

Investigasi Kualitas Udara Ruang Kelas dengan Perubahan Ventilasi Aktif Menjadi Alami Pasca Pandemi di Daerah Tropis Lembab

Investigation Of Classroom Air Quality with Changing Active Ventilation To Natural Ventilation Post Pandemic in Tropic Humid Region

Tri Woro Setiati¹⁾, Sandra Eka Febrina²⁾, Fajar Sadik Islami³⁾

^{1,3)} Universitas Tridinantia Palembang, Sumatera Selatan

¹⁾ worosetiati@univ-tridinanti.ac.id

²⁾ Universitas Indo Global Mandiri, Palembang, Sumatera Selatan

Sandra.ek@uigm.ac.id

[Diterima 20/09/2022, Disetujui 05/10/2022, Diterbitkan 31/12/2022]

Abstrak

Pandemi Covid-19 memberikan dampak dan perubahan yang cukup signifikan dalam kehidupan manusia. Sebelum masa pandemi, rata-rata sekolah telah menggunakan *air conditioning* untuk menjaga kualitas udara dalam. Namun, kondisi pasca pandemic memaksa seluruh ruang memanfaatkan kembali ventilasi alami. Kondisi tersebut mengharuskan jendela di ruang kelas terbuka untuk memaksimalkan pertukaran udara. Tentu saja kualitas udara di dalam ruang akan berbeda dengan sebelumnya. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi kembali kualitas udara ruang kelas yang mengalami perubahan dari penggunaan sistem ventilasi buatan menjadi alami. Investigasi dilakukan dengan pengukuran kualitas udara dengan beberapa parameter diantaranya konsentrasi partikulat (PM 2,5; PM 1,0 dan PM10), kecepatan udara, temperatur dan kelembapan udara serta HCHO dan TVOC. Metode penelitian dilakukan dengan pengukuran langsung kualitas udara pada ruang kelas yang menggunakan ventilasi alami serta ruang kelas yang menggunakan *air conditioning* dalam waktu yang sama. Hasil komparasi menunjukkan bahwa, kualitas udara pada ruang kelas dengan ventilasi alami lebih baik, berdasarkan evaluasi kecepatan udara, nilai HCHO dan TVOC. Namun, untuk nilai konsentrasi partikulat menunjukkan nilai yang lebih tinggi dikarenakan jendela yang terbuka memberikan kesempatan debu dan emisi kendaraan masuk secara langsung.

Kata kunci: investigasi, ventilasi, alami, ruang kelas, tropis lembab.

Abstract

The covid-19 pandemic gave significant changes and impacts on human life. Before the pandemic hit, most schools used mechanical air conditioning to maintain indoor air quality. Then a pandemic hit and forced people to open rooms for natural ventilation to maintain indoor air quality. All openings had to be open to maximize airflow. This change led to different indoor air quality. This research investigated indoor quality when the ventilation system changed from mechanical air conditioning to natural ventilation. Indoor air quality Investigation used particulate concentrate (PM 2,5; PM 0,1; PM 10), air velocity, air temperature and humidity, also HCHO & TVOC as parameters. Direct measurement of indoor air quality was conducted in the classroom using natural ventilation and classroom using mechanical air conditioning at the same time. Results showed indoor air quality in naturally ventilated classrooms was better than in mechanically air-conditioned classrooms in air velocity and HCHO & TVOC value. However, , the particulate concentration value shows a higher value because the open window provides the opportunity for direct entry of dust and vehicle emissions

