

Implementasi Konsep *Cross Ventilation* dan *Split Level* untuk Menghasilkan Sirkulasi Udara Alami pada Bangunan Rumah di Lahan Terbatas

Bayu Setyo Nugroho¹, Anis Rahmawati^{1*}, dan Chundakus Habsya¹

¹Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan, FKIP, Universitas Sebelas Maret Surakarta, Indonesia; email: anisrahmawati@staff.uns.ac.id

ABSTRAK

Semakin tingginya harga lahan untuk perumahan menjadikan bangunan rumah sering dibangun di atas lahan yang terbatas. Fokus perencanaan bangunan sering hanya pada pemenuhan kebutuhan ruang tanpa memperhatikan kondisi sirkulasi udara alami. Penelitian ini bertujuan untuk merancang rumah yang menggabungkan konsep *cross ventilation* dan *split level* untuk menghasilkan sirkulasi udara alami pada bangunan rumah dengan lahan terbatas. Metode penelitian pengembangan Tipe 1 Richey dan Klein diterapkan dengan mencakup tahap pendahuluan, perencanaan produk, evaluasi produk, dan validasi produk. Hasil pengembangan berupa desain rumah dua lantai dengan luas bangunan 74 m² di atas lahan seluas 72 m², dan 21,64 m² luas bukaan. Kecepatan udara dominan untuk desain rumah ini adalah 0,9–1 m/s, menurut simulasi Autodesk CFD. Namun, meskipun kecepatan udara melebihi standar, yaitu 0,15–0,25 m/s, sirkulasi udara sesuai standar dapat dicapai hanya dengan boven dan pintu dan jendela ditutup. Rata-rata kecepatan udara dominan adalah 0,171–1,271 m/s. Suhu udara di rumah 25,01–25,05 °C, atau 18–30 °C, memenuhi persyaratan; penambahan vegetasi juga akan mengurangi masuknya udara panas. Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan desain perumahan ramah lingkungan.

Kata kunci: *cross ventilation*, desain rumah, *green architecture*, *split level*, sirkulasi udara alami

ABSTRACT

The higher price of land for housing makes house buildings often built on limited land. The focus of building planning is often only on meeting space needs without paying attention to natural air circulation conditions. This research aims to design a house that combines the concepts of cross ventilation and split level to produce natural air circulation in houses with limited land. Richey and Klein's Type 1 development research method is applied by including preliminary stages, product planning, product evaluation, and product validation. The development result is a two-story house design with a building area of 74 m² on a land area of 72 m², and 21.64 m² of opening area. The dominant air velocity for this house design is 0.9-1 m/s, according to Autodesk CFD simulations. However, even though the air velocity exceeds the standard of 0.15-0.25 m/s, standardized air circulation can be achieved only with the boven and doors and windows closed. The average dominant air velocity was 0.171-1.271 m/s. The air temperature in the house of 25.01-25.05 °C, or 18-30 °C, meets the requirements; the addition of vegetation will also reduce the entry of hot air. This research is expected to contribute to the development of eco-friendly housing design.

Keywords: *cross ventilation*, green architecture, house design, natural air circulation, split level

Citation: Nugroho, B. S., Rahmawati, A., dan Habsya, C. (2025). Implementasi Konsep Cross Ventilation dan Split Level untuk Menghasilkan Sirkulasi Udara Alami pada Bangunan Rumah di Lahan Terbatas. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 23(2), 382-391, doi:10.14710/jil.23.2.382-391

1. PENDAHULUAN

Peningkatan populasi di Indonesia telah meningkatkan kebutuhan lahan permukiman, yang menyebabkan lahan menjadi langka dan mahal terutama di daerah padat penduduk. Menurut Waisnawa dan Pramana (2019) kebutuhan lahan dan ketersediaan lahan yang tidak seimbang membuat kurangnya ruang terbuka di area rumah untuk terjadinya sirkulasi udara alami yang baik. Menurut

Susanti dan Zetli (2016) sekarang pemilik rumah tinggal mulai kurang memperhatikan sirkulasi udara karena lebih memprioritaskan lahan untuk kebutuhan ruang dari pada untuk pergerakan udara. Akibatnya, penggunaan AC yang merupakan cara untuk sirkulasi udara secara buatan, telah meningkat.

Masyarakat tropis biasanya menggunakan penghawaan buatan berupa AC (Azizah, 2014). International Energy Agency (2018) memperkirakan

bahwa setiap detik dalam 30 tahun kedepan 10 AC baru akan terjual. Namun, penggunaan AC yang berlebihan memiliki dampak negatif pada lingkungan, termasuk peningkatan pemanasan global. Pemanasan global yang mengakibatkan peningkatan suhu bumi akan mendorong penggunaan AC. Hal ini menciptakan siklus yang tak berkesudahan antara penggunaan AC dan pemanasan global. Solusi yang dibutuhkan adalah menciptakan sirkulasi udara alami pada bangunan rumah untuk mengurangi penggunaan AC. Salah satu cara yang dapat diterapkan adalah konsep *cross ventilation* dan *split level* dalam pembangunan rumah untuk mengatasi keterbatasan lahan, yang dapat mengoptimalkan luasan rumah dan memperlancar sirkulasi udara.

Perez (2019) menyebutkan bahwa sirkulasi udara alami diakibatkan dari tekanan udara dan suhu yang berbeda pada ruangan. Postulat ini didukung oleh Amin (2019) yang menyimpulkan dari hasil penelitiannya bahwa sirkulasi udara alami dipengaruhi oleh tekanan angin dan desain bukaan pada ruangan. Posisi ventilasi yang efektif dan perbedaan posisi ventilasi baik secara horizontal maupun vertikal juga penting untuk sirkulasi udara yang maksimal.

Pengaturan penempatan ventilasi alami secara horizontal menyilang antar sisi bangunan dikenal sebagai *cross ventilation*. *Cross ventilation* bekerja berdasarkan prinsip aliran udara alami dari area bertekanan tinggi ke area bertekanan rendah. Ventilasi yang ditempatkan di sisi bangunan yang berbeda memungkinkan angin alami untuk membawa udara segar masuk melalui bukaan pada satu sisi bangunan, sementara udara yang sudah tidak segar keluar melalui bukaan di sisi lainnya. Penelitian menunjukkan bahwa penempatan bukaan dan orientasi bangunan sangat berpengaruh pada efisiensi ventilasi silang, terutama dalam kondisi angin alami yang berubah-ubah (Hanggara et al., 2021).

