

## PENGARUH KEPADATAN BANGUNAN TERHADAP PERMEABILITAS PADA RUMAH SAKIT DI INDONESIA

Vanessa Aulia Geraldine<sup>1\*</sup>, Nedyomukti Imam Syafii<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Program Studi Magister Arsitektur, Departemen Teknik Arsitektur Dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Jl. Grafika No.2 Sinduadi Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55281  
[\\*vanessaaulia97@mail.uqm.ac.id](mailto:*vanessaaulia97@mail.uqm.ac.id)

Diterima: 09-09-2022 Direview : 12-10-2022 Direvisi : 25-10-2022 Disetujui: 25-10-2022

**ABSTRAK.** Seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk di Indonesia peningkatan akan kebutuhan layanan kesehatan juga semakin meningkat, khususnya kebutuhan rumah sakit. Rumah Sakit Paru dr Ario Wirawan (RSPAW) Salatiga saat ini sedang dalam tahap perencanaan untuk pembangunan. Pembangunan rumah sakit ini akan mempengaruhi kepadatan bangunan yang ada di kawasan eksisting. Berdasarkan penelitian terdahulu bahwa densitas bangunan memiliki pengaruh besar terhadap iklim mikro disekitarnya khususnya terhadap permeabilitas angin pada kawasan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh berbagai densitas bangunan untuk mengoptimalkan permeabilitas kawasan agar sirkulasi udara dapat terdistribusi dengan optimal pada kawasan Rumah Sakit Paru dr Ario Wirawan. Penelitian ini akan menggunakan metode simulasi dengan *Rhinoceros* sebagai perangkat permodelan yang akan dilanjutkan dengan metode analisis CFD dari perangkat tambahan *Grasshopper*. Selanjutnya, untuk melakukan analisis simulasi CFD akan menggunakan salah satu perangkat bagian dari *Ladybug Tools* yaitu *Butterfly*. Hasil penelitian menunjukkan apabila pada kawasan RSPAW melakukan pengembangan dengan menambah kepadatan bangunan tanpa mempertimbangkan permeabilitas akan menurunkan kecepatan angin rata-ratanya. Permeabilitas yang dianjurkan adalah minimal 70% untuk mencapai kategori dapat diterima berdasarkan standar kenyamanan angin. Sedangkan untuk permeabilitas dibawah 70% dianggap kurang menguntungkan. Meskipun begitu, permeabilitas minimal 85% telah terbukti lebih baik pada kedua arah datang angin untuk dapat masuk kategori dapat diterima.

**Kata kunci:** rumah sakit, permeabilitas udara, kepadatan bangunan, iklim mikro

**ABSTRACT.** Along with population growth in Indonesia, the need for health services is also increasing, especially for hospitals. Dr. Ario Wirawan's Pulmonary Hospital is currently in the process of planning to develop. The development of this hospital will affect the density of existing buildings in the existing area; based on previous research, the density of buildings significantly influences the surrounding microclimate, especially wind permeability in the area. This study aims to determine the effect of various building densities to optimize the permeability of the area so that air circulation can be optimally distributed in the area of Dr. Ario Wirawan Lung Hospital. A simulation method with a quantitative approach will be used. This research will use *Rhinoceros* as a modeling tool followed by the CFD analysis method from *Grasshopper* enhancement. Furthermore, this research will use *Ladybug Tools* and *Butterfly* plugin to analyze the CFD simulation. The results show that if the RSPAW area develops by increasing the density of buildings without considering the permeability will reduce the average wind speed. The recommended permeability percentage is at least 70% to reach an acceptable category based on wind comfort standards, as more than 70% is acceptable. However, the permeability of at least 85% is better in both wind directions, being acceptable.

**Keywords:** hospital, wind permeability, building density, microclimate

### PENDAHULUAN

Peningkatan pertumbuhan penduduk di Indonesia setiap tahunnya menyebabkan kebutuhan akan sarana kesehatan juga semakin meningkat. Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat pada tahun 2022 jumlah rumah sakit (RS) di Indonesia adalah sebanyak 3.112 unit. Jumlah tersebut meningkat sebesar 5,17% dari tahun

sebelumnya yang berjumlah 2.959 unit (Badan Pusat Statistik, 2022). Provinsi Jawa Tengah menempati urutan ketiga dalam jumlah rumah sakit terbanyak di Indonesia (Kementerian Kesehatan, 2019). Seiring dengan meningkatnya kebutuhan sarana kesehatan terutama rumah sakit, tentu membutuhkan iklim mikro yang berkualitas tinggi. Penelitian sebelumnya telah menyarankan bahwa kawasan yang memiliki ventilasi alami dan

lingkungan termal yang nyaman dapat meningkatkan kelayakan hidup dan vitalitas penghuni (Jiang et al., 2020). Pengkondisian udara pada rumah sakit sangat penting untuk diperhatikan, karena berhubungan langsung terhadap tubuh manusia (Santosa, 2007). Oleh karena itu, menjadi esensial untuk memperhatikan kualitas iklim mikro terutama pada kawasan rumah sakit.



Gambar 1 Rumah Sakit Paru dr Ario Wirawan Salatiga  
(sumber: jateng.inews.id)

Rumah Sakit Paru dr. Ario Wirawan (RSPAW) merupakan salah satu rumah sakit khusus penyakit paru yang berada di Salatiga, Jawa Tengah, Indonesia (Gambar 1). RSPAW pertama kali didirikan pada tahun 1934. Sejak awal didirikan hingga saat ini RSPAW terus mengalami pengembangan untuk meningkatkan layanan kesehatan dengan menambah unit pelayanan dan bangunan baru. Saat ini, RSPAW sedang dalam perencanaan untuk menambah bangunan-bangunan baru berdasarkan Program Kerja Strategis (PKS) Rumah Sakit Paru dr Ario Wirawan Salatiga tahun 2020-2024 yang dimuat dalam Perencanaan Kinerja Tahunan Rumah Sakit Paru Dr. Ario Wirawan Salatiga Tahun 2021, menjadi rumah sakit pendidikan yang memiliki pelayanan paru dan pernapasan berskala nasional (Direktorat Jenderal Pelayanan Kesehatan & Indonesia, 2021). Tujuan diadakan pengembangan rumah sakit ini adalah untuk meningkatkan pelayanan kesehatan kepada masyarakat terutama dalam penanganan kesehatan paru dan pernapasan. Pengembangan rumah sakit harus direncanakan dengan mempertimbangkan aspek lingkungan dan iklim mikro setempat agar tidak mencapai kerugian.

