



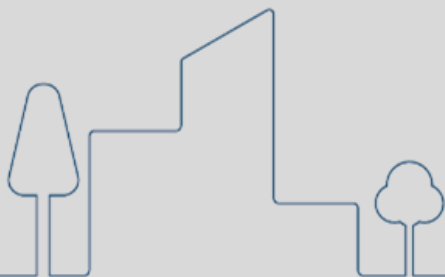
Kembali ke Sekolah dengan Aman dan Sehat Di Masa Pandemi dan Pasca Pandemi COVID-19

Panduan Menuju Bangunan Sekolah Sehat yang Berbasis Ventilasi Alami

Versi 1.0 – JUNI 2021

Diterbitkan oleh:

Green Building Council Indonesia



www.gbcindonesia.org

TIM PENYUSUN

PENULIS

Prisca Winata, S.Ars. MSc.

Ichfan Kurniawan, ST. GP

Widjojo Hardjoprakoso, GP

Andini, ST.

PENGARAH dan REVIEWER

Ir Iwan Prijanto Suryawan, MM, GP

Surendro, ST. GP

PENERBIT

Green Building Council Indonesia



REVIEWER

Ir. Jimmy S Juwana, MSAE, IAI, GP

Ir. John Budi Listijono, M.Eng, GP

Ir. Totok Sulistiyanto, M.Eng, GP

Dr. Cahyarini Sp.MK.(K).

Ir. Bintang A Nugroho, GP. IALI.

Ir. Rana Yusuf Nasir, GP IPM

Ir. Anggia Murni, GP. IALI.

DAFTAR ISI

BAB 1 Pendahuluan

BAB 2 Rekomendasi untuk Bangunan Sekolah Sehat yang Berbasis Ventilasi Alami

1. Mengoptimalkan Pertukaran Udara Alami dengan Ventilasi Silang
2. Menambah Vegetasi Alami di Sekitar Bukaan Untuk Menurunkan Suhu Mikro dan Meredam Kebisingan
3. Mengoptimalkan Pergerakan Udara di Dalam Ruang
4. Menghitung Kebutuhan Ventilasi Alami di Dalam Ruang
5. Mengontrol Waktu Okupansi Manusia di dalam Ruang Kelas
6. Mengontrol Konsentrasi CO₂ Dalam Ruang Kelas

7. Mengontrol Konsentrasi Polutan Udara Lain Dalam Ruang Kelas
8. Meminimalisir Polutan Udara Dalam Ruang Kelas dengan Penyaring Udara dan Pembersih Udara
9. Melakukan Renovasi Sekolah Untuk Meningkatkan Ventilasi Alami

BAB 3 Studi Kasus – Sekolah Menengah Atas di DKI Jakarta

1. Kondisi Iklim Tropis DKI Jakarta yang Panas dan Lembab
2. Isu Ventilasi Alami - Ruang Kelas ber-AC Tanpa Sirkulasi Udara Segar
3. Optimalisasi Ventilasi Udara Alami di Dalam Ruang Kelas

Referensi

Informasi Tambahan

DAFTAR ISTILAH

ACH / *air change per hour*

Satuan yang digunakan untuk mengukur umlah pergantian udara yang terjadi dalam waktu satu jam di suatu ruang.

$$N = 3600 \frac{Q}{V}$$

N = Jumlah air changes per hours (ACH)

Q = Besar Laju udara dalam m³/detik (meter kubik per detik)

V = Besar volume ruang dalam m³

Sick Building Syndrome

Istilah yang mengacu pada sejumlah gejala alergi yang mempengaruhi sebagian pekerja kantor dalam suatu gedung selama mereka berada di dalam gedung tersebut dan secara berangsur menghilang setelah mereka meninggalkan gedung.

Airborne

Dapat disalurkan atau diangkut oleh partikel udara. *Airborne Disease* adalah penyakit yang menyebar lewat udara.

Seseorang dapat tertular hanya karena menghirup udara yang mengandung virus atau bakteri penyebab penyakit.

Aerosol

Partikel zat yang ada di udara atau gas yang berukuran <5 µm

Droplet

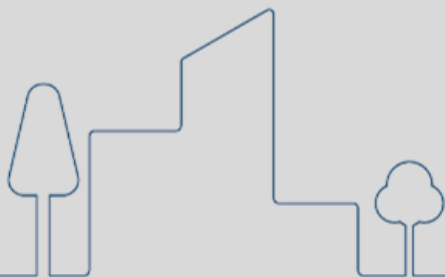
Cairan atau cipratan air liur yang dikeluarkan seseorang dari hidung atau mulut saat bersin, batuk, bahkan berbicara. Berukuran 5 µm.

PTM

Pembelajaran Tatap Muka

BAB 1

Pendahuluan



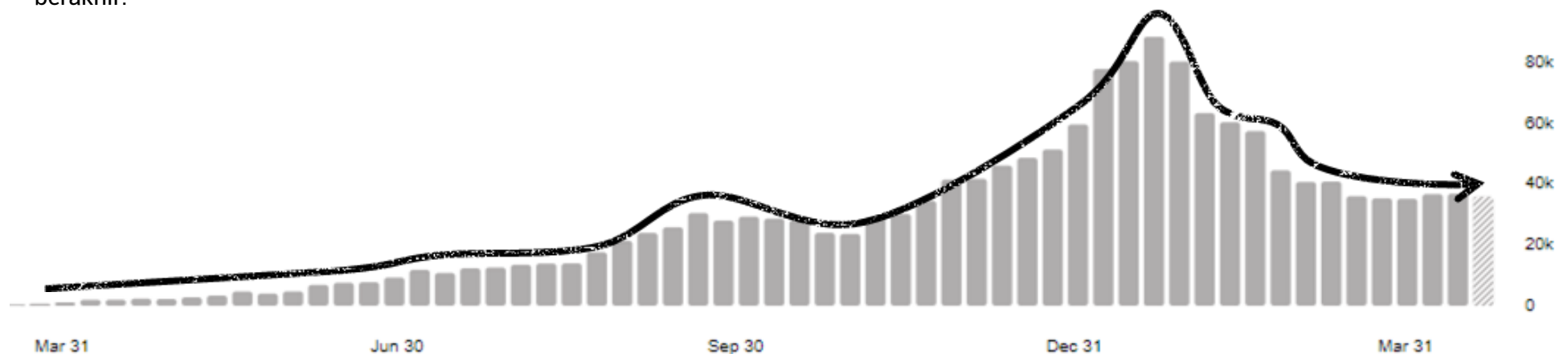
www.gbcindonesia.org

Kluster *Indoor* sebagai Lokasi Penyebaran COVID-19

1.1. Berdasarkan data statistik yang dihimpun dari situs resmi WHO yang berkaitan dengan COVID-19, tren dari kasus yang terjadi di Indonesia cenderung terus mengalami penurunan hingga minggu keempat April 2021, setelah mengalami kasus tertinggi di pertengahan Januari 2021.

1.2. Meskipun demikian angka dari laju positif kasus COVID-19 dinilai masih cukup tinggi, karena masih diatas 10%. Hal ini harus menjadi perhatian untuk tetap mematuhi protokol kesehatan (prokes) yang telah ditetapkan, karena pandemi COVID-19 belum berakhir.

1.3. Upaya preventif dan mitigasi perlu dioptimalkan dan dapat dicermati dari kilas balik proses penyebaran COVID-19 selama ini. Berdasarkan pada kasus-kasus yang telah terjadi, muncul kluster-kluster penyebaran dari COVID-19, seperti kluster perkantoran, kluster keluarga, kluster pemukiman. Kluster ini disebut juga dengan kluster di dalam bangunan (*Indoor*). Hal ini cukup dapat dipahami karena 90% waktu manusia dihabiskan untuk beraktivitas di dalam bangunan. Oleh sebab itu, kita perlu lebih berhati-hati dan memperhatikan kebersihan dan kesehatan dalam ruangan.



Jumlah kasus mingguan Covid-19 di Indonesia
Sumber: <https://covid19.who.int/region/searo/country/id>

Protokol Kesehatan dan Panduan yang Ada Belum Mencakup Standar Kesehatan Udara dalam Ruang

1.4. Protokol Kesehatan 5M sangat penting sebagai bentuk **kontrol terhadap sumber penyebaran virus (*source control*)**. Namun 5M hanya mengatur aktivitas manusia dan meminimalisir interaksi antar manusia. Munculnya kluster-kluster *indoor* mengkonfirmasi perlunya upaya pencegahan selain pada protokol kesehatan 5M, yaitu perubahan dari **bangunan dan lingkungan dimana manusia beraktivitas agar menjadi tempat yang aman dan sehat**. Diperlukan adanya evaluasi ulang dan penambahan anjuran dari protokol kesehatan 5M yang telah ada.

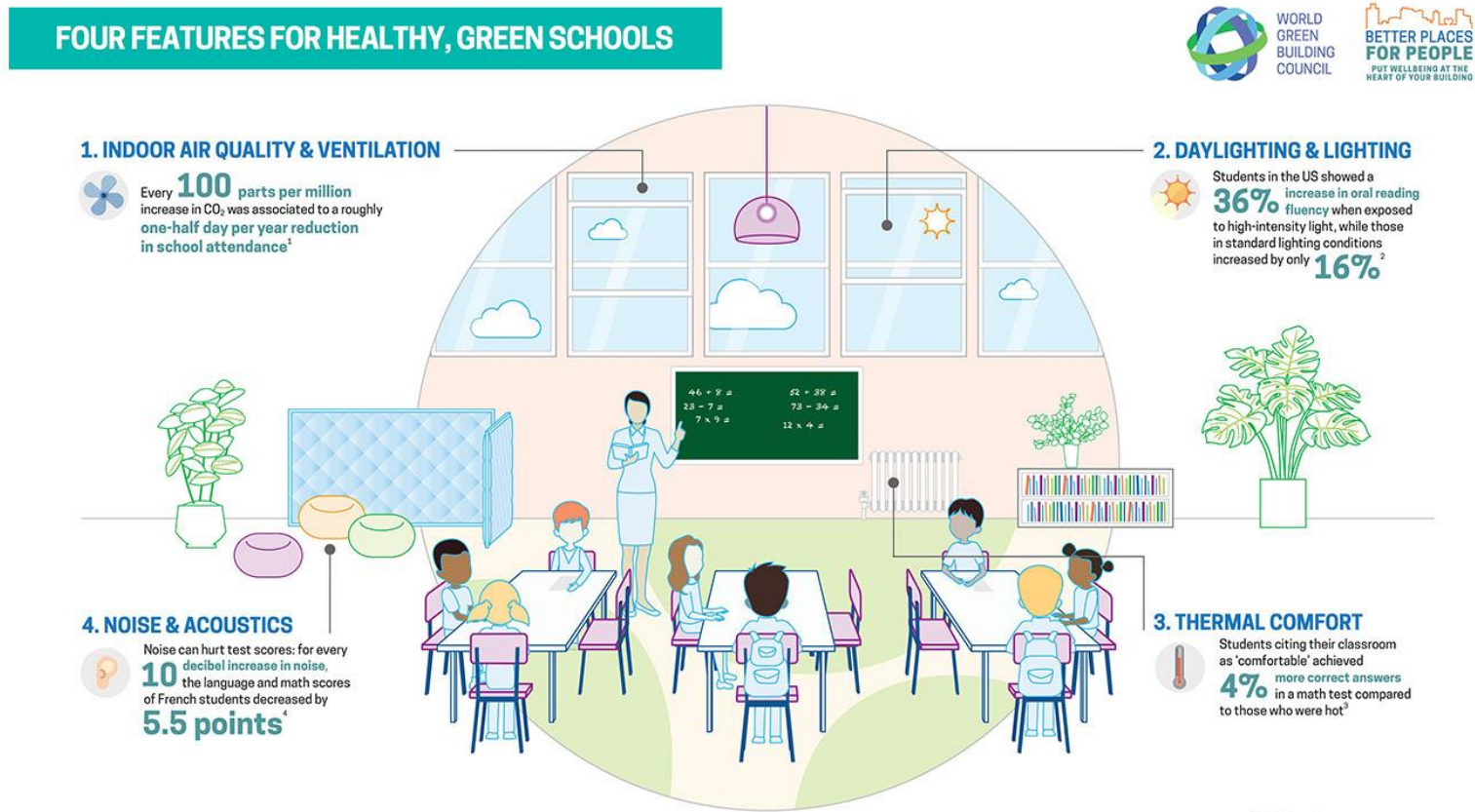
1.5. Urgensi adanya evaluasi dan penambahan anjuran dari prokes ini menjadi semakin vital karena adanya kebijakan untuk memberlakukan kembali **Pembelajaran Tatap Muka (PTM)^[1]** untuk sekolah-sekolah di Indonesia. Pemerintah telah menerbitkan sebuah panduan untuk persiapan dan pelaksanaan sekolah tatap muka di masa pandemi. Panduan ini berisi penjelasan lengkap mengenai aturan pelaksanaan dan protokol PTM. Namun perlu tinjauan lebih dalam tentang **langkah mempersiapkan lingkungan dan bangunan sekolah di masa pandemi agar menjadi sekolah yang aman dan sehat** untuk anak-anak belajar dan bersosialisasi.



