Pengaruh *Lower-Ventilation* terhadap Aliran Udara Ruang Dalam pada Bangunan Rumah Tinggal Sederhana di Daerah Tropis Lembab

Tri Woro Setiati[1], Pramadhony[2], Sandra Eka Febrina[3]
[1]Prodi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Tridinanti, Indonesia
[2]Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tridinanti, Indonesia
[3]Prodi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Indo Global Mandiri, Indonesia
Email: [1]worosetiati@univ-tridinanti.ac.id, [2]pramdhony@univ-tridinani.ac.id, [3]sandra.ek@uigm.ac.id

Abstract. *In general, residential buildings in humid tropical areas are designed with natural ventilation to maximize airflow. This natural ventilation is beneficial for enhancing passive cooling processes to achieve thermal comfort and indoor air quality. However, due to the increasing density of buildings, whether residential or commercial, airflow around buildings is significantly restricted from entering the interior. This limitation affects the reduction of passive cooling, leading to reliance on active cooling systems (such as air conditioning) to achieve thermal comfort. This study aims to demonstrate the effect of lower-ventilation (LV) as a natural ventilation design strategy to enhance the potential for passive cooling within buildings under current high-density conditions. The method employed involves experiments aided by computer simulations to assess airflow potential with the addition of LV to residential buildings. Three residential models were tested: (1) existing conditions with upper ventilation, (2) the addition of LV at the front of the building, (3) the addition of LV on the side of the building. A comparative-descriptive analysis was conducted to identify the best scenario for optimizing natural ventilation. The evaluation focused on airflow patterns, air velocity (m/s), and potential air change per hour (ACH). The results of the study indicate that implementing LV increased air velocity and ACH by 1.5-2 times compared to the existing model.*

Keywords: *lower-ventilation, air-flow, residential, tropic.*

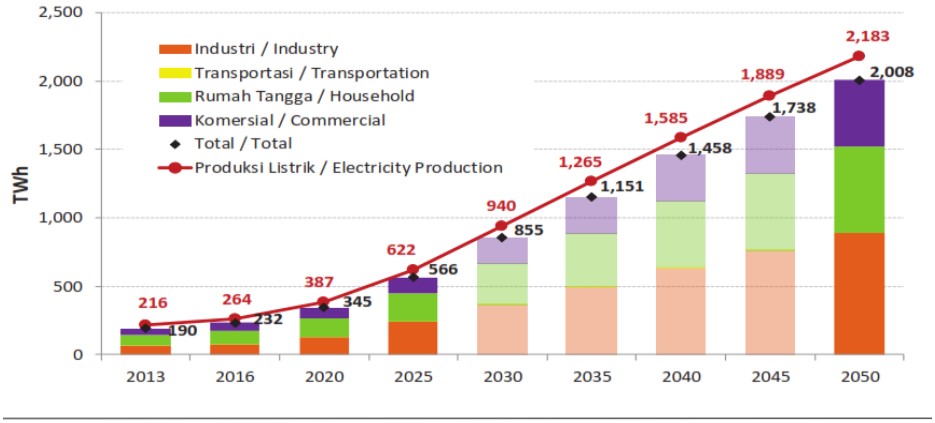
Abstrak. *Secara umum bangunan rumah tinggal di daerah tropis lembab didesain menggunakan ventilasi alami untuk memaksimalkan aliran udara. Ventilasi alami tersebut bermanfaat untuk meningkatkan proses pendingin secara pasif agar kenyamanan termal dan kesehatan ruangan tercapai. Namun, dikarenakan peningkatan kerapatan antar bangunan, baik rumah tinggal ataupun bangunan komersil, aliran udara di sekitar bangunan sangat terbatas untuk dapat masuk ke dalam bangunan. Hal ini mempengaruhi penurunan pendinginan secara pasif, sehingga manusia bergantung pada pendingin akti (penggunaan air conditioning) untuk mencapai kenyamanan termal. Pada penelitian bertujuan untuk membutikan efek lower-ventilation (LV) sebagai strategi desain ventilasi alami untuk meningkatkan potensi pendinginan pasif di dalam bangunan dengan kondisi kerapatan bangunan saat ini. Metode yang dilakukan adalah eksperimen dengan bantuan simulasi komputer untuk melihat potensi aliran udara yang terjadi dengan penambahan LV pada bangunan rumah tinggal. Terdapat 3 model rumah tinggal yang diuji, yaitu (1) kondisi eksisting dengan ventilasi atas; (2) penambahan LV pada sisi depan bangunan; (3) penambahan LV pada sisi samping bangunan. Analisis komparatif-deskriptif dilakukan untuk melihat skenario yang paling baik untuk optimisasi ventilasi alami. Evaluasi dilakukan dengan menganalisis pola aliran udara, kecepatan udara (m/s) dan potensi air change per hour (ACH). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan LV meningkatkan kecepatan udara dan ACH 1,5-2x dari model eksisting.*

Kata Kunci: *ventilasi bawah, aliran, udara, rumah tinggal, tropis*

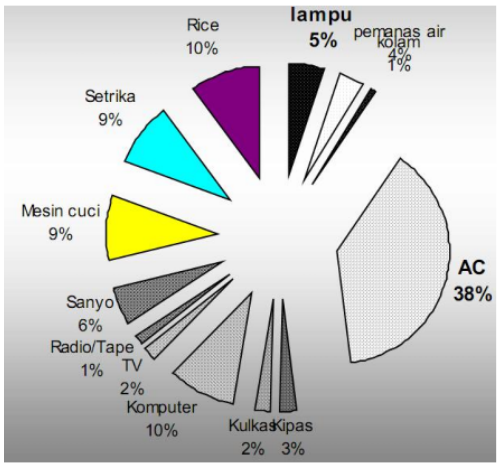
1. Pendahuluan

Ventilasi alami merupakan salah satu strategi desain pasif yang direkomendasikan di daerah tropis lembab. Penggunaan ventilasi alami berfungsi untuk meningkatkan kenyamanan termal dan kualitas udara di dalam bangunan. Daerah dengan karakteristik tropis lembab ditandai dengan temperatur dan kelembapan udara yang tinggi, berawan dan kecapatan angin yang tidak terlalu tinggi. Kondisi iklim seperti ini memerlukan pendekatan desain yang dapat meningkatkan aliran udara untuk mengurangi ketergantungan pada sistem pendinginan aktif (*air conditioning*). Namun, seiring dengan meningkatnya densitas bangunan di lingkungan perkotaan, maka pola aliran udara di sekitar bangunan menjadi terbatas. Hal tersebut mengakibatkan efektivitas ventilasi alami seperti ventilasi atas dan ventilasi silang (*cross-ventilation*) menurun secara signifikan (Kubota, dkk, 2009).

