

Pengaruh Konfigurasi Balkon pada Performa Kinerja Ventilasi Alami Dalam Ruangannya Bangunan Rusunawa di Indonesia

Impact of Balcony Configuration on Natural Ventilation Performance in Indoor Spaces of Social Buildings (Rusunawa) in Indonesia

Bagus Surya Ananta¹, Jatmika Adi Suryabrata²

^{1,2}Departemen Arsitektur dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No.2, Sendowo, Kabupaten Sleman, DIY 55281
bagussuryaananta@mail.ugm.ac.id

[Diterima 02/04/2024, Disetujui 24/04/2024, Diterbitkan 26/04/2024]

Abstrak

Peningkatan urbanisasi berdampak terhadap kualitas lingkungan dalam ruangan dan peningkatan konsumsi energi dalam bangunan perkotaan di Indonesia, khususnya pada bangunan Rusunawa. Meskipun menyediakan hunian terjangkau, Rusunawa menghadapi tantangan terkait konsumsi energi listrik dalam mencapai kenyamanan dalam ruangan. Implementasi pasif desain seperti balkon diharapkan mampu memaksimalkan penghawaan alami dalam ruangan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi pengaruh konfigurasi balkon terhadap performa kinerja ventilasi alami dalam ruangan pada bangunan rusunawa di Indonesia dengan harapan memberikan panduan dalam mengoptimalkan kenyamanan ruangan melalui ventilasi alami. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) melalui perangkat lunak *Rhinoceros & Butterfly*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi lebar dan kedalaman balkon secara signifikan meningkatkan nilai *Air Changes per Hour* (ACH) dan kecepatan angin. Konfigurasi lebar balkon sebesar 40% menghasilkan peningkatan kualitas udara dalam ruangan sebesar 18-26%, sementara konfigurasi kedalaman balkon sebesar 20% menghasilkan peningkatan sebesar 9-10%.

Kata kunci: *air changes per hour*, balkon, *computational fluid dynamics*, rusunawa, ventilasi alami

Abstract

The increase in urbanization has an impact on indoor environmental quality and energy consumption in urban buildings in Indonesia, particularly in low-cost apartment buildings (Rusunawa). Despite providing affordable housing, Rusunawa faces challenges related to electricity consumption in achieving indoor comfort. The implementation of passive design elements such as balconies is expected to maximize natural ventilation indoors. This research aims to identify the influence of balcony configurations on the performance of natural ventilation in Rusunawa buildings in Indonesia, aiming to provide guidance in optimizing indoor comfort through natural ventilation. The method employed in this research is Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation using Rhinoceros & Butterfly. The results of the study indicate that the width and depth configurations of balconies significantly enhance the Air Changes per Hour (ACH) and wind speed. A balcony width configuration of 40% yields an indoor air quality improvement of 18-26%, while a depth configuration of 20% results in a 9-10% enhancement.

Keywords: *air changes per hour*, balconies, *computational fluid dynamics*, rusunawa, natural ventilation

©Jurnal Arsir Universitas Muhammadiyah Palembang
p-ISSN 2580-1155
e-ISSN 2614-4034

Pendahuluan

Sekitar 80% hingga 90% manusia menghabiskan waktunya di dalam ruangan pada suatu bangunan, hal ini menyebabkan tingkat kualitas lingkungan dalam ruang menjadi sangat penting (Šujanová et al., 2019). Dalam beberapa tahun terakhir kualitas lingkungan dalam ruang yang mencakup beberapa aspek seperti kualitas udara, akustik, visual, serta termal dalam ruangan terus mengalami penurunan akibat meningkatnya jumlah pembangunan khususnya di wilayah perkotaan serta berkurangnya jumlah lahan hijau pada wilayah kota. Indonesia khususnya pada wilayah perkotaan, mengalami peningkatan pembangunan hunian yang berjalan seiring dengan pertumbuhan urbanisasi secara signifikan. Data tahun 2020 menunjukkan sebanyak 7,64 juta unit hunian diperlukan untuk memenuhi kebutuhan tempat tinggal bagi masyarakat, dengan 84,8% diantaranya ditujukan untuk masyarakat dengan tingkat penghasilan yang rendah (Prasetya et al., 2023). Peningkatan jumlah pembangunan hunian berdampak signifikan pada perubahan iklim melalui emisi gas karbon yang dihasilkan dari penggunaan energi listrik untuk penghawaan ruangan. Khususnya, sektor rumah tangga menunjukkan konsumsi listrik tertinggi yang meningkat secara signifikan dari 49.790 GWh pada tahun 2008 menjadi 95.329 GWh pada tahun 2016, dengan perkiraan peningkatan dua kali lipat menjadi 183.600 GWh pada tahun 2027. Kondisi ini menjadi perhatian serius mengingat sekitar 58% energi primer untuk pembangkit listrik di Indonesia berasal dari batu bara dan 27% dari gas alam. Proyeksi peningkatan kebutuhan energi dalam sektor rumah tangga berpotensi meningkatkan emisi gas rumah kaca yang memperparah perubahan iklim (Miyamoto et al., 2024).

Menghadapi kondisi lingkungan yang semakin memburuk akibat pertumbuhan pembangunan yang disebabkan oleh urbanisasi serta peningkatan permintaan akan energi listrik yang terus bertambah, telah meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya penggunaan energi dan dampaknya terhadap lingkungan. Efisiensi energi pada bangunan saat ini menjadi hal penting khususnya bagi para arsitek maupun insinyur dalam mengeksplorasi dan mengembangkan strategi desain guna menghemat energi selama dan setelah konstruksi bangunan (Zoure & Genovese, 2023).

Ventilasi alami merupakan suatu proses dimana udara luar masuk ke dalam ruangan tanpa perlu keterlibatan sistem mekanis (Bramiana et al., 2022). Ventilasi alami dianggap sebagai teknologi pasif yang ekonomis dan efektif dalam mengurangi konsumsi energi (Zhu et al., 2021). Proses pertukaran udara dalam ventilasi alami dapat terjadi ketika adanya perbedaan tekanan serta kepadatan antara ruang dalam dan luar (Lau et al., 2018). Berbagai strategi dapat digunakan dalam mengoptimalkan kinerja ventilasi alami, salah satunya melalui perancangan pasif. Perancangan pasif dapat diimplementasikan ke dalam bangunan melalui variasi elemen arsitektur seperti bukaan jendela, louvre, alat pengarah angin (*wind catchers*), dinding pelindung (*wing wall*), serta balkon (Kubota et al., 2022; Putri et al., 2022; Zhu et al., 2021).