Sumber: <http://www.padk.kemkes.go.id/>

Sekolah Sehat dan Nyaman Meningkatkan Konsentrasi dan Produktivitas Anak

1.6. Penelitian membuktikan bahwa ruangan dengan kualitas udara yang baik, akustik, pencahayaan, dan tingkat kenyamanan termal yang optimal, menghasilkan kinerja kognitif yang lebih baik, meningkatkan kualitas tidur, dan sejumlah manfaat nyata lainnya.



worldgbc.org

1. Bahns, S., Gange, S., Miller, J., Fielding, S., Turner, S. (2014) Classroom carbon dioxide concentration, school attendance, and educational attainment. *J Sch Health*, 84(3)669-74.
 2. Mott, M. S., Robinson, D. H., Walden, A., Burnette, J., & Rutherford, A. S. (2012). Illuminating the effects of dynamic lighting on student learning. *Stige Open*, 2158244032445595.
 3. Haverinen-Shaughnessy, U., Turunen, M., Metsämurtonen, J., Palonen, J., Putus, T., Kurittski, J., & Shaughnessy, R. (2012) Sixth grade pupils' health and performance and indoor environmental quality in Finnish school buildings. *British Journal of Education Research*, 21(1)42-58.
 4. Pujol, S., Levan, J. P., Houet, H., Petit, R., Berthillier, M., Defrance, J., & Maury, F. (2014). Association between ambient noise exposure and school performance of children living in an urban area: a cross-sectional population-based study. *Journal of Urban Health*, 91(2), 256-271.

Global Project Sponsors:

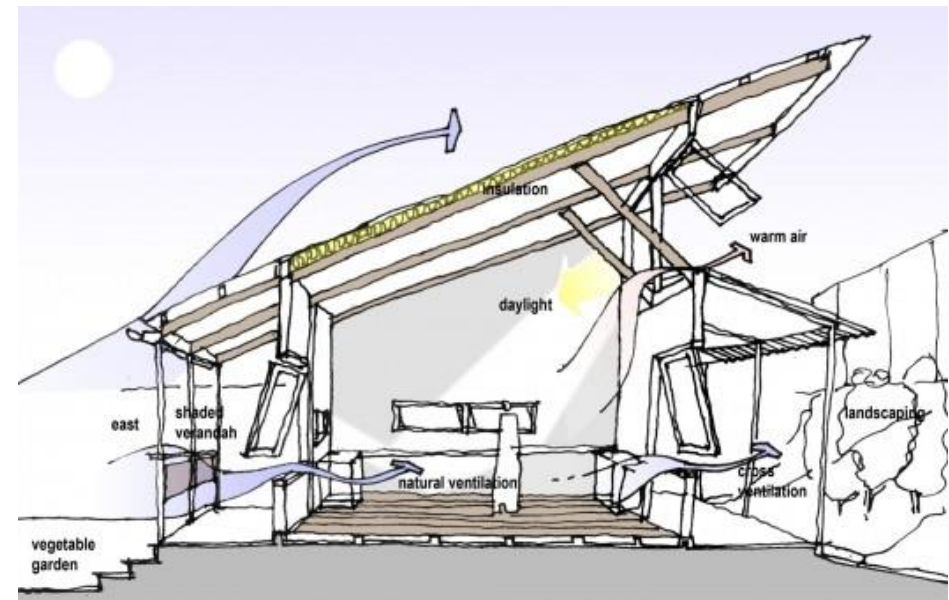


Sekolah Sehat dan Nyaman di Masa Pandemi dan Pasca Pandemi yang Berbasis Ventilasi Alami

1.7. Salah satu aspek pencegahan dalam lingkup bangunan secara fisik yang terdapat dalam Panduan Sekolah Tatap Muka adalah **ventilasi yang memadai**. Sayangnya panduan tersebut belum menjelaskan secara praktis dan rinci bagaimana langkah-langkah menuju ventilasi yang memadai dalam bangunan tersebut serta parameternya.

1.8. Untuk menciptakan lingkungan sekolah kondusif di masa pandemi, terdapat dua fokus utama yang harus diperhatikan; Pertama, **mengurangi peluang terjadinya penyebaran virus dalam lingkungan sekolah**. Kedua, **menjaga dan meningkatkan kenyamanan ruang belajar** bagi siswa-siswi dan para staf pengajar. Pengguna yang merasa nyaman saat beraktivitas di dalam bangunan, terbukti dapat meningkatkan konsentrasi dalam belajar serta menurunkan gejala *sick-building-syndrome* yang dapat mengganggu imunitas tubuh

1.9. Panduan ini berfokus pada **peningkatan kualitas udara dalam ruang dan optimalisasi ventilasi alami di Bangunan Sekolah**. Panduan ini ditujukan untuk para pengelola sekolah, guru, serta staf sekolah lainnya agar dapat mengaplikasikan langkah-langkah praktis untuk mencegah transmisi virus dan tetap menjaga kenyamanan di sekolah selama pandemi. Panduan ini akan terus dikembangkan agar menjadi pedoman untuk mendorong sekolah menggunakan ventilasi alami yang dapat mengurangi penggunaan energi berlebihan di sekolah di seluruh Indonesia.

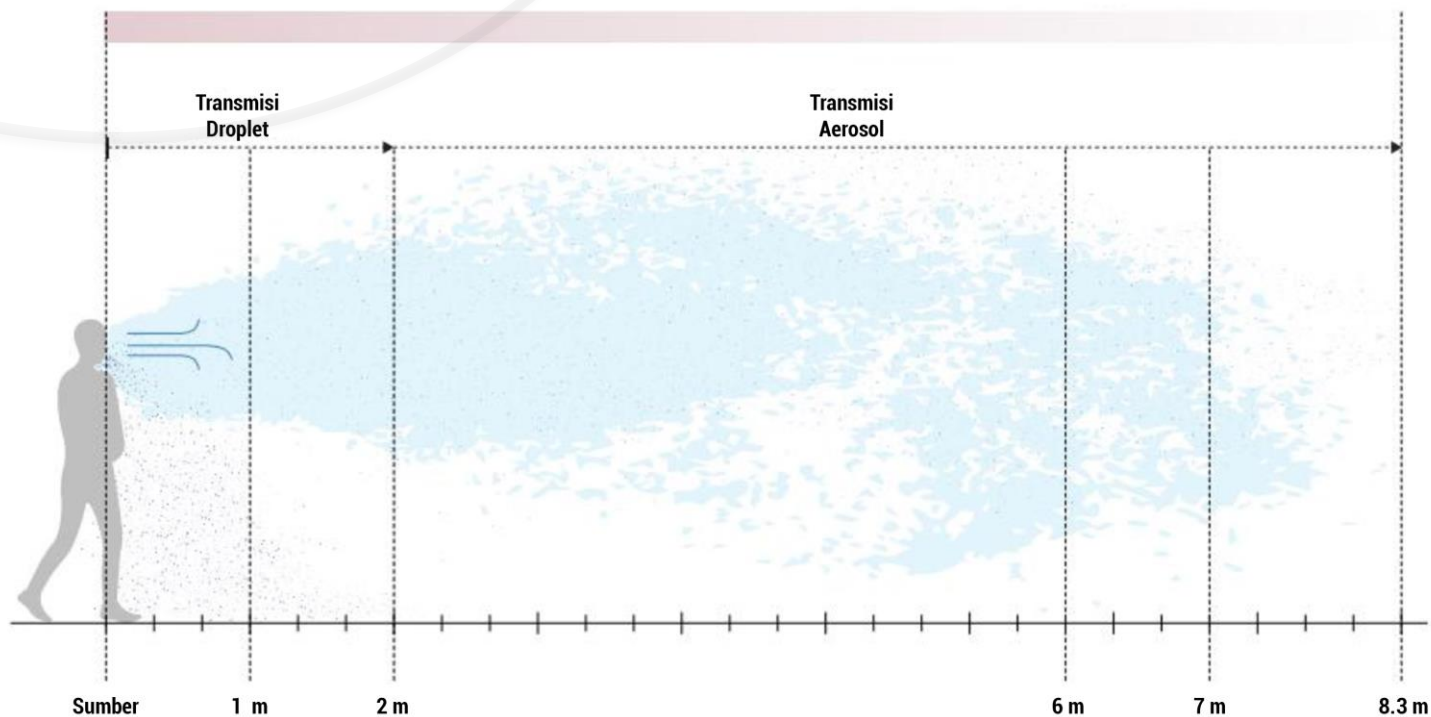


Sumber : <http://www.solaripedia.com/>

Ukuran Virus COVID-19 lebih kecil dari PM 2.5

1.10. Infeksi pernafasan dapat terjadi transmisi melalui *Droplet* dalam berbagai ukuran. WHO mengklasifikasikan ukuran partikel menjadi *respiratory droplet atau aerosol* (berukuran $>5-10 \mu\text{m}$) dan *droplet nuclei* (berukuran $<5 \mu\text{m}$) [2]. Sedangkan ukuran virus COVID-19 adalah $0.06 - 0.14 \mu\text{m}$. Dengan kata lain partikel dari virus COVID-19 itu lebih kecil dari PM 2.5 sehingga mudah untuk terbang lebih jauh dan menyebar melalui aerosol.