Keywords: investigation, ventilation, natural, classroom, humid tropical

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

Pendahuluan

Penyebaran virus Covid-19 melalui droplet yang tersebar oleh molekul udara memberikan dampak yang sangat besar di setiap aspek kehidupan manusia saat ini (Recken dkk, 2021). Berbagai kajian dan penelitian yang menjadi dasar pedoman dan strategi pencegahan penyebaran virus telah banyak dilakukan, khususnya pada bangunan-bangunan publik. Beberapa penelitian awal menunjukkan bahwa virus Covid-19 menyebar melalui droplet yang terpapar pada sebuah permukaan dengan jarak hingga 3-6 kaki (Kutter, 2018). Namun, penelitian terbaru menemukan bahwa virus dapat tersebar jauh sebagai tetesan atau partikel yang lebih kecil (bio-aerosol) yang tetap melekat pada sebuah molekul udara pada periode tertentu dan dapat menyebar pada jarak 1,5 m (Blocken dkk, 2020). Hasil penelitian tersebut menunjukkan udara merupakan salah satu media utama penyebaran virus, sehingga salah satu strategi pencegahannya adalah kajian ulang kembali sirkulasi udara pada ruang dalam untuk menjaga kualitas udara dan peningkatan pertukaran udara segar di dalam ruang (Zhang, Ding, Bluyseen, 2022). Para peneliti secara ekstensif membahas peran penting ventilasi dalam pengendalian infeksi di udara. Dalam praktiknya, saat ini, semua masih berfokus pada kajian ventilasi di rumah sakit karena didominasi para pasien yang terjangkit Covid-19, sedangkan bangunan publik lainnya seperti sekolah belum banyak yang memperhatikan. Walaupun sementara dalam kondisi darurat sekolah-sekolah memberlakukan pembelajaran secara tidak langsung, pada akhirnya nanti pembelajaran secara langsung harus dilaksanakan kembali.

Sebelum terjadinya pandemi di dunia, 75% sekolah, khususnya sekolah swasta di Palembang menggunakan sistem ventilasi buatan pada ruang kelas. Pemanfaatam ventilasi buatan dengan alat mekanik *air conditioning* bertujuan untuk menjaga kualitas udara dan kenyamanan termal bagi para siswa, sehingga proses belajar-mengajar dapat dilaksanakan dengan nyaman. Pemanfaatan ventilasi buatan tentu saja tanpa pertimbangan pengendalian penyebaran atau transmisi udara yang terjadi di dalam ruang kelas. Namun, setelah pandemic terjadi hal ini menjadi fokus utama untuk diketahui bagaimana strategi pencegahannya. Secara spontan, saat ini rekomendasi utama yang diajukan sebagai strategi pencegahan penyebaran virus di dalam ruang adalah dengan memanfaatkan kembali ventilasi alami dengan membuka jendela-jendela pada ruang. Perubahan secara drastis dari penggunaan ventilasi buatan menjadi ventilasi alami akan berdampak pada kualitas udara yang ada. Kondisi aliran udara yang terjadi tentu sangat berbeda antara dua kondisi tersebut.

Kualitas udara di dalam ruangan merupakan salah satu aspek yang sangat mempengaruhi Kesehatan dan kenyamanan pengguna (Thendean, Tejokeosumo, Rakhmawati, 2019). Faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas udara diantaranya konsentrasi partikulat (PM 1, PM2,5, PM 10), temperatur, kelembapan serta kecepatan udara hingga kandungan zat kimia pada molekul udara seperti kandungan HCHO (*formaldehyde*) dan TVOC. Kualitas udara merupakan hal yang penting pada suatu ruang kelas, apalagi saat kondisi pandemic saat ini. Sebelum masa pandemic pun WHO telah menjalankan program *healty school* dilaksanakan untuk mengurangi faktor risiko salah satunya terkait dengan kondisi kronis pada anak dan remaja di sekolah yang berhubungan dengan penyakit pernafasan seperti asma.

Penelitian ini dilakukan sebagai langkah awal untuk mengetahui atau menginvestigasi bagaimana kualitas udara pada ruang kelas yang menggunakan ventilasi buatan dan alami di daerah tropis lembab, khusus di Kota Palembang. Hasil penelitian menjadi rujukan lanjutan untuk rekomendasi standar penggunaan sistem ventilasi yang aman dan sehat bagi ruang kelas di daerah tropis lembab. Selain itu juga, hasil penelitian dapat menjadi data awal untuk optimasi ventilasi alami yang lebih baik diaplikasikan pada kondisi pasca pandemic di daerah tropis lembab.

Metode Penelitian

Pengumpulan data secara empiris dari hasil monitoring kualitas udara pada ruang kelas merupakan metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini. Pengukuran secara langsung pada obyek studi, yaitu salah satu sekolah dasar yang terletak di kota Palembang. Palembang memiliki karakteristik iklim makro tropis lembab. Pengukuran menggunakan dua alat yaitu (1) *air quality detector* dan (2) anemometer *hot wire*. Alat *air quality detector* berfungsi untuk mengukur konsentrasi partikulat mulai dari PM 1,0; 2,5, 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), kadar HCHO (mg/m^3), TVOC (mg/m^3), Temperatur ($^{\circ}\text{C}$), kelembapan (%). Sedangkan anemometer *hotwire* digunakan untuk mengukur kecepatan angin (m/s) di ruang dalam dan luar.