Tingginya kebutuhan akan tempat tinggal di Indonesia tiap tahunnya menyebabkan pemerintah menciptakan sebuah hunian yang layak, aman, serta terjangkau melalui pembangunan Rumah Susun Sederhana Sewa (Rusunawa) (Miyamoto et al., 2024). Meskipun pembangunan Rusunawa merupakan solusi strategi pemerintah dalam menyediakan hunian yang layak, biaya sewa yang terjangkau seringkali mengakibatkan masalah baru seperti keterbatasan akan penggunaan energi listrik dalam ruangan, termasuk pada penggunaan penghawaan buatan dalam mencapai tingkat kenyamanan dalam ruangan yang dibutuhkan. Sehingga pemanfaatan desain pasif menjadi salah satu solusi yang dapat diperhitungkan, salah satunya yaitu implementasi balkon ke dalam bangunan. Balkon merupakan salah satu elemen arsitektur yang sering digunakan dalam perancangan bangunan khususnya pada tipe hunian seperti rumah susun, selain menyediakan sirkulasi udara segar ke dalam ruangan, balkon juga berfungsi sebagai area untuk mengeringkan pakaian dan memberikan ruang terbuka pribadi bagi penghuni. Faktor dimensi, ketinggian serta orientasi desain pada balkon dalam bangunan dapat

mempengaruhi kecepatan serta pergerakan aliran udara dari luar ke dalam ruangan sehingga hal tersebut dapat mempengaruhi tingkat kenyamanan termal dalam ruangan. (Karimimoshaver et al., 2023; Putri et al., 2022). Berdasarkan penelitian sebelumnya, diketahui bahwa penggunaan konfigurasi desain balkon dalam sebuah unit ruangan dapat secara signifikan meningkatkan kecepatan angin jika dibandingkan dengan unit ruangan yang tidak menggunakan desain balkon (Omrani et al., 2017). Berdasarkan hal tersebut, sejumlah aspek penelitian terkait hubungan antar konfigurasi perancangan balkon masih perlu dieksplorasi lebih dalam lagi guna memperoleh hasil yang optimal dalam mencapai tingkat kenyamanan dalam ruangan yang dibutuhkan. Berdasarkan permasalahan yang telah dijelaskan sebelumnya, penelitian ini akan melakukan pengujian secara kuantitatif melalui metode simulasi CFD untuk melihat bagaimana pengaruh konfigurasi balkon terhadap performa kinerja ventilasi alami dalam ruangan pada bangunan rusunawa di Indonesia.

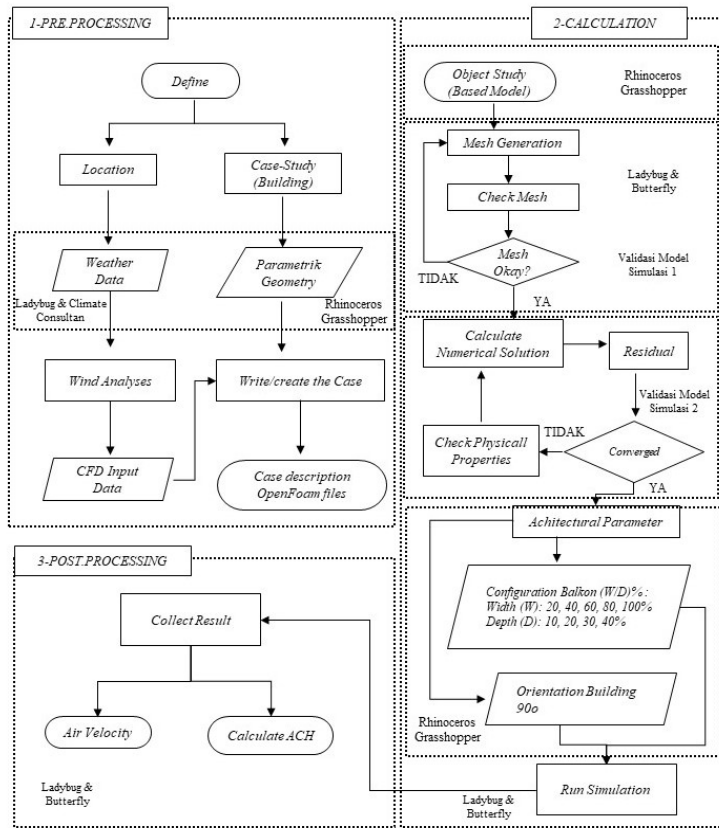
Metode Penelitian

Model Turbulence

Dalam penelitian ini, proses simulasi CFD akan menggunakan model turbulensi *Reynolds Averaged Navier-Stokes* (RANS) untuk menganalisis kinerja ventilasi alami akibat perubahan parameter yang akan digunakan dalam simulasi. Pemilihan model RANS dalam proses simulasi CFD sering digunakan dalam penelitian sebelumnya dikarenakan dapat memberikan prediksi hasil pengukuran secara akurat terhadap pergerakan arah angin yang terjadi akibat pengaruh ada atau tidaknya balkon dalam sebuah bangunan (Kumar et al., 2021).

Proses Simulasi

Proses simulasi CFD dalam penelitian ini terdiri dari tiga tahapan: pra-pemrosesan, simulasi, dan pasca-pemrosesan hasil. *Rhinoceros 7* dipilih sebagai perangkat lunak utama dikarenakan terdapat alat-alat yang terintegrasi secara langsung untuk menjalankan proses simulasi. Pembuatan model parametrik akan dilakukan menggunakan *Grasshopper* dengan dukungan *plugin Ladybug* dan *Butterfly* yang terintegrasi dengan *OpenFOAM*. Langkah-langkah serta urutan proses simulasi CFD dijelaskan dalam diagram skematik (Gambar 1), yang menjelaskan langkah-langkah dari awal persiapan hingga perolehan hasil simulasi.



Gambar 1. Alur Proses Simulasi CFD Dengan Model 3D Parametrik (Sumber : Penulis, 2024)

Parameter Simulasi

Lokasi penelitian simulasi terletak di wilayah kota Jakarta sebagai kondisi terburuk dalam laju aliran udara lingkungan dengan tingkat kepadatan penduduk tertinggi di Indonesia. Pemilihan Jakarta sebagai lokasi penelitian bertujuan untuk mewakili kondisi wilayah lain yang kepadatan penduduknya lebih rendah sehingga hasil penelitian ini dapat diaplikasikan diseluruh wilayah Indonesia. Simulasi dalam penelitian ini menggunakan *plugin Butterfly* untuk melakukan analisis terowongan angin, di mana properti yang diperlukan sebagai *input* dalam proses simulasi telah memenuhi persyaratan berdasarkan penelitian sebelumnya (Rodrigues Marques Sakiyama et al., 2021). *Input* yang dibutuhkan dalam simulasi pada penelitian ini meliputi nilai kecepatan angin yang diperoleh dari *EnergyPlus Weather Format (EPW)*, dimensi terowongan angin, jarak grid data, *glob refine level*, luas area lanskap, dan orientasi arah angin (Tabel 1).