Sirkulasi udara secara vertikal dapat diupayakan melalui keberadaan void pada bangunan. Alim (2024) mendefinisikan void sebagai ruang terbuka yang dibuat dengan sengaja dalam desain bangunan untuk memungkinkan pandangan langsung dari satu lantai ke lantai lainnya. Biasanya, void dibiarkan tanpa penghalang, seperti dinding atau langit-langit, untuk memberi kesan keterbukaan, kesinambungan visual, dan memungkinkan aliran udara untuk mencapai bagian terdalam bangunan. Pada bangunan rumah tinggal, void banyak diaplikasikan pada ruang tangga atau ruang keluarga. Void juga dapat tercipta karena perbedaan level antar lantai pada rumah *split level*. Rumah *split level* disusun dengan menaikkan lantai tidak secara penuh (Mauliani, 2018). Sabono (2020) mengungkapkan bahwa konsep *split level* dapat digunakan sebagai pembatas ruang pengganti dinding untuk menciptakan ruangan yang terasa lebih luas.

Soukotta dan Sukardi (2021) berpendapat bahwa konsep *cross ventilation* dapat dipadukan dengan void sehingga udara yang masuk dapat teralir ke semua lantai. Oleh karena itu, perpaduan konsep *split level*

yang membentuk void dan *cross ventilation* dapat memberikan kesan ruangan lebih luas karena dapat memandang ruangan lebih jauh serta memberikan volume ruangan lebih besar untuk pergerakan udara.

Studi tentang bagaimana desain rumah yang memadukan konsep *split level* dan *cross ventilation* untuk memaksimalkan sirkulasi udara pada rumah masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan konsep rumah yang mengintegrasikan konsep *split level* dan *cross ventilation* dengan kekhususan desain di lahan yang terbatas dalam rangka menciptakan rumah dengan sirkulasi udara yang lebih baik dan ramah lingkungan. Melalui penerapan solusi inovatif ini, diharapkan rumah yang menerapkan konsep ini akan menjadi tempat yang lebih sehat dengan sirkulasi udara alami dan lebih peduli terhadap lingkungan dengan mengurangi penggunaan ventilasi buatan.

Agar penelitian lebih terarah dengan aspek kajian yang terfokus, maka penelitian ini mebatasi masalah yang diteliti sebagai berikut:

1. Penelitian ini berfokus pada kecepatan, suhu dan pergerakan udara dalam rumah dengan konsep *cross ventilation* dan *split level* untuk mengoptimalkan sirkulasi udara alami.
2. Desain rumah dibuat dengan kategori rumah menengah tipe 74/72 pada lahan 6×12 m.
3. Simulasi sirkulasi udara diasumsikan angin mengenai fasad rumah dengan kecepatan udara dan suhu yang digunakan berdasarkan data lokasi salah satu perumahan yang berada di daerah Kecamatan Kartasura, Kabupaten Sukoharjo.
4. Simulasi sirkulasi udara dilakukan dengan bantuan software Autodesk CFD.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengadopsi metode penelitian pengembangan tipe satu dari Richey dan Klein (2005) yang terdiri dari tiga tahap yaitu tahap perencanaan atau desain produk, tahap evaluasi produk dan tahap validasi produk. Tahap perencanaan berisi kegiatan mengidentifikasi ukuran luas lahan, ukuran luas lantai bangunan, dan kebutuhan ruang, serta dilanjutkan dengan membuat rancangan desain bangunan. Selanjutnya tahap evaluasi dilakukan dengan melakukan simulasi desain pada komputer dengan bantuan software Autodesk CFD untuk mendapatkan gambaran kondisi aliran udara pada bangunan yang didesain. Lalu tahap validasi produk dilakukan melalui *expert judgement* yaitu penilaian produk oleh ahli.

Tahap perencanaan diawali dengan studi pendahuluan berupa kegiatan mengidentifikasi luas lahan, luas lantai bangunan, serta kebutuhan ruang untuk mendesain rumah. Data berdasarkan studi kasus di salah satu perumahan skala menengah di daerah Jawa Tengah yang dikumpulkan dengan studi dokumen menggunakan lembar observasi dokumen. Data dianalisis menggunakan analisis isi dan divalidasi dengan metode triangulasi. Berdasarkan data-data dari studi pendahuluan tersebut, kemudian

disusunlah prototype desain awal bangunan rumah dengan konsep *cross ventilation* dan *split level*.

Tahap evaluasi dilakukan dengan melakukan simulasi prototype produk berupa desain rumah dengan konsep *cross ventilation* dan *split level* pada komputer dengan bantuan *software* Autodesk CFD. Autodesk CFD adalah *software* yang dikembangkan oleh Autodesk untuk melakukan simulasi aliran fluida yang digunakan oleh peneliti untuk menganalisis dan memahami perilaku aliran fluida berupa udara dalam bangunan rumah. Lezcano dan Burgos (2021) menyebutkan autodesk CFD merupakan *software* yang telah diuji sejak 2013 dan telah dibandingkan dengan berbagai penelitian.

Data yang digunakan yaitu suhu dan kecepatan angin pada lokasi yang didapatkan dari situs web NASA Power. Sedangkan data kecepatan udara dalam rumah, suhu udara dalam rumah dan pergerakan udara dalam rumah dikumpulkan melalui observasi output *software* Autodesk CFD kemudian dianalisis secara deskriptif. Data divalidasi dengan metode iterasi pada *software* Autodesk CFD.

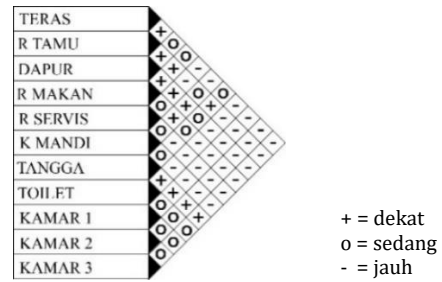
Tahap validasi dilakukan melalui expert judgement yaitu penilaian oleh ahli. Data berupa penilaian dan masukan ahli dikumpulkan dengan angket tertutup maupun angket terbuka. Data dianalisis secara deskriptif dan divalidasi dengan pengesahan oleh ahli yang bersangkutan. Masukan-masukan ahli digunakan sebagai dasar dalam merevisi desain awal sehingga diperoleh produk akhir.

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

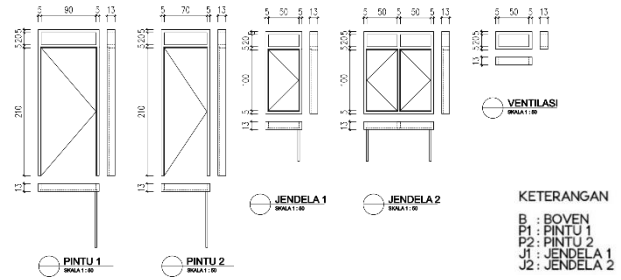
3.1. Hasil Penelitian

Tahap perencanaan produk dimulai dengan mengidentifikasi luas lahan, luas lantai bangunan dan kebutuhan ruang. Luas lahan dan luas lantai bangunan mengikuti dimensi yang ada di perumahan dimana studi kasus penelitian ini dilakukan. Sedangkan kebutuhan ruang menyesuaikan dengan kebutuhan ruang standar untuk rumah sederhana hingga kelas menengah, sesuai dengan kategori luasan bangunan. Rumah selanjutnya didesain dengan mempertimbangkan hubungan ruang, matrik ruang dan jumlah bukaan. Berdasarkan Ashadi (2019) keberadaan matriks ruang dapat membantu menunjukkan kebutuhan dari setiap ruang dalam hal privasi, akses dan sebagainya. Matriks ruang pada Gambar 1 adalah diagram atau tabel yang menunjukkan hubungan antara ruang yang berbeda pada rumah, dikategorikan ke dalam jarak dekat, sedang, dan jauh.