Metode analisis data yang digunakan adalah metode kuantitatif berdasarkan nilai yang diperoleh dari data pengukuran. Analisis komparasi juga dilakukan pada 2 data yang diperoleh dari dua kondisi yang berbeda sehingga dapat dilakukan evaluasi kondisi mana yang lebih direkomendasikan untuk strategi pencegahan penyebaran virus Covid-19 pada ruang kelas di daerah tropis lembab. Evaluasi dilakukan terhadap hasil pengukuran dengan nilai ambang batas yang direkomendasikan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekomendasi ambang batas parameter kualitas udara ruang kelas

Parameter Kualitas Udara dalam Ruang	Rekomendasi batas Kesehatan	Standard Referensi	Sumber polutan udara
Temperatur Udara	26 - 29 $^{\circ}\text{C}$		
Kelembaban Relatif	60 - 65 %	-CIBS Guide A	
Karbon dioksida (CO_2)	800 – 1000 ppm	(2016)	
Laju ventilasi udara segar	Minimum 10 L/s	-CIBS AM 10 (2005)	
Kecepatan udara	0.2 m/c	-ASHRA Standard 62.1 (2019)	
Polutan Udara Lainnya:			
Carbon monoxide (CO)	Max 10 ppm / 8 jam atau max 30 ppm		Asap kendaraan bermotor, kompor gas
Nitrogen dioxide (NO_2)	Max 100 ppb / jam dan Max 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (rata-rata tahunan)		
Ozon (O_2)	Max 0.5 ppm		Refrigeran, bahan pembersih, alat pembersih udara
Formaldehida	Max 0.1 ppm		Material plafon, partisi, insulasi, kaarpet, kain
PM ₁₀	Max 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan Max 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (rata-rata tahunan)		Asap kendaraan bermotor, debu, tanah
PM ₂₅	Max 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan Max 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (rata-rata tahunan)	-PERMENKES NO. 48 Tahun 2016 -USEPA (2013)	

(Sumber: Winata dkk, 2021)

Obyek Studi

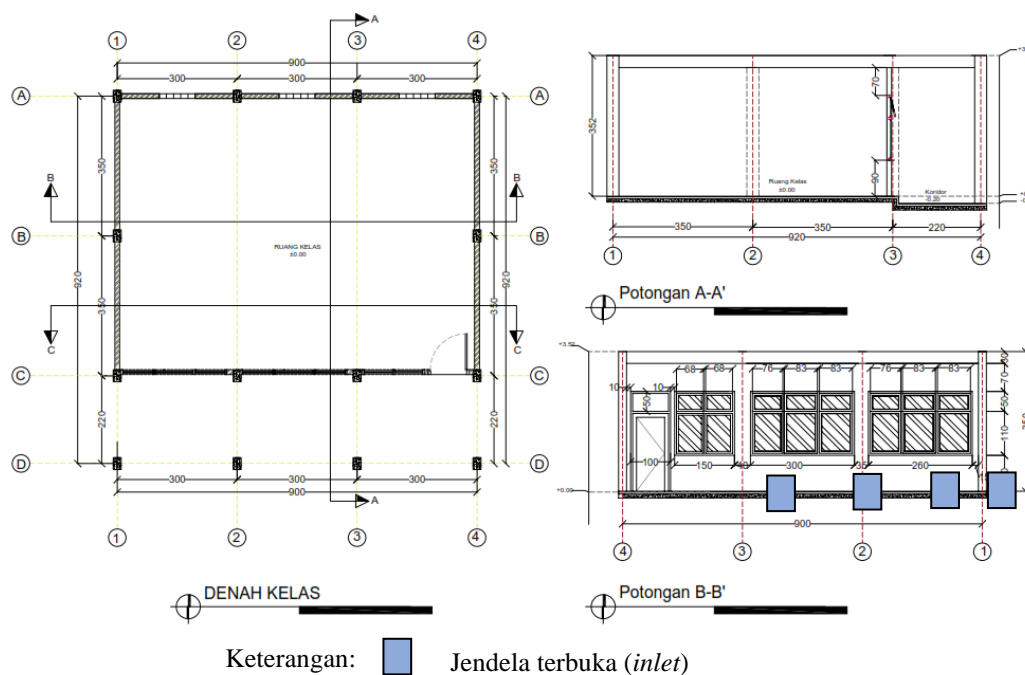
SDIT Al-Furqon Palembang merupakan obyek studi pada penelitian ini. Terletak di daerah Kawasan komersil di Jalan R. Sukamto. SDIT Al-Furqon merupakan salah satu sekolah yang sebelum masa pandemi menggunakan sistem ventilasi buatan secara menyeluruh di setiap kelas. Penentuan ruang kelas sebagai obyek studi berdasarkan