Viabilitas virus COVID-19 dalam aerosol pada jangkauan tertentu. Virus tetap bertahan hingga 3 jam
 (kondisi ruang saat penelitian : 21-23 C, Kelembaban 40% selama 7 hari terakhir)



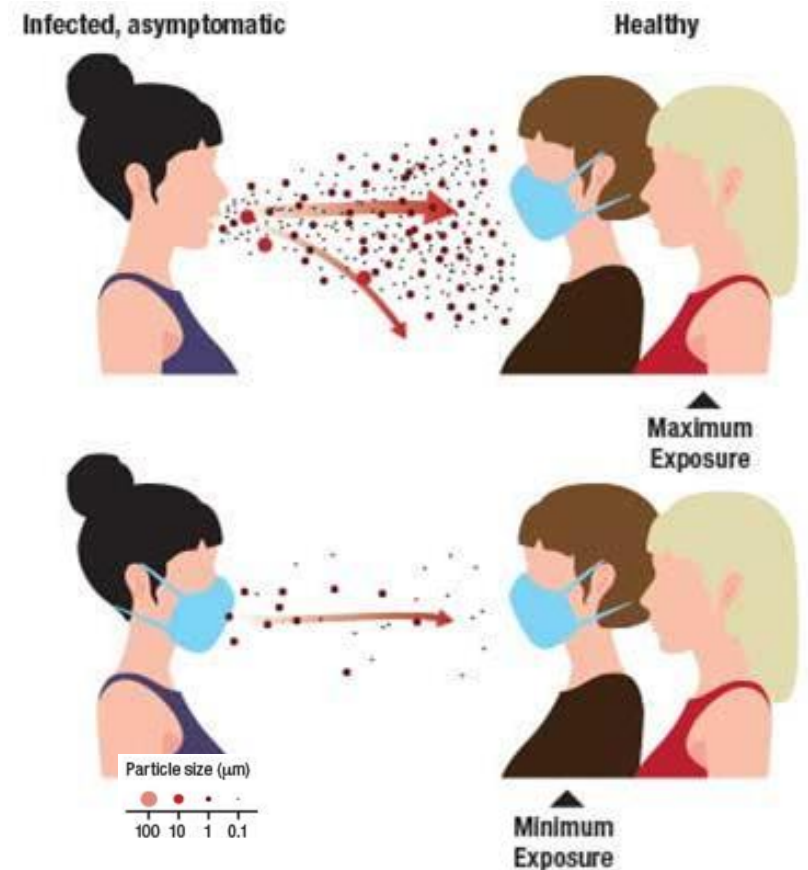
Sumber : Lewis, Paul., et.al. 2020. Manual of Physical Distancing: Space, Time, and Cities in the Era of COVID-19. p.7

Airborne Transmission sebagai Jalur Penularan Utama COVID-19 dalam Ruangan

1.11. Dengan adanya protokol kesehatan 5M, penularan COVID-19 melalui air liur dan kontak fisik dapat diminimalisir. Penggunaan masker yang benar sangat efektif menangkap virus dari sumbernya sehingga dapat mengurangi laju penularan. Namun, yang menjadi tantangan saat ini adalah **penyebaran melalui udara (*airborne transmission*)**, terbukti menjadi jalur penularan utama COVID-19^[3].

1.12. Penyebaran virus COVID-19 tidak hanya terjadi ketika berbicara satu-sama lain, melainkan dapat dihembuskan melalui nafas. Saat orang yang terinfeksi COVID-19 bernafas dalam suatu ruangan, orang itu akan menghembuskan aerosol atau tetesan yang sangat kecil yang mengandung virus. Aerosol tersebut lalu akan berterbangan di udara dan orang lain yang menghirup aerosol tersebut dapat tertular.



1.13. Suhu dan kelembaban udara mempengaruhi penyebaran virus di udara. Virus COVID-19 bertahan hidup lebih lama pada suhu dibawah 19°C dibandingkan pada suhu yang lebih tinggi. Viabilitas virus akan naik pada kondisi kelembaban udara <40% dan >70%. Kelembaban udara yang rendah membuat partikel udara menjadi lebih ringan dan dapat membawa virus terbang lebih jauh.



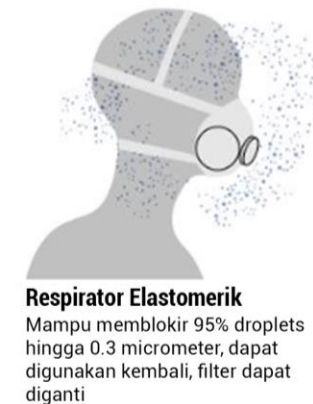
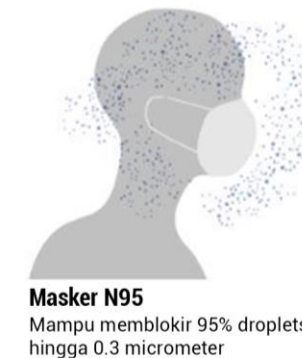
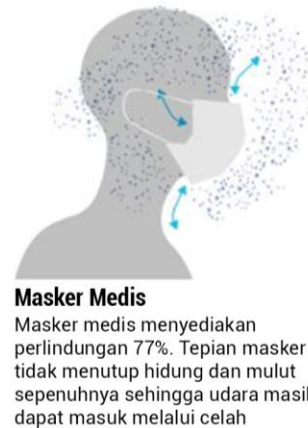
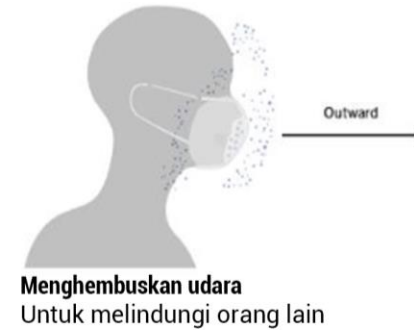
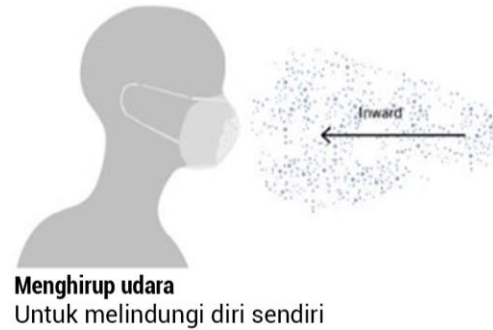
Sumber : https://www.happi.com/issues/2020-11-05/view_efficiency-challenges/the-cutaneous-consequences-of-frequent-mask-usage/

Efektivitas Penggunaan Masker Tergantung Pada Jenis dan Cara Pemakaian Masker

Klasifikasi tetesan pernafasan yang menular:

- droplets > 5 μm 
- aerosol < 5 μm 

rata-rata diameter rambut manusia adalah 70 μm

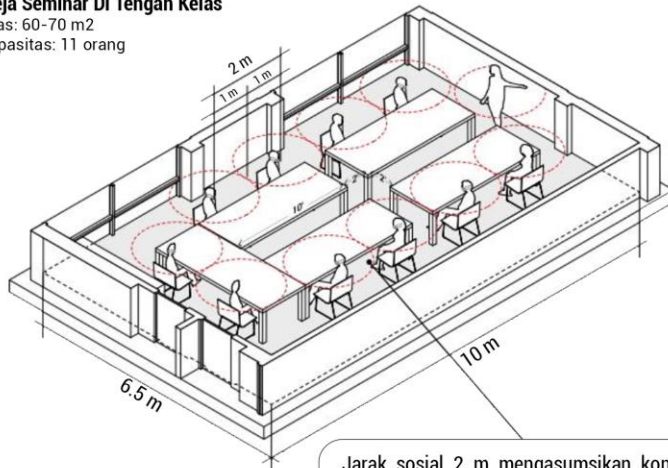


Sumber : Lewis, Paul., et.al. 2020. Manual of Physical Distancing: Space, Time, and Cities in the Era of COVID-19. p.28
https://issuu.com/djlewis72/docs/200622_manualphysicaldistancing_draft/2?ff&hideShareButton=true&pageLayout=singlePage

Pengaturan Tempat Duduk di Kelas dengan Sesuai Protokol Kesehatan Tetap Memiliki Celah untuk Penularan

Meja Seminar Di Tengah Kelas

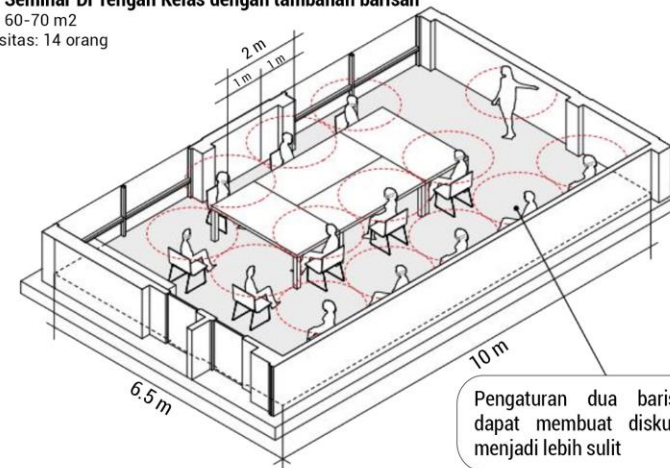
Luas: 60-70 m²
Kapasitas: 11 orang



Jarak sosial 2 m mengasumsikan kondisi yang tidak realistis di mana setiap orang tidak bergerak dan tidak memperhitungkan akumulasi virus atau risiko aerosol.

Meja Seminar Di Tengah Kelas dengan tambahan barisan

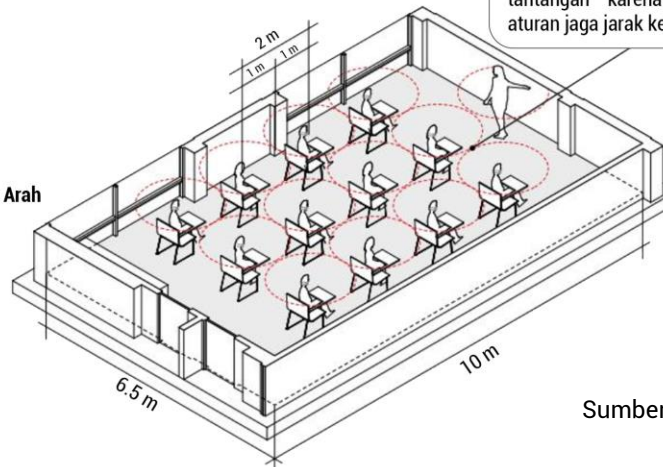
Luas: 60-70 m²
Kapasitas: 14 orang



Pengaturan dua baris siswa dapat membuat diskusi kelas menjadi lebih sulit

Menghadap ke Satu Arah

Luas: 60-70 m²
Kapasitas: 13 orang

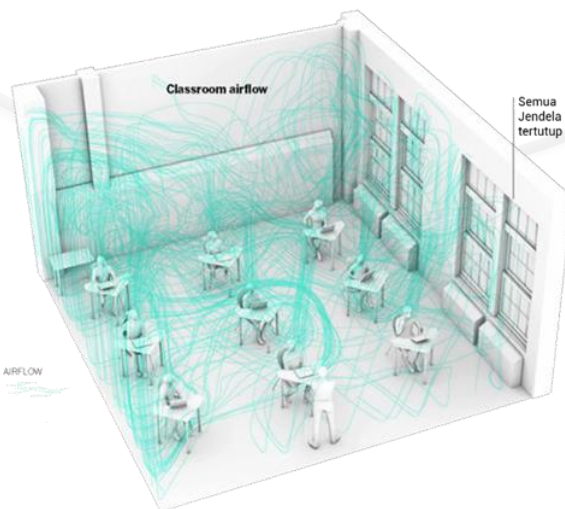


Sirkulasi di antara setiap kursi menjadi tantangan karena akan melanggar aturan jaga jarak ketika orang berjalan

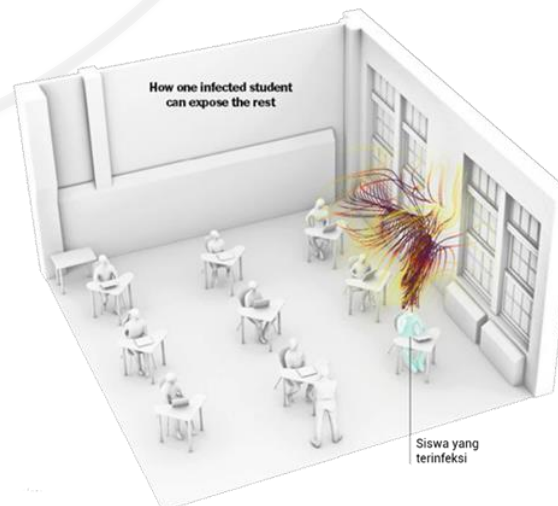
Sumber : Lewis, Paul., et.al. 2020. Manual of Physical Distancing: Space, Time, and Cities in the Era of COVID-19. p.50

Pentingnya Ventilasi Alami untuk Mengurangi Laju Penyebaran COVID-19

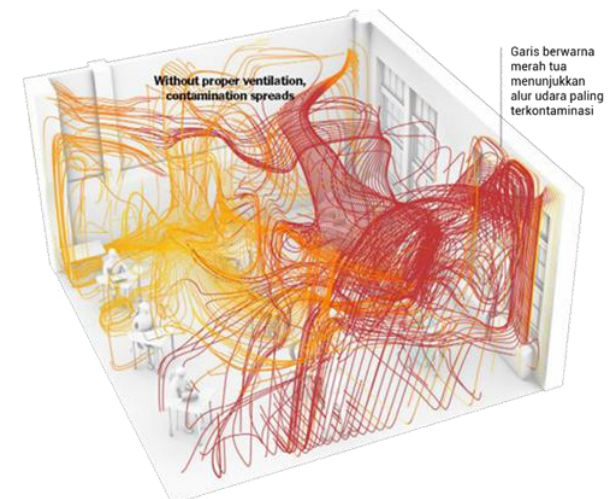
1.14. Pencegahan dan penanganan orang yang menunjukkan gejala COVID-19 tentu sudah diatur dalam protokol Kesehatan dan panduan sekolah tatap muka. Namun yang perlu dikhawatirkan adalah Orang Tanpa Gejala (OTG) yang sering kali membuat kita lengah. OTG dapat menyebarkan virus dengan sangat cepat di dalam kelas dengan **penyebaran melalui udara (*airborne transmission*)**.