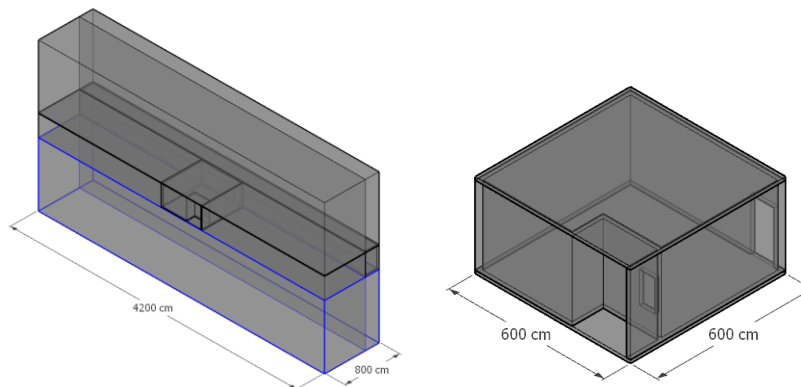
Tabel 1. Parameter Simulasi

Parameter	Nilai
Kecepatan Angin .EPW (IDN_JW_Jakarta-Soekarno.Hatta.Intl.)	6,2 mph atau 2,7m/s
Dimensi Terowongan Angin (Windward x Sisi Literal x Leeward)	5H x 5H x 15H
Jarak Grid Data	0,6 m
Glob Refine Level	Sedang: 2,3
Luas Area Lanskap	7 (Pusat Kota)
Orientasi Angin	90° (1,0,0)

(Sumber: Penulis, 2024)

Objek Penelitian

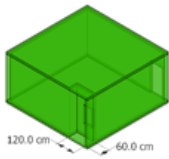
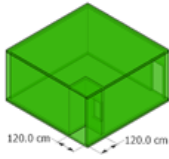
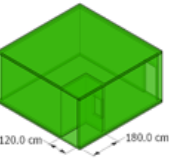
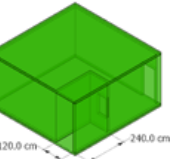
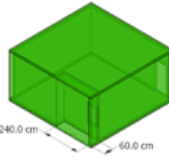
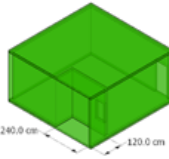
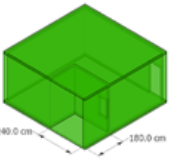
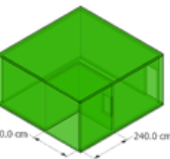
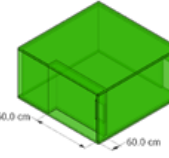
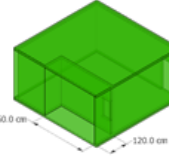
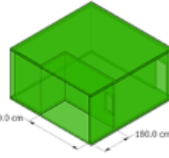
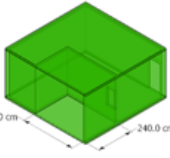
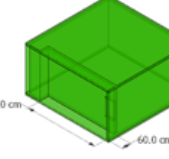
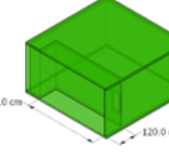
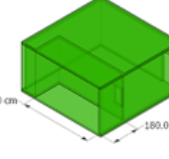
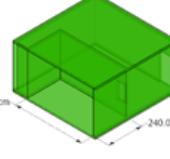
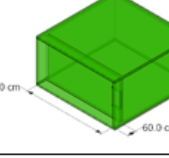
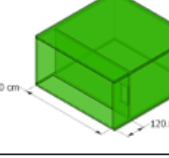
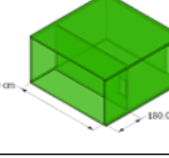
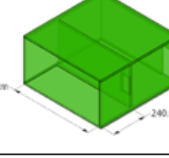
Berdasarkan penelitian yang dilakukan (Prasetya et al., 2023) diperoleh bentuk tipikal dan konfigurasi tata ruang sebuah rusunawa di wilayah perkotaan Indonesia dengan mengumpulkan serta menganalisis 268 tipe rumah susun dengan berbagai variasi ukuran, susunan ruang dan bentuk dari bangunan rusunawa. Berdasarkan hasil simulasi, terdapat dua luasan unit rusunawa yang sering digunakan di Indonesia yaitu tipe 24 dan 36 m² dimana kedua tipe unit tersebut tersedia balkon dengan berbagai bentuk konfigurasi. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini akan menggunakan model bangunan hipotetikal dengan tipe 36m² sebagai baseline model sehingga dapat ditentukan ukuran ruangan dengan panjang 6 m, lebar 6 m dan tinggi 3m serta dimensi ukuran bukaan yang digunakan terdiri dua buah pintu dengan luasan sama yaitu 1.89m² sebagai inlet dan outlet ruangan untuk memaksimalkan pergerakan udara yang terjadi (Moore,1993). Model ruang uji yang telah ditentukan merepresentasikan unit ruang huni pada bangunan rusunawa di wilayah Indonesia yang berbatasan langsung dengan ruang luar tanpa adanya penghalang. Namun dalam konteks bangunan secara utuh, letak unit yang akan diamati berada pada titik tengah bangunan yang terdiri dari 7 lantai dengan 7 unit diurutkan secara memanjang.



Gambar 2. Besaran Dimensi Ukuran Model Unit Ruang Rusunawa (Sumber : Penulis, 2024)

Dilanjutkan proses konfigurasi berdasarkan variable uji yang ingin diamati dalam baseline model yang telah ditentukan. Dimana dalam penelitian ini, konfigurasi balkon merupakan variabel uji yang akan diamati berdasarkan lebar dan kedalaman balkon. Variabel kedalaman balkon yang digunakan dalam penelitian ini berupa nilai persentase (%) dari lebar ruangan, dimana terdapat empat variasi yang akan diuji (Omran et al., 2017) yaitu : 10%, 20%, 30% dan 40%. Dan pada variabel lebar balkon dalam penentuan nilai persentase (%) dari panjang ruangan dimana dalam penelitian sebelumnya (Putri et al., 2022) diketahui sebesar 51% bentuk balkon yang digunakan pada bangunan rumah susun di Indonesia berbentuk persegi panjang dengan rasio dimensi 1:2 sehingga hal tersebut menjadi acuan dalam penentuan lebar balkon yang akan diuji. Nilai persentase variabel lebar balkon dua kali lebih besar dibandingkan dengan persentase kedalaman balkon sehingga terdapat lima variasi yang akan diuji yaitu : 20%, 40%, 60%, 80% dan 100%.