pertimbangan densitas ruang (jumlah siswa dan luasan ruangan), lama belajar serta luas dan posisi bukaan. Ruang kelas yang dipilih berada di lantai dasar dengan posisi bukaan 90° terhadap arah datang angin dengan frekuensi tertinggi. Ruang kelas berukuran 7m x 9m dengan kapasitas siswa sebanyak 28 orang (Gambar 1.1). Kondisi ini sesuai dengan standar ketentuan ASHRAE (1999) dan Permendiknas No.24 Tahun 2007 yang menetapkan kepadatan maksimum ruang (densitas) untuk mempertahankan kualitas udara ruang pada ruang kelas adalah 2m² (Talarosaha, 2016).

Ruang kelas memiliki pintu dengan luasan 1,75m² dan total luasan jendela 10,6 m² (terdapat hanya pada satu sisi dinding saja). Tipe jendela adalah jendela geser (*sliding*), sehingga luasan jendela yang dapat terbuka secara bersamaan menjadi *inlet* angin sebesar 2,72 m². Sebelum terjadi pandemic, selama waktu belajar pintu dan jendela selalu tertutup. Pintu terbuka hanya disaat waktu istirahat. Namun, saat ujicoba pembelajaran tatap muka terbatas (PTMT), sekolah menetapkan bahwa jendela dan pintu diharuskan terbuka dan *air conditioning* tidak digunakan. Berdasarkan hal tersebut dapat dihitung luasan lubang ventilasi untuk menjamin aliran udara segar masuk ke dalam ruangan berkisar 4,3% (perbandingan luasan inlet dan luasan lantai kelas, dengan ketinggian lantai kelas 3,5 m).

Waktu Pengukuran

Waktu pelaksanaan pengukuran didasarkan pada pertimbangan durasi belajar-mengajar yang dilaksanakan oleh sekolah. Pengukuran mengikuti jadwal masuk dan keluar sekolah normal, yaitu dari pukul 07.00 – 14.00 wib. Pengukuran dilakukan selama 3 (tiga) hari selama kativitas sekolah berlangsung.



Gambar 1. Denah dan Potongan Ruang Kelas

Perletakkan Alat Ukur

Alat ukur untuk *air quality detector* diletakkan pada tengah ruang kelas pada level 0,8m (disesuaikan pada level ketinggian anak) dari permukaan lantai. Sedangkan anemometer diletakkan pada dua titik yaitu di bagian *inlet* ruangan (pintu dan jendela) (Gambar 2), halaman sekolah dan titik tengah ruangan. Perbedaan titik ukur ini untuk melihat seberapa besar pengaruh angin luar dan bagaimana kinerja *inlet* ruangan. Pengukuran dilakukan pada dua kelas dengan kondisi yang berbeda. Ruang kelas A dikondisikan menggunakan ventilasi alami 100% dan Ruang Kelas B menggunakan *air conditioning*.



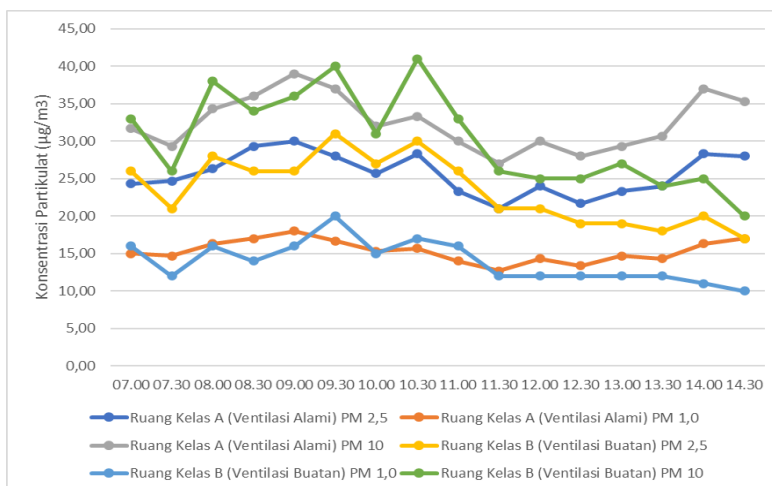
Gambar 2. Teknik pengukuran dan perletakkan alat ukur