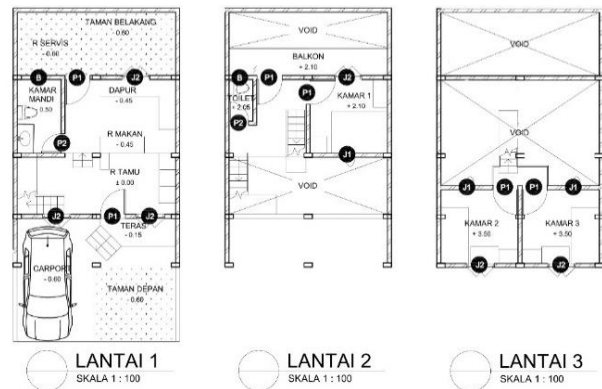
Bentuk dan dimensi bukaan ditunjukkan pada Gambar 2 mengacu pada ukuran dan bentuk pintu, jendela, dan boven yang dirancang untuk memungkinkan udara masuk dan keluar. Sedangkan Gambar 3 menampilkan letak bukaan dengan konsep *cross ventilation* yang memungkinkan udara mengalir secara alami dan efisien ke seluruh bagian rumah.



Gambar 1. Matrik Ruang



Gambar 2. Bukaan Pintu, Jendela dan Boven



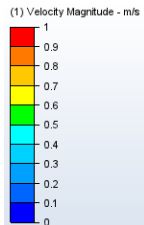
Gambar 3. Posisi Bukaan

Rumah menerapkan konsep *split level* yaitu dengan menaikkan lantai tidak secara penuh dan membuat void pada desain rumah. Bukaan pada desain rumah juga menerapkan konsep *cross ventilation* yaitu dengan memposisikan jendela, pintu, dan boven pada dinding yang berseberangan dan bersebelahan. Pada lantai satu juga menerapkan *open plan* untuk mengurangi sekat antar ruangan sehingga memungkinkan udara mengalir secara lebih leluasa.

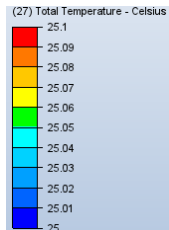
Tahap evaluasi produk dilakukan dengan menggunakan simulasi komputer *software* Autodesk CFD. Menurut Maulana (2016) salah satu kemajuan penelitian tentang desain ventilasi alami pada bangunan adalah teknologi *computational fluid dynamics* (CFD). Hasil simulasi CFD digunakan untuk memprediksi aliran udara yang dapat mengurangi tingkat kegagalan desain. Shetabivash (2015) juga menyebutkan penelitian ventilasi silang alami menggunakan metode CFD telah dilakukan secara mendalam. Simulasi numerik dilakukan pada geometri dan hasilnya divalidasi dengan data eksperimental yang tersedia.

Proses evaluasi produk dengan menggunakan CFD dimulai dengan memasukkan desain 3D, suhu dan kecepatan angin pada lokasi ke dalam *software*

Autodesk CFD. Simulasi aliran udara akan bekerja seperti *wind tunnel* dengan udara yang melintasi rumah dari arah depan bangunan. *Output* ilustrasi kecepatan dan suhu udara menunjukkan kondisi udara pada ketinggian 150 cm diatas elevasi ruangan yang ditinjau. Hal tersebut dipilih karena kecepatan udara berada pada ketinggian badan manusia. Gambar 4 adalah keterangan warna kecepatan udara dan Gambar 5 adalah keterangan warna suhu udara pada *output* Autodesk CFD.



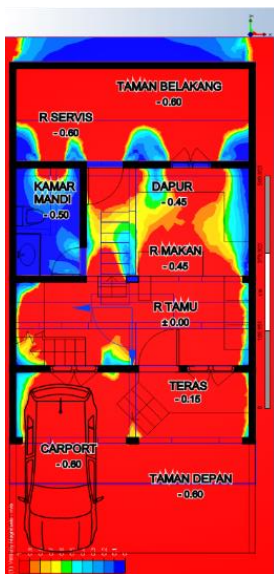
Gambar 4. Keterangan Warna Kecepatan Udara



Gambar 5. Keterangan Warna Suhu Udara

Simulasi aliran udara menggunakan Autodesk CFD menghasilkan output sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 dan 13.

3.1.1. Kecepatan Udara



Gambar 6. Kecepatan Udara Lantai 1 Buka Penuh



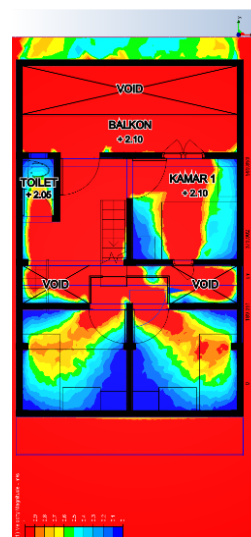
Gambar 7. Kecepatan Udara Elevasi -0,45 dan -0,50 Buka Penuh

Gambar 6 menunjukkan kecepatan udara di ruang tamu dominan antara 0,9-1 m/s. Pada Gambar 7 tampak bahwa di area dapur dan ruang makan kecepatan udara juga dominan berkisar antara 0,9-1 m/s, dan pada area kamar mandi kecepatan udara dominan antara 0,1-0,2 m/s. Gambar 8

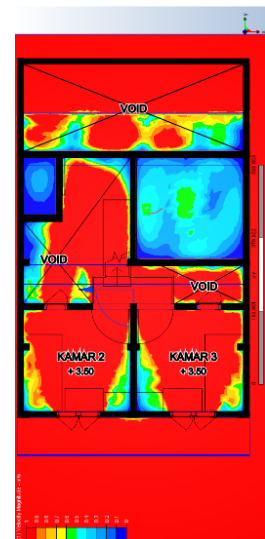
mengilustrasikan kondisi kamar 1 dengan kecepatan udara dominan berkisar antara 0,9-1 m/s, sedangkan di area toilet kecepatan udara dominan antara 0,9-1 m/s. Gambar 9 menunjukkan di area kamar 2 udara dominan berkecepatan antara 0,9-1 m/s dan di kamar 3 udara dominan berkecepatan antara 0,9-1 m/s. Berdasarkan gambar 6, 7, 8 dan 9, analisis kecepatan udara pada setiap ruang dirangkum dan disajikan pada Tabel 1.