Penurunan fungsi ventilasi alami memicu peningkatan penggunaan ventilasi buatan yaitu *air conditioning*. Hal tersebut memicu tingginya konsumsi energi listrik, khususnya pada rumah tinggal. Konsumsi energi listrik rumah tinggal berada pada urutan kedua sektor pengguna energi terbanyak di Indonesia (Gambar 1). Data dari penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa rumah tingga sederhana dengan luasan 45m2 atau di bawahnya pada daerah tropis lembab menggunakan energi terbesar untuk *air conditioning*, yaitu sebesar 38%. Penggunaan AC saat ini sudah menjadi sebuah kebutuhan primer masyarakat, dikarenakan kondisi iklim mikro yang tidak nyaman. Gaya arsitektur modern yang digunakan pun menerapkan ventilasi satu sisi atau *one-sided ventilation* yang hanya berfungsi sebagai estetika fasad bukan difungsikan sebagai penghawaan atau pendinginan alami. Oleh karena perlu dicari satu strategi ventilasi alami yang dapat mendukung peningkatan fungsinya sebagai pendinginan pasif dalam rumah.



Gambar 1. Penggunaan Energi Listrik berdasarkan sektor pengguna di Indonesia



Gambar 2. Alokasi Penggunaan Energi Listrik Skala Rumah Tangga

Sistem ventilasi alami yang banyak direkomendasikan dan diteliti efektifiasnya pada daerah tropis lembab, diantaranya ventilasi silang (*cross-ventilation)* dan ventilasi cerobong (*stack effect*).Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya terdapat pengaruh yang signifikan apabila sebuah bangunan ditambah dengan sistem ventilasi atap (*stack effect*) (Sukawi, dkk, 2015; Maulianti, dkk, 2021). Hasil penelitian Sukawi (2015) menunjukkan bahwa pergerakan angin dominan meningkat apabila ruang dilengkapi dengan bukaan pada atap. Hal ini disebabkan oleh prinsip dasar pergerakan udara yaitu udara akan bergerak apabila ada perbedaan suhu dan tekanan. Secara alami, udara akan bergerak dari tekanan yang tinggi (+) ke tekanan yang rendah (-). *Stack effect* merupakan hasil dari kerapatan udara uang berkurang disaat ada peningkatan temperatur (Febrita, 2011). Semakin besar perbedaan temperatur antara dua udara yang berhubungan, maka semakin besar daya apung (*bouyancy)* temperatur, kondisi yang menjadi daya penggerak aliran stack effect. Udara panas secara komparatif di dalam bangunan naik untuk lepas melalui bukaan pada bagian atas, digantikan oleh udara luar yang lebih dingin masuk melalui bukaan yang berada pada bagian bawah (Febrita, 2011). Penelitian terdahulu lebih banyak membahas penggunaan *solar thermal chimney* untuk meningkatkan aliran konventif akibat perbedaan temperatur yang besar pada bagian atas (Moore, 1993; Awbi, 2004; Watson; 1979). Namun, masih jarang yang membahas posisi strategis ventilasi bagian bawah yang berfungsi untuk memasukkan udara dingin sebagai pendorong untuk optimisasi *stack effect*.

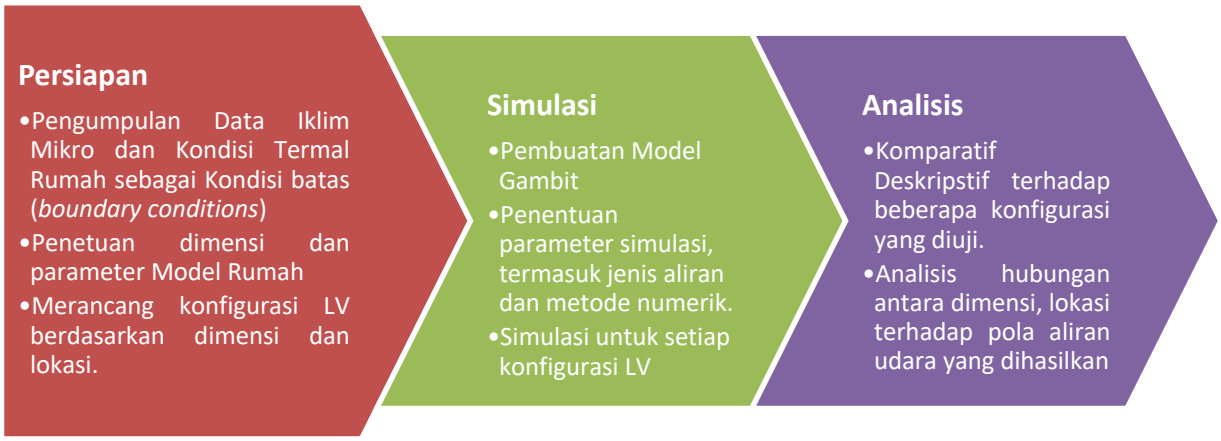
Strategi ventilasi alami baru seperti *lower ventilation (LV)* mulai mendapatkan perhatian karena potensinya dalam memaksimalkan aliran udara di dalam bangunan. *Lower ventilation* mengacu pada penempatan bukaan ventilasi di bagian bawah dinding bangunan, yang dirancang untuk meningkatkan sirkulasi udara dengan memanfaatkan perbedaan tekanan udara dan pola angin lokal. Penelitian menunjukkan bahwa penambahan ventilasi pada posisi strategis dapat meningkatkan kecepatan aliran udara dan potensi pergantian udara (*air change per hour, ACH*), terutama pada bangunan yang berada di lingkungan dengan kerapatan tinggi (Chungloo & Limmeechokchai, 2007). Selain itu, penelitian lain juga mengungkapkan bahwa lower ventilation mampu mengurangi efek panas yang terperangkap di dalam ruangan, mendukung proses pendinginan pasif, serta meningkatkan efisiensi energi bangunan. Dalam simulasi yang dilakukan oleh Rahman, dkk (2017), modifikasi bukaan ventilasi bawah berhasil meningkatkan kenyamanan termal tanpa perlu menambah sistem pendinginan aktif.

Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi *LV* sebagai strategi ventilasi alami yang efektif di daerah tropis lembab dengan kondisi kerapatan bangunan yang tinggi. Dengan menggunakan simulasi komputer, penelitian ini menganalisis pengaruh desain *LV* terhadap pola aliran udara, kecepatan udara (m/s), dan tingkat pergantian udara (ACH). Hasil penelitian diharapkan memberikan rekomendasi desain yang aplikatif untuk mengatasi tantangan termal di kawasan tropis lembab.

2. Metodologi

Peneltian ini dilakukan dengan pendekatan kuantitatif menggunakan metode eksperimen. Ekperimen dilakukan dengan bantuan simulasi komputer untuk memperoleh hasil yang akurat dan efektif. Penggunaan metode ini dilatarbelakangi oleh tujuan penelitian yang akan mengamati dan mengevaluasi pengaruh *LV* terhadap pola aliran udara di suatu ruang. Perangkat lunak simulasi yaitu *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan model ruang uji virtual dengan dimensi yang telah ditentukan.

Parameter yang digunakan dalam pengujian *lower ventilation* adalah ukuran dan lokasi ventilasi. Variabel kontrol yang digunakan dalam penelitian ini adalah ukuran ruang/model rumah dan kondisi udara ekternal (kecepatan angin, m/s), sedangkan variabel terikatnya adalah pola aliran ydara di dalam ruang uji. Hasil simulasi akan dianalisis menggunakan metode statistik deskriptif dan inferensial untuk menentutak pola dan tren aliran udara. Visualisasi hasil dilakukan menggunakan diagram aliran udara (*streamlines*) untuk interpretasi yang lebih mudah. Analisis komparatif deskriptif juga digunakan untuk membandingkan model uji yang memiliki hasil terbaik sebagai rekomendasi strategi desain *lower ventilation*.



Gambar 3. Tahapan Penelitian

2.1 Objek Studi

Penentuan objek studi dalam penelitian dilakukan dengan metode *purposive sampling*, dengan kriteria sebagai berikiu: (1) rumah tinggal dengan populasi terbanyak, yaitu rumah tinggal sederhana tipe 36m2; (2) perumahan dengan orientasi Utara – Selatan yang telah merujuk rekomendasi desain untuk daerah tropis lembab (untuk mengurangi efek radiasi pada penelitian ini) (Gambar 4); (3) beragam konfigurasi *lower ventilation* yang mencakup lokasi ventilasi. Sampel yang dipilih didasarkan pada kemampuan untuk merpresentasikan skenario nyata dalam pengaturan ventilasi bangunan.Karakteristik utama rumah tinggal sederhana tipe 36m2 yang menjadi dasar pemilihan objek studi meliputi: (1) Dimensi ruang standar: panjang 6m, lebar 6 m dan tinggi plafond 3m; (2) tata letak ruang yang umum digunakan mencakup ruang tamu, dua kamar tidur, satu kamar mandi dan dapur; (3) relevansi kebutuhan sirkulasi udara yang optimal dengan luas terbatas.



(a) (b)

Gambar 4. (a) Tampak depan Rumah Model; (b) Foto Satelit Perumahan

2.2 Teknik Pengumpulan data

Pengumpulan data iklim mikro pada penelitian merupakan salah satu data primer yang berfungsi sebagai *boundary condition* pada saat proses simulasi. Pengumpulan data iklim mikro dilakukan dengan pengukuran langsung di ruang luar dan dalam rumah yang menjadi objek teliti. Alat ukur yang digunakan adalah thermohygrometer Elitech GSP-6 *Digital Temperature and Humidity Data Logger Sensor* dan Anemometer. Data logger thermohygrometer berfungsi untuk mencatat secara otomatis kondisi termal yang terukur dari temperatur udara dan kelembapan relatif. Anemometer dignakan untuk mencatata data kecepatan udara pada ruang kuar dan dalam rumah.

Tabel 1. Jenis alat dan teknik pengukuran

No.	Nama Alat	Data yang diukur	Posisi Alat	Waktu Pengukuran
1.	Thermohygrometer 	Temperatur Kelembapan Udara	1,2 m dari permukaan tanah dan lantai	5 hari x 24 jam (seting data per menit)
2.	Anemometer	Kecepatan Udara	1,2 m dari permukaan tanah/lantai. Jalan lingkungan & Setiap ruang dalam bangunan: R. Tamu & Kamar	5 x 12 jam (data diambil per 30 menit secara manual)



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. (a) Setting Alat awal; (b) Posisi Alat di Kamar Depan; (c) Posisi Alat di Ruang Tamu