Hasil dan Pembahasan

Evaluasi Kualitas Udara Ruang Kelas

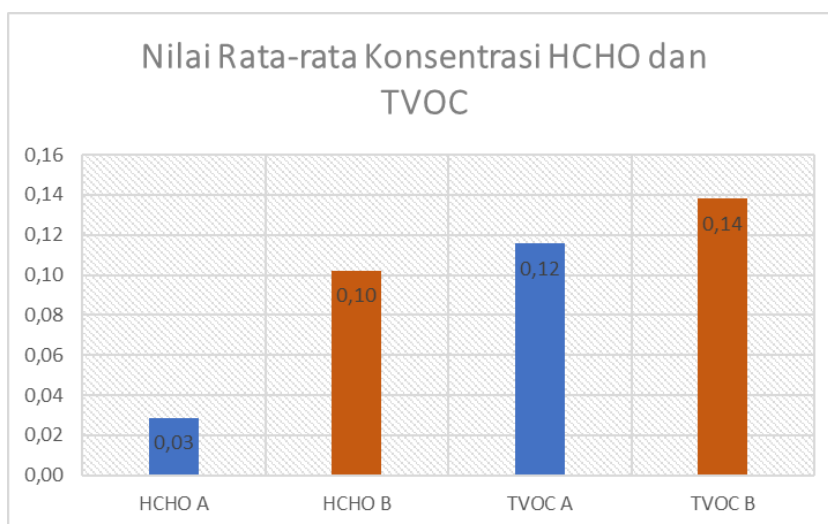
Hasil pengukuran kualitas udara ruang kelas dengan indikator konsentrasi partikulat PM 2,5; PM 1,0 dan PM 10 menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan antara kedua ruang tersebut (Gambar 3). Nilai konsentrasi partikulat yang lebih tinggi terjadi pada ruang dengan ventilasi alami. Kondisi tersebut dilatarbelakangi bahwasannya konsentrasi partikulat PM 2,5 dan PM 10 merupakan emisi yang datang dari luar ruangan (E. Ding dkk, 2022). Ruang yang membuka lebar jendela akan berpeluang untuk memasukkan polusi dari luar.

Evaluasi dilakukan dengan membandingkan Nilai Ambang Batas (NAB) dalam waktu 24jam dengan nilai PM 2,5 (25 ug/Nm³) dan PM 10 (50 ug/Nm³) (Inaku dan Novianus, 2020). Berdasarkan nilai ambang batas, kualitas udara ruang kelas berkaitan dengan PM 2,5 berada di atas NAB pada periode tertentu. Hal ini akan menjadi evaluasi lanjutan untuk dapat mencari strategi pengendaliannya. Karena PM 2,5 di dalam ruang dipengaruhi oleh emisi kendaraan, kontribusi emisi kendaraan ditemukan lebih tinggi pada sekolah-sekolah yang terletak dekat dengan jalan raya (Rosalia, Wispriyono dan Kusnoputranto, 2018). Hasil penelitian lainnya pun menunjukkan bahwa adanya korelasi positif peningkatan prevalensi asma dan rhinitis pada anak sekolah dengan konsentrasi PM 2,5 yang tinggi di dalam kelas (Maesano, 2012). Evaluasi untuk konsentrasi PM 1,0 dan PM 10 masih berada pada kondisi aman atau di bawah nilai ambang batas yang berlaku.



Gambar 3. Perbandingan nilai konsentrasi PM 2,5; PM 1,0 dan PM 10 pada Ruang Kelas A dan B

Evaluasi lanjutan dilakukan dengan membandingkan nilai konsentrasi HCHO (*formaldehyde*) dan TVCO (*total volatile organics compound*) yang merupakan polutan kimia yang terdapat pada *finishing* dengan bahan campuran *thinner* di dalam ruangan (Thendean, Tejokoesumo, dan Rakhmawati, 2019). Gambar 4 menunjukkan bahwa kadar HCHO dan TVOC yang lebih rendah terjadi pada kelas yang menggunakan ventilasi alami. Kondisi ini dipengaruhi oleh kecepatan angin yang lebih tinggi di kelas A, karena jendela yang terbuka. Sehingga memberikan peluang adanya pertukaran udara segar. Kondisi berbeda pada ruang B yang rendah pergerakan aliran udara nya, mengakibatkan konsnetrasi HCHO dan TVOC lebih tinggi.