Setelah menentukan variasi dalam kedua variabel yang akan diuji, langkah selanjutnya adalah melakukan konfigurasi terhadap kedua variabel uji tersebut sehingga menghasilkan berbagai rasio antara lebar dan kedalaman balkon dimana hasil konfigurasi rasio balkon dijelaskan melalui (Gambar 3).

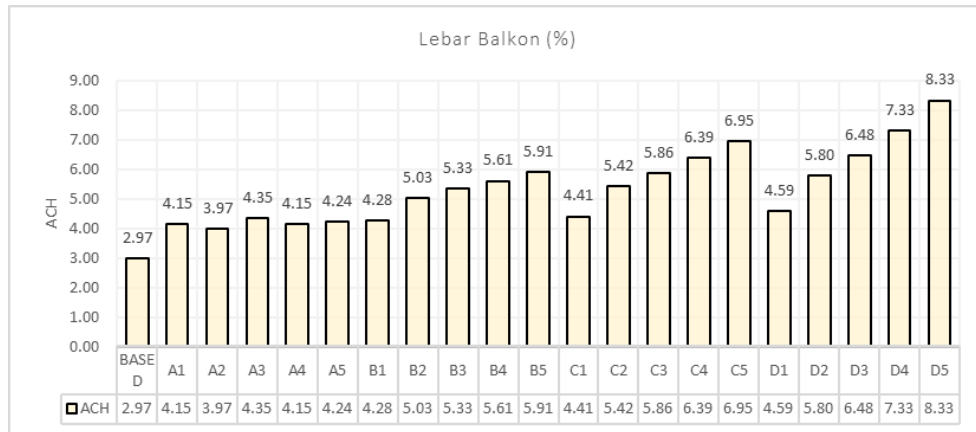
L/K	10% (A)	20% (B)	30% (C)	40% (D)
20% (1)				
40% (2)				
60% (3)				
80% (4)				
100% (5)				

Gambar 3. Konfigurasi Lebar dan Kedalaman Balkon (Sumber : Penulis, 2024)

Hasil dan Pembahasan

Air Change per Hour (ACH)

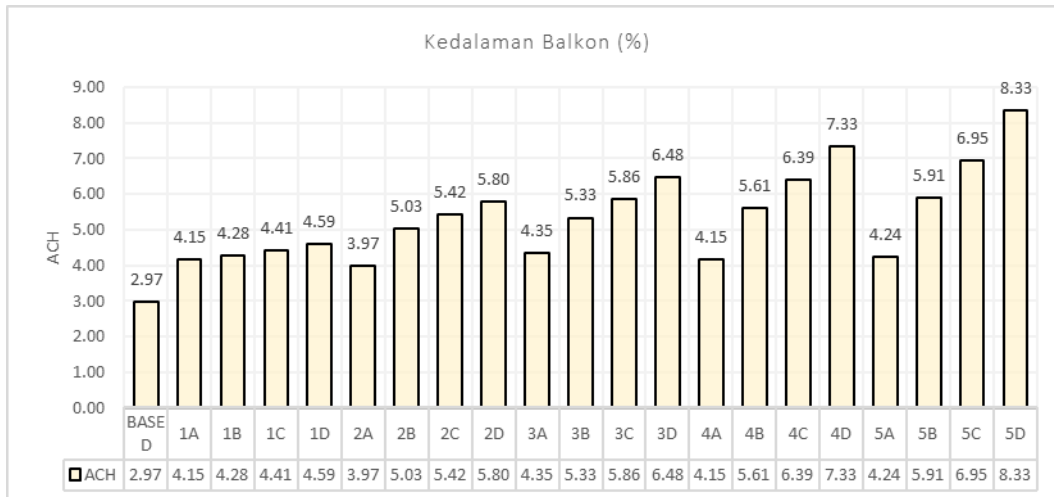
Dalam upaya menghasilkan kualitas udara bersih dalam ruangan, diperlukan pergantian udara segar, penghapusan pulutan serta zat kontaminan di dalam ruangan (Liddament, 1996). Jumlah pergantian udara dalam ruangan dengan udara luar setiap jamnya digambarkan dalam satuan ACH. Berdasarkan hasil simulasi, diperoleh nilai kecepatan rata-rata pada bagian inlet dalam setiap konfigurasi dengan based model untuk dibandingkan sehingga diketahui nilai perbedaan berapa banyak pertukaran udara yang terjadi dalam suatu ruangan. Data diambil pada luas penampang inlet dengan 3 titik sebagai sampel data dan akan dilihat apakah nilai ACH memenuhi nilai ideal dalam suatu ruangan berdasarkan tujuannya. Untuk memastikan kesehatan para penghuni, diperlukan tingkat nilai ACH antara 0,5 hingga 1. Untuk mencapai tingkat kenyamanan, nilai tersebut idealnya berada di rentang 1 hingga 5 dan untuk pendinginan atau ventilasi yang efektif, tingkat ACH yang disarankan berada dalam kisaran 5 hingga 30 (BRESCU, 1995). Tujuannya adalah untuk mengetahui apakah konfigurasi balkon dapat mempengaruhi nilai ACH dalam sebuah ruangan.



Gambar 4. Performa Nilai ACH pada Konfigurasi Lebar Balkon (Sumber : Penulis, 2024)

Nilai ACH yang dihasilkan pada model dasar dan setiap variasi konfigurasi lebar balkon dalam ruangan menunjukkan bahwa tingkat ACH memenuhi standar kenyamanan penghuni, berada dalam kisaran 1 hingga 5, dan mencapai tingkat pendinginan ruangan yang berkisar antara 5 hingga 30 (BRESCU, 1995). Dapat dilihat melalui (Gambar 4), Konfigurasi lebar balkon menunjukkan peningkatan nilai ACH secara signifikan sebesar 34–181%. Namun pada model A, terjadi peningkatan serta penurunan nilai ACH setiap terjadi penambahan persentase lebar pada balkon. Terjadi peningkatan nilai pada model A1, A3 dan A5 dan penurunan nilai pada model A2 dan A4 dimana secara keseluruhan nilai ACH sudah berada diatas nilai pada model dasar, sehingga pada konfigurasi lebar dalam kelompok model A penambahan lebar memberikan peningkatan dan penurunan nilai ACH dalam ruangan sehingga tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap penambahan nilai ACH. Tidak seperti yang terjadi pada model A, pada model B, C, dan D peningkatan nilai ACH berbanding lurus dengan pelebaran dimensi balkon pada setiap kelompoknya. Peningkatan nilai tertinggi terjadi pada penambahan lebar balkon sebesar 40%, terlihat pada model B2, C2, dan D2 dengan peningkatan nilai mencapai 18-26%.