2.3 Pelaksanaan Eksperimen

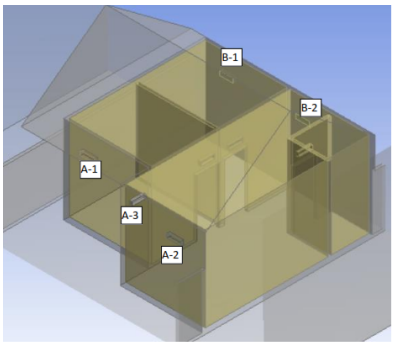
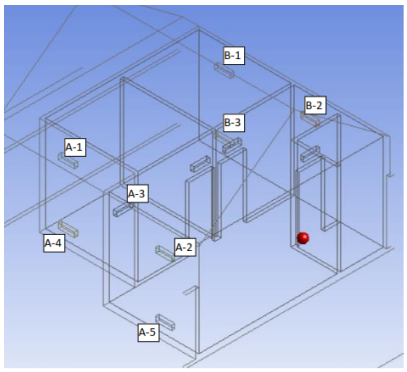
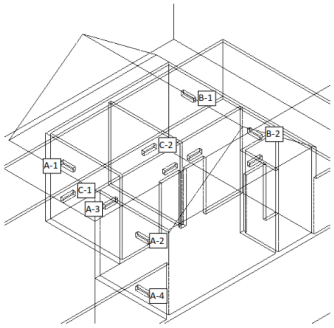
Proses eksperimen pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap 3 model kondisi rumah dengan penambahan *lower ventilation*. Ringkasan taktik penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.

Model rumah yang digunakan adalah rumah sederhana tipe 36m2, yang berukuran 6 x 6 m yang terdiri dari beberapa ruang, yaitu ruang tamu, 2 kamar tidur, 1 kamar mandi, dan dapur kecil. Terdapat 3 (tiga) model yang akan diuji (Tabel 3). Ukuran bukaan aktif 24 jam adalah 15 x 30 cm.

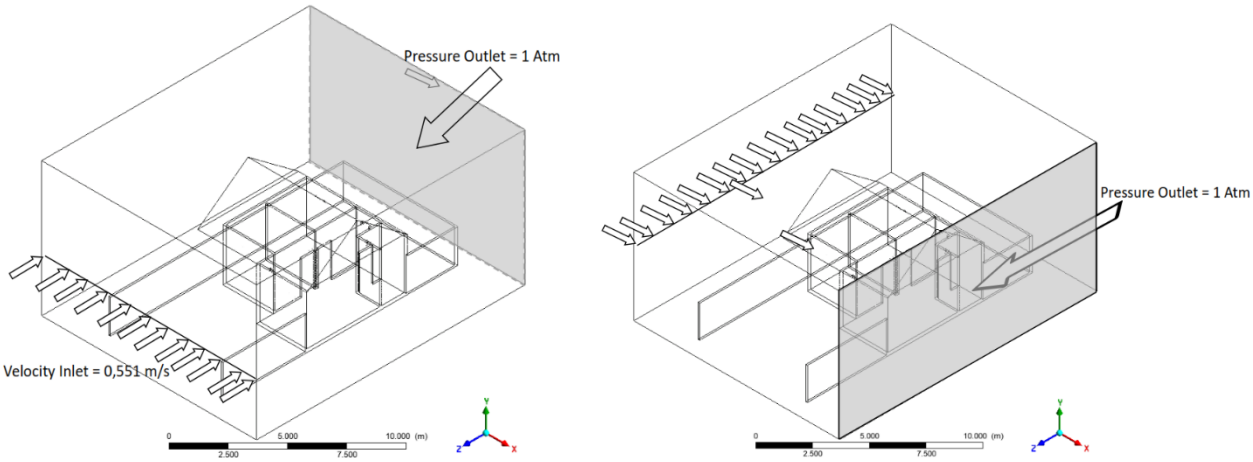
Tabel 2. Ringkasan taktik penelitian eksperimen

	Setting	*Treatment condition*	*Outcome Measures*
Pengujian pengaruh *lower ventilation* terhadap efektifitas kondisi aliran udara ruang.	Simulasi Komputer	Modifikasi pada - Penambahan *lower ventilation* dengan dimensi sama dengan *higher ventilation* - Posisi *lower ventilation*. - Arah datang angin 0 dan 90	- rata-rata kecepatan udara di dalam ruangan (m/s) - ACH - Pola aliran udara di dalam ruang

Tabel 3. Konfigurasi Model Eksperimem

	Gambar	Inlet dan Outlet
MODEL 1 (Kondisi Eksisting)		Inlet : A-1; A-2; A-3 Outlet : B-1 ; B-2
MODEL 2 (Add *Lower ventilation*, di bagian bawah *higher ventilation*)		Inlet : Higher : A-1; A-3; A-2 **Lower: A-4; A-5** Outlet: B-1; B-2
MODEL 3 (Add *Lower ventilation*, di bagian lorong rumah)		Inlet : Higher : A-1; A-3; A-2 **Lower: A-4; C-1; C-2** Outlet: B-1; B-2

Eksperimen ini menggunakan bantuan simulasi *computational fluid dynamic* dengan setting simulasi seperti pada gambar 5 dengan ketentuan *boundary layer* yang merujuk pada penelitian Zhang, dkk (2022) dan Guo dkk (2022). *Boundary condition* yang dijadikan data input pada pengujian ini menggunakan data pengukuran langsung pada ruang luar dan dalam objek studi.