Pada kondisi bukaan dibuka penuh udara dalam rumah dominan berkecepatan antara 0,9-1 m/s. Kecepatan udara tersebut terlalu besar jika dibandingkan dengan standar dari Peraturan Menteri Kesehatan RI tahun 2011 yaitu sebesar 0,15 - 0,25 m/s. Namun jika ventilasi hanya mengandalkan boven sirkulasi udara sesuai standar yaitu rata-rata kecepatan udara dominan antara 0,171 hingga 0,271 m/s. Gambar 10, 11, 12 dan 13 adalah ilustrasi yang menunjukkan kecepatan udara yang hanya mengandalkan boven pada ketinggian 150 cm diatas elevasi ruangan yang ditinjau, sedangkan data lengkapnya disajikan pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2 kecepatan udara pada boven cenderung menurun. Pada dapur dan ruang makan udara dominan berkecepatan antara 0,1-0,2 m/s. Pada ruang tamu udara dominan berkecepatan antara 0,5-0,6 m/s. Pada kamar mandi udara dominan berkecepatan antara 0,1-0,2 m/s. Pada kamar 1 udara dominan berkecepatan antara 0-0,1 m/s. Pada toilet udara dominan berkecepatan antara 0-0,1 m/s. Pada kamar 2 udara dominan berkecepatan antara 0,2-0,3 m/s dan kamar 3 udara dominan berkecepatan antara 0,2-0,3 m/s.



Gambar 8. Kecepatan Udara Lantai 2 Buka Penuh



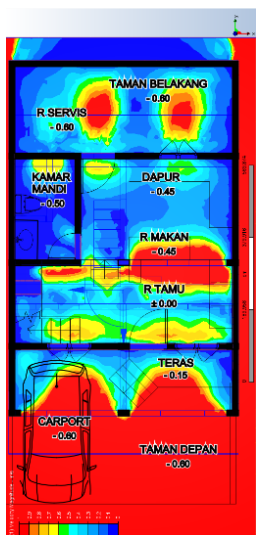
Gambar 9. Kecepatan Udara Lantai 3 Buka Penuh

Tabel 1. Kecepatan Udara Lantai 1, 2 dan 3 Bukaan Penuh

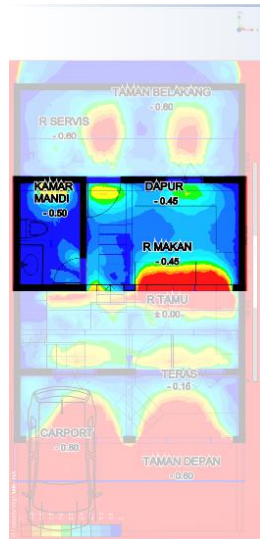
Kecepatan (m/s)	Lantai 1			Lantai 2		Lantai 3	
	Ruang Tamu (%)	Dapur + R. Makan (%)	Kamar Mandi (%)	Kamar 1 (%)	Toilet (%)	Kamar 2 (%)	Kamar 3 (%)
0,9 - 1,0	86,82	91,42	0,94	43,14	21,79	77,14	76,67
0,8 - 0,9	2,91	1,02	0,00	3,76	5,13	3,85	5,42
0,7 - 0,8	2,64	0,44	1,25	3,76	7,69	4,27	4,38
0,6 - 0,7	1,39	1,45	1,57	3,76	7,69	3,42	3,54
0,5 - 0,6	1,25	0,73	1,88	5,75	8,97	4,49	5,42
0,4 - 0,5	1,94	1,31	3,45	16,59	10,26	3,42	2,71
0,3 - 0,4	0,00	3,63	21,00	8,85	11,54	1,71	1,04
0,2 - 0,3	0,69	0,00	23,82	5,97	11,54	0,85	0,42
0,1 - 0,2	0,00	0,00	26,96	5,75	12,82	0,64	0,21
0,0 - 0,1	2,36	0,00	19,12	2,65	2,56	0,21	0,21
Kecepatan Dominan (m/s)	0,9 - 1,0	0,9 - 1,0	0,1 - 0,2	0,9 - 1,0	0,9 - 1,0	0,9 - 1,0	0,9 - 1,0

Tabel 2. Kecepatan Udara Lantai 1, 2 dan 3 Bukaan Boven

Kecepatan (m/s)	Lantai 1			Lantai 2		Lantai 3	
	Ruang Tamu (%)	Dapur + R. Makan (%)	Kamar Mandi (%)	Kamar 1 (%)	Toilet (%)	Kamar 2 (%)	Kamar 3 (%)
0,9 - 1,0	8,11	6,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,8 - 0,9	4,27	1,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,7 - 0,8	10,78	1,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,6 - 0,7	9,71	4,00	3,57	0,00	0,00	1,68	1,72
0,5 - 0,6	29,14	6,52	1,88	0,00	0,00	8,50	7,64
0,4 - 0,5	11,53	8,44	3,55	0,00	0,00	18,56	20,12
0,3 - 0,4	8,00	10,52	21	0,00	0,00	13,41	19,34
0,2 - 0,3	9,71	26,07	23,82	0,00	0,00	44,91	33,07
0,1 - 0,2	5,12	28,89	26,96	8,61	12,50	11,62	16,22
0,0 - 0,1	3,63	5,93	19,12	91,39	87,50	1,32	1,87
Kecepatan Dominan (m/s)	0,5 - 0,6	0,1 - 0,2	0,1 - 0,2	0,0 - 0,1	0,0 - 0,1	0,2 - 0,3	0,2 - 0,3



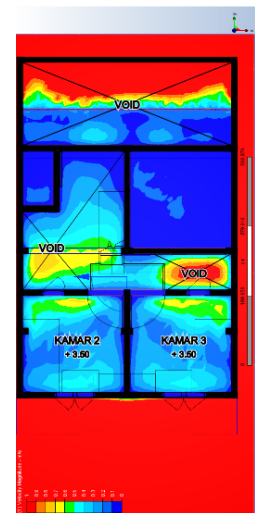
Gambar 10. Kecepatan Udara Lantai 1 Bukaan Boven



Gambar 11. Kecepatan Udara Elevasi -0,45 dan -0,50 Bukaan Boven



Gambar 12. Kecepatan Udara Lantai 2 Bukaan Boven



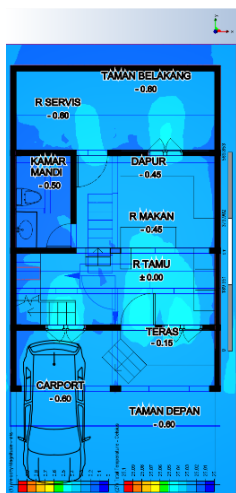
Gambar 13. Kecepatan Udara Lantai 3 Bukaan Boven