Meskipun menggunakan masker dan menjaga jarak, setiap orang akan menghirup udara yang dihembuskan oleh orang lain dalam suatu ruangan.



Garis-garis ini menelusuri nafas siswa yang terinfeksi dan mulai menyebarkan aerosol pernapasan yang terkontaminasi ke seluruh ruangan

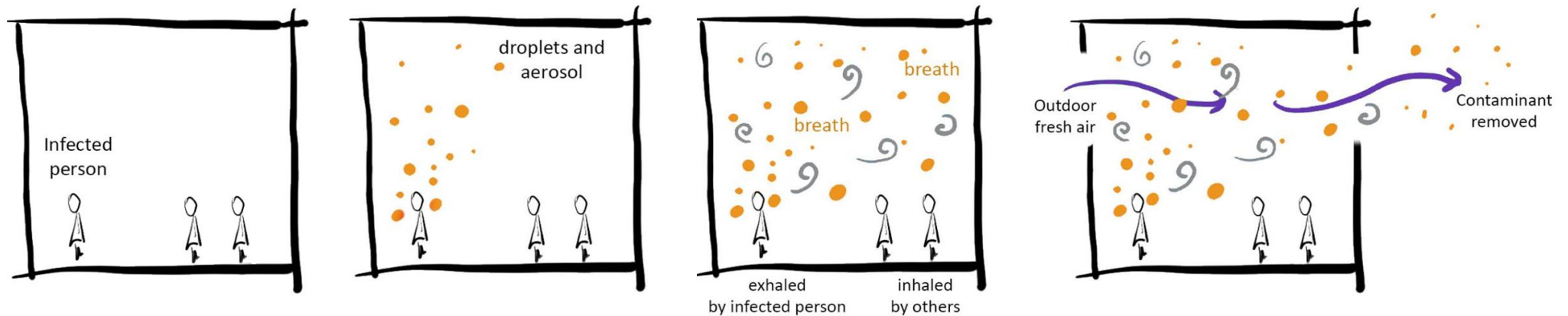


Dalam waktu singkat, ruangan tanpa ventilasi akan mendekati titik puncak kontaminasi. Jika hanya sedikit udara segar yang masuk ke dalam ruangan, aerosol akan berterbangan dan berputar di udara dalam ruang.

Pentingnya Ventilasi Alami untuk Mengurangi Laju Penyebaran COVID-19

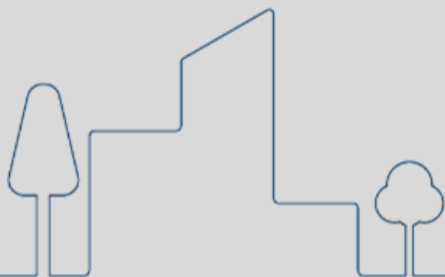
1.15. Sebuah ruang tertutup tanpa adanya pertukaran udara yang baik dapat menimbulkan berbagai dampak negatif bagi kesehatan manusia. Pertama, meningkatnya konsentrasi CO₂ dalam ruang melebihi 800 ppm dapat menurunkan konsentrasi dan produktivitas karena otak manusia kekurangan O₂ sehingga mudah mengantuk. Kedua, debu, virus, dan polutan udara lainnya dalam ruangan tersebut akan terakumulatif seiring berjalannya waktu jika tidak ada upaya untuk mengeluarkan polutan tersebut dari ruangan.

1.16. Teknologi penyaring udara hanya dapat menyaring sebagian udara yang melewatinya, udara lain yang tidak melewatinya masih tetap berputar dan terhirup oleh orang lain. Aerosol yang berukuran sangat kecil lebih sulit diantisipasi dengan masker dan penyaring udara sehingga tetap perlu memaksimalkan pertukaran udara alami untuk mengeluarkan virus dari dalam ruangan. Pendekatan paling penting untuk menurunkan konsentrasi polutan udara dalam ruangan adalah dengan **meningkatkan ventilasi udara alami untuk memasukan udara segar dan mengeluarkan polutan dari dalam ruangan.**



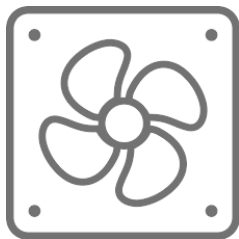
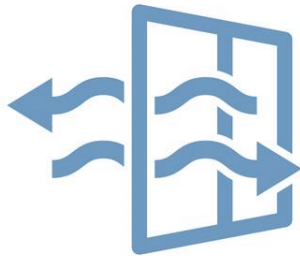
BAB 2

Rekomendasi untuk Bangunan Sekolah Sehat yang Berbasis Ventilasi Alami



www.gbcindonesia.org

Langkah Praktis Meningkatkan Kualitas Udara Dalam Ruang Di Masa Pandemi



1. Meningkatkan Ventilasi

Memanfaatkan ventilasi silang (*cross ventilation*)

- Membuka jendela atau pintu agar terjadi pertukaran udara.
- Pastikan tidak ada penghalang di sekitar bukaan agar angin dapat mengalir secara maksimal.

Menambah vegetasi alami di sekitar bukaan

- Pastikan letak vegetasi tidak menghalangi aliran udara dan menutupi bukaan.
- Pilihlah tanaman yang menyejukkan udara di sekitar bukaan agar terjadi perbedaan suhu di kedua sisi ruangan

Menggunakan kipas atau exhaust

- Memasang kipas dan exhaust pada sisi bukaan untuk mempercepat aliran udara dan memaksimalkan pertukaran udara segar .
- Dianjurkan dipasang di kedua sisi dinding yang berseberangan untuk membantu aliran udara searah

Sumber:

WHO. 2021. Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19
www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/schools-childcare/operation-strategy.html

Langkah Praktis Meningkatkan Kualitas Udara Dalam Ruang Di Masa Pandemi

2. Mengontrol Sumber Virus dan Polutan



Menggunakan Masker

- Menggunakan masker medis dengan efektifitas minimal 95% dan menutupi hidung dan mulut.

Mengatur waktu okupansi di dalam ruang

- Mengurangi kapasitas ruang hingga 50% kapasitas normal. Hindari berada di dalam ruangan dengan durasi yang lama karena potensi resiko penularan virus lebih besar.
- Mengatur waktu jeda (*flush period*) setiap 2 jam minimal selama 15 menit untuk mengeluarkan udara kotor sepenuhnya dari ruangan dan menggantinya dengan udara bersih

Memonitor konsentrasi CO₂

- Memasang alat monitor CO₂. Jika konsentrasi CO₂ melebihi 800 ppm, maka atur strategi untuk memaksimalkan pertukaran udara segar.

Menggunakan Penyaring dan Filter Udara

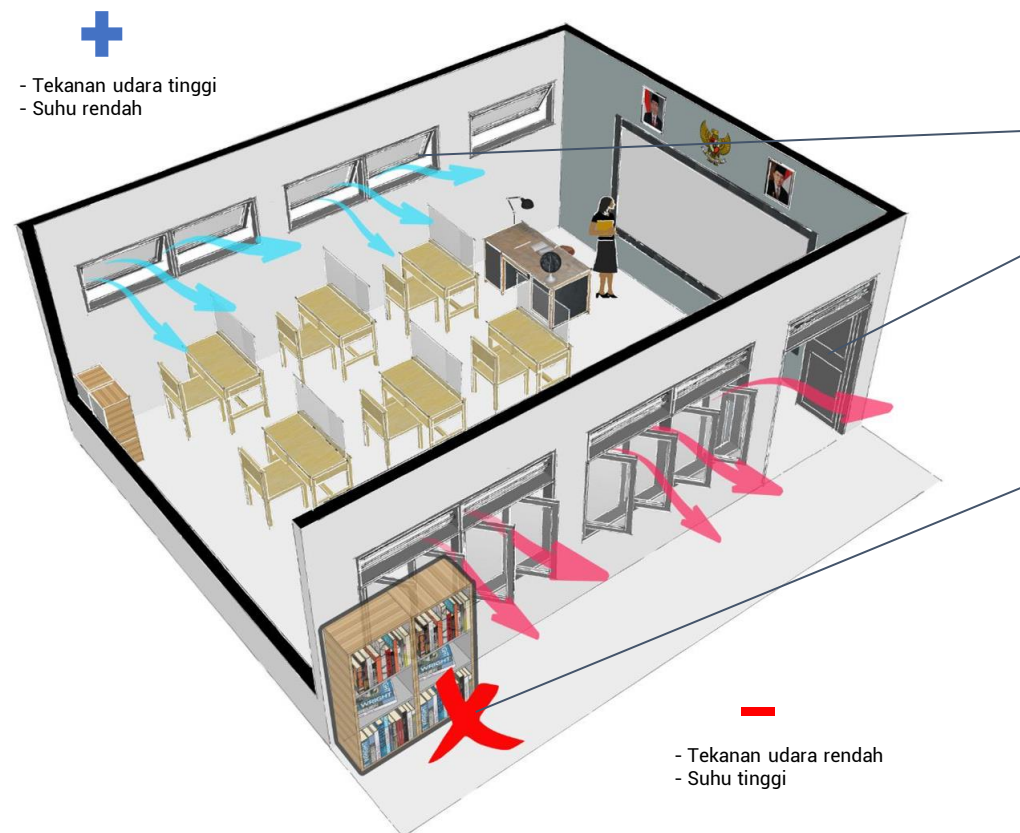
- Menggunakan penyaring udara portabel dengan teknologi HEPA untuk mengurangi jumlah polutan di udara dan membunuh virus/bakteri.

Sumber:

WHO. 2021. Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19
www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/schools-childcare/operation-strategy.html

Mengoptimalkan Pertukaran Udara Alami dengan Ventilasi Silang

2.1. Ruang kelas di sekolah pada umumnya sudah dirancang dengan bukaan pada minimal 1 sisi ruang kelas. Dengan adanya bukaan ini, udara dari luar dapat masuk kedalam ruangan sehingga terjadi pertukaran udara. Jika terdapat bukaan pada kedua sisi ruang kelas yang berlawanan, terjadi ventilasi silang (*cross ventilation*) karena adanya perbedaan tekanan udara di kedua sisi ruang.