(a) **(b)**

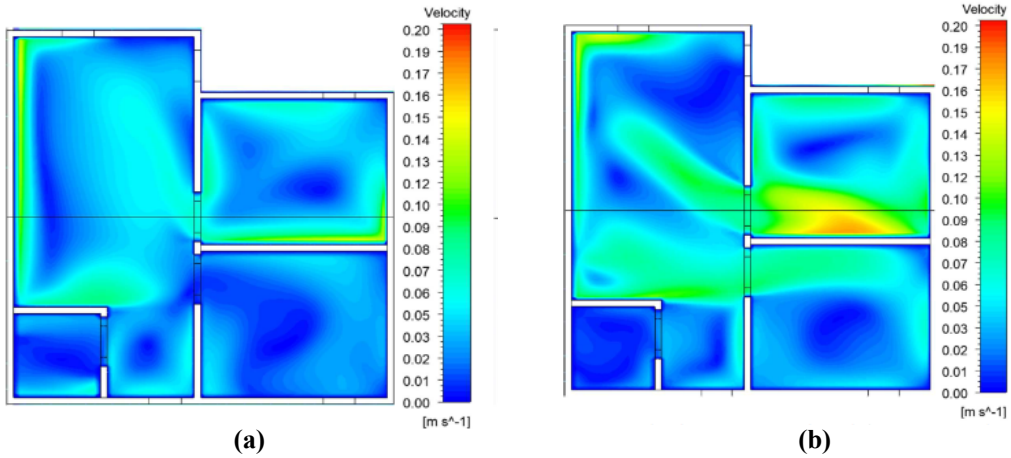
Gambar 5. (a) Kondisi 1 arah datang angin 0°; (b) Kondisi 2 arah datang angin 90°

Pengujian dilakukan dalam dua kondisi seperti pada Gambar 6. Kondisi arah datang angin yang berbeda mewakili kondisi nyata bahwa angin memiliki frekuensi yang tinggi dari 2 arah utama (Utara dan Timur). Kondisi ini akan memberikan tambahan hasil untuk pertimbangan perletakkan *lower ventilation* yang lebih optimal..

3. Hasil dan Diskusi

3.1. Evaluasi Penambahan *Lower Ventilation* pada sisi depan bangunan

Hasil komparasi antara kondisi eksisting rumah dan penambahan *lower ventilation* pada level 20 cm di atas permukaan lantai dapat dilihat pada gambar 6. Gambar 6 (a) merupakan hasil simulasi pada kondisi eksisting rumah tanpa *lower ventilation*. Kontur aliran udara yang terlihat pada Gambar 6 a distribusi aliran udara yang terkadi sangat rendah. Aliran udara yang terjadi berkisar 0 – 0,1 m/s, dengan aura tenang yang cukup mendominasi. Pada kondisi ini bukaan 24 jam hanya berada pada bagian atas dinding yaitu pada level 2,25 m.

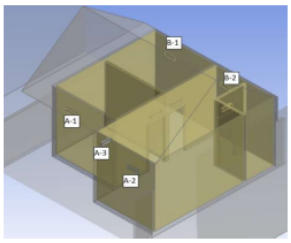


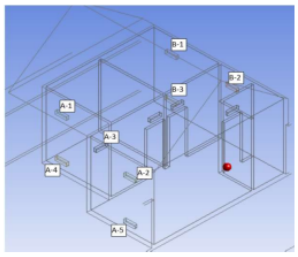
(a) **(b)**

Gambar 6 (a) Kondisi ekstisting rumah; (b) Penambahan *lower ventilation*.

Tabel 4. Kondisi Aliran Udara Simulasi Ke-1

CASE	Group of Ventilation	Description	Air Velocity (m/s)		Total Area of Vent Hole	Air Circulation	
			Each Vent.	Total		m3/s	ACH
1-A. (Existing Condition), Wind blows from front	Outlet (Rear Vent)	**B.1** upper_rear_vent_1	0,5737	1,1489	0,1500	0,1723	6,2668
		B.2 upper_rear _vent_2	0,5752				
	Inlet (Front Vent)	**A.1** upper_vent_1	0,3643	1,0694	0,2250	0,2406	8,7495
		A.2 upper_vent_2	0,2705				
		A.3 upper_vent_3	0,4346				
1-B. (Existing Condition), Wind blows from Right Side	Outlet (Rear Vent)	**B.1** upper_rear_vent_1	0,1456	0,2231	0,1500	0,0335	1,2171
		B.2 upper_rear _vent_2	0,0775				
	Inlet (Front Vent)	**A.1** upper_vent_1	0,0508	0,1552	0,2250	0,0349	1,2702
		A.2 upper_vent_2	0,1452				
		A.3 upper_vent_3	-0,0408				
2-A. (With Lower Ventilation, Wind blows from front	Outlet (Rear Vent)	**B.1** upper_rear_vent_1	0,6094	1,8326	0,2250	0,4123	14,9942
		B.2 upper_rear _vent_2	0,6131				
		B.3 Lower_rear_vent_3	0,6101				
	Inlet (Front Vent)	**A.1** upper_vent_1	0,3151	1,6893	0,3750	0,6335	23,0354
		A.2 upper_vent_2	0,2076				
		A.3 upper_vent_3	0,3876				
		A.4 Lower_vent_4	0,3563				
		A.5 Lower_vent_5	0,4226				
2-B. (With Lower Ventilation, Wind blows from Left Side	Outlet (Rear Vent)	**B.1** upper_rear_vent_1	0,1729	0,2435	0,2250	0,0548	1,9924
		B.2 upper_rear _vent_2	0,0456				
		B.3 Lower_rear_vent_3	0,0251				
	Inlet (Front Vent)	**A.1** upper_vent_1	0,0914	0,4738	0,3750	0,1777	6,4615
		A.2 upper_vent_2	0,1156				
		A.3 upper_vent_3	0,1024				
		A.4 Lower_vent_4	0,0024				
		A.5 Lower_vent_5	0,1621				





Evaluasi juga dilakukan dengan melihat perbedaan arah datang angin terhadap kondisi aliran udara yang terjadi di dalam rumah pada kondisi eksisting maupun dengan penambahan *lower ventilation*. Arah datang angin 90° mengakibatkan penurunan kecepatan udara rata-rata disetiap *inlet* sebesar 85,8%.Hal tersebut mengakibatkan penurunan *air change per hour* di dalam ruang yaitu dari 8,7 ACH menjadi 1,27 ACH. Namun apabila dikomparasikan dengan penambahan *lower ventilation*, kecepatan aliran udara dan ACH yang ± 85%. Hasil ini menunjukkan bahwa adanya potensi peningkatan kondisi aliran udara untuk rumah tinggal sederhana yang dipengaruhi oleh *lower ventilation*.