Data di Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan kecepatan udara tertinggi terjadi di ruang tamu, sedangkan terendah terjadi di toilet. Ukuran dan lokasi bukaan baik berupa jendela, pintu, atau boven sangat mempengaruhi kecepatan aliran udara di dalam ruangan ataupun bangunan secara keseluruhan. Semakin besar bukaan dan semakin strategis penempatannya, seperti penerapan konsep

cross ventilation dengan memposisikan bukaan pada sisi yang berbeda, semakin baik aliran udara yang dihasilkan. Perbedaan suhu dan tekanan udara antar area juga mempengaruhi kecepatan aliran udara. Ruang yang menghadap area dengan perbedaan suhu dan tekanan udara yang tinggi akan mengalami kecepatan udara lebih tinggi juga (Kausik dkk., 2022). Faktor lain yang mempengaruhi kecepatan aliran udara adalah orientasi bangunan. Bangunan atau ruangan di dalam bangunan yang berhadapan dengan angin dominan akan mengalami aliran udara yang lebih baik (Yang, dkk., 2024).

3.1.2. Suhu udara

Gambar 14 mengilustrasikan suhu di ruang tamu yang didominasi antara 25,02 - 25,03°C. Pada gambar 15 tampak bahwa di area dapur dan ruang makan suhu udara juga dominan antara 25,02 - 25,03°C, dan pada kamar mandi suhu udara dominan antara 25,01 - 25,02°C.



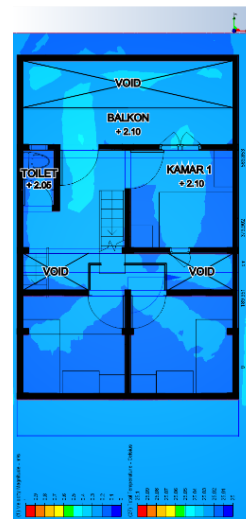
Gambar 14. Suhu Udara Lantai 1 Bukaan Penuh



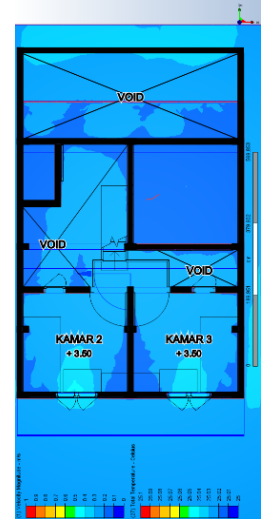
Gambar 15. Suhu Udara Elevasi -0,45 dan -0,50 Bukaan Penuh

Gambar 16 menunjukkan kondisi kamar 1 dengan suhu udara dominan antara 25,01 - 25,02°C dan di

toilet suhu udara dominan antara 25,02- 25,03 °C. Pada gambar 17 tampak bahwa di area kamar 2 suhu udara dominan antara 25,02 - 25,03 °C dan di kamar 3 suhu udara dominan antara 25,02 - 25,03 °C. Berdasarkan gambar 14, 15, 16 dan 17 kemudian disajikan analisis kecepatan udara pada setiap ruang dalam Tabel 3.



Gambar 16. Suhu Udara Lantai 2 Bukaan Penuh



Gambar 17. Suhu Udara Lantai 3 Bukaan Penuh

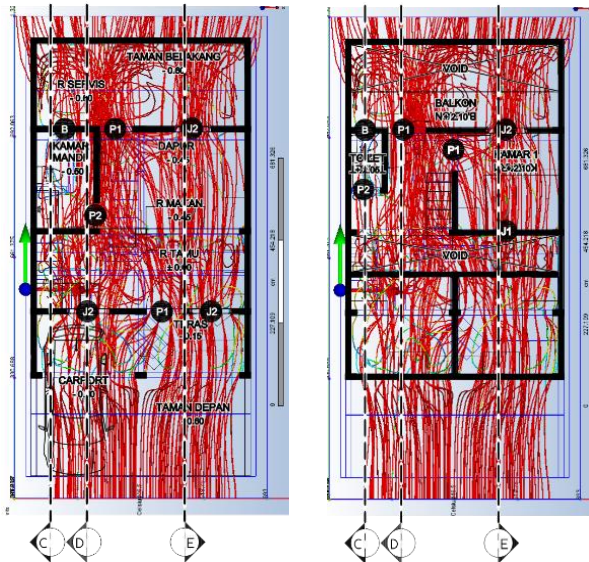
Suhu udara tertinggi terjadi di ruang tamu dan kamar 3. Kedua ruang ini berada sejajar secara horizontal, yaitu ruang tamu di lantai 1 dan kamar 3 di lantai 3. Perbedaan suhu antara ruang dalam bangunan seringkali disebabkan oleh perbedaan aktivitas yang dilakukan di setiap ruang, penggunaan peralatan, dan tingkat ventilasi (Okamoto-Mizuno&Mizuno, 2012). Penelitian ini belum memasukkan aktivitas dan furniture interior ke dalam variabel perhitungan suhu, sehingga perbedaan suhu hanya akibat pengaruh tingkat ventilasi. Kedua ruangan dengan suhu tertinggi ini berposisi di bagian depan bangunan, serta memiliki ventilasi yang menghadap ke arah yang sama yaitu teras depan rumah.

Tabel 3. Suhu Udara Lantai 1, 2 dan 3 Bukaan Penuh

Suhu (°C)	Lantai 1			Lantai 2		Lantai 3	
	Ruang Tamu (%)	Dapur + R. Makan (%)	Kamar Mandi (%)	Kamar 1 (%)	Toilet (%)	Kamar 2 (%)	Kamar 3 (%)
25,09 - 25,1	0	0	0	0	0	0	0
25,08 - 25,09	0	0	0	0	0	0	0
25,07 - 25,08	0	0	0	0	0	0	0
25,06 - 25,07	0	0	0	0	0	0	0
25,05 - 25,06	0	0	0	0	0	0	0
25,04 - 25,05	13,49	0	0	0	0	0	1,08
25,03 - 25,04	33,38	10,21	0	0	0	10,30	11,83
25,02 - 25,03	45,90	87,13	2,21	31,65	55,89	74,68	74,84
25,01 - 25,02	7,23	2,66	97,79	68,35	44,11	15,02	12,26
25,0 - 25,01	0	0	0	0	0	0	0
Suhu Dominan (°C)	25,02 - 25,03	25,02 - 25,03	25,01 - 25,02	25,01 - 25,02	25,02 - 25,03	25,02 - 25,03	25,02 - 25,03