Sirkulasi angin merupakan salah satu faktor utama dalam pembentukan iklim mikro pada suatu kawasan (Iek et al., 2014; Satwiko, 2008). Pada suatu kawasan yang memiliki kecepatan angin yang terlalu rendah dapat menyebabkan udara stagnan yang tidak nyaman, namun jika memiliki kecepatan angin

yang terlalu tinggi dapat menjadi berbahaya bagi manusia. Sirkulasi udara yang baik adalah sirkulasi udara yang mampu dan cukup untuk memfasilitasi penetrasi angin ke seluruh kawasan sehingga udara stagnan yang merugikan dapat dikurangi (World Health Organization, 2021).

Sirkulasi udara pada suatu kawasan dapat terlihat dari nilai permeabilitas angin. Permeabilitas angin (P) merupakan persentase yang menunjukkan seberapa permeabelnya suatu bangunan atau sekelompok bangunan pada suatu kawasan (Hong Kong Building Department, 2011). Ruang Intervensi (RI) merupakan ruang yang terbuka ke atas (vertikal). Elemen Permeabilitas (EP) merupakan ruang diatas, dibawah, maupun diantara bangunan yang dengan lebar bersih minimum dan tinggi bersih 3 m. Assessment Zone atau zona penilaian merupakan ruang membatasi pembagian ruang vertikal untuk menilai pemenuhan persyaratan pemisahan bangunan. Pembagian zona penilaian terdiri dari zona rendah (dalam jarak 20m dari 0m), zona tengah (20-60m dari 20m) dan zona tinggi (lebih tinggi dari 60m dari 0m). Dapat diperoleh dengan rumus berikut:

$$P = \frac{\text{Total Area RI+EP}}{\text{Assessment Zone}} \times 100\% \quad \text{Persamaan (1)}$$

Keterangan:

- P = Permeabilitas (%)
- RI = Ruang Intervensi (m<sup>3</sup>)
- EP = Elemen Permeabilitas (m<sup>3</sup>)
- AZ = Assessment Zone (m<sup>3</sup>)

Pengaruh lingkungan fisik pada permeabilitas suatu kawasan akan berbeda bergantung pada bangunan dan permukaan yang berada di atasnya. Menurut Givoni (1998) dalam Kubota, dkk (2008) mengatakan bahwa kecepatan angin di dekat dasar bangunan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu: konfigurasi bangunan: ketinggian bangunan, lebar bangunan, pengaturan bangunan, dan kepadatan bangunan (Kubota et al., 2008). Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengetahui upaya-upaya meningkatkan permeabilitas kecepatan angin rata-rata dengan pengaturan bangunan. Ng mengusulkan menambah celah pada blok bangunan untuk meningkatkan permeabilitas (Ng, 2009). Ketika bangunan bertingkat dibangun di tengah-tengah sekelompok bangunan bertingkat rendah maka kecepatan angin dapat meningkat hingga dua kali lipat (van Druenen et al., 2019). Penelitian terdahulu mengenai kecepatan angin rata-rata

pada rasio kepadatan bangunan menjelaskan bahwa peningkatan rasio kepadatan bangunan menurunkan kecepatan angin rata-rata wilayah (Kubota et al., 2008). Kepadatan bangunan yang terlalu padat berdampak buruk pada keseluruhan ventilasi luar area, mengurangi kualitas udara dan kenyamanan pejalan kaki di luar ruangan (Hu et al., 2018).

Prosedur penilaian kenyamanan angin diperlukan untuk menilai mengetahui tingkat kenyamanan angin pada suatu wilayah kawasan. Prosedur untuk penilaian aliran angin yang untuk pejalan kaki terdiri dari (1) Data statistik meteorologi dari stasiun cuaca terdekat; (2) Informasi aerodinamis daerah dan (3) Kriteria kenyamanan angin mekanis (Mittal et al., 2018).

Tabel 1. Penilaian Kenyamanan Angin Pada Pejalan Kaki

Kategori	Kecepatan ambang batas	Deskripsi Aktivitas	Keterangan
Tidak menguntungkan	<1.5 /Ur	N/A	Tidak ada angin dirasakan
Dapat diterima	<1.8 /Ur	Duduk santai	Angin berhembus ringan
	<3.6 /Ur	Berdiam sebentar	Angin berhembus
	<5.3 /Ur	Berjalan santai	Angin berhembus sedang
Dapat ditoleransi	<7.6 /Ur	Berjalan cepat	Angin Segar
Tidak dapat ditoleransi	>7.6 /Ur	Tidak cocok untuk beraktivitas	Angin kencang
Berbahaya	>15 /Ur	Berbahaya	Badai

(sumber: Du et al. 2017)

Du et al. (2017) mengusulkan kriteria kenyamanan angin untuk daerah perkotaan dengan kondisi angin yang buruk seperti Hong Kong, kenyamanan angin menjadi terburuk di musim panas dan lembab. Dalam kriteria ini rasio kecepatan rata-rata keseluruhan (OMVR) digunakan sebagai parameter ambang (Tabel 1), yang mewakili integrasi nilai arah rasio kecepatan rata-rata ( $OMVR=UP/Ur$ ), UP adalah kecepatan angin pada tingkat pejalan kaki, sedangkan Ur adalah referensi

kecepatan angin rata-rata dari aliran yang mendekat (Du et al., 2017).