Hasil ini menunjukkan bahwa strategi perletakkan ventilasi pada bagian bawah menyebabkan tekanan angin eksternal memasukkan udara melalui ventilasi rendah di sisi tekanan tinggi dan keluar melalui ventilasi di sisi tekanan rendah Posisi ventilasi yang rendah memanfaatkan aliran angin horizontal alami yang dapat meningkatkan kecepatan udara di dalam ruangan (Stasi, dkk; 2024). Selain itu juga, ventilasi rendah ini memfasilitasi udara yang lebih dingin dan padat masuk ke dalam ruangan yang kemudai menggantikan udara yang lebih hangat. Proses ini mendukung aliran konvenktif alami, dimana udara terus bergerak secara vertikal dan horzintal serta dapat meningkakan dinamika udara di dalam ruangan (Khan, N; 2008).

3.2 Pengaruh *Lower Ventilation* pada sisi samping

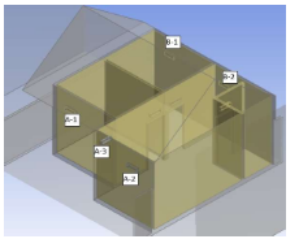
Pengujian pada konfigurasi *lower ventilation* dilakukan juga pada posisi yang berbeda. Pada awal simulasi, hasil *streamline* aliran udara di luar bangunan menunjukkan adanya potensi peningkatan kecepatan angin pada lorong samping bangunan. Kondisi ini akan memberikan kesempatan pada sisi samping bangunan untuk dijadikan *inlet lower ventilation.* Oleh karena itu dilakukan pengujian kembali dengan konfigurasi *lower ventilation* yang berada di sisi samping. Penambahan *lower ventilation* di sisi samping memberikan kesempatan juga untuk kamar tidur belakang mendapatkan udara segara melalui *inlet* tambahan.

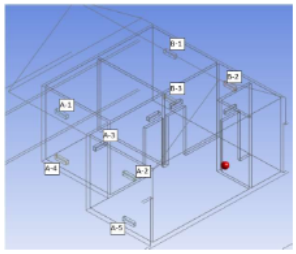
Tabel 5 merupakan perbandingan hasil dari 3 kondisi rumah, yaitu (1) Kondisi Ekstiting; (2) Penambahan *lower ventilation* pada sisi depan bangunan; (3) Penambahan *lower ventilation* pada sisi samping bangunan. Dilihat dari nilai kecepatan angin yang terjadi pada setiap *inlet lower ventilation*, nilai kecepatan angin tertinggi terjadi pada *inlet* yang diposisikan pada sisi samping dengan kondisi arah datang angin 0°. Kondisi aliran udara ini dipengaruhi oleh efek venturi, yaitu fenomena dimana aliran

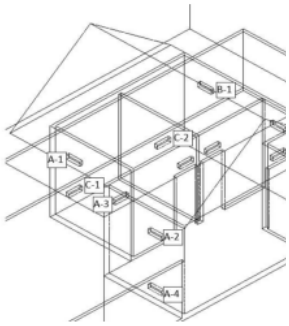
fluida (termasuk udara) yang melewati ruang sempit akan mengalami peningkatan kecepatan. Hal ini terjadi akibat energi kinetik aliran meningkat untuk menjaga kontinuitas dalam kondisi sempit. Selain itu, lorong yang membatasu ruang dimana udara mengalir akan engarhkan udara hanya ke satu arah. Dengan area penampang yang lebih kecil dibandingkan ruang terbuka, maka angin akan mengalami peningkatan kecepatan.