Berdasarkan hasil penelitian, konfigurasi lebar balkon memiliki pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan nilai ACH dalam ruangan. Hal ini disebabkan oleh peningkatan luas ruangan yang mengakibatkan peningkatan aliran udara di area balkon, sehingga jumlah aliran udara yang memasuki ruangan juga meningkat. Peningkatan nilai ACH terjadi secara konsisten pada model B, C, dan D dengan kedalaman balkon 20%, 30%, dan 40%. Hal tersebut dapat disebabkan oleh pengaruh adanya penambahan lebar pada balkon yang meningkatkan jumlah aliran udara menuju inlet ruangan. Namun, pada model A dengan kedalaman balkon 10%, aliran udara di area balkon memiliki jarak yang relatif dekat dengan area luar ruangan. Hal ini mengakibatkan pergerakan aliran udara yang dihasilkan melalui penambahan lebar balkon mengalami penurunan serta peningkatan nilai ACH akibat aliran udara yang dapat mengalir keluar menuju sisi bangunan.



Gambar 5. Performa Nilai ACH pada Konfigurasi Kedalaman Balkon (Sumber : Penulis, 2024)

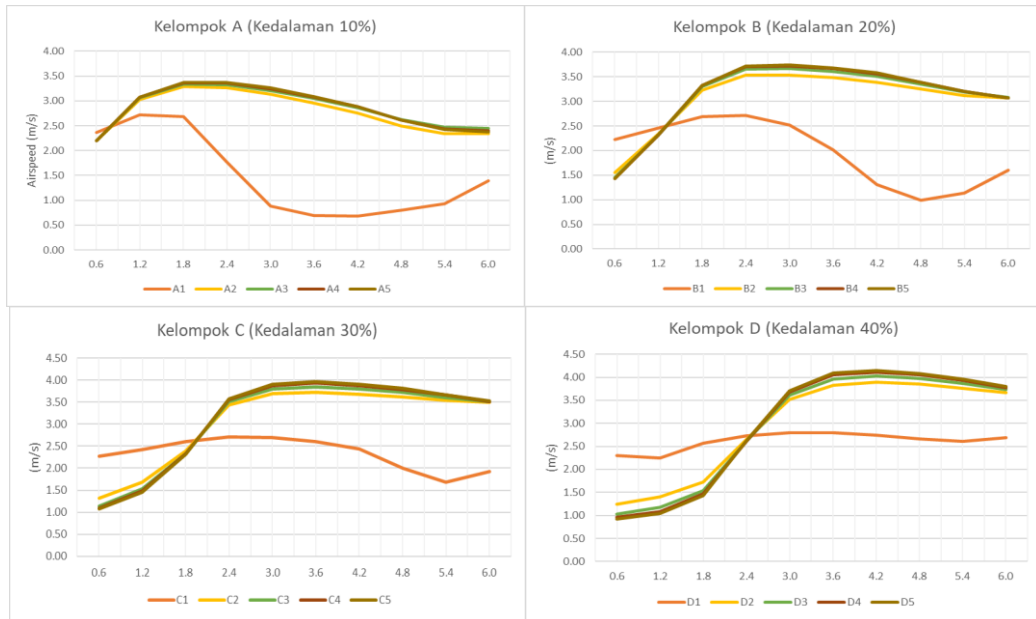
Sama halnya dengan nilai ACH yang dihasilkan dalam setiap variasi konfigurasi lebar balkon, variasi konfigurasi kedalaman balkon dalam ruangan juga menunjukkan nilai ACH yang dihasilkan telah memenuhi standar kenyamanan penghuni, berada dalam kisaran 1 hingga 5, dan mencapai tingkat pendinginan ruangan yang berkisar antara 5 hingga 30 (BRESCU, 1995). Dapat dilihat melalui (Gambar 5), peningkatan nilai ACH dalam ruangan terjadi secara linier dengan peningkatan konfigurasi kedalaman balkon dalam setiap model. Secara keseluruhan pada model 1, 2, 3, 4, dan 5 terjadi peningkatan signifikan terhadap nilai ACH dalam ruangan dimana peningkatan tertinggi terjadi pada model 1B, 2B, 3B, 4B, dan 5B dengan konfigurasi kedalaman balkon 20% sebesar 3-39%. Berdasarkan hasil penelitian, konfigurasi kedalaman balkon memiliki pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan nilai ACH dalam ruangan. Penambahan kedalaman balkon menyebabkan terjadinya penurunan tekanan udara dalam ruangan, yang menciptakan adanya peningkatan perbedaan tekanan antara area balkon dan ruang dalam. Sehingga berdasarkan hal tersebut terjadi peningkatan aliran udara yang masuk ke dalam ruangan yang kemudian meningkatkan nilai ACH.

Secara keseluruhan, hasil yang diperoleh melalui peningkatan konfigurasi lebar dan kedalaman balkon telah mencapai kebutuhan nilai ACH yang diinginkan, yaitu dalam rentang 1 hingga 5 untuk memenuhi standar kenyamanan penghuni. Konfigurasi yang paling optimal ditemukan pada model 2B/B2 di mana terjadi peningkatan nilai sebesar 70%.

Kecepatan Angin

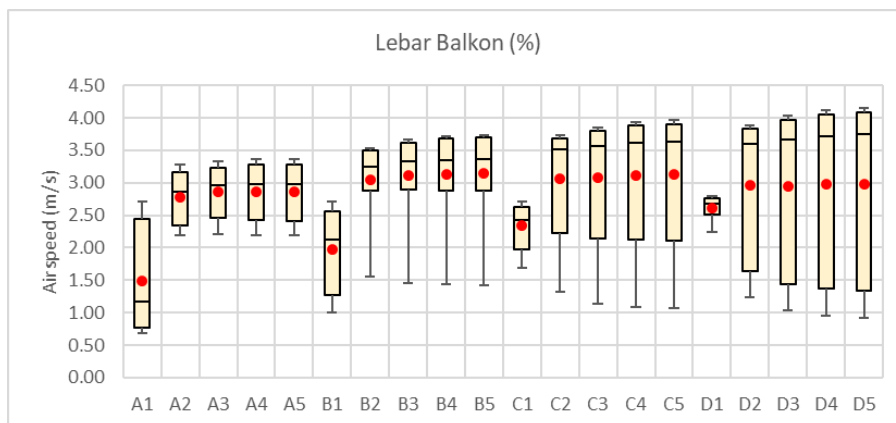
Pendinginan fisiologis berhubungan dengan tingkat kenyamanan termal yang dirasakan oleh manusia. Keseimbangan termal dianggap nyaman ketika manusia tidak merasakan panas atau dingin dalam lingkungan tertentu. Di iklim tropis lembab dengan suhu udara tinggi dan kelembaban yang tinggi, meningkatkan kecepatan angin membantu meningkatkan penguapan kulit, menciptakan sensasi dingin di sekitar tubuh. SNI 03-65722001 menetapkan standar kecepatan angin yang dibutuhkan dimana nilai kecepatan angin tidak boleh kurang dari 0,25 m/s dan tidak lebih dari 0,15 m/s.