Berbagai penelitian yang telah dilakukan terkait dengan kepadatan bangunan dan sirkulasi udara pada kawasan terutama pada tingkat pejalan kaki. Sebagai contoh, penelitian membahas mengenai pengaruh sudut datang angin dan lebar lintasan pada bangunan bertingkat tinggi (Iqbal & Chan, 2016). Penelitian terperinci mengenai korelasi kepadatan bangunan terhadap kecepatan angin pada area distrik perumahan dengan kepadatan tinggi di China (Hu et al., 2018). Penelitian studi eksploratif alternatif untuk melakukan perhitungan *Air Changes Rates* (ACH) dan efektivitas ventilasi alami dengan pendekatan penggunaan praktis CFD untuk memberikan informasi rinci tentang modeling numerik (Sakiyama et al., 2021). Penelitian tentang kenyamanan termal pada area pejalan kaki pada jalur pedestrian kampus yang berfungsi dasar guna menunjang aktivitas perkuliahan (Sangaji et al., 2015). Mayoritas penelitian sebelumnya terbatas pada analisis aliran angin di sekitar bangunan konvensional dan bertingkat tinggi. Diantara penelitian diatas hubungan mengenai kepadatan bangunan dan permeabilitas bangunan pada kawasan tropis lembab belum dibahas secara mendalam. Penelitian sebelumnya juga belum membahas bagaimana keterkaitan dengan bangunan rumah sakit yang memiliki kepadatan bangunan dan bertingkat rendah.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kepadatan bangunan terhadap permeabilitas udara pada daerah tropis. Terutama pada tipologi rumah sakit yang memiliki karakteristik bangunan tersendiri. Pada penelitian ini, pengujian dilakukan pada Rumah Sakit Paru dr Ario Wirawan Salatiga dari dua arah sumber angin (tenggara dan barat laut) dengan masing-masing konfigurasi empat kepadatan bangunan yang berbeda untuk mengetahui pola aliran angin dan kecepatan angin. Untuk tujuan ini, menggunakan metode simulasi terowongan angin menggunakan plugin Butterfly di Grasshopper. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembang Rumah Sakit Paru dr Ario Wirawan Salatiga, maupun pengembang rumah sakit di masa depan. Khususnya dalam merencanakan kepadatan bangunan dengan memperhatikan tingkat sirkulasi udara di dalam kawasan. Dengan demikian, penggunaan sirkulasi udara secara alami dapat meningkatkan kenyamanan pengguna

dan menciptakan iklim mikro yang berkualitas tinggi.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan kuantitatif dengan menggunakan metode simulasi. Penelitian ini dilakukan dengan metode simulasi menggunakan Computational fluid dynamics (CFD). Computational fluid dynamics (CFD) digunakan dalam banyak aplikasi untuk memecahkan masalah aliran secara numerik di lingkungan binaan, mulai dari pemodelan iklim mikro perkotaan untuk termal luar ruangan dan kenyamanan angin pedestrian serta hujan yang digerakkan oleh angin, ventilasi dalam ruangan, dan dispersi polutan luar ruangan. (Blocken et al., 2012). Ada tiga tahapan dalam menjalankan simulasi CFD, secara umum yaitu pre-processing, solving, dan post-processing. Tahapan dari simulasi CFD berupa (1) pre-processing, memasukkan input dan batasan, (2) solving, berupa pengaturan dalam menjalankan program dan (3) post-processing, menganalisa hasil keluaran dari program. Hasil yang didapatkan kemudian akan ditarik kesimpulannya secara deskriptif. Software yang digunakan untuk menjalankan simulasi CFD adalah Butterfly yang merupakan salah satu tools dalam simulasi Ladybug Tools. Butterfly sendiri menggunakan OpenFOAM sebagai perangkat yang dapat menjalankan simulasi CFD dengan validasi paling akurat dan menjalankan beberapa model simulasi dan turbulensi lanjutan.

Pengumpulan data geografis untuk simulasi akan menggunakan google earth untuk memperoleh dimensi geometri dan bentuk dari massa bangunan RSPAW (Gambar 2). Untuk data iklim dan kecepatan angin diambil dari weatherspark.com dan EnergyPlus Weather (.epw) sebagai input pada wind tunnel akan menggunakan data wind rose ([http://climate.onebuilding.org/WMO\\_Region\\_5\\_Southwest\\_Pacific/IDN\\_Indonesia/index.html](http://climate.onebuilding.org/WMO_Region_5_Southwest_Pacific/IDN_Indonesia/index.html)) dengan lokasi Semarang.

Permodelan yang akan disimulasi pada penelitian ini mengacu pada kondisi tapak dan bangunan eksisting RSPAW. Permodelan akan dibuat menjadi dua bagian yaitu studi kondisi eksisting dan studi kondisi modifikasi atau parametrik. Permodelan kondisi eksisting dibuat berdasarkan bangunan dan tapak pada kondisi eksisting RSPAW dengan skala 1:1 pada Rhinoceros.



Gambar 2. Delineasi Rumah Sakit Paru Dr Ario Wirawan Salatiga (sumber: earth.google.com)

Simulasi untuk mengetahui permeabilitas dilakukan dengan menggunakan parametrik model yang disesuaikan dengan kondisi RSPAW. Pada tahap ini dirancang dengan membuat modul plot-plot bangunan yang disesuaikan dengan luas kawasan dan kondisi eksisting tapak RSPAW. Modul yang digunakan dibuat berdasarkan volume bangunan yang direncanakan dalam proposal pengembangan RSPAW yakni sebesar 179.200 m<sup>3</sup>. Untuk modul parametrik yang akan digunakan dalam permodelan diasumsikan sebagai bangunan berjumlah 70 bangunan dengan ukuran 16x16 m dengan tinggi bangunan 10 meter. Untuk simulasi, jarak antara modul bangunan akan disesuaikan dengan skenario permeabilitas pada masing-masing model. Perhitungan mengenai jarak antar modul diselesaikan dengan menggunakan persamaan (1).

