif, Sahabuddin. (2017). Kinerja Sistem Ventilasi Alami Ruang Kuliah. *Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia*. *Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia*, 6, 51-58. <https://doi.org/10.32315/jlbi.6.1.51>
- Hamzah, Baharuddin, Rosady Mulyadi, & Samsuddin Amin. (2016) Analisis Kenyamanan Termal Ruang Kelas Sekolah Dasar Di Kota Makassar Studi Kasus SD Unggulan Toddopuli. *Prosiding Temu Ilmiah IPLBI*, 1, 1-6.
- Karyono, T. H. (2000). Report on thermal comfort and building energy studies in Jakarta – Indonesia. *Building and Environment*, 35(1), 77-90. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(98\)00066-3](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(98)00066-3)
- Kindangen, J. I. (2003). Pengaruh Tipe Jendela Terhadap Pola Aliran Udara Dalam Ruang. *Dimensi Teknik Arsitektur*, 31(2), 158-162. <http://puslit.petra.ac.id/~puslit/journals/>
- Kindangen, J. I. (2005). Investigasi Pola Aliran Udara Dalam Bangunan Bertingkat Akibat Pengaruh Penghalang di Depan dan di Belakangnya. *Dimensi Teknik Arsitektur*, 33(1), 172-176. <http://puslit.petra.ac.id/~puslit/journals/>
- Lestari, D. S. (2011). Kondisi Kenyamanan Thermal Bangunan Gereja Blenduk Semarang. *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, 10(14). <https://ejournal.utp.ac.id/index.php/JTSA/article/view/226>
- Prianto, E., & Depecker, P. (2002). Characteristic Of Airflow As The Effect Of Balcony, Opening Design And Internal Division On Indoor Velocity: A Case Study Of Traditional Dwelling In Urban Living Quarter In Tropical Humid Region. *Energy and Buildings*, 34(4), 401-409. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00124-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00124-4).
- Razak, H. (2015). Pengaruh Karakteristik Ventilasi dan Lingkungan Terhadap Tingkat Kenyamanan Termal Ruang Kelas SMPN di Jakarta Selatan. *AGORA Jurnal Penelitian Dan Karya Ilmiah Arsitektur Usakti* *Jurnal Penelitian Dan Karya Ilmiah Arsitektur Usakti*, 15(2), 1-18. <https://doi.org/10.25105/agora.v15i2.2024>
- Razak, Humairoh., Gandarum, Dedes Nur., & Juwana, Jimmy Siswanto. (2015). Pengaruh Karakteristik Ventilasi dan Lingkungan terhadap Tingkat Kenyamanan Termal Ruang Kelas SMPN di Jakarta Selatan. *AGORA, Jurnal Arsitektur*, 15, 2.
- Sangkertadi. (2012). Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Tingkat Kenyamanan Termal di Ruang Luar Iklim Tropis Lembab. *Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia*, 1, 2.
- Sangkertadi, S., Syafriny, R., Wuisang, C. E. V., & Zahra, Z. (2022). Influence of landscape material properties on microclimate change in a tropical area with case in Manado City. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1007(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1007/1/012006>
- Sangkertadi, S., Syafriny, R., Wuisang, C.E.V. (2023). Thermophysical Properties of Landscape Material and Its Effect on Daytime Outdoor Thermal Comfort in Tropical City. In: Krüger, E.L., Karunathilake, H.P., Alam, T. (eds) *Resilient and Responsible*

Smart Cities. *Advances in Science, Technology & Innovation*. Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-20182-0_10

- Santoso, E. I. (2012). Kenyamanan Termal Indoor pada Bangunan di Daerah Beriklim Tropis Lembab. *Indonesian Green Technology*, 1(1), 13-19.
<https://media.neliti.com/media/publications/63463-ID-kenyamanan-termal-indoor-pada-bangunan-d.pdf>
- Susanti, L., dan Nike Aulia. 2013. Evaluasi kenyamanan Termal Ruang Sekolah SMA Negeri di Kota Padang. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*. ISSN : 2088- 4842, 12(1), 310-316.
- Vidiyanti, C., Siswanto, R., & Ramadhan, F. (2020). Pengaruh Bukaannya Terhadap Pencahayaan Alami Dan Penghawaan Alami Pada Masjid Al Ahdhar Bekasi. *Jurnal Arsitektur ZONASI*, 3(1), 20–33. <https://doi.org/10.17509/jaz.v3i1.18621>

Buku

- Buchori, Luqman. (2011). *Perpindahan Panas*. Semarang: UNPID.
- Budihardjo, Eko. (1998). *Sejumlah Masalah Permukiman Kota*. Bandung.
- Fanger, P.O. (1970). *Thermal Comfort Analysis and Application in Environmental Engineering*. USA : McGraw-Hill Book Co.
- Fry, M., & Drew, J. (1956). *Tropical Architecture in the Humid Zone*. New York : Reinhold Publishing.
- Heinz Frick. (1998). *Dasar-dasar Eko Arsitektur*. Yogyakarta : Kanisius.
- Heinz Frick, Tri Hesti Mulyani. (2006). *Arsitektur Ekologis, Konsep Arsitektur Ekologis di Iklim Tropis, Penghijauan Kota dan Kota Ekologis, serta Energi Terbarukan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Holman, J & P. Jasjfi E. (2002). *Perpindahan Kalor*. Jakarta: Erlangga. Idham, N. C. (2016). *Arsitektur dan Kenyamanan Termal*. Yogyakarta: Andi Yogyakarta.
- Koeningsberger, O.H., Ingersoll, T, G., Mayhew, A., & Szokolay, S,V. (1974). *Manual of tropical housing and building, Part one, Climate design*. London : Longman.
- Latifah, N. L. (2015). *Fisika Bangunan 1*. Edisi Pertama. Jakarta Timur : Griya Kreasi.
- Sangkertadi. (2012). *Perhitungan Ventilasi dan Kenyamanan Termis Pada Bangunan Tropis*. Edisi Pertama. Manado : PT Waja Utama.
- Sangkertadi. (2013). *Kenyamanan Termis di Ruang Luar Beriklim Tropis Lembab*. Bandung : Alfabeta.
- Satwiko, Prasasto. (2009). *Fisika Bangunan*. Yogyakarta: C.V. Andi Offset.
- Sugini. (2014). *Kenyamanan Termal Ruang; Konsep dan Penerapan pada Desain*. Edisi Pertama. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Suparno, S. M. (2007). *Perencanaan dan Pengembangan Perumahan*. Yogyakarta: C.V. Andi Offset.
- Szokolay, S. V. (1980). *Environmental Sciences Handbook for Architects and Builders*. Lancaster [etc.] : Construction Press.