Untuk melihat hasil data perubahan nilai kecepatan angin ke dalam sebuah grafik, dibutuhkan garis bantu yang ditempatkan pada posisi yang dianggap kritis dalam sebuah ruangan. Dalam penelitian ini ruangan pada bangunan rusunawa akan dilakukan perekaman nilai pada 10 titik dimana diletakkan sebuah garis pada jalur area inlet dan outlet ruangan guna melihat perbedaan perilaku kecepatan angin akibat perubahan konfigurasi lebar dan kedalaman balkon.



Gambar 6. Performa Aliran Udara pada Konfigurasi Lebar Balkon (Sumber : Penulis, 2024)

Berdasarkan (Gambar 6), variasi kecepatan dalam setiap kelompok konfigurasi lebar pada kedalaman balkon A, B, C, dan D menunjukkan adanya pengaruh konfigurasi lebar balkon terhadap laju kecepatan aliran udara yang masuk melalui inlet menuju outlet ruangan. Grafik secara keseluruhan menunjukkan adanya peningkatan dan penurunan laju aliran udara pada setiap titik pengukuran. Konfigurasi pada lebar balkon A1, B1, C1, dan D1 memiliki laju kecepatan aliran udara yang paling rendah dibandingkan dengan konfigurasi lainnya. Terjadi peningkatan yang signifikan pada pelebaran sebesar 40% (A2, B2, C2, dan D2) jika dilihat dari titik pada jarak masing-masing posisi inlet menuju outlet. Namun, dalam penambahan lebar sebesar 60%, 80%, serta 100%, terjadi perubahan yang tidak signifikan. Hal ini dapat dilihat dari kedekatan garis dalam grafik pada titik sebelum masuknya aliran udara dari inlet menuju outlet pada setiap kelompok, di mana terjadi perubahan sebesar 0,01 m/s hingga 0,07 m/s.



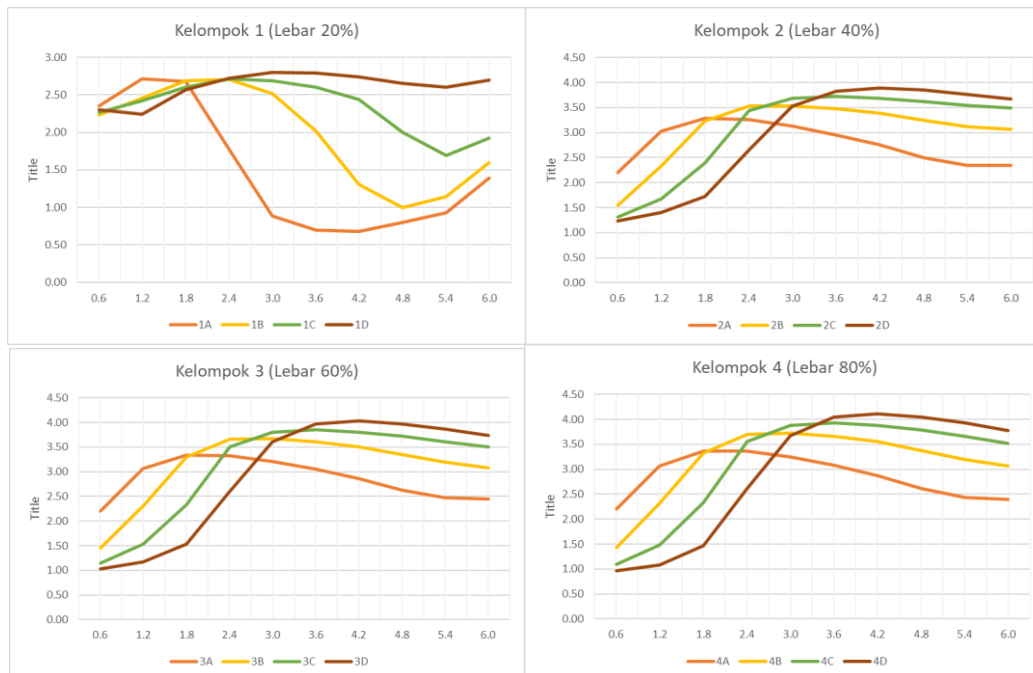
Gambar 7. Nilai Rata-Rata Aliran Udara pada Konfigurasi Lebar Balkon (Sumber : Penulis, 2024)

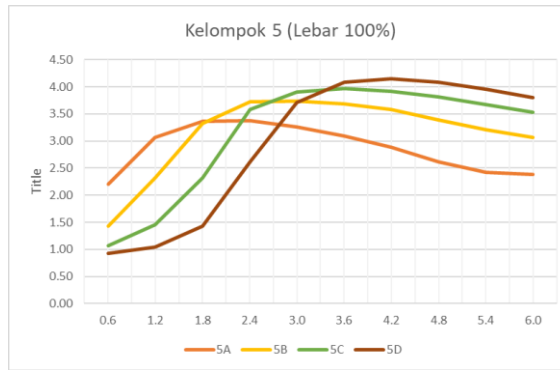
Berdasarkan (Gambar 7), nilai rata-rata kecepatan angin dalam setiap konfigurasi lebar balkon terjadi peningkatan secara signifikan sebesar 13-86% pada model A2, B2, C2, dan D2 dengan peningkatan lebar balkon 20% menjadi 40%. Namun demikian, penambahan lebar balkon pada konfigurasi 40%, 60%, 80%, dan 100% menunjukkan

bahwa kecepatan aliran udara tidak mengalami peningkatan yang signifikan, hal ini dapat dilihat melalui peningkatan lebar pada balkon meningkatkan kecepatan aliran udara sebesar 1%-3%.

Berdasarkan hasil simulasi, konfigurasi lebar balkon menunjukkan pengaruh signifikan terhadap laju aliran udara dalam ruangan. Efek Bernoulli yang terjadi akibat penambahan lebar ruang balkon mengakibatkan peningkatan tekanan pada area balkon dan penurunan tekanan pada ruang dalam, menyebabkan peningkatan kecepatan aliran udara. Peningkatan laju aliran udara yang signifikan dapat terjadi ketika lebar balkon mengalami peningkatan dari 20% menjadi 40%. Perubahan ini dapat terjadi akibat perubahan karakteristik aliran udara yang disebabkan oleh konfigurasi lebar balkon. Pada konfigurasi lebar balkon 20% aliran udara dari luar ruangan mengalir secara langsung menuju inlet ruangan sedangkan dalam konfigurasi lebar balkon 40% terdapat dinding yang berada tegak lurus dengan arah datangnya aliran udara sehingga menyebabkan terjadinya pembelokan aliran yang akan mengarahkan aliran udara menuju inlet ruangan sehingga memberikan peningkatan nilai yang signifikan dibandingkan konfigurasi lebar balkon 20%. (López-Martínez et al., 2019) menjelaskan bahwa efek Bernoulli melalui modifikasi ventilasi mampu menambah aliran udara akibat efek angin dan termal secara presisi.