Nilai permeabilitas yang akan diujikan dalam penelitian ini menggunakan delapan parametrik model dengan tingkat permeabilitas yang bervariasi, yakni 55%, 60%, 65%, 70%, 75%, 80%, 85%, dan 90%. Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan (1) maka jarak antar modul bangunan yang digunakan sebagai berikut:

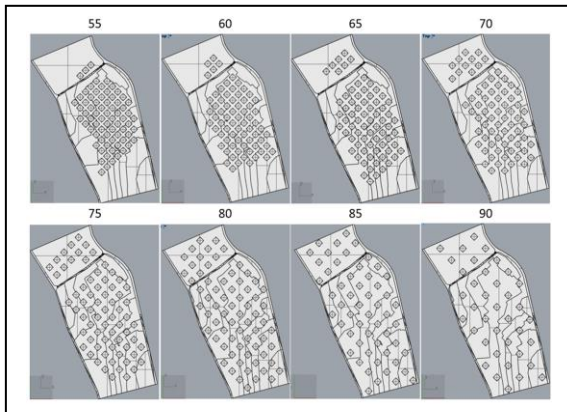
Tabel 2. Perhitungan Modul Bangunan

Nilai Permeabilitas	Nilai Assesment Zone	Nilai RI	Jarak Antar Bangunan (m)
90%	1.792.000	1.612.800	34,6
85%	1.194.666	1.015.466	25,3
80%	896.000	716.800	19,7
75%	716.800	537.600	16
70%	597.333	418.133	13,2
65%	512.000	332.800	11

<b>60%</b>	448.000	268.800	9,3
<b>55%</b>	398.222	219.022	7,8

(sumber: analisis penulis, 2022)

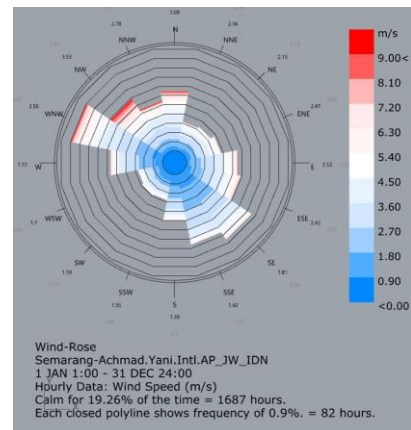
Semua modul terdiri atas satu tingkat, terkecuali pada permeabilitas 85% dan 90% dikarenakan jarak yang berjauhan tidak semua modul blok bangunan dapat masuk ke dalam kawasan sehingga beberapa modul dibuat bertingkat dua untuk dapat memenuhi volume yang direncanakan.



Gambar 3. Pemodelan Simulasi  
(sumber: analisis penulis, 2022)

Untuk mendapat hasil yang optimal dengan kondisi eksisting, perletakan modul bangunan pada model parametrik modifikasi disesuaikan dengan kondisi bangunan pada kondisi eksisting RSPA. Semua modul terdiri atas satu tingkat, terkecuali pada permeabilitas 85% dan 90% dikarenakan jarak yang berjauhan tidak semua modul blok bangunan dapat masuk ke dalam kawasan sehingga beberapa modul dibuat bertingkat dua untuk dapat memenuhi volume yang direncanakan.

Kondisi batas dalam penelitian ini menggunakan data dari windrose Semarang (gambar 4) dengan arah datang angin berdasarkan arah angin tercepat berasal dari tenggara dan barat laut. Dengan kecepatan angin yang digunakan adalah 3 m/s.



Gambar 4. Wind Rose Semarang  
(sumber: climate.onebuilding.org)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

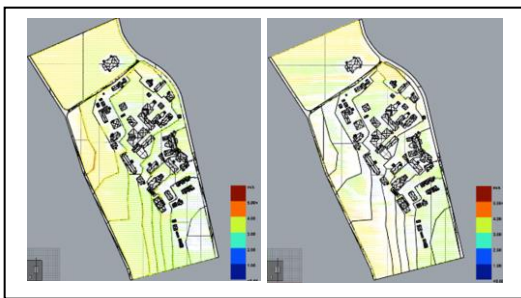
Pada eksisting RSPA tata massa bangunan yang cenderung organik karena dibangun secara bertahap. Perhitungan permeabilitas pada eksisting kawasan RSPA tidak dapat disamaratakan. Berdasarkan hal tersebut untuk mengetahui nilai permeabilitas eksisting kawasan adalah dengan membagi menjadi tujuh bagian (A, B, C, D, E, F, dan G) berdasarkan bentuk dan volume bangunan didalamnya (gambar 5).



Gambar 5. Pembagian area pada eksisting RSPA

Tabel 3. Rata-rata kecepatan angin pada eksisting

Area	Nilai Permeabilitas (%)	Kecepatan Angin (m/s)	
		Tenggara	Barat Laut
A	62,06	2,636	1,410
B	79,37	2,878	1,144
C	68,01	1,730	2,030
D	60,90	1,465	1,907
E	77,99	2,392	2,163
F	58,75	0,892	0,692
G	67,18	1,870	2,115



Tenggara Barat Laut  
 Gambar 6. Hasil Simulasi Kondisi Eksisting

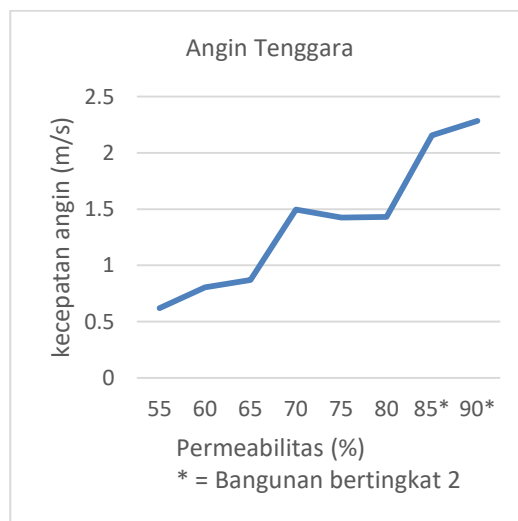
Berdasarkan hasil perhitungan pada kawasan eksisting (gambar 6) bahwa nilai permeabilitas paling rendah terdapat pada area F yakni sebesar 58,75%, sedangkan nilai permeabilitas tertinggi berada pada area B sebesar 79,37%. Sirkulasi udara dari arah tenggara menunjukkan angka paling tinggi yakni 2,878 m/s pada area B, sedangkan dari arah barat laut kecepatan angin paling tinggi pada area E yaitu sebesar 2,163 m/s. Dari kedua arah angin kecepatan angin paling rendah dirasakan pada area F, pada angin dari tenggara yaitu sebesar 0,892 m/s dan dari angin barat laut 0,692 m/s. Perbandingan kecepatan angin dari dua arah angin yang berbeda menunjukkan bahwa angin dari tenggara memiliki tingkat kecepatan angin yang lebih besar dibandingkan dengan angin dari barat laut. Hal tersebut menunjukkan pada kawasan eksisting angin dari arah tenggara lebih mampu terdistribusi secara merata ke dalam kawasan lebih baik dari pada angin dari barat laut.