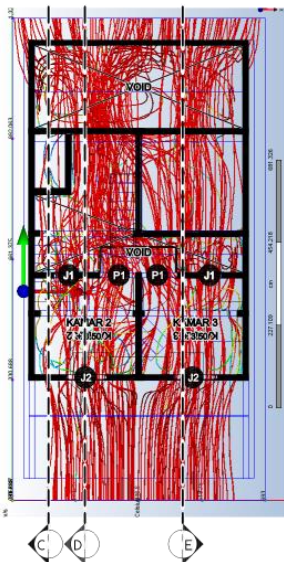
3.1.3. Pergerakan Udara

Gambar 18, 19 dan 20 mengilustrasikan pergerakan udara setiap lantai yang melintasi rumah secara horizontal. Sedangkan pada gambar 21, 22 dan 23 mengilustrasikan pergerakan udara pada desain rumah yang melintasi rumah secara vertikal serta berputar di dalam ruangan. Pada sirkulasi vertikal udara melewati area terbuka pada void menuju bukaan pada atap. Udara juga bergerak dalam pola berputar di dalam ruangan karena ada perbedaan tekanan atau suhu.

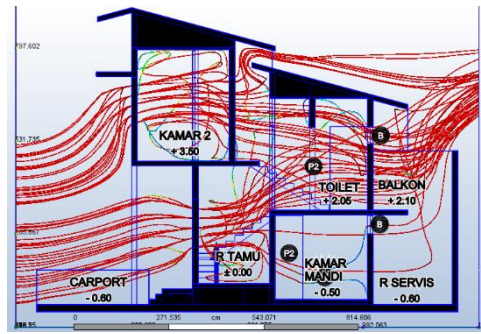


Gambar 18. Pergerakan Udara Lantai 1

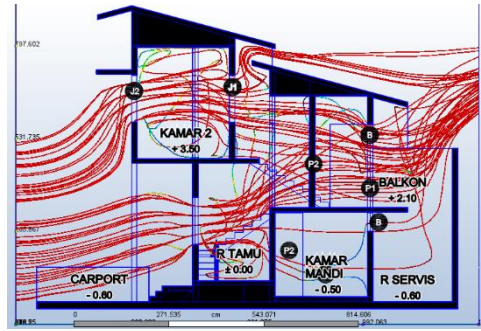
Gambar 19. Pergerakan Udara Lantai 2



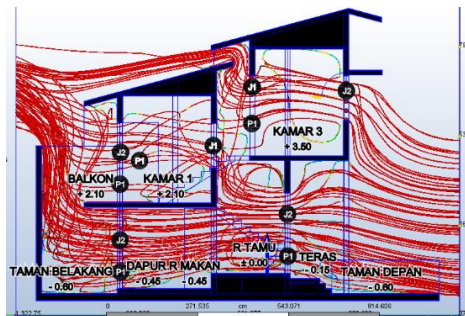
Gambar 20. Pergerakan Udara Lantai 3



Gambar 21. Pergerakan Udara Potongan C



Gambar 22. Pergerakan Udara Potongan D



Gambar 23. Pergerakan Udara Potongan E

Berdasarkan observasi menggunakan Autodesk CFD, sirkulasi udara di rumah lancar dengan kecepatan dominan 0,9-1 m/s. Meski kecepatan udara melebihi standar, penutupan pintu dan jendela serta penggunaan boven menciptakan sirkulasi udara baik dengan kecepatan dominan 0,171-0,271 m/s. Suhu udara di rumah antara 25,01-25,05 °C. Pergerakan udara dalam sebuah rumah baik horizontal, vertikal maupun berputar menunjukkan bahwa desain rumah memungkinkan terjadinya pertukaran udara yang efisien.

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini sama dengan penelitian Shetabivash (2015) yang meneliti ventilasi alami menggunakan metode CFD. Salah satu faktor kunci yang mempengaruhi pola aliran udara adalah bukaan bangunan. Bentuk dan lokasi bukaan dapat berdampak signifikan pada sirkulasi udara di dalam ruangan. Dengan desain bukaan yang tepat, area sirkulasi udara di dalam bangunan dapat dikendalikan secara efektif.

Tahap penelitian berikutnya adalah tahap validasi yang melibatkan ahli yang merupakan akademisi bidang arsitektur. Desain rumah mendapat penilaian positif dari ahli dalam berbagai aspek yaitu penerapan

cross ventilation dan *split level*, kesesuaian desain rumah dengan kedua konsep tersebut, kualitas sirkulasi udara alami, komposisi ruang, hubungan antar ruang dan analisis simulasi sirkulasi udara dengan *software* Autodesk CFD. Para ahli juga memberikan masukan yaitu menurut ahli 1 penelitian ini telah direncanakan dengan sistematis dan menggunakan prosedur yang sesuai sehingga hasil penelitian ini dapat bermanfaat untuk menyusun desain rumah dengan sirkulasi udara alami. Menurut ahli 2 hasil simulasi pada penelitian ini telah dapat menunjukkan perilaku penghawaan. Ahli juga memberi masukan tentang pendinginan struktur dan menambah kelengkapan gambar dengan pondasi. Sedangkan ahli 3 memberikan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya dengan mempertimbangkan faktor lain.

3.2. Pembahasan

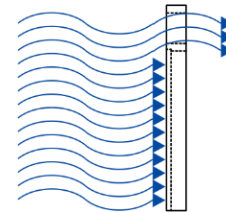
Desain Rumah dengan konsep *cross ventilation* dan *split level* telah terbukti dapat menghadirkan sirkulasi udara alami pada rumah. Berdasarkan simulasi dengan menggunakan *software* Autodesk CFD dengan asumsi jendela, pintu dan boven terbuka penuh, kecepatan udara dominan berkisar antara 0,9 hingga 1 m/s. Meski memberikan sirkulasi udara yang baik, namun kecepatan udaranya melebihi standar. Namun, persoalan tersebut dapat diantisipasi dengan mengatur bukaan jendela sesuai kebutuhan. Solusi tersebut sesuai dengan hasil penelitian Figueroa-Lopez (2021) yang menyimpulkan bahwa sudut bukaan tertentu akan menghasilkan tingkat kecepatan udara yang paling sesuai untuk suatu ruangan, dengan memperhatikan luas dan tinggi ruangan serta kondisi daerah setempat.