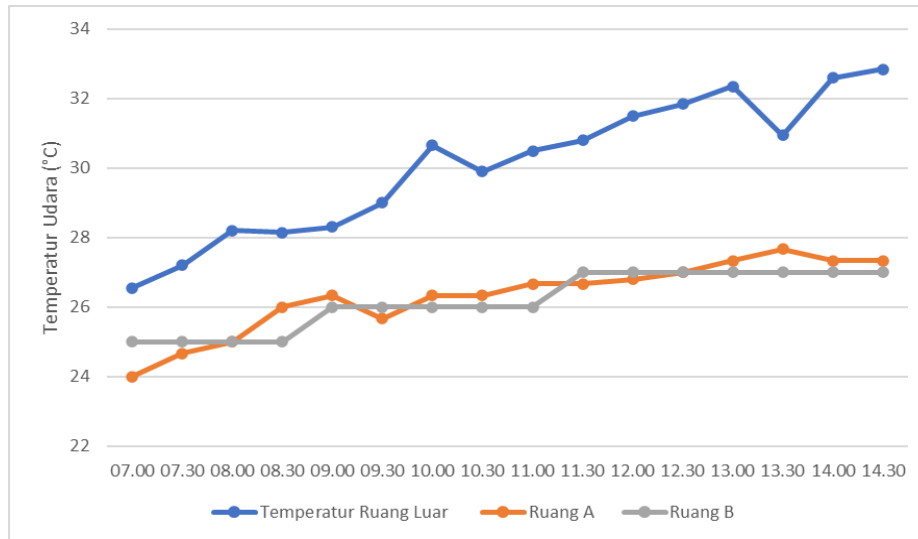


Gambar 4. Perbandingan konsentrasi HCHO dan TVOC pada Ruang A dan B

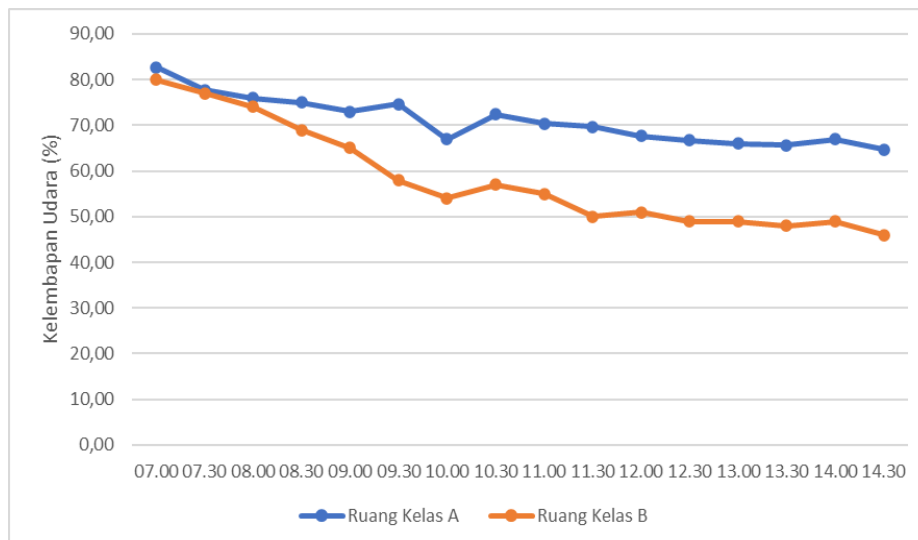
Evaluasi temperature dan kelembapan udara