Tabel 4. Simulasi Angin Tenggara

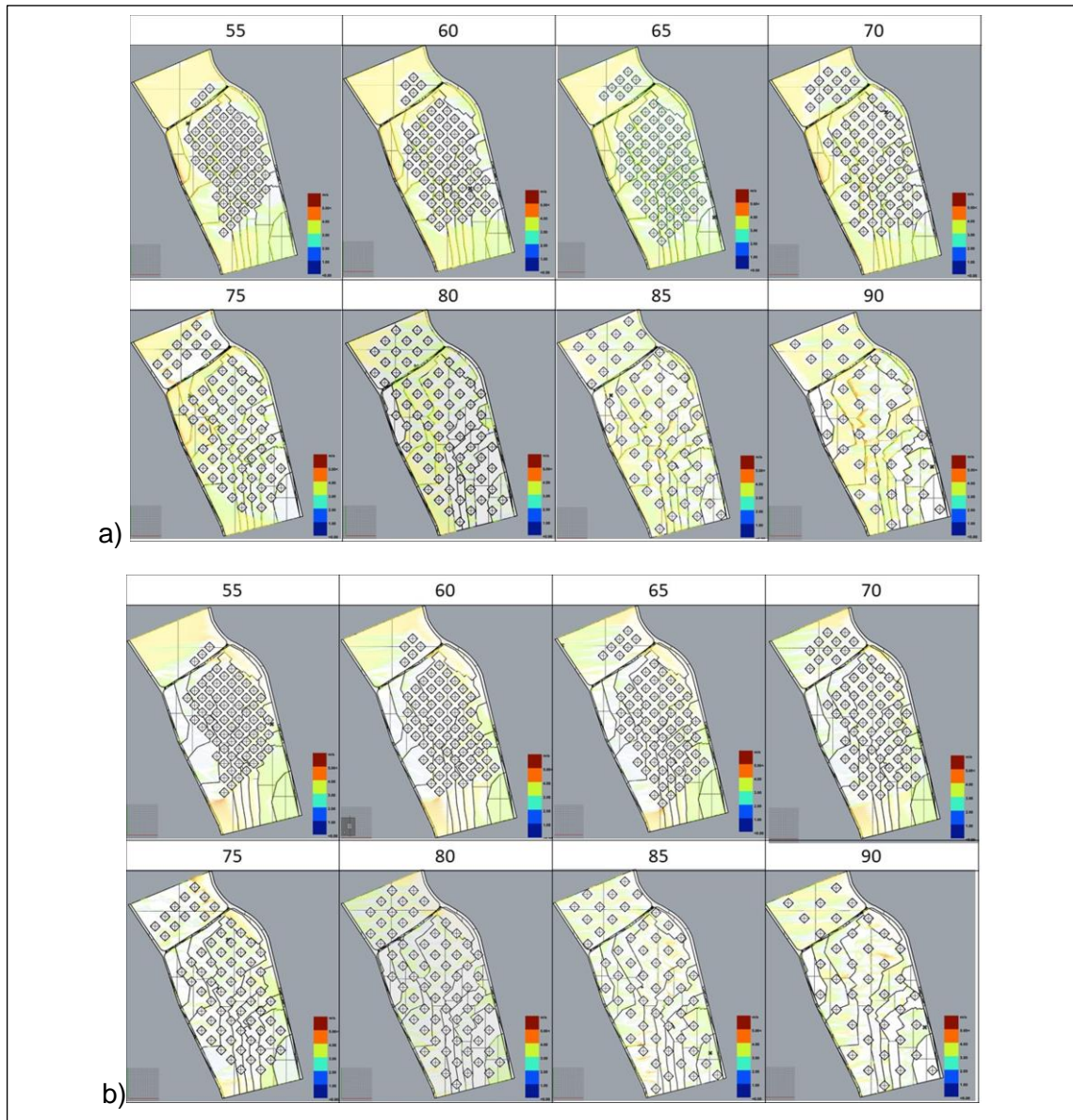
	Permeabilitas (%)	Kecepatan Angin (m/s)
Eksisting	62,06	2,636
	79,37	2,878
	68,01	1,730
	60,90	1,465
	77,99	2,392

	58,75	0,892
	67,18	1,870
Perkembangan	55	0,619
	60	0,805
	65	0,870
	70	1,497
	75	1,426
	80	1,430
	85	2,156
	90	2,285

Berdasarkan hasil dari simulasi angin tenggara (gambar 8.a), sirkulasi udara memiliki kecepatan angin dengan rentang 0,619 m/s sampai dengan 2,285 m/s, hasil ini memiliki penurunan dari permeabilitas eksisting yang memiliki nilai terendah 1,762 m/s dan tertinggi 2,525 m/s. Perubahan volume bangunan pada kawasan RSPAW memiliki pengaruh signifikan terhadap perubahan sirkulasi udara pada kawasan. Pada hasil simulasi angin dari tenggara pada delapan studi kasus permeabilitas memiliki pola rata-rata nilai kecepatan angin yakni mengalami peningkatan pada permeabilitas 55% dan tertinggi adalah pada permeabilitas 90%. Pada studi kasus permeabilitas 55, 60, 65 sirkulasi udara cenderung memiliki kecepatan angin yang rendah yakni < 1 m/s. Pada studi kasus permeabilitas 70 mulai mengalami peningkatan, namun pada permeabilitas 70, 75, 80 ketiga studi kasus menunjukkan hasil yang hampir serupa dan cenderung mengalami sedikit penurunan pada permeabilitas 75 dan 80 dengan kecepatan udara diantara 1,42 m/s sampai 1,49 m/s. Peningkatan yang cukup signifikan terlihat pada permeabilitas 85 dan 90 yang mengalami peningkatan sebesar 0,65 m/s-0,78m/s.