Desain rumah dengan konsep *cross ventilation* telah terbukti dapat membuat udara bergerak di dalam rumah dengan lancar secara horizontal dan *split level* dapat memanfaatkan sifat tekanan udara untuk bergerak secara vertikal. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Simbolon dan Nasution (2017) yang menyatakan posisi ventilasi efektif sekali untuk mengalirkan udara karena udara bergerak dari tekanan positif ke tekanan negatif pada desain bangunan yang menerapkan bukaan pada sisi yang berseberangan. Febrina dkk (2017) berpendapat sama dengan menyatakan bahwa pergerakan udara disebabkan karena perbedaan suhu dan tekanan udara antara dua lokasi. Sesuai dengan penelitian oleh Zhang dkk (2022) faktor penting dari *cross ventilation* yaitu terdapat dua bukaan pada dinding yang berseberangan. Jiang dkk (2023) sependapat tentang manfaat *cross ventilation* yaitu *cross ventilation* merupakan cara yang efektif untuk mengalirkan udara juga mengeluarkan panas dengan perbedaan tekanan udara, hal tersebut dipengaruhi bukaan dan desain yang memungkinkan udara bergerak leluasa.

Penerapan *split level* pada desain menimbulkan void pada rumah yang dapat membantu sirkulasi udara secara alami. *Split level* juga membuat ruang terasa lebih luas karena berkurangnya partisi antar

lantai sehingga dapat memandang lantai yang berbeda sekaligus. Sehingga dapat mendukung sirkulasi udara dan udara bergerak antar lantai dengan lancar. Pernyataan tersebut juga didukung oleh Soukotta dan Sukardi (2021) yang menyatakan sistem *split level* juga berfungsi sebagai sistem ventilasi silang yang dapat dikombinasikan dengan void pada lantai bangunan sehingga udara dapat mengalir ke setiap lantai.

Bukaan pada desain telah memenuhi persyaratan kecepatan dan suhu udara dalam rumah. Meski tetap memerlukan beberapa rekayasa agar desain dapat membuat kecepatan udara tidak terlalu besar dan suhu udara dapat lebih rendah dibandingkan luar rumah. Kecepatan udara yang terlalu besar jika bukaan dibuka secara penuh dapat dilakukan beberapa alternatif cara untuk mengatasinya. Daun jendela dapat ditutup dan mengandalkan bukaan dari boven diatas jendela. Sedangkan jika angin terlalu lemah daun jendela dapat dibuka menyesuaikan kondisi pergerakan udara di luar rumah. Gambar 24 mengilustrasikan bagaimana udara mengalir pada boven jendela.



Gambar 24. Sirkulasi Udara Boven

Hasil penelitian ini menunjukkan dengan menerapkan konsep *cross ventilation* dan *split level*, suhu udara dalam rumah telah sesuai dengan persyaratan. Alternatif metode lain untuk menurunkan suhu udara pada rumah dengan cara alami yaitu memakai atap anti panas matahari, penambahan *secondary skin* dan vegetasi pada rumah. Hal tersebut sesuai dengan masukan dari para ahli yaitu pemilihan material dan penambahan bidang pembayangan matahari. *Secondary skin* berfungsi sebagai penghalau panas matahari langsung sehingga panas tidak secara langsung mengenai dinding rumah yang mengakibatkan suhu dalam rumah panas. Penambahan vegetasi pada rumah juga berfungsi menghalau panas matahari, tetapi ada manfaat lain yaitu menambah kesegaran alami dalam rumah karena panas matahari yang mengenai vegetasi akan menambah oksigen dalam rumah. Salah satu vegetasi yang dapat bertindak sebagai *secondary skin* juga yaitu tanaman *lee kwan yew* yang merupakan tanaman rambat. Hal ini sejalan dengan penelitian Roosandriantini dan Putra (2021) yang menyatakan penggunaan vegetasi pada tanaman *Lee Kuan Yew* dapat digunakan sebagai penghalang sinar matahari. Penambahan tanaman ini juga dapat diberikan pada bagian luar bukaan jendela karena tanaman ini memiliki celah-celah yang dapat dialiri udara sehingga tidak terlalu menghalangi udara dan dapat mengurangi kecepatan udara yang terlalu besar.

Hasil desain rumah dapat diimplementasikan pada rumah deret untuk perumahan. Menurut PUPR (2002) rumah deret yaitu rumah yang bergandengan yang salah satu atau dua dinding bangunannya menyatu dengan dinding bangunan lainnya tetapi masing-masing memiliki lahan tersendiri. Melalui desain *cross ventilation* dan *split level*, walaupun sisi samping rumah tertutup karena menyatu dengan bangunan lainnya, rumah tetap mendapat sirkulasi udara alami. Gambar 25 menampilkan depan hasil desain rumah jika diterapkan sebagai rumah deret.



Gambar 25. Fasad Rumah Deret

4. KESIMPULAN

Desain rumah pada penelitian ini diterapkan pada desain rumah dengan luas 74 m² pada lahan 6×12 m. Desain ini masih mungkin diterapkan pada luasan bangunan yang lebih kecil dan lahan yang lebih sempit. Perhatian perlu diberikan pada penyediaan lahan terbuka di depan dan belakang bangunan, serta pemenuhan kebutuhan ruang. Rumah menerapkan konsep *split level* yaitu dengan menaikkan lantai tidak secara penuh dan membuat void pada desain rumah. Bukaan pada desain rumah menerapkan konsep *cross ventilation* yaitu dengan memposisikan jendela, pintu, dan boven pada dinding yang berseberangan dan bersebelahan. Pada lantai 1 juga menerapkan open plan untuk mengurangi sekat antar ruangan sehingga memungkinkan udara mengalir secara lebih leluasa.

Hasil simulasi menggunakan *software* Autodesk CFD menunjukkan bahwa desain rumah memiliki sirkulasi udara alami yang baik dengan mayoritas kecepatan udara berkisar antara 0,9 hingga 1 m/s pada keadaan seluruh bukaan dibuka penuh. Sedangkan pada udara yang dihasilkan melalui bukaan boven dapat membuat sirkulasi udara baik dan sesuai standar yaitu rata-rata berkisar 0,171 hingga 0,271 m/s dan mayoritas berkecepatan 0,2 sampai 0,3 m/s di sebagian besar ruangan. Suhu rata-rata berkisar antara 25,01 hingga 25,05 derajat Celcius. Pergerakan udara dalam rumah baik horizontal, vertikal maupun berputar menunjukkan bahwa desain rumah memungkinkan terjadinya pertukaran udara yang efisien, sehingga tercipta sirkulasi udara alami yang baik.

Penilaian ahli menunjukkan bahwa desain rumah mendapatkan nilai baik dan sangat baik. Ahli

juga menyatakan desain rumah telah sesuai dengan tujuan penelitian. Hal tersebut menunjukkan bahwa desain rumah telah menerapkan konsep *cross ventilation* dan *split level* dengan baik sebagai upaya menghasilkan sirkulasi udara alami.