Temperatur dan kelembapan udara yang dievaluasi pada penelitian ini ada tiga data, yaitu ruang luar, ruang kelas A (ventilasi alami) dan ruang kelas B (ventilasi buatan/menggunakan *air conditioning*). Hasil pengukuran (Gambar 5) menunjukkan bahwa adanya perbedaan atau ΔT antara ruang luar dan dalam sebesar $3,7^{\circ}$ - $3,9^{\circ}$. Rata—rata temperatur ruang dalam kelas A dan B masih termasuk dalam rentang temperatur hangat nyaman ($25,8 - 27,1^{\circ}\text{C}$) (Karyono, 2013). Analisis dan komparasi terhadap

kondisi temperatur udara ruang kelas A dan B memperlihatkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Ruang kelas A memiliki kecenderungan temperature udara yang lebih tinggi dan fluktuatif dibandingkan Ruang Kelas B. Hal ini dikarenakan temperature udara ruang dalam terpengaruh secara langsung oleh temperatur ruang luar akibat jendela yang terbuka. Jendela yang terbuka mengakibatkan adanya peluang lebih tinggi terhadap masuknya panas melalui radiasi dan koonveksi. Berbeda dengan Ruang Kelas B dengan kondisi temperature udara yang lebih rendah dan stabil karena telah terkondisikan oleh alat mekanik berupa *air conditioning*.



Gambar 5. Temperatur udara rata-rata Ruang luar, Ruang Kelas A dan B



Gambar 6. Perbandingan kondisi kelembapan udara Ruang Kelas A dan B

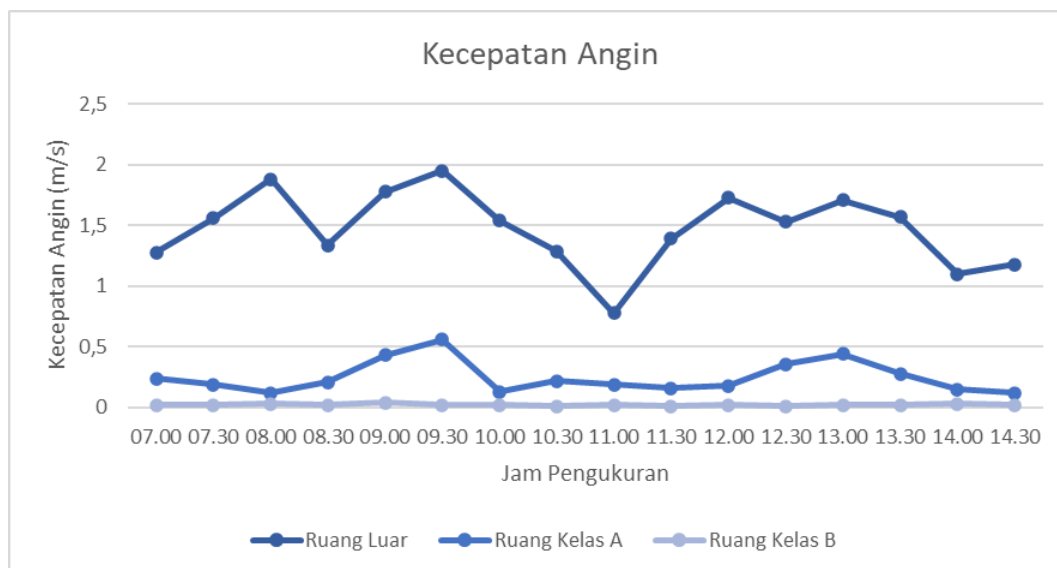
Hasil yang sama dengan pengukuran temperature udara, kelembapan udara pada ruang kelas A dan B memiliki trend yang sama dengan temperature udara. Secara spontan ruang kelas A akan mengikuti fluktuasi kelembapan dari ruang luar. Dikarenakan hubungan secara langsung udara ruang luar dan dalam akibat jendela yang terbuka. Seperti halnya temperature udara di ruang kelas B, kelembapan udara juga cenderung stabil karena telah diatur oleh alat mekanik.

Evaluasi terhadap temperature udara dan kelembapan udara ruang kelas menunjukkan bahwasanya Kelas A memiliki kondisi yang lebih fluktuatif karena terpengaruh langsung oleh ruang luar. Namun apabila dilihat dari sisi temperature nya saja, rentang temperature yang terjadi di ruang kelas A masih dalam kategori hangat-nyaman. Untuk kondisi kelembapan di ruang kelas A dapat dilakukan strategi penurunan kelembapan dengan bantuan kipas angin. Untuk evaluasi ruang kelas B, tentu saja akan memberikan kenyamanan termal yang lebih baik, karena kondisi kenyamanan dapat diatur langsung melalui *air conditioning*.