Gambar 7. Rata-rata kecepatan angin tenggara

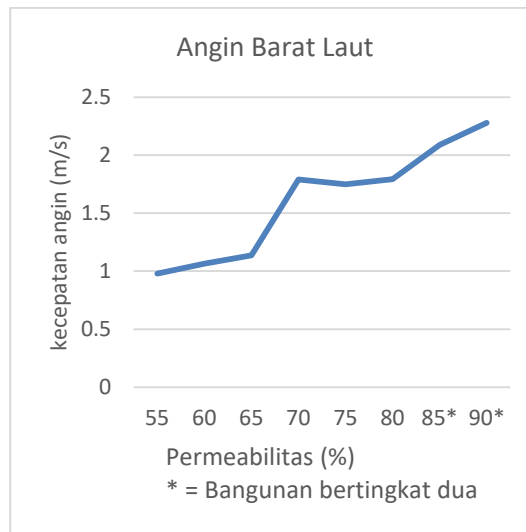


Gambar 8. Hasil Simulasi Arah Angin Tenggara (a); Hasil simulasi arah angin barat laut (b)

Perbedaan rata-rata kecepatan angin dari masing-masing studi kasus permeabilitas terjadi cukup signifikan yaitu  $0,619 \text{ m/s} < V < 2.285 \text{ m/s}$  (gambar 7). Dari perbedaan nilai rata-rata kecepatan angin utara di atas dapat diketahui bahwa perubahan kepadatan bangunan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan permeabilitas di kawasan RSPAW apabila arah angin datang secara lurus dari arah angin tenggara pada simulasi ini.

Berdasarkan hasil dari simulasi angin barat laut (gambar 8b), sirkulasi udara memiliki kecepatan angin rentang  $0,978 \text{ m/s}$  sampai dengan  $2,278 \text{ m/s}$ , hasil ini memiliki penurunan dari permeabilitas eksisting yang memiliki nilai terendah  $1,361 \text{ m/s}$  dan tertinggi  $2,340 \text{ m/s}$ . Pada hasil simulasi angin dari barat laut pada delapan studi kasus permeabilitas memiliki pola rata-rata nilai kecepatan angin yakni mengalami peningkatan pada permeabilitas 55% dan tertinggi adalah pada permeabilitas 90%. Pada studi kasus permeabilitas 55, 60, 65 sirkulasi udara cenderung memiliki kecepatan angin yang rendah yakni  $0,978 \text{ m/s}$  sampai  $1,135 \text{ m/s}$ . Pada studi kasus permeabilitas 70 mulai mengalami peningkatan, namun pada permeabilitas 70, 75, 80 ketiga studi kasus menunjukkan hasil yang hampir serupa meski mengalami sedikit penurunan pada permeabilitas 75 ( $< 0,39 \text{ m/s}$ ) dengan kecepatan udara ketiganya diantara  $1,749 \text{ m/s}$  sampai  $1,791 \text{ m/s}$ . Peningkatan yang terlihat pada permeabilitas 85 dan 90, mengalami peningkatan sebesar  $0,28 \text{ m/s}$ - $0,47 \text{ m/s}$ . Apabila dilihat dari simulasi angin barat laut, konfigurasi permeabilitas pada kumpulan bangunan mempengaruhi distribusi angin dan kecepatan angin secara signifikan.

Pada simulasi angin barat laut, perbedaan rata-rata kecepatan angin dari masing-masing studi kasus permeabilitas juga cukup signifikan yaitu  $0,978 \text{ m/s} < V < 2.278 \text{ m/s}$  (gambae 9). Dari perbedaan nilai rata-rata kecepatan angin utara di atas dapat diketahui bahwa perubahan kepadatan bangunan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan permeabilitas di kawasan RSPAW apabila arah angin datang secara lurus dari arah angin barat laut pada simulasi ini.



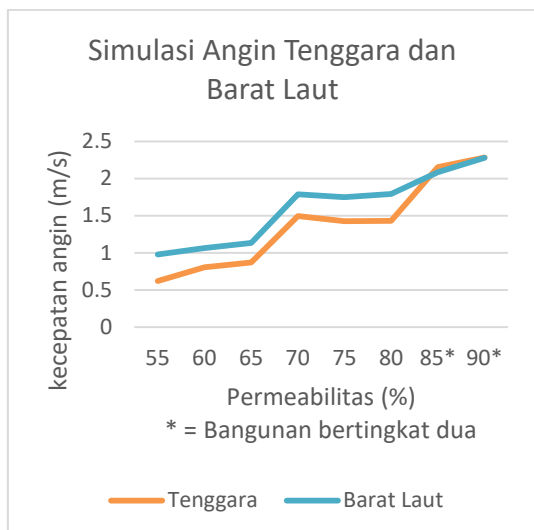
Gambar 7. Rata-rata kecepatan angin barat laut

Tabel 5. Simulasi Angin Barat Laut

Permeabilitas (%)	Kecepatan Angin (m/s)	
Eksisting	62,06	1,410
	79,37	1,144
	68,01	2,030
	60,90	1,907
	77,99	2,163
	58,75	0,692
	67,18	2,115
Perkembangan	55	0,978
	60	1,063
	65	1,135
	70	1,788
	75	1,749
	80	1,791
	85	2,087
	90	2,278

Perilaku aliran angin di semua konfigurasi tidak homogen, dan pola aliran bervariasi untuk kedua arah angin. Pada hasil simulasi angin barat laut pada seluruh studi kasus secara keseluruhan memiliki rata-rata kecepatan angin yang lebih tinggi dibandingkan dengan arah angin tenggara. Namun angin tenggara memiliki rentang kecepatan angin yang lebih besar apabila dibandingkan dengan rentang kecepatan angin dari barat laut. Hasil ini menunjukkan bahwa pada kawasan RSPAW arah datang angin yang berbeda memberikan pengaruh terhadap nilai rata-rata kecepatan angin, namun memiliki pola perubahan peningkatan yang hampir sama seiring dengan perubahan kepadatan bangunan.





Gambar 8. Grafik perbandingan simulasi angin tenggara dan angin barat laut

Berdasarkan simulasi dari arah angin tenggara maupun barat laut memiliki grafik kecepatan angin yang meningkat ke atas, yaitu peningkatan kecepatan angin seiring dengan semakin besar presentase permeabilitasnya. Hal ini sesuai dengan pernyataan dari Kubota, dkk (2017) dan Ng (2009) tentang menambah celah bangunan-bangunan dan menurunkan rasio kepadatan bangunan akan meningkatkan kecepatan angin rata-rata. Dalam studi kasus kawasan perkembangan RSPAW ini menunjukkan bahwa semakin berkurangnya kepadatan bangunan akan meningkatkan nilai permeabilitas dengan meningkatkan kecepatan angin rata-rata pada suatu wilayah.