Desain rumah dengan konsep *cross ventilation* dan *split level* dapat dijadikan referensi untuk pihak pengembang perumahan agar memperoleh sirkulasi udara secara alami sehingga mengurangi penggunaan ventilasi buatan. Penelitian pengembangan desain rumah ini memiliki beberapa keterbatasan yaitu hanya berdasar satu desain layout ruangan dan belum memperhatikan faktor lain yang mempengaruhi kenyamanan udara di dalam rumah seperti keberadaan perabotan dan pemilihan material bangunan. Simulasi penelitian ini juga hanya berdasar kondisi cuaca di satu lokasi pada satu waktu, belum memasukkan variabel cuaca. Penelitian selanjutnya dapat dengan mempertimbangkan faktor lain yang mempengaruhi sirkulasi udara sehingga akan menghasilkan produk desain rumah yang semakin baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Alim, Nur. (2024). *Void sebagai Elemen Desain: Menciptakan Fitur yang Menonjol dalam Rumah*. Diakses pada 12 November 2024 dari <https://arsitekdepok.com/void-sebagai-elemen-desain>
- Amin, N. H. (2019). Design and Study of Ventilation Systems for Natural and Private Buildings. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 10(3), 691–712.
- Ashadi. (2019). *Konsep Desain Arsitektur*. Arsitektur UMJ Press.
- Azizah, R. (2014). Kajian Kenyamanan Termal pada Rumah Tinggal dengan Model Innercourt. *Nalars*, 13(2), 73–88.
- Febrina, D., Hamzah, B., & Mulyadi, R. (2017). Pengaruh Elemen Fasad Terhadap Laju Pergerakan Aliran Udara di Ruang Kelas. *Purwarupa*, 1(2), 19–28.
- Figueroa-Lopez, A., Arias, A., Oregi, X., and Rodríguez, I. (2021). Evaluation of Passive Strategies, Natural Ventilation and Shading Systems, to Reduce Overheating Risk in a Passive House Tower in the North of Spain During the Warm Season. *Journal of Building Engineering*, 43, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102607>.
- Hanggara, A., Purnomo, A. & Walaretina, R. (2021). Penerapan Ventilasi Silang pada Ruang Unit Kegiatan Mahasiswa di Gedung Pusgiwa, Universitas Indonesia. *Prosiding Seminar Intelektual Muda*. 3. <https://doi.org/10.25105/psia.v3i1.13035>.
- International Energy Agency. (2018). *Air Conditioning Use Emerges as One Of the Key Drivers of Global*. Diperoleh 22 November 2023, dari <https://www.iea.org/news/air-conditioning-use-emerges-as-one-of-the-key-drivers-of-global-electricity-demand-growth>
- Jiang, Z., Kobayashi, T., Yamanaka, T., & Sandberg, M. (2023). A Literature Review of Cross Ventilation in Buildings. *Energy and Buildings*, 291. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113143>

- Nugroho, B. S., Rahmawati, A., dan Habsya, C. (2025). Implementasi Konsep Cross Ventilation dan Split Level untuk Menghasilkan Sirkulasi Udara Alami pada Bangunan Rumah di Lahan Terbatas. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 23(2), 382-391, doi:10.14710/jil.23.2.382-391
- Kaushik, A.K., Arif, M., Syal. M.M.G., Rana, M.Q., Oladinrin, O.T., Sharif, A.A., Alshdiefat, A.S. (2022). Effect of Indoor Environment on Occupant Air Comfort and Productivity in Office Buildings: A Response Surface Analysis Approach. *Sustainability*, 14(23):15719. <https://doi.org/10.3390/su142315719>
- Lezcano, R. A. G., & Burgos, M. J. M. (2021). Airflow Analysis of the Haida Plank House, a Breathing Envelope. *Energies*, 14(16), 1-14. <https://doi.org/10.3390/en14164871>
- Maulana, S. (2016). Pemanfaatan Computational Fluid Dynamics (Cfd) dalam strategi Penelitian Simulasi Model pada Teknologi Penghawaan Ruang. *Education building*, 2(2), 2477-4898.
- Mauliani, L. (2018). Pengaruh Modul Besaran Ruang Terhadap Tata Ruang Rumah Sangat Sederhana. *Nalars*, 17(2), 135-144. <https://doi.org/10.24853/nalars.17.2.135-144>
- Okamoto-Mizuno, K., dan Mizuno, K. (2012). Effects of Thermal Environment on Sleep and Circadian Rhythm. *Journal of Physiological Anthropology*, 31(14). <https://doi.org/10.1186/1880-6805-31-14>
- Perez, I. O. (2019). Fundamentals of Natural Ventilation Design within Dwellings. In Different Strategies of Housing Design. IntechOpen.
- PUPR (2002). Pedoman/Petunjuk Teknik dan Manual Rumah, Gedung dan Perumahan. Departemen permukiman dan prasarana wilayah.
- Richey, R. C., & Klein, J. D. (2005). Developmental Research Methods: Creating Knowledge from Instructional Design and Development Practice. *Journal of Computing in Higher Education Spring*, 16(2), 23-38.
- Roosandriantini, J., & Putra, H. A. (2021). Ketersediaan dan Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau di Kampus UKDC Surabaya. *Arsitektura*, 19(1), 1-12. <https://doi.org/10.20961/arst.v19i1.44374>
- Sabono, F. (2020). Desain Compact House Berkonsep Inside-Out Sebagai Respon Terhadap. *Semadi*, 255-263. <https://www.researchgate.net/publication/367519134>
- Shetabivash, H. (2015). Investigation of Opening Position and Shape on the Natural Cross Ventilation. *Energy & Buildings*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.12.053>
- Simbolon, H., & Nasution, I. N. (2017). Desain Rumah Tinggal yang Ramah Lingkungan untuk Iklim Tropis. *Education Buuilding*, 3(1), 2477-4898.
- Soukotta, G. E., & Sukardi, R. R. (2021). Penerapan Sistem Sirkulasi Pencahayaan dan Penghawaan Alami Terhadap Bangunan Pasar. *Desa Jurnal Desain Dan Arsitektur*, 2(2), 63-68.
- Susanti, L., & Zetli, S. (2016). Penyusunan Kriteria Rumah Tinggal Berkonsep Ergo-Ekologi dalam Upaya Peningkatan Kenyamanan Termal Penghuni. *Optimasi Sistem Industri*, 15(2), 155-170.
- Waisnawa, I. M. J., & Pramana, I. M. B. (2019). Pengaruh Pola Ruang Terbuka Hijau terhadap Sirkulasi Udara pada Rumah Tinggal. *Segara Widya*, 7(1), 17-30.
- Yang Z, Gao W, Yang D, Hu X, Xu T. (2024). Impact of Air Velocity on Mold Growth in High Temperature and Humidity Conditions: An Experimental Approach. *Buildings*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/buildings14072145>
- Zhang, X., Weerasuriya, A. U., Wang, J., Li, C. Y., Chen, Z., Tse, K. T., & Hang, J. (2022). Cross-Ventilation of a Generic Building with Various Configurations of External and Internal Openings. *Building and Environment*, 207(1), 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108447>