Rekomendasi:

1. Menggunakan jendela yang dapat dibuka (*operable windows*) yang berada dalam jangkauan pengguna.
2. Membuka jendela atau pintu secara maksimal saat cuaca di luar ruangan memungkinkan dan Memanfaatkan ventilasi silang (*cross ventilation*) dengan bukaan berada di 2 sisi yang berlawanan.
3. Mengurangi halangan di depan bukaan, sehingga udara dapat bergerak bebas keluar masuk ruangan.
4. Menjadwalkan *Flush Period* atau waktu untuk mengosongkan kelas dan mengeluarkan udara sepenuhnya dari dalam ruangan. Waktu ini dapat dijadwalkan saat istirahat, sebelum dan sesudah ruangan dipakai, selama **minimal 15 menit**.

Menambah Vegetasi Alami di Sekitar Bukaan Untuk Menurunkan Suhu Mikro dan Meredam Kebisingan

2.2. Pada prinsipnya, angin mengalir dari udara yang bertekanan tinggi ke udara yang bertekanan rendah. Untuk memaksimalkan ventilasi silang, perbedaan tekanan ini dapat dimaksimalkan dengan menurunkan suhu mikro di salah satu sisi. Salah satunya adalah dengan cara menambah vegetasi di sekitar bukaan.



Rekomendasi:

1. **Menambah tanaman di sekitar bukaan** guna menurunkan suhu udara di sekitarnya sehingga terjadi perbedaan suhu dan tekanan udara di kedua sisi. Hal ini memungkinkan terjadi ventilasi silang (*cross ventilation*).
2. Selain sebagai penyejuk, tanaman juga dapat berperan sebagai:
 - Menghasilkan Oksigen
 - Menyerap Karbon dioksida
 - Mengurangi kebisingan lalu lintas
 - Penghalang debu dan polusi dari udara luar
 - Fungsi biofilia

Menambah Vegetasi Alami di Sekitar Bukaannya Untuk Menurunkan Suhu Mikro dan Meredam Kebisingan

2.3. Pohon dengan ukuran besar dan sangat rindang menjadi faktor penting penyedia udara segar dan sangat efektif menurunkan suhu. Kategori tanaman lokal berdasarkan tinggi dan tajuk tanaman terdapat pada Permen PU Nomor 05/2012. Namun, bagi sekolah yang tidak memiliki pohon besar dan halaman yang cukup luas untuk menanam, tanaman dalam pot dapat dijadikan solusi untuk menambah vegetasi di sekolah. Selain itu, kegiatan menanam dapat dijadikan kegiatan pembelajaran untuk siswa-siswi.

2.4. Kebisingan yang berasal dari luar kelas dapat mengganggu kegiatan belajar jika jendela dibuka untuk ventilasi alami. Menanam tanaman di sekitar bukaan dan di koridor sekolah dapat menyerap kebisingan^[4]. Berikut adalah **contoh-contoh tanaman di dalam pot yang dapat menyerap debu dan menyerap kebisingan:**



Ficus benjamina
Beringin / Waringin



Dracaena fragrans
Sri Gading



Dracaena marginata
Dragon Tree



Spathiphyllum wallisii
Lily Perdamaian



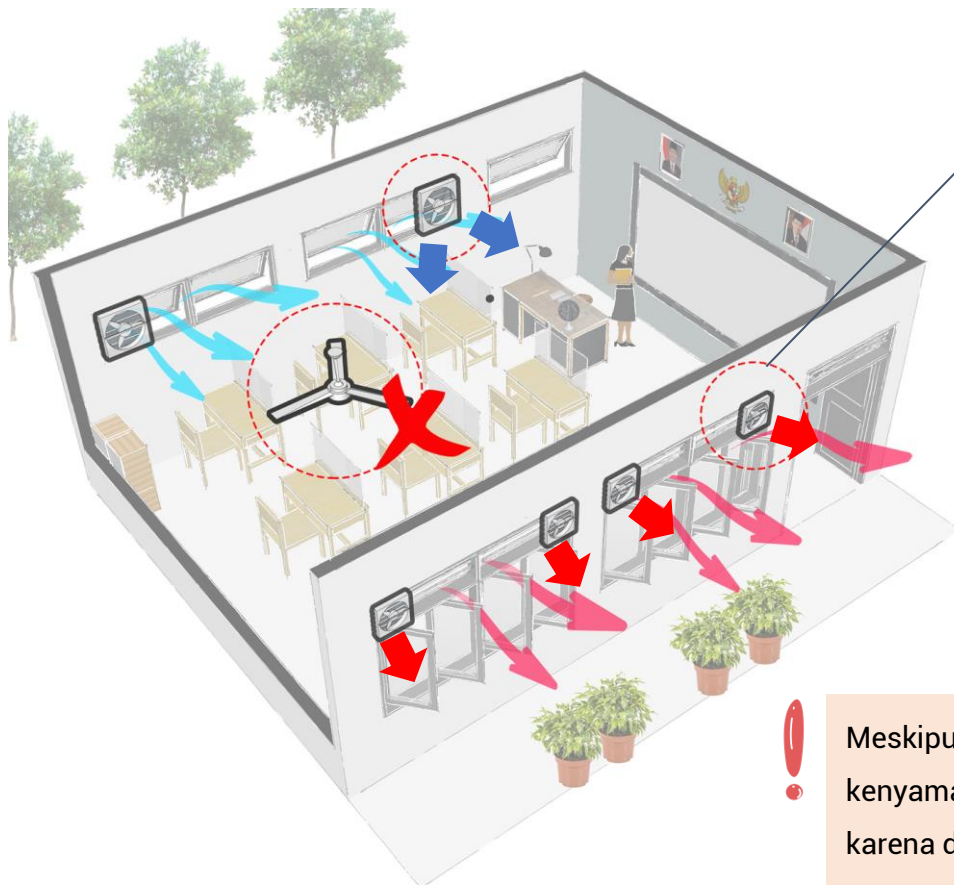
Schefflera arboricola
Tanaman Uyung



Epipremnum aureum
Sirih Gading

Mengoptimalkan Pergerakan Udara di Dalam Ruang

2.5. Tidak semua kondisi ruangan memungkinkan terjadinya ventilasi silang secara alami. Bantuan mekanik seperti kipas angin dapat membantu pergerakan udara di dalam suatu ruang sehingga udara dapat mengalir lebih cepat.



Rekomendasi:

1. Menggunakan *exhaust fan* sebagai perangkat tambahan untuk membantu mengeluarkan udara dan virus keluar. Diutamakan diletakkan dekat dengan pengajar karena lebih beresiko menghembuskan aerosol ketika mengajar. Pastikan udara yang dikeluarkan tidak mengkontaminasi ruang lainnya.
2. Jika daerah sekitar bangunan terhalang objek tinggi dan angin terhambat masuk, gunakan *supply fan* untuk membantu menarik udara masuk ke dalam kelas. Perhatikan letak *supply fan* agar udara masuk merupakan udara yang segar dan bersih.



Meskipun penggunaan kipas angin gantung (*ceiling fan*) dapat meningkatkan kenyamanan termal dalam ruang, namun **kipas angin gantung tidak dianjurkan** karena dapat menyebarkan virus secara merata di dalam ruangan.

Menghitung Kebutuhan Ventilasi Alami di Dalam Ruang

2.6. Dalam sebuah simulasi sederhana ruang kelas ukuran 8m x 7m, tinggi plafon 3 m dengan bukaan pada kedua sisi ruang, Gambar (b) yang menunjukkan adanya pergerakan udara dengan asumsi **0.25-0.5 m/s** di dalam ruangan sesuai dengan standar ventilasi optimal yang memungkinkan dilusi polutan ke luar ruangan.

2.7. WHO merekomendasikan **ventilasi minimum sebesar 10 liter/s per orang**. Secara sederhana, laju pertukaran udara dapat hitung jika mengetahui volume ruang kelas.

Contoh:

Volume kelas : $8\text{m} \times 7\text{m} \times 3\text{m} = 168\text{ m}^3$

Jumlah orang : 17 orang (asumsi 50% kapasitas sekolah normal)

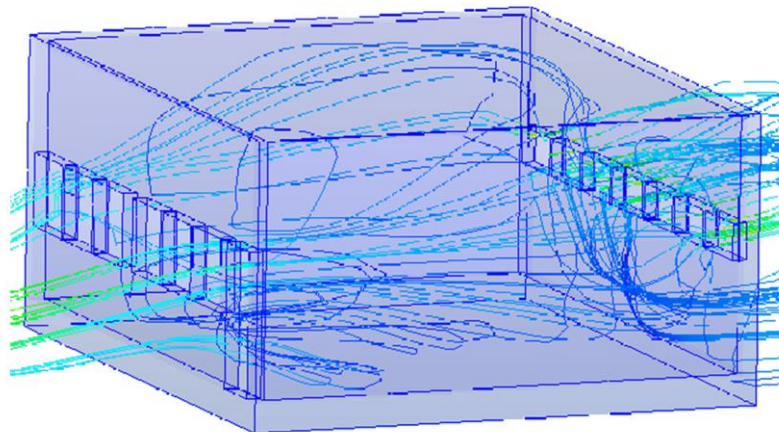
Ventilasi minimum : $10\text{ L/s} \sim 0.01\text{ m}^3/\text{s}$ per orang

Jika dalam kelas ada 17 orang = $0.17\text{ m}^3/\text{s}$

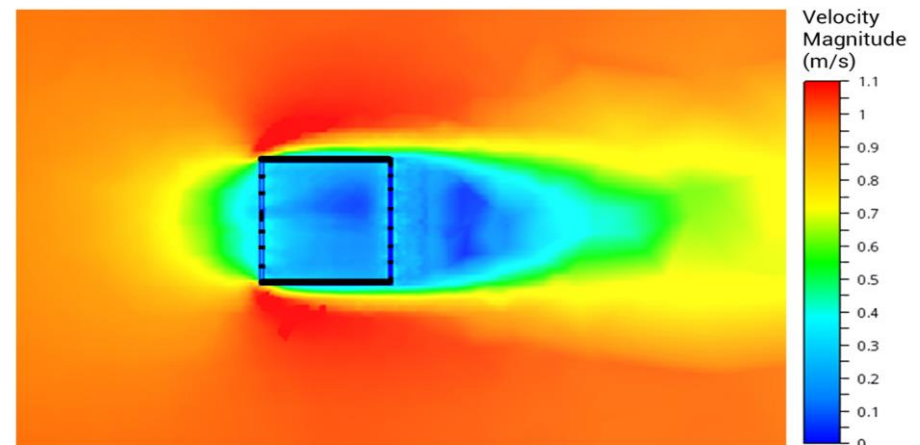
Jumlah volume udara yang masuk dalam 1 jam :

$$0.17\text{ m}^3/\text{s} \times 3600\text{ s} = 612\text{ m}^3$$

$$N\text{ (ACH)} = 612\text{ m}^3 : 168\text{ m}^3 = 3.64\text{ ACH}$$



(a) Simulasi pergerakan udara di dalam kelas dengan ventilasi silang



(b) Ruang dengan bukaan (jendela) terbuka (> 6 ACH)

Menghitung Kebutuhan Ventilasi Alami di Dalam Ruang

Setelah mengetahui kebutuhan ventilasi untuk sebuah ruang, maka dapat dihitung apakah luas jendela yang ada telah memenuhi kriteria. Berikut adalah contoh perhitungannya:

Volume ruangan kelas:

panjang ruang kelas x lebar ruang kelas x tinggi langit-langit

$$8 \text{ meter} \times 7 \text{ meter} \times 3 \text{ meter} = 168 \text{ meter}^3$$

Target pertukaran udara : 3,64 ACH

(Artinya dalam rentang waktu satu jam terjadi pertukaran udara kotor dan udara bersih di dalam ruang kelas sebanyak 3,64 kali)

Kecepatan udara masuk : 0.05 m/s

(Pada kondisi desain, kecepatan udara masuk digunakan yang paling sering muncul sesuai data angin BMKG)

Luas Jendela yang diperlukan :

$$\frac{\text{Target ACH} \times \text{Volume Ruangan}}{3600 \times \text{Kecepatan udara}}$$

$$\frac{3,64 \text{ ACH} \times 168 \text{ meter}^3}{3600 \times 0,05 \text{ m/s}} = 3,4 \text{ m}^2$$

Luas jendela pada satu sisi dinding minimal 3,4 m², sehingga luas total jendela pada sisi dinding yang berlawanan adalah 6.8 m² untuk mencapai tingkat ventilasi ideal.