Tabel 5. Kondisi Aliran Udara Simulasi Ke-2

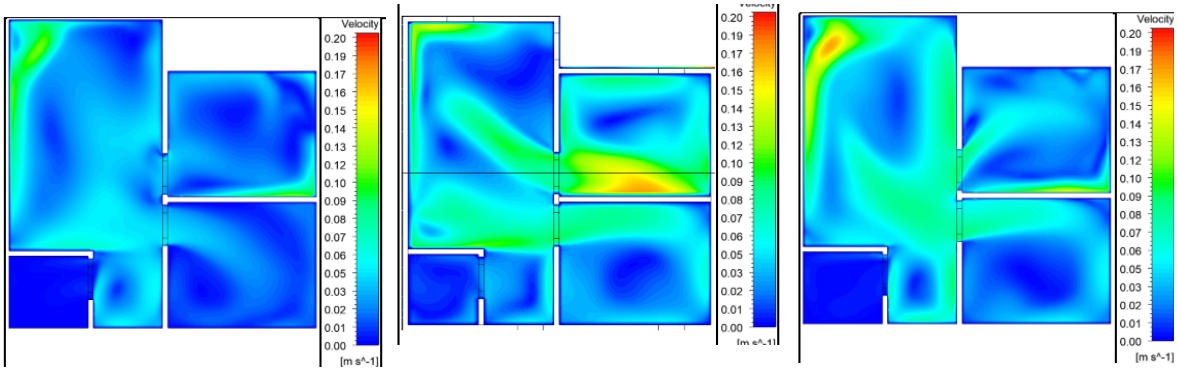
CASE	Group of Ventilation	Description	Air Velocity (m/s)		Total Area of Vent Hole	Air Circulation	
			Each Vent.	Total		m3/s	ACH
1-A. (Existing Condition), Wind blows from front	Outlet (Rear Vent)	**B.1** upper_rear_vent_1	0,5737	1,1489	0,1500	0,1723	6,2668
		B.2 upper_rear _vent_2	0,5752				
	Inlet (Front Vent)	**A.1** upper_vent_1	0,3643	1,0694	0,2250	0,2406	8,7495
		A.2 upper_vent_2	0,2705				
		A.3 upper_vent_3	0,4346				
1-B. (Existing Condition), Wind blows from Right Side	Outlet (Rear Vent)	**B.1** upper_rear_vent_1	0,1456	0,2231	0,1500	0,0335	1,2171
		B.2 upper_rear _vent_2	0,0775				
	Inlet (Front Vent)	**A.1** upper_vent_1	0,0508	0,1552	0,2250	0,0349	1,2702
		A.2 upper_vent_2	0,1452				
		A.3 upper_vent_3	-0,0408				
2-A. (With Lower Ventilation, Wind blows from front	Outlet (Rear Vent)	**B.1** upper_rear_vent_1	0,6094	1,8326	0,2250	0,4123	14,9942
		B.2 upper_rear _vent_2	0,6131				
		B.3 Lower_rear_vent_3	0,6101				
	Inlet (Front Vent)	**A.1** upper_vent_1	0,3151	1,6893	0,3750	0,6335	23,0354
		A.2 upper_vent_2	0,2076				
		A.3 upper_vent_3	0,3876				
		A.4 Lower_vent_4	0,3563				
		A.5 Lower_vent_5	0,4226				
2-B. (With	Outlet (Rear Vent)	**B.1** upper_rear_vent_1	0,1729	0,2435	0,2250	0,0548	1,9924
		B.2 upper_rear _vent_2	0,0456				
		B.3 Lower_rear_vent_3	0,0251				
	Inlet (Front Vent)	**A.1** upper_vent_1	0,0914	0,4738	0,3750	0,1777	6,4615
		A.2 upper_vent_2	0,1156				
		A.3 upper_vent_3	0,1024				
		A.4 Lower_vent_4	0,0024				
		A.5 Lower_vent_5	0,1621				
3-A. (With Side Lower Ventilation, Wind blows from Front Side	Outlet	**B.1** upper_rear_vent_1	0,4879	2,0958	0,3000	0,6287	22,8634
		B.2 upper_rear _vent_2	0,4552				
		C.1 Lower_Side vent_1	0,6748				
		C.1 Lower_Side vent_1	0,4779				
	Inlet	**A.1** upper_vent_1	0,4895	2,0111	0,3000	0,6033	21,9396
		A.2 upper_vent_2	0,4002				
		A.3 upper_vent_2	0,5428				
		A.4 Lower Vent_1	0,5787				
3-B. (With Side Lower Ventilation, Wind blows from Left Side	Outlet	**B.1** upper_rear_vent_1	0,2053	0,4096	0,3000	0,1229	4,4687
		B.2 upper_rear _vent_2	0,0132				
		A.3 upper_vent_3	0,1911388				
		A.1 upper_vent_1	0,1289568				
	Inlet	**A.2** upper_vent_2	0,1016898	0,4791	0,3000	0,1437	5,2263
		A.4 Lower Vent_1	0,1482816				
		C.1 Lower_Side vent_1	0,1080				
		C.1 Lower_Side vent_1	0,1211				





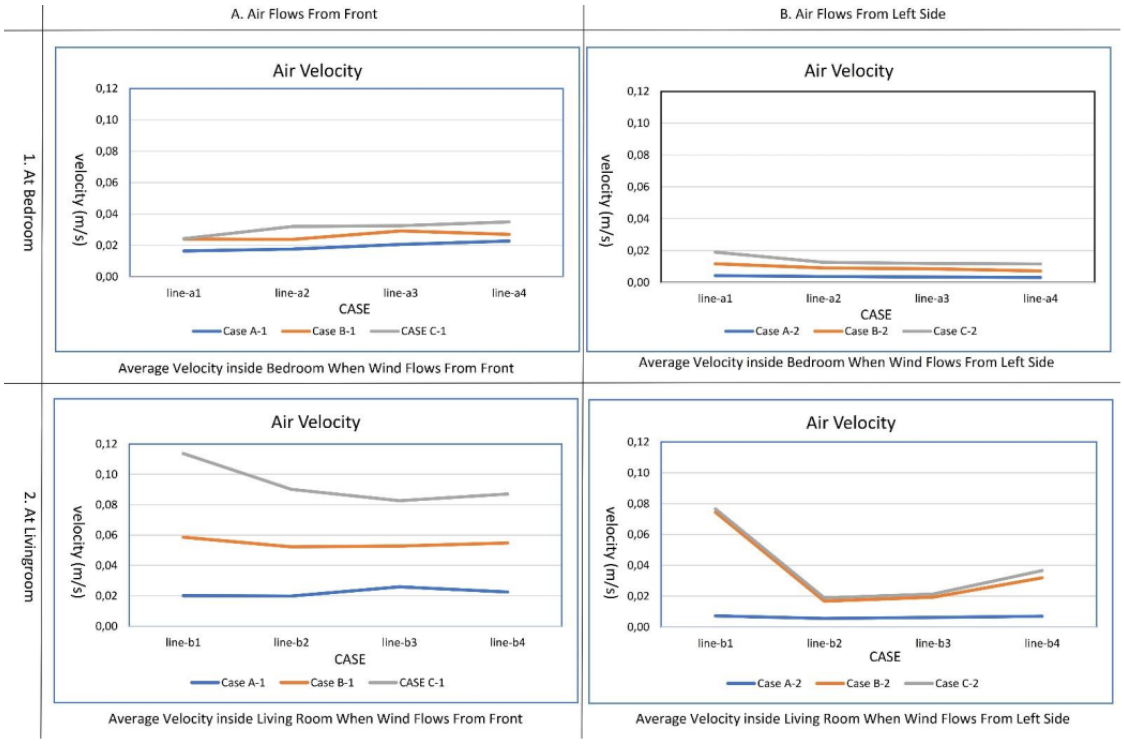


Potensi *inlet lower ventilation* yang lebih baik pada sisi samping bangunan ditunjukkan pada kontur distribusi aliran udara yang diterlihat jelas pada Gambar 7. Kontur distribusi aliran udara pada Gambar 7 (a), (b), (c) menunjukkan dengan jelas adanya perbedaan luasan area tenang (*calm area*) yang terjadi di dalam ruangan. Kondisi eksisting rumah cendurung memiliki luasan area tenang yang cukup dominan dibandingkan dengan model yang ditambahkan *lower ventilation*. Hasil simulasi menunjukkkan bahwa area tenang di dalam ruangan yang ditandai dengan minimnya aliran udara berkurang hingga 30% setelah penambahan *lower ventilation*. Adanya pengurangan area stagnan yang cukup signifikan, khususnya pada konfigurasi *lower ventilation* yang berada disisi samping. *Lower ventilation* yang diletakkan di sisi samping mengakibatkan penambahan area aktif aliran udara terjadi juga di kamar belakang. Tentu saja hal ini penting sekali untuk peningkatan kualitas udara dan kenyamanan penghuni.