Kecepatan angin rata-rata dari kedua arah datang angin memiliki grafik yang meningkat dengan pola yang saling menyerupai: permeabilitas 55-65% memiliki kecepatan rendah, permeabilitas 70-80% mengalami peningkatan kecepatan dengan grafik cenderung stabil, dan peningkatan paling tinggi pada permeabilitas 85-90%. Peningkatan kecepatan angin rata-rata yang tinggi pada permeabilitas 85-90 besar kemungkinan disebabkan selain karena nilai permeabilitas yang bertambah, juga disebabkan karena terdapat pada konfigurasi terdapat modul bangunan bertingkat dua pada tengah-tengah kawasan. Hal tersebut membuktikan pernyataan van Druenen, dkk (2019) yang menjelaskan bahwa ketika bangunan bertingkat dibangun di tengah-tengah sekelompok bangunan bertingkat rendah maka kecepatan angin dapat meningkat.

Perbandingan hasil simulasi dengan standar yang kenyamanan angin. Penulisan ini menggunakan standar mengenai kecepatan angin yang diusulkan oleh Du dkk (2017) (Tabel 1). Pertimbangan ini dipilih karena usulan penilaian kriteria oleh Du mempertimbangkan kawasan dengan kondisi angin yang lemah, sesuai dengan kecepatan angin pada iklim tropis lembab.

Tabel 6. Perbandingan Hasil Simulasi dengan Standar: Angin Tenggara

Permeabilitas (%)	Kecepatan Angin (m/s)	Standar Kenyamanan Angin	Keterangan
55	0,619	Tidak	Tidak ada angin dirasakan
60	0,805	Tidak	Tidak ada angin dirasakan
65	0,870	Tidak	Tidak ada angin dirasakan
70	1,497	Mendekati dapat diterima	Angin berhembus ringan
75	1,426	Mendekati dapat diterima	Angin berhembus ringan
80	1,430	Mendekati dapat diterima	Angin berhembus ringan
85*	2,156	Dapat diterima	Angin berhembus
90*	2,285	Dapat diterima	Angin berhembus

Tabel 7. Perbandingan Hasil Simulasi dengan Standar: Angin Barat Laut

Permeabilitas (%)	Kecepatan Angin (m/s)	Standar Kenyamanan Angin	Keterangan
55	0,978	Tidak	Tidak ada angin dirasakan
60	1,063	Tidak	Tidak ada angin dirasakan
65	1,135	Tidak	Tidak ada angin dirasakan
70	1,788	Dapat diterima	Angin berhembus ringan
75	1,749	Dapat diterima	Angin berhembus ringan
80	1,791	Dapat diterima	Angin berhembus

			ringan
85*	2,087	Dapat diterima	Angin berhembus
90*	2,278	Dapat diterima	Angin berhembus

Berdasarkan standar kenyamanan angin oleh Du, dkk (2017), studi kasus RSPAW dengan modifikasi kepadatan bangunan menunjukkan bahwa permeabilitas 55-60-65 belum memenuhi standar kenyamanan angin, baik dari arah angin tenggara maupun barat laut. Hasil ini dianggap tidak menguntungkan sebab sirkulasi udara dianggap terlalu rendah untuk tingkat pejalan kaki. Permeabilitas 70-75-80 dianggap dapat diterima (angin berhembus ringan) pada arah angin barat laut, namun arah angin tenggara dikategorikan sebagai mendekati dapat diterima dikarenakan ketiga nilai rata-rata kecepatan angin dari tenggara memiliki perbedaan kecepatan > 0,1m/s dari nilai anjuran yang dapat diterima yaitu 1,5 m/s. Sedangkan pada permeabilitas 85-90 baik pada angin tenggara maupun barat laut keduanya memenuhi standar kenyamanan angin yang dapat diterima yaitu angin berhembus.

Kedua tabel diatas menunjukkan bahwa untuk mencapai kenyamanan angin pada kawasan RSPAW permeabilitas yang dianjurkan adalah minimal 70 % untuk mencapai kategori dapat diterima. Sedangkan untuk permeabilitas dibawah 70% dianggap kurang menguntungkan. Kepadatan bangunan yang terlalu padat berdampak buruk pada keseluruhan ventilasi luar, mengurangi kualitas udara dan kenyamanan pejalan kaki di luar ruangan (Hu et al., 2018). Untuk mencapai kenyamanan angin dapat diterima pada kedua arah angin adalah dengan meningkatkan hingga memiliki nilai permeabilitas sebesar 85% ke atas. Hal tersebut berarti pada studi kasus RSPAW Salatiga dengan menambahkan bangunan bertingkat di tengah-tengah kawasan bangunan ter tingkat rendah sehingga kecepatan angin dapat meningkat.

## KESIMPULAN

Penelitian diatas menunjukkan bahwa nilai kecepatan angin rata-rata pada perkembangan kawasan RSPAW menunjukkan penurunan

angka daripada kecepatan angin rata-rata kondisi eksisting. Hal tersebut menunjukkan apabila pada kawasan RSPAW melakukan pengembangan dengan menambah volume bangunan, maka akan menurunkan kecepatan angin rata-ratanya. Penambahan volume bangunan baru yang tidak terkontrol akan menghambat sirkulasi angin di dalam kawasan.

Penelitian ini juga menguji pengaruh berbagai kepadatan bangunan terhadap permeabilitas kawasan dengan melakukan modifikasi volume bangunan. Hasil menunjukkan bahwa seiring dengan bertambahnya kepadatan bangunan terhadap kawasan uji secara signifikan akan menurunkan nilai presentase permeabilitasnya sehingga menyebabkan penurunan kecepatan angin rata-rata. Hasil ini menunjukkan terdapat trend atau pola perubahan kecepatan angin rata-rata yang tidak linier, dimana berdasarkan hasil simulasi pada kawasan RSPAW menunjukkan bahwa permeabilitas 70% keatas menunjukkan perubahan kecepatan angin yang tidak optimal, sehingga menunjukkan pola yang cenderung datar dan stabil. Sehingga apabila ingin meningkatkan kecepatan angin pada kawasan RSPAW adalah dengan meningkatkan permeabilitasnya hingga minimal 85%.