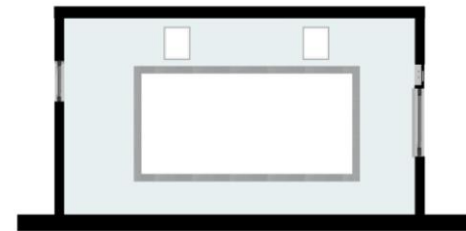
Menghitung Kebutuhan Ventilasi Alami di Dalam Ruang

2.8. Pedoman kesehatan masyarakat dalam mencegah penyebaran virus COVID-19 merekomendasikan batasan sebagai berikut:

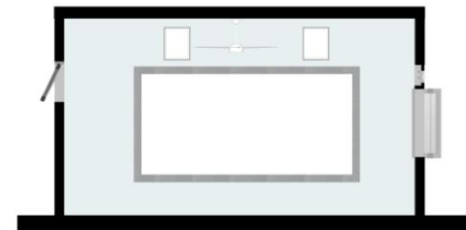
- Jarak orang-ke-orang minimum 1.5 - 2 meter
- Waktu tinggal berada dalam ruangan maksimum 15 menit
- Kapasitas maksimum 50%
- Ventilasi minimum 6 ACH (*air change per hour*)

Namun pada praktiknya, kebutuhan ventilasi udara sangat bergantung pada jumlah okupansi dan lama okupansi manusia di dalamnya. Semakin banyak jumlah orang dalam ruangan, semakin besar kebutuhan ventilasi udara.

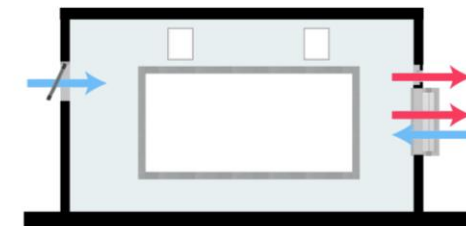
2.9. Satuan yang digunakan untuk mengukur aliran udara untuk kesehatan dan kenyamanan adalah pergantian udara per jam (*air change per hour-ACH*), yaitu jumlah pergantian udara yang terjadi dalam waktu satu jam di suatu ruang. Untuk meminimalkan risiko penularan COVID-19 di ruang kelas, seseorang harus menghindari menghabiskan waktu yang lama di sebuah ruang yang banyak orang dan lebih aman berada di ruangan dengan volume besar dan tingkat ventilasi minimum 3-4 ACH [5].



Jendela tertutup
Setara dengan tanpa pertukaran udara (0.3 ACH)



Jendela dibuka
Ventilasi silang alami (2 ACH)



Jendela dibuka + Exhaust
Ventilasi silang alami dibantu teknologi mekanik (6 ACH)

Perlakuan pada bukaan dan ventilasi mempengaruhi nilai pergantian udara per jam.

Mengontrol Waktu Okupansi Manusia di dalam Ruang

2.10. Dalam konteks mempersiapkan sekolah yang aman dan sehat untuk sekolah tatap muka, penting untuk **membatasi jumlah siswa dan menentukan durasi maksimum per jam pelajaran**. Tabel 1 pada halaman berikutnya merangkum berbagai variasi durasi maksimum yang aman untuk berada dalam kelas selama pandemi^[8]. Tabel ini disusun berdasarkan kategori jenjang sekolah, luas dan volume ruangan, serta jumlah maksimum siswa dalam satu kelas sesuai Permendikbud No. 17 Tahun 2017 dan SE Mendikbud No. 3 Tahun 2017.

2.12. Tabel 1 menunjukkan adanya perbedaan batas waktu aman yang signifikan dengan penggunaan masker. Ruang kelas SD berukuran 8 m x 7,45 m dengan tinggi plafon 3 m. Jumlah maksimal 17 orang (termasuk guru) selama pandemi. Kondisi ventilasi alami memadai, yaitu membuka jendela dan menyalakan exhaust (6 ACH), Jika seseorang yang terinfeksi masuk ke dalam kelas dan **tidak menggunakan masker**, maka **dalam waktu 2 jam dapat menularkan ke seluruh orang di kelas tersebut**.

2.13. Namun, di ruang yang sama dengan jumlah orang yang sama, jika semua **memakai masker**, Tabel 1 menunjukkan bahwa di dalam kelas kondisi ventilasi alami kurang memadai (0.3 ACH), waktu penularan menjadi lebih lama yaitu **hingga 23 jam**.

2.14. Kesimpulannya, jika sekolah tidak memberlakukan batas maksimum 50% siswa di dalam kelas, maka perlu adanya waktu-waktu jeda untuk mengosongkan kelas sesuai dengan panduan pada tabel 1. Agar belajar di kelas menjadi lebih aman dan durasi di dalam kelas dapat maksimal, maka perlu adanya **pembatasan jumlah siswa**, semua orang **wajib memakai masker** dan **membuka jendela** agar ventilasi memadai.

Mengontrol Waktu Okupansi Manusia di dalam Ruang Kelas

Tabel 1. Pedoman Keamanan Dalam Ruang Kelas di Masa Pandemi COVID-19

<https://indoor-covid-safety.herokuapp.com/>

Jenjang	Tipikal Luas Ruang	Tipikal Tinggi Ruang	Jumlah Siswa	0.3 ACH	2 ACH	6 ACH	0.3 ACH	2 ACH	6 ACH
				Tidak Menggunakan Masker			Menggunakan Masker		
Ruang Kelas SLB	24 m ² (6 m x 4 m)	3.5 - 3.7 m	7 orang (saat prokes)	56 menit	86 menit	3 jam	26 jam	56 jam	126 jam
		3 - 3.3 m		50 menit	74 menit	2 jam	25 jam	51 jam	114 jam
		2.7 - 3 m		48 menit	69 menit	2 jam	22 jam	44 jam	96 jam
Ruang Kelas SD & PKBM	59.6 m ² (8 m x 7.45 m)	3.5 - 3.7 m	17 orang (saat prokes)	53 menit	81 menit	3 jam	24 jam	52 jam	118 jam
		3 - 3.3 m		50 menit	75 menit	2 jam	23 jam	48 jam	106 jam
		2.7 - 3 m		46 menit	65 menit	2 jam	21 jam	41 jam	89 jam
		3.5 - 3.7 m	34 orang (kondisi normal)	33 menit	45 menit	80 menit	12 jam	25 jam	57 jam
		3 - 3.3 m		31 menit	42 menit	72 menit	11 jam	23 jam	52 jam
		2.7 - 3 m		28 menit	37 menit	62 menit	10 jam	20 jam	43 jam
Ruang Kelas SMP	68.85 m ² (9 m x 7.65 m)	3.5 - 3.7 m	20 orang (saat prokes)	52 menit	79 menit	3 jam	24 jam	51 jam	115 jam
		3 - 3.3 m		49 menit	73 menit	2 jam	22 jam	46 jam	103 jam
		2.7 - 3 m		45 menit	64 menit	2 jam	20 jam	40 jam	87 jam
		3.5 - 3.7 m	36 orang (kondisi normal)	35 menit	48 menit	86 menit	13 jam	28 jam	62 jam
		3 - 3.3 m		33 menit	45 menit	78 menit	12 jam	25 jam	56 jam
		2.7 - 3 m		30 menit	39 menit	66 menit	11 jam	22 jam	47 jam
Ruang Kelas SMA & SMK	76.05 m ² (9 m x 8.45 m)	3.5 - 3.7 m	22 orang (saat prokes)	31 menit	42 menit	74 menit	11 jam	23 jam	53 jam
		3 - 3.3 m		29 menit	39 menit	67 menit	11 jam	21 jam	48 jam
		2.7 - 3 m		22 menit	35 menit	57 menit	10 jam	19 jam	40 jam
		3.5 - 3.7 m	36 orang (kondisi normal)	23 menit	29 menit	47 menit	7 jam	14 jam	32 jam
		3 - 3.3 m		21 menit	27 menit	43 menit	7 jam	13 jam	29 jam
		2.7 - 3 m		19 menit	24 menit	37 menit	6 jam	11 jam	24 jam

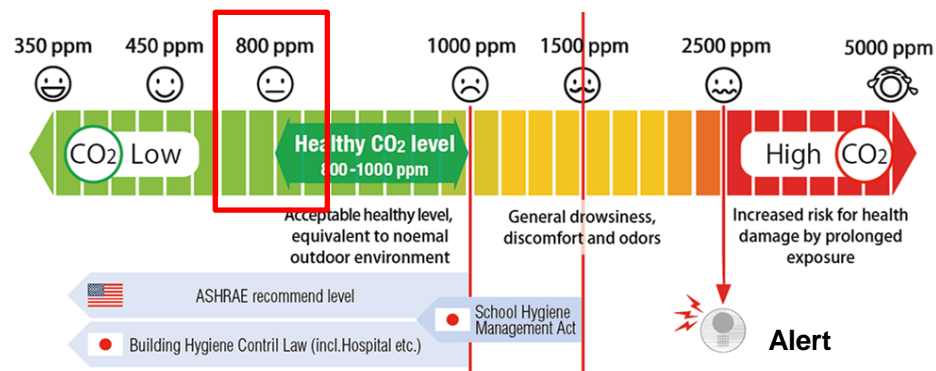
Mengontrol Konsentrasi CO₂ Dalam Ruang Kelas



2.15. Karbon dioksida adalah salah satu parameter kualitas udara yang secara praktis dapat diukur.

Rekomendasi:

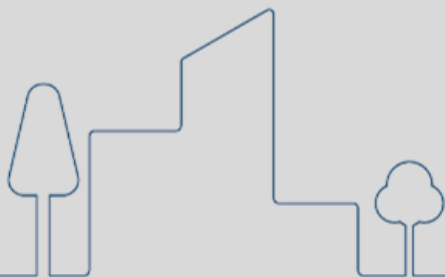
1. Memasang alat monitor konsentrasi CO₂ dan terdapat layar indikator *real-time* di setiap ruang kelas dan ruang lain dengan tingkat okupansi tinggi di sekolah.
2. Sensor / monitor CO₂ diletakkan pada ketinggian 80 - 120 cm, baik di dinding atau di atas meja, pada titik dimana orang paling banyak duduk atau berdiri. Sensor / monitor CO₂ diletakkan minimal berjarak 1 meter dari jendela, pintu, dan exhaust.
3. Jika konsentrasi CO₂ dalam ruang sudah melebihi 800 ppm, langkah yang dapat dilakukan adalah:
 - **Membuka jendela dan pintu** secara maksimal serta menyalakan kipas angin
 - Jika dalam 10-15 menit konsentrasi CO₂ belum juga dibawah ambang batas kesehatan, maka guru dapat **mengajak siswa-siswi untuk belajar di luar ruangan.**