Gambar 7. (a) Kondisi ekstisting rumah; (b) Penambahan *lower ventilation* pada sisi depan; (c) Penambahan *lower ventilation* pada sisi samping.

Untuk analisis yang lebih detail, dilakukan pula pendataan pada setiap ruang untuk mengetahui perbedaan efek *lower ventilation terhadap* kondisi aliran udara. Grafik pada Gambar 8 menunjukkan bahwa, rumah yang diberi tambahan *lower ventilation* memiliki kecepatan angin yang lebih tinggi dibandingkan dengan rumah tanpa *lower ventilation.* Dengan *lower ventilation* akan memberikan kesempatan peningkatan kecepatan udara dan pertukaran udara segar yang lebih baik, karena udara dingin yang bergerak pada level bawah dapat bergerak masuk akibat adanya perbedaan temperatur dan tekanan (Setiati, TW dkk; 2023).



Gambar 8. Grafik kecepatan aliran udara (m/s) di setiap ruang.

4. Kesimpulan

Hasil ujicoba terhadap penambahan *lower ventilation* pada rumah tinggal sederhana menunjukkan adanya potensi untuk meningkatkan kualitas lairan udara dalam ruang. *Lower ventilation* yang diposisikan pada sisi depan atau samping memberikan efek yang positif untuk meningkatkan

kecepatan aliran udara dan potensi *air change per hour* di dalam ruang. Adanya pengurangan 30% area tenang (*calm area*) pada ruang dalam rumah dengan penggunaan *lower ventilation* pada sisi depan bangunan. Peningkatan area aktif aliran udara > 0,12 m/s dengan penempatan *lower ventilation* di sisi samping, dikarenakan ruang kamar belakang dapat terfasilitasi *lower ventilation.* Berdasarkan analisis dan evaluasi terhadap hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa *lower* ventilation memberikan pengaruh yang positif dan dapat dijadikan salah satu strategi desain untuk optimisasi ventilasi alami. Hasil penelitian ini dapat dilanjutkan untuk diteliti lebih detail terkait dengan konfigurasi dimensi dan level penempatan *lower ventilation*, agar dapat diketahui rekomendasi desain yang lebih baik untuk optimisasi ventilasi alami pada rumah tinggal sederhana di daerah tropis lembab.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh DIPA Direktorat Riset, Teknologi dan Penelitian, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset dan Teknologi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Tahun Anggaran 2024 **(Nomor Kontrak: 067/Unanti.A12/LPPM/PI/2024)**

Daftar Pustaka

Chungloo, S., Limmeechokchai, B. 2007. *Application of passive cooling systems in the hot and humid climate: The case study of solar chimney and wetted roof in Thailand*. *Building and Environment*, 42(9), 3341-3351. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.08.030

Febrita, Yuswinda. 2011. Ventilasi Solar Chimney sebagai Alternatif Desain *Passive Cooling* di Iklim Tropis Lembab. Jurnal Ruang, Vol.2, No.1, hal: 28-38.

Guo W, Liang S, He Y, Li, W, Xiong, Bo, Wen, Hongyan. 2022. *Combining energy plus and CFD to predict and optimize the passive ventilation mode of medium sized gymnasium in subtropical regions. Journal of Building and Environment. Vol.20*7-108420. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108420

Khan, N., Su, Y., & Riffat, S. B. (2008). *A review on wind-driven ventilation techniques*. Energy and Buildings, 40(8), 1586-1604. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.02.015

Kubota, T., Chyee, D. T. H., & Ahmad, S. 2009. *The effects of night ventilation technique on indoor thermal environment for residential buildings in hot-humid climate of Malaysia*. Energy and Buildings, 41(9), 937-946. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.03.008

Maulianti, Syaidatul, As, Zulfikar Ali, Junaidi. 2021. Kecukupan Udara Mempengaruhi Kenyaman Pada Ruang Kamar. Jurnal Kesehatan Lingkungan, Vol. 18, No.1, hal 19-26. https://doi.org/10.31964/jkl.v18i1.272

Rahman, M. M., Rasul, M. G., & Khan, M. M. K. (2017). *Energy conservation measures in an institutional building in subtropical climate in Australia*. Applied Thermal Engineering, 124, 701-710. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.04.00

Setiati, Tri Woro, Sandra Eka Febrina, Fajar Sadik Islami (2023). *Performance of Lower Ventilation Opening to Improve Air Change per Hour in Classroom at Tropical Humid Region (Case Study: Palembang City)*. Jurnal Kejuteraan SI 6 (1), 299-309. https://doi.org/10.17576/jkukm-2023-si6(1)-26

Stasi, Roberto, Ruggieor, F, Berardi, U. 2024. *Natural ventilation effectiveness in low-income housing to challenge energy poverty. Energy & Building. Vol 304- 113836.* https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113836

Sukawi, Agung Dwiyanto, Gagoek Hardiman (2015). Model Ventilasi Atap pada Pengembangan Rumah Sederhana di Lingkungan Berkepadatan Tinggi. Prosiding SNST ke-6, 26-31.

Zhang D, Ding Er, Bluyssen P.M. 2022. *Guidance to assess ventilation performance of a classroom based on CO2 monitoring. Journal Indoor and Built Environment* Vo. 31 (4) page 1107-1126. https://doi.org/10.1177/1420326X211058743