Penelitian diatas menunjukkan bahwa kondisi perkembangan Rumah Sakit Paru dr Ario Wirawan Salatiga yang terus mengalami perkembangan tanpa memperhatikan nilai permeabilitas angin akan memberikan ketidaknyamanan bagi pengguna rumah sakit. Telah diketahui bahwa pengkondisian udara pada kawasan rumah sakit penting untuk diperhatikan mengingat kawasan tersebut berhubungan langsung terhadap kesehatan manusia. Cara untuk meningkatkan kecepatan angin rata-rata adalah dengan memperhatikan kepadatan bangunan sehingga memiliki nilai permeabilitas yang optimal. Permeabilitas yang dianjurkan adalah minimal 70% untuk mencapai kategori dapat diterima berdasarkan standar kenyamanan angin. Sedangkan untuk permeabilitas dibawah 70% dianggap kurang menguntungkan. Meskipun begitu, permeabilitas minimal 85% telah terbukti lebih baik pada kedua arah datang angin untuk dapat masuk kategori dapat diterima. Hal tersebut berarti bahwa untuk mendapatkan nilai permeabilitas yang optimal selain dengan memperhatikan kepadatan bangunan perlu penambahan bangunan bertingkat diantara bangunan-bangunan bertingkat rendah dapat

dilakukan untuk mencapai nilai permeabilitas optimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. (2022). *Jumlah Rumah Sakit Indonesia 2021-2022*. <https://dataindonesia.id/ragam/detail/indonesia-miliki-3112-rumah-sakit-pada-2021>
- Blocken, B., Janssen, W. D., & van Hooff, T. (2012). CFD simulation for pedestrian wind comfort and wind safety in urban areas: General decision framework and case study for the Eindhoven University campus. *Environmental Modelling and Software*, 30, 15–34. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.11.009>
- Direktorat Jenderal Pelayanan Kesehatan, & Indonesia, K. K. R. (2021). *Perencanaan Kinerja Tahunan RS Paru dr Ario Wirawan Salatiga Tahun 2021*. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Du, Y., Mak, C. M., Kwok, K., Tse, K. T., Lee, T. cheung, Ai, Z., Liu, J., & Niu, J. (2017). New criteria for assessing low wind environment at pedestrian level in Hong Kong. *Building and Environment*, 123, 23–36. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.06.036>
- Hong Kong Building Department. (2011). Practice Note for Authorized Persons, Registered Structural Engineers and Registered Geotechnical Engineers no. APP-152. *Pnap App-152*. Corollary to paragraph 1.4, rules for urban design should be different from those for building design because of the different scales at which rules are to be applied. On top of that, while it is true that a certain city form can be contributed by the de
- Hu, K., Cheng, S., & Qian, Y. (2018). CFD simulation analysis of building density on residential wind environment. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 11(1), 35–43. <https://doi.org/10.25103/jestr.111.05>
- Iek, Y., Sangkertadi, & Moniaga, I. L. (2014). Kepadatan Bangunan Dan Karakteristik Iklim Mikro Kecamatan Wenang Kota Manado. *Sabua*, 6(3), 286–292.
- Iqbal, Q. M. Z., & Chan, A. L. . (2016). Pedestrian level wind environment assessment around group of high-rise cross-shaped buildings: Effect of building shape, separation and orientation. *Building and Environment*, 101, 45–63. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.02.015>
- Jiang, Y., Wu, C., & Teng, M. (2020). Impact of residential building layouts on microclimate in a high temperature and high humidity region. *Sustainability (Switzerland)*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/su12031046>
- Kementerian Kesehatan. (2019). *Jumlah Rumah Sakit Menurut Provinsi 2018*. <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2019/10/10/berapa-jumlah-rumah-sakit-di-indonesia>
- Kubota, T., Miura, M., Tominaga, Y., & Mochida, A. (2008). Wind tunnel tests on the relationship between building density and pedestrian-level wind velocity: Development of guidelines for realizing acceptable wind environment in residential neighborhoods. *Building and Environment*, 43(10), 1699–1708. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.10.015>
- Mittal, H., Sharma, A., & Gairola, A. (2018). A review on the study of urban wind at the pedestrian level around buildings. *Journal of Building Engineering*, 18(March), 154–163. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2018.03.006>
- Ng, E. (2009). *Designing High-Density Cities* (E. Ng (ed.)). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781849774444>
- Sakiyama, N. R. M., Frick, J., Bejat, T., & Garrecht, H. (2021). Using CFD to Evaluate Natural Ventilation through a 3D Parametric Modeling Approach. *Energies*, 14, 2197. <https://doi.org/doi.org/10.3390/en14082197>
- Sangaji, Y., Sangkertadi, & Sembel, A. (2015). Kajian Kenyamanan Termal Bagi Pejalan Kaki Pada Jalur Pedestrian Universitas Sam Ratulangi. *Spasial*, 2(2), 98–106.
- Santosa, A. (2007). Penghawaan pada Interior Rumah Sakit: Studi Kasus Ruang Rawat Inap Utama Gedung Lukas, Rumah Sakit Panti Rapih, YOGYAKARTA. *Dimensi Interior: Jurnal Desain Interior Universitas Kristen Petra*, 5(2), 97–99. <https://doi.org/doi.org/10.9744/interior.5.2.pp.%2090-97>
- Satwiko, P. (2008). *Fisika Bangunan*. Penerbit ANDI.
- van Druenen, T., van Hooff, T., Montazeri, H., & Blocken, B. (2019). CFD evaluation of building geometry modifications to reduce pedestrian-level wind speed. *Building and Environment*, 163(July), 106293. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.10.6293>
- World Health Organization. (2021). *World*

*Health Organization News Room.  
Retrieved from Coronavirus disease  
(COVID-19): Ventilation and air  
conditioning. <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/coronavirus-disease-covid-19-ventilation-and-air-conditioning>*