Sumber : www.office-co2-purifier.com/standard.html

BAB 2

Rekomendasi Lanjutan



www.gbcindonesia.org

Mengontrol Konsentrasi Polutan Udara Lain Dalam Ruang Kelas

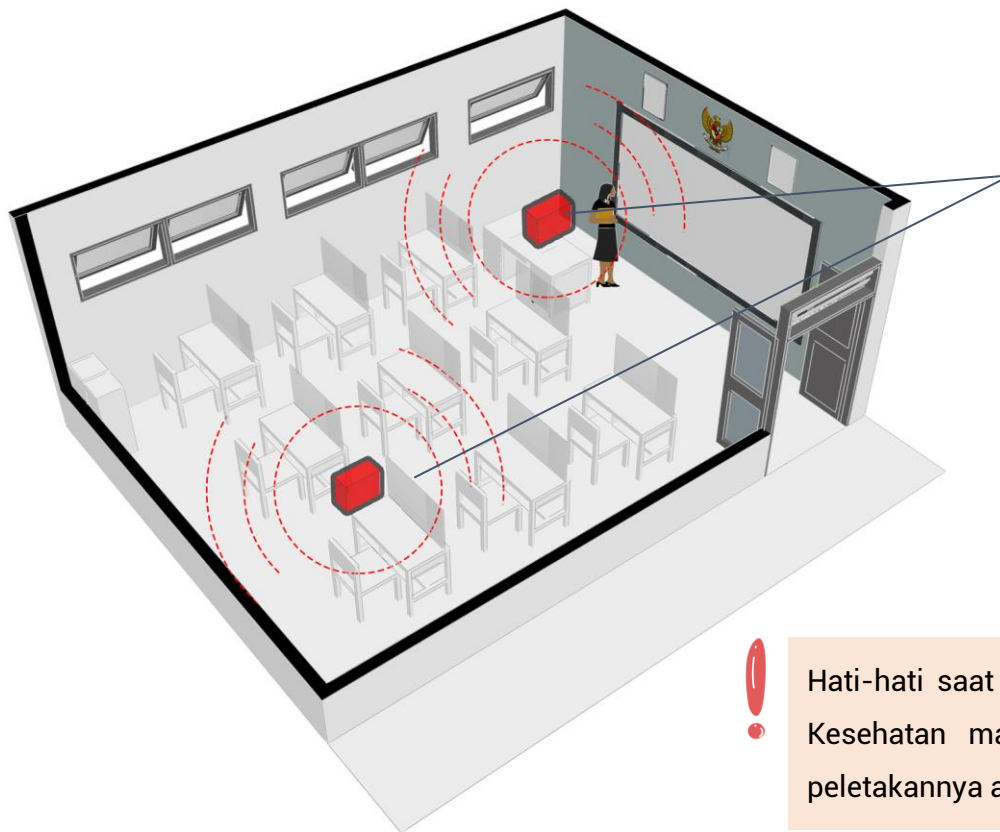
2.16. Selain CO₂, polutan udara lainnya juga dapat menimbulkan dampak buruk bagi kesehatan, baik jangka pendek maupun jangka panjang. Membuka jendela dapat meningkatkan resiko masuknya polutan dari luar ruangan. Adanya **alat monitor atau sensor kualitas udara yang dapat mendeteksi beberapa konsentrasi polutan udara**, seperti PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, CO, senyawa organik mudah menguap (*Volatile organic compound*), dapat membantu untuk mengetahui kondisi udara.

Tabel 2. Rekomendasi Ambang Batas Parameter Kualitas Udara dalam Ruang

Parameter Kualitas Udara dalam ruang	Rekomendasi batas kesehatan	Standard Referensi	Sumber polutan udara
Temperatur Udara	26 - 29 °C	- CIBSE Guide A (2016) - CIBSE AM10 (2005) - ASHRAE Standard 62.1 (2019)	
Kelembaban Relatif	60 - 65 %		
Karbon dioksida (CO ₂)	800 - 1000 ppm		
Laju ventilasi udara segar	minimum 10 L/s		
Kecepatan Udara	0.2 m/s		
Polutan Udara lainnya:			
Carbon monoxide (CO)	Max 10 ppm / 8 jam atau Max 30 ppm	- CIBSE Guide A (2016) - PERMENKES No. 48 Tahun 2016	Asap kendaraan bermotor, korpor gas
Nitrogen dioksida (NO ₂)	Max 100 ppb / jam dan Max 30 µg/m ³ (rata-rata tahunan)	- WHO (2000)	
Ozon (O ₃)	Max 0.5 ppm	- PERMENKES No. 48 Tahun 2016	Refrigeran, bahan pembersih, alat pembersih udara
Formaldehida	Max 0.1 ppm	- PERMENKES No. 48 Tahun 2016	Material plafon, partisi, insulasi, karpet, kain
PM ₁₀	Max 150 µg/m ³ dan Max 50 µg/m ³ (rata-rata tahunan)	- PERMENKES No. 48 Tahun 2016 - USEPA (2013)	Asap kendaraan bermotor, debu, tanah
PM _{2.5}	Max 35 µg/m ³ dan Max 12 µg/m ³ (rata-rata tahunan)		

Meminimalisir Polutan Udara Dalam Ruang Kelas dengan Penyaring Udara dan Pembersih Udara

2.17. Sebagai upaya lebih lanjut untuk meminimalisir polutan udara, pertukaran udara alami yang baik akan lebih maksimal mendilusi polutan udara dan membunuh virus dengan teknologi penyaring dan pembersih udara.



Rekomendasi:

1. Menggunakan sistem penyaring udara (*Air Filtration System*) yang dilengkapi dengan HEPA Filter dapat memaksimalkan upaya membersihkan udara dari polutan.
2. Menggunakan pembersih udara (*Air Purifier*) dapat membunuh virus dan bakteri.
3. Alat penyaring udara dan pembersih udara idealnya dipasang pada jalur masuk udara. Namun, pada ruang kelas di sekolah yang menggunakan sistem ventilasi silang, dimana pola aliran udara tidak dapat diprediksi secara akurat, sebaiknya meletakkan minimum 2 (dua) alat penyaring dan pembersih udara portable untuk diletakkan di tengah ruangan dekat para murid dan di depan kelas dekat dengan pembicara, karena seseorang berpotensi lebih tinggi menyebarkan virus melalui udara saat berbicara atau presentasi didepan kelas.



Hati-hati saat memilih peralatan dengan sistem UVGI. Sinar UV berbahaya bagi Kesehatan manusia jika terpapar langsung. Perhatikan spesifikasi alat dan peletakkannya agar aman bagi siswa-siswi.

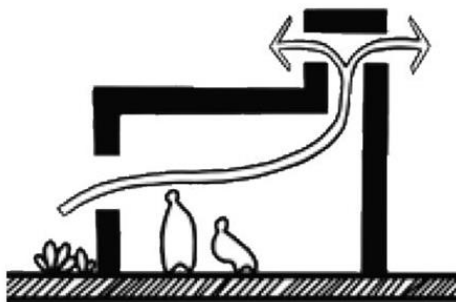
Melakukan Renovasi Sekolah Untuk Meningkatkan Ventilasi Alami



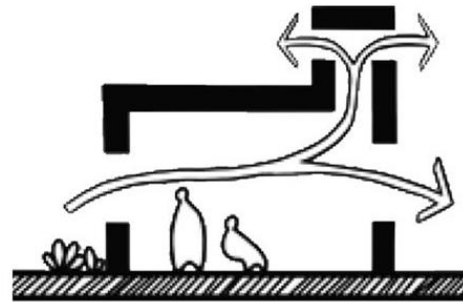
Ventilasi Silang dengan tingkat ketinggian yang sama



Ventilasi Silang dengan tingkat ketinggian yang berbeda



Ventilasi dengan Stack Effect



Ventilasi Silang dan Stack Effect

Sumber: Panduan Sekolah Sehat Net Zero Provinsi DKI Jakarta. GBC Indonesia

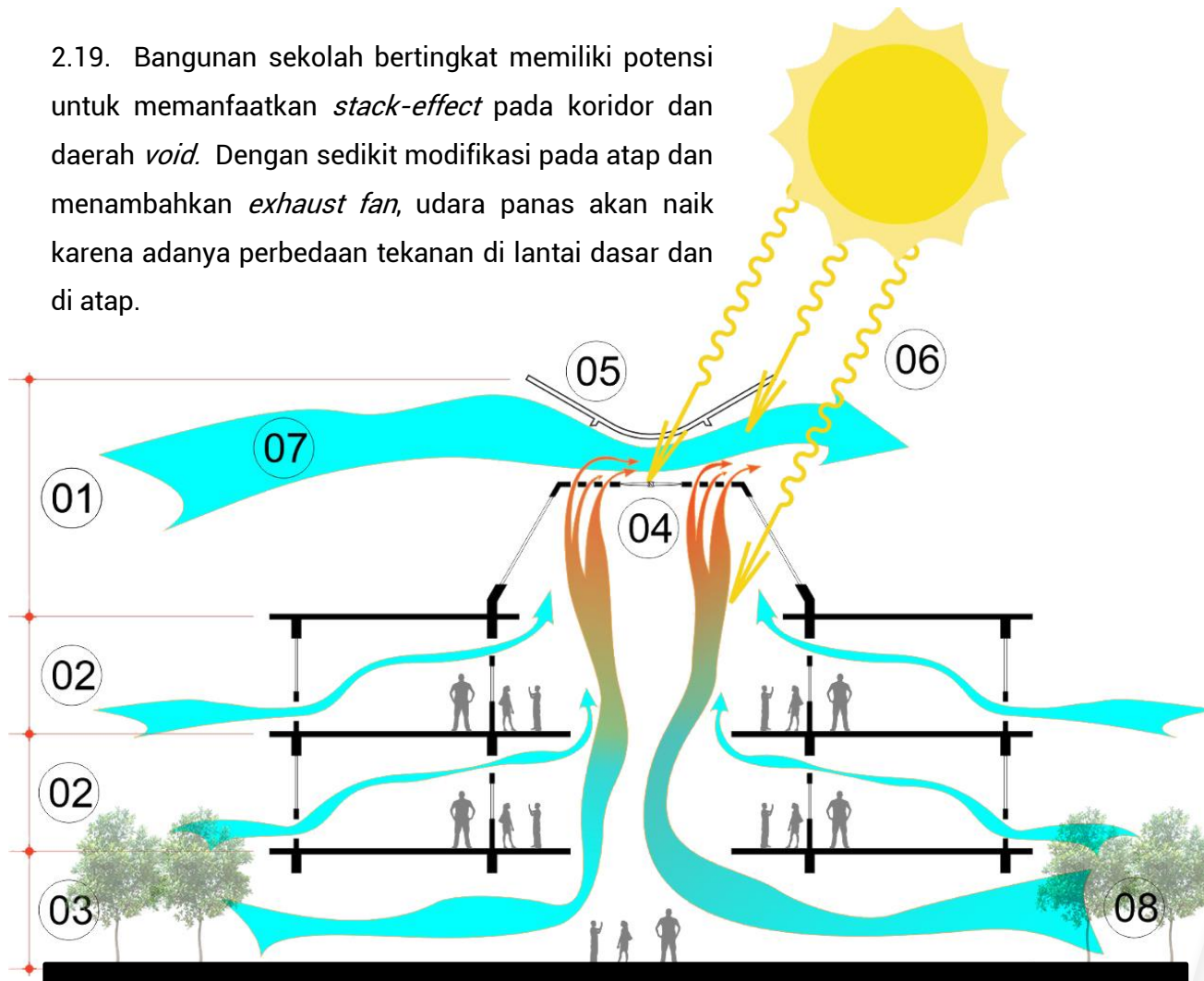
2.18. Ventilasi silang dapat dicapai dengan berbagai macam cara seperti pada contoh gambar di samping. Namun, memang saat ini tidak semua sekolah memiliki kondisi eksisting yang mendukung ventilasi silang. Diharapkan kedepannya sekolah-sekolah di Indonesia tidak lagi bergantung pada pengkondisian udara (AC) melainkan ventilasi alami.