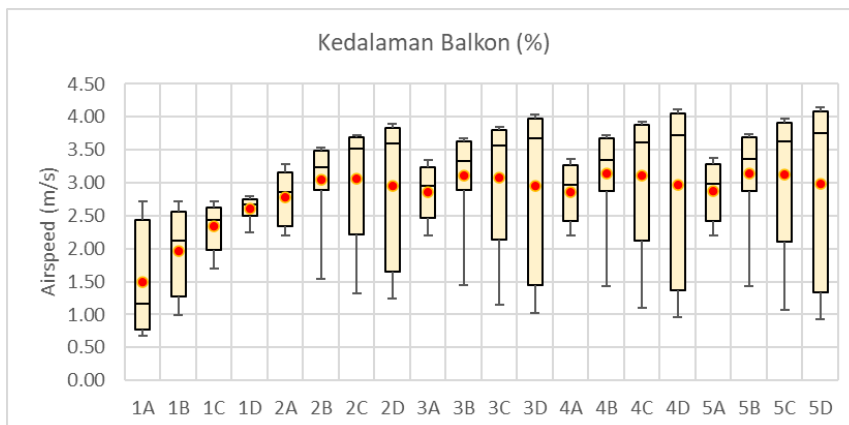
Sementara itu, penambahan lebar balkon yang lebih lanjut tetap menunjukkan peningkatan kecepatan aliran udara ke dalam ruangan seiring dengan peningkatan tekanan di area balkon, akan tetapi peningkatan yang terjadi tidak secara signifikan yaitu sebesar 1%-3%. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun terjadi peningkatan tekanan dan kecepatan aliran udara, dampaknya terhadap laju aliran udara dalam ruangan tidak begitu besar jika dibandingkan dengan peningkatan konfigurasi lebar pada balkon.





Gambar 8. Performa Aliran Udara pada Konfigurasi Kedalaman Balkon (Sumber : Penulis, 2024)

Berdasarkan (Gambar 8), variasi kecepatan dalam setiap kelompok konfigurasi kedalaman pada lebar balkon 1, 2, 3, 4, dan 5, menunjukkan adanya pengaruh konfigurasi kedalaman balkon terhadap laju kecepatan aliran udara yang masuk melalui inlet menuju outlet ruangan. Grafik secara keseluruhan menunjukkan bahwa pengaruh konfigurasi kedalaman pada balkon memberikan peningkatan serta penurunan laju aliran udara dalam setiap titik ukur dimana semakin bertambahnya kedalaman balkon maka nilai kecepatan udara pada titik paling luar akan mengalami penurunan sedangkan berbanding terbalik pada posisi titik terdalam yaitu posisi outlet dimana semakin dalam suatu balkon maka terjadi peningkatan kecepatan udara. Perubahan secara signifikan terjadi pada kedalaman 20% dimana perubahan kecepatan udara sebesar 0,6 m/s pada posisi titik outlet dan 0,8 m/s pada posisi titik paling luar balkon.



Gambar 9. Nilai Rata-Rata Aliran Udara pada Konfigurasi Kedalaman Balkon (Sumber : Penulis, 2024)

Berdasarkan (Gambar 9), nilai rata-rata kecepatan angin dalam setiap konfigurasi kedalaman balkon terdapat sebuah pola yang terbentuk dalam setiap konfigurasi kedalaman balkon. Pada model 1 dengan lebar balkon 20% menunjukkan adanya pengaruh peningkatan aliran udara dalam ruangan secara signifikan terhadap konfigurasi kedalaman balkon dimana peningkatan terjadi sebesar 12-32%. Namun demikian, penambahan kedalaman balkon pada model 2, 3, 4, dan 5 menunjukkan perbedaan pola dimana terjadinya peningkatan serta penurunan aliran udara dalam ruangan. Perubahan konfigurasi kedalaman balkon 10% menjadi 20% memberikan peningkatan secara signifikan terhadap aliran udara dalam ruangan sebesar 9-10% dan terjadi penurunan aliran udara pada konfigurasi kedalaman balkon 30% dan 40% sebesar 0-5%.

Berdasarkan hasil penelitian, konfigurasi kedalaman balkon menunjukkan pengaruh signifikan terhadap laju aliran udara dalam ruangan. Peningkatan aliran udara pada

konfigurasi kedalaman balkon dapat terjadi akibat adanya pengaruh efek Venturi yang menyebabkan aliran udara mengalami peningkatan kecepatan saat melalui sebuah ruang yang lebih sempit sesuai dengan hukum kekekalan massa. Pengaruh efek Venturi terhadap peningkatan aliran udara dalam ruangan dapat dilihat melalui model 1 dengan konfigurasi lebar balkon 20%, dimana peningkatan aliran udara berbanding lurus dengan peningkatan konfigurasi kedalaman pada balkon.

Sementara itu, pada model 2, 3, 4, dan 5 dengan konfigurasi lebar balkon 40%, 60%, 80%, dan 100% pengaruh dari efek Venturi tidak dapat terjadi akibat secara optimal, hal tersebut dikarenakan adanya pembelokan aliran udara yang diakibatkan oleh dinding ruangan. Sebagai gantinya, efek Bernoulli berperan penting dalam mempengaruhi peningkatan dan penurunan aliran udara dalam ruangan. (López-Martínez et al., 2019) di dalam penelitiannya menjelaskan bahwa efek Bernoulli melalui modifikasi ventilasi tidak hanya mampu menambah aliran udara, namun juga bisa mengurangi jumlah aliran udara akibat efek angin dan termal secara presisi.

(Gambar 9) menunjukkan model 2B, 3B, 4B, dan 5B dengan konfigurasi kedalaman balkon 20% memiliki kecepatan aliran udara tertinggi pada konfigurasi lebar balkon 40%, 60%, 80%, dan 100%. Pada kedalaman tersebut, tekanan pada area balkon akan mengalami peningkatan yang menyebabkan terjadinya peningkatan aliran udara ke dalam ruangan. Sedangkan tekanan akan mengalami penurunan saat kedalaman balkon melewati 20% sehingga perbedaan tekanan antara area balkon dengan ruangan menjadi kecil yang menyebabkan kecepatan aliran udara menjadi menurun. (Omrani et al., 2017) dalam penelitiannya menunjukkan pola hasil yang sama dimana terjadi peningkatan aliran udara pada konfigurasi kedalaman balkon tertentu dan mengalami penurunan aliran udara pada peningkatan konfigurasi kedalaman selanjutnya.

Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pengaruh konfigurasi lebar serta kedalaman balkon memiliki dampak signifikan terhadap kualitas udara dalam ruangan, hal tersebut dapat diketahui melalui peningkatan nilai ACH serta kecepatan angin dalam ruangan. Melalui simulasi yang telah dilakukan, diketahui pengaruh konfigurasi lebar balkon terhadap peningkatan nilai ACH dan kecepatan angin tertinggi terjadi pada model A2, B2, C2, dan D2 dengan konfigurasi lebar balkon 40% sebesar 18-26%. Hasil tersebut sejalan dengan adanya pengaruh efek Bernoulli yang menyebabkan terjadinya peningkatan tekanan dan kecepatan aliran udara menuju ruangan. Selain itu, konfigurasi kedalaman balkon secara signifikan dapat meningkatkan nilai ACH dan kecepatan angin dimana model 1B, 2B, 3B, 4B dan 5B dengan konfigurasi kedalaman balkon sebesar 20% memberikan peningkatan tertinggi sebesar 9-10%. Hasil menunjukkan bahwa secara keseluruhan perolehan nilai ACH serta kecepatan angin telah memenuhi standar kenyamanan penghuni dalam ruangan, dimana konfigurasi lebar dan kedalaman balkon dengan nilai optimal terjadi pada model B2 dan 2B dimana kedua model tersebut memiliki konfigurasi lebar balkon 40% dan kedalaman balkon 20%. Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan panduan yang berguna bagi para perancang baik arsitek maupun praktisi lainnya dalam melakukan perancangan desain bangunan rusunawa guna meningkatkan kualitas udara dalam ruangan dengan mempertimbangkan secara spesifik desain dan konfigurasi balkon terhadap kinerja ventilasi alami.

Daftar Pustaka

- Bramiana, C. N., A. M. R., Aminuddin., & M.A, Ismail. (2022). Investigating natural ventilation performance on apartment units in Jakarta based on field test measurements. *Journal of Design and Built Environment*, 22(3), 140–186. <https://doi.org/10.22452/jdbe.vol22no3.10>
- BRESCU. (1995). *Avoiding Or Minimising the Use of Air-conditioning: A Research Report from the EnREI Programme*. BRESCU. <https://books.google.co.id/books?id=g0-L0AEACAAJ>
- Buys, L., Summerville, J., Bell, L., & Kennedy, R. (2008). „Exploring the Social Impacts of High-Density Living: Considering the Residents” Perspective.” In. *Proceedings of Subtropical Cities 2008: From Fault-Lines to Sight-Lines Subtropical Urbanism in 20-20, 3–6 September 2008*.
- Karimimoshaver, M., Sadathosseini, M., Aram, F., Ahmadi, J., & Mosavi, A. (2023). The effect of geometry and location of balconies on single-sided natural ventilation in high-rise buildings. *Energy Reports*, 10, 2174–2193. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.09.030>
- Kennedy, R., Buys, L., & Miller, E. (2015). Residents’ Experiences of Privacy and Comfort in Multi-Storey Apartment Dwellings in Subtropical Brisbane. *Sustainability*, 7(6), 7741–7761. <https://doi.org/10.3390/su7067741>
- Kubota, T., Takahashi, T., Trihamdani, A. R., Mori, H., & Asawa, T. (2022). Development of a wind catcher for high-rise apartments in the hot-humid climate of Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1007(1), 012008. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1007/1/012008>
- Kumar, N., Kubota, T., Tominaga, Y., Shirzadi, M., & Bardhan, R. (2021). CFD simulations of wind-induced ventilation in apartment buildings with vertical voids: Effects of pilotis and wind fin on ventilation performance. *Building and Environment*, 194, 107666. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107666>
- Lau, S. s. Y., Zhang, J., & Tao, Y. (2018). A comparative study of thermal comfort in learning spaces using three different ventilation strategies on a tropical university campus. *Building and Environment*, 148. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.11.032>
- Liddament, M. W. (1996). *A guide to energy efficient ventilation*. Air Infiltration and Ventilation Centre.
- López-Martínez, Molina-Aiz, Valera-Martínez, López-Martínez, Peña-Fernández, & Espinoza-Ramos. (2019). Application of Semi-Empirical Ventilation Models in A Mediterranean Greenhouse with Opposing Thermal and Wind Effects. Use of Non-Constant Cd (Pressure Drop Coefficient Through the Vents) and Cw (Wind Effect Coefficient). *Agronomy*, 9(11), 736. <https://doi.org/10.3390/agronomy9110736>
- Miyamoto, K., Pratiwi, S. N., Nishiiri, S., Takaguchi, H., & Kubota, T. (2024). Relationship between Cooling Methods and Energy Consumption for the Development of Low-Carbon Collective Housing in Indonesia. *Sustainability*, 16(4), 1635. <https://doi.org/10.3390/su16041635>
- Omrani, S., Garcia-Hansen, V., Capra, B. R., & Drogemuller, R. (2017). On the effect of provision of balconies on natural ventilation and thermal comfort in high-rise residential buildings. *Building and Environment*, 123, 504–516. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.07.016>
- Prasetya, A., Ho, A. D., & Kubota, T. (2023). Analysis of Typical Layout of Apartment Buildings in Indonesia. *Buildings*, 13(6), 1387. <https://doi.org/10.3390/buildings13061387>
- Putri, F., Santoso Mintorogo, D., & Nurdi Kusuma Priatman, J. (2022). BALCONY GEOMETRIES PERFORMANCE AS WINDCARRIERS INTO LIVING

- SPACE ; CASE STUDY: APARNA SIWALANKERTO. *DIMENSI (Journal of Architecture and Built Environment)*, 49(1), 31–42. <https://doi.org/10.9744/dimensi.49.1.31-42>
- Rodrigues Marques Sakiyama, N., Frick, J., Bejat, T., & Garrecht, H. (2021). Using CFD to Evaluate Natural Ventilation through a 3D Parametric Modeling Approach. *Energies*, 14(8), 2197. <https://doi.org/10.3390/en14082197>
- Šujanová, P., Rychtáriková, M., Sotto Mayor, T., & Hyder, A. (2019). A Healthy, Energy-Efficient and Comfortable Indoor Environment, a Review. *Energies*, 12(8), 1414. <https://doi.org/10.3390/en12081414>
- Zhu, Y., Wang, X., & Fan, X. (2021). On Optimization Design of Sunshade Components for Qinba Mountain Buildings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 632(2), 022026. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/632/2/022026>
- Zoure, A. N., & Genovese, P. V. (2023). Implementing natural ventilation and daylighting strategies for thermal comfort and energy efficiency in office buildings in Burkina Faso. *Energy Reports*, 9, 3319–3342. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.02.017>