Rekomendasi:

1. **Memperbesar luas bukaan** dengan menambah jumlah bukaan sehingga memungkinkan pertukaran udara yang maksimal. Jika tinggi ruang masih belum maksimal, sebaiknya
2. **Meninggikan plafon** untuk meningkatkan volume ruang dan memungkinkan pertukaran udara yang lebih signifikan.
3. **Menggunakan turbin atap** pada bangunan sekolah bertingkat rendah yang berhubungan langsung dengan ruang kelas sehingga udara panas yang naik dapat langsung keluar melalui atap.
4. **Melakukan renovasi** sekolah sesuai dengan panduan sekolah sehat yang mengutamakan penggunaan ventilasi alami.

Melakukan Renovasi Sekolah Untuk Meningkatkan Ventilasi Alami

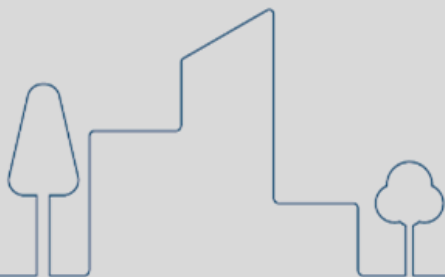
2.19. Bangunan sekolah bertingkat memiliki potensi untuk memanfaatkan *stack-effect* pada koridor dan daerah *void*. Dengan sedikit modifikasi pada atap dan menambahkan *exhaust fan*, udara panas akan naik karena adanya perbedaan tekanan di lantai dasar dan di atap.



1. Rumah Kaca
2. Ruang kelas formal
3. Ruang Serbaguna
4. Exhaust fan untuk menarik udara panas keluar rumah kaca jika tidak ada angin
5. Atap transparan dengan bentuk melengkung ke bawah memberi efek kontraksi/venturi mengakibatkan tekanan rendah relatif dengan ruang dibawahnya
6. Radiasi matahari memanasi rumah kaca
7. Angin terjadi pada *micro-climate* mengakibatkan efek venturi
8. Udara yang memuai akibat radiasi matahari bergerak keatas, yaitu *stack / buoyancy effect*, sehingga menggerakkan udara pada ruang-ruang lainnya ke arah rumah kaca

BAB 3

Studi Kasus – Sekolah Menengah Atas di DKI Jakarta

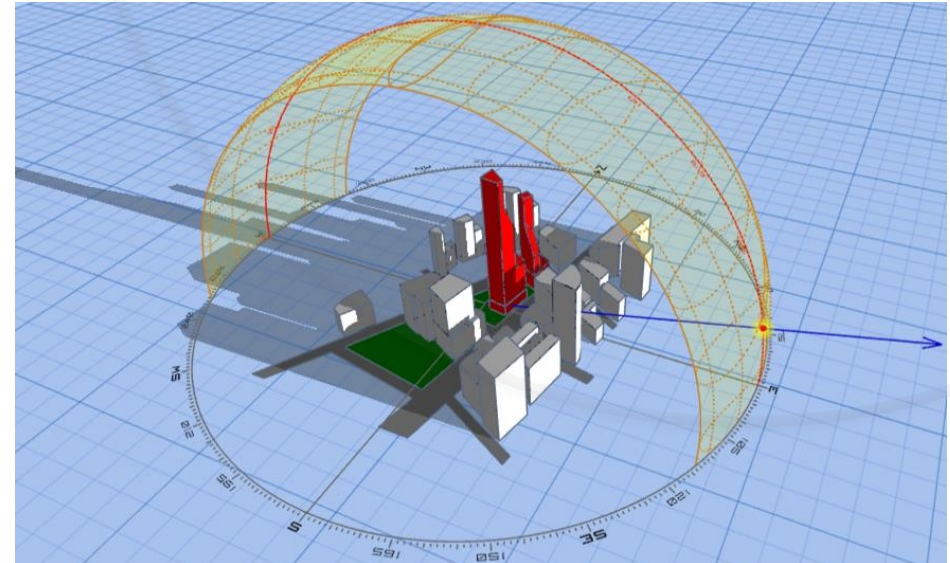


www.gbcindonesia.org

Kondisi Iklim Tropis DKI Jakarta yang Panas dan Lembab

3.1. Pada panduan ini, akan dibahas studi kasus salah satu sekolah yang di DKI Jakarta. Dimulai dari penjabaran isu-isu bangunan sekolah dan pendekatan praktis guna menjalani sekolah dengan aman dan sehat di kondisi pandemi.

3.2. Kondisi iklim ini mempunyai pengaruh signifikan pada desain bangunan sekolah. Indonesia sebagai bagian dari daerah tropis, mempunyai karakter iklim panas dan lembab. DKI Jakarta ini mendapatkan pancaran cahaya matahari sepanjang tahun. Karakter suhu udara minimum di rentang 20-23 °C dan rentang suhu udara maksimum di 27-32 °C dengan kelembaban relatif di rentang yang cukup tinggi 75-85%.



3.3. Suhu dan kelembaban udara pada iklim tropis mampu menahan laju penyebaran virus COVID-19 dibandingkan pada iklim dingin dan kering. Virus COVID-19 bertahan hidup lebih lama pada suhu dibawah 19 °C dibandingkan pada suhu yang lebih tinggi. Jika udara terlalu lembab, partikel udara menjadi berat dan mudah jatuh ke permukaan dan dapat dicegah dengan disinfektan pada permukaan dan rajin mencuci tangan. Sedangkan kelembaban udara yang rendah membawa partikel udara terbang lebih jauh dan menyebar lebih luas sehingga dapat langsung terhirup oleh manusia.

3.4. Desain sekolah di DKI Jakarta pada umumnya memiliki kesamaan yaitu ruang dengan 2 bukaan pada kedua sisi yang berlawanan. Hal ini sebenarnya berpotensi untuk adanya ventilasi silang, namun semakin banyak sekolah yang beralih ke perangkat pengkondisian udara (AC).

Isu Ventilasi Alami - Ruang Kelas ber-AC Tanpa Sirkulasi Udara Segar

3.4. Isu-isu yang menghalangi terjadinya ventilasi alami yang optimal di dalam ruang kelas, yaitu:

1. Mayoritas ruang kelas menggunakan perangkat pengkondisi udara (AC) dan kipas angin gantung (*ceiling fan*).
2. Jenis AC yang digunakan adalah AC jenis *unitary split* tanpa adanya introduksi udara segar ke dalam ruangan.
3. Pemakaian AC mendorong untuk menutup jendela rapat-rapat untuk mengakomodasi ruangan yang ber-AC sehingga menghalangi terjadinya ventilasi udara silang.
4. Lubang ventilasi ditutup atau diberi penghalang untuk mencegah udara dari dalam ruangan yang ber-AC keluar.

3.5. Dalam kondisi pandemi COVID-19, penularan dapat terjadi melalui droplet maupun melalui udara. Desain ruangan kelas yang menggunakan AC unitary split akan sangat mengurangi proses pergantian udara kotor yang berisi berbagai macam polutan dan mikroorganisme di dalam ruangan dengan udara bersih yang berada di luar ruangan. Langkah pertama yang dapat dilakukan adalah memicu terjadinya pergerakan udara dalam ruang kelas.



Optimalisasi Ventilasi Udara Alami di Dalam Ruang Kelas

3.6. Terjadinya pergerakan udara dapat terjadi secara alami maupun buatan. Secara alami dapat dimanfaatkannya ventilasi alami udara, sementara secara buatan dapat dibantu dengan peralatan mekanikal, yang mana kedua hal tersebut dapat dimaksimalkan dengan:

1. Membuka lebar-lebar jendela dan pintu, sehingga dapat terjadi aliran ventilasi silang dan menurunkan suhu serta kelembaban
2. Untuk ruangan ber-AC tanpa adanya introduksi udara segar, maka dapat sering-sering membuka jendela dan pintu saat waktu istirahat atau pergantian pelajaran.
3. Meminimalkan halangan di depan bukaan yang dapat mengganggu aliran udara (e.g lemari, gordena, blind, etc)
4. Menggunakan kipas angin gantung maupun kipas angin dinding untuk meningkatkan kenyamanan termal
5. Menggunakan *exhaust fan* di titik-titik bukaan
6. Menggunakan tanaman indoor dan outdoor sebagai filter polutan dan menurunkan suhu iklim mikro
7. Menggunakan penyaring udara dan pembersih udara untuk meminimalisir polutan di udara.



REFERENSI

- [1] Panduan Penyelenggaraan Pembelajaran Pada Tahun Ajaran 2020/2021 dan Tahun Akademik 2020/2021 Di Masa Pandemi Coronavirus Disease 2019 (COVID-19).
- [2] WHO..2020. Modes of Transmission of Virus Causing COVID-19: Implications or IPC Precaution Recommendations. www.who.int/news-room/commentaries/detail/modes-of-transmission-of-virus-causing-covid-19-implications-or-ipc-precaution-recommendations/.
- [3] Bazant, M and Bush, J.W. 2021. A guideline to limit indoor airborne transmission of COVID-19. Proceedings of The National Academy of Sciences of The United States of America. 118 (7). <https://doi.org/10.1073/pnas.2018995118>
- [4] Barwise, Y., Kumar, P. Designing vegetation barriers for urban air pollution abatement: a practical review for appropriate plant species selection. npj Clim Atmos Sci 3, 12 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41612-020-0115-3>. <https://doi.org/10.1038/s41612-020-0115-3>
- [5] M. Z. Bazant et al., 2021. Monitoring carbon dioxide to quantify the risk of indoor airborne transmission of COVID-19. <https://doi.org/10.1101/2021.04.04.21254903>
- WHO, 2000. Air Quality Guidelines. 2 ed. Copenhagen: World Health Organization Regional Office for Europe
- WHO. 2021. Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19
- CIBSE, 2005. Application Manual (AM) 10: Natural Ventilation in Non-Domestic Buildings. London, UK: Chartered Institution of Buildings Services Engineers
- CIBSE, 2016. CIBSE Guide A: Environmental design. London: CIBSE.
- PERMENKES NOMOR 48 TAHUN 2016 Tentang Standar Keselamatan dan Kesehatan Kerja Perkantoran.
- USEPA, U. E. P. A., 2013. National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter. Washington DC: USEPA. Warshaw, R. J., 1988.
- SNI 19-0232-2005 Nilai Ambang Batas (NAB) Zat Kimia di Udara Tempat Kerja
- ASHRAE Standard 62.1-2019, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality

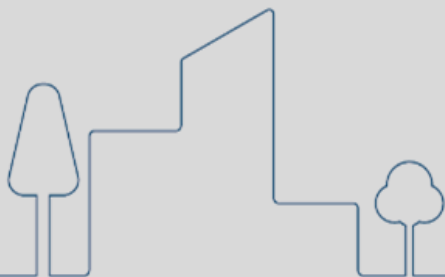
INFORMASI TAMBAHAN

1. www.healthychildren.org/English/health-issues/conditions/COVID-19/Pages/Return-to-School-During-COVID-19.aspx
2. www.emro.who.int/health-topics/corona-virus/back-to-school.html
3. www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/schools-childcare/operation-strategy.html
4. www.unicef.org/croatia/media/4351/file/UNICEF%20Guidance%20Safe%20and%20Healthy%20Journeys%20to%20School.pdf
5. www.ashrae.org/technical-resources/covid-19-one-page-guidance-documents
6. www.epa.gov/coronavirus/ventilation-and-coronavirus-covid-19
7. Permen PU Nomor 05/2012
8. Panduan Sekolah Sehat Net Zero GBC Indonesia

Versi 1.0 – JUNI 2021

Diterbitkan oleh:

Green Building Council Indonesia



www.gbcindonesia.org