Evaluasi pergerakan udara

Analisis dan evaluasi terhadap aliran udara ataupun kecepatan angin merupakan poin utama untuk dapat menyimpulkan bagaimana pendistribusian aliran udara yang lebih baik dari dua kelas yang diamati. Berkaitan dengan aliran udara tentu saja sistem ventilasi sangat mempengaruhi. Ventilasi mengacu pada proses memasok udara segar ke lingkungan dalam ruangan dan menguras udara tercemar (Ethridge dan Sandberg, 1996). Gambar 7 menunjukkan pergerakan udara yang terjadi pada ruang luar, kelas A dan kelas B. Pergerakan udara yang terjadi di ruang kelas A cukup fluktuatif dan kecepatannya lebih tinggi dari kelas B.

Berdasarkan hasil pengukuran kecepatan angin pada area *inlet* kelas dengan kecepatan rata-rata yang terjadi berkisar 0,225 m/s. Kondisi kecepatan angin pada kelas A masih memenuhi rekomendasi ambang batas kesehatan yang ditetapkan ASHRAE (2019). Dengan kecepatan udara 0,255 m/s memberikan peluang lebih besar terjadinya pertukaran udara. Namun, kondisi terbalik dengan ruang kelas B dengan rata-rata kecepatan udara 0,02 m/s dengan kondisi jendela dan pintu tertutup akan mengakibatkan ruangan tidak berkesempatan mendapatkan udara segar. Apabila dikaitkan dengan kondisi pandemic saat ini, kondisi ruang kelas B memang lebih berpotensi untuk menyebarkan virus lebih mudah dan waktu penyebaran virus akan lebih lama (Winata dkk, 2021).



Gambar 7. Perbandingan kondisi kecepatan angin Ruang Kelas A dan B

Simpulan

Hasil pengukuran, analisis dan evaluasi menunjukkan bahwasannya perubahan penggunaan sistem ventilasi pada ruang kelas dari sistem ventilasi aktif menjadi alami, meberikan pengaruh positif terhadap kualitas udara di dalam ruang. Hal ini ditunjukkan dari parameter kualitas udara yang diamati, seperti kecepatan udara, temperature udara, konsentrasi HCHO dan TVOC ruang kelas A yang berada dalam rentang nilai ambang

batas normal yang disyaratkan. Namun tetap diperlukan strategi pengendalian untuk masuknya polutan PM_{2,5} yang konsentrasi sedikit di atas ambang batas normal yang disyaratkan. Hasil penelitian ini mendukung beberapa penelitian sebelumnya yang juga menyimpulkan bahwa, pada masa pandemic atau pasca pandemic nantinya, ruang sekolah yang tidak difasilitasi alat mekanikal pengkondisian dan filter udara yang baik, maka direkomendasikan untuk membuka jendela dan pintu (Ding, Zhang, dan Bluysen, 2022). Hal ini bertujuan untuk meningkatkan peluang pergantian udara di dalam kelas (*air change per hour* berkisar 2 -6 ACH).

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 2022 (Nomor Kontrak: 079/UTP.12/LPPM/VI/2022).

Daftar Pustaka

- Blocken B, Malizai F, Durnen TV, Marchal T. (2022). *Towards aerodynamically equivalent COVID19 1,5m social distancing for walking and running. Preprint.*
- Ding Er, Zhang D, Bluysen P.M. (2022). *Ventilation regimes of school classrooms against airborne transmission of infectious respiratory droplets: A review. Journal of Building and Environment 207. 108484.*
- Inaku A.H.R dan Novianus C. (2020). Pengaruh Pencemaran Udara PM 2,5 dan PM 10 terhadap keluhan Pernapaasan Anak di Ruang Terbuka Anak di DKI Jakarta. *Jurnal ARKESMAS. Volume 5, Nomor 2. Halaman 9 -16.*
- J.S. Kutter, M.I. Spronken, P.L. Fraaij, R.A. Fouchier, S. Hersft. (2018). *Transmission routes of respiratory viruses among humans, Curr. Opin. Virol. 28 . Page 142–151.*
- Karyono, Tri H. *Arsitektur dan Kota Tropis Dunia Ketiga :Suatu bahasan tentang Indonesia.* Bandung: Rajawali Pers, 2013.
- Maesano et. a. (2012) *Poor Air Quality in Classrooms Related to Asthma and Rhinitis in Primary School Children of the French 6 Cities Study. Thorax. 67(8):682-8.*
- Rosalia O, Wispriyono B, dan Kusnopranto H. (2018). Karakteristik Risiko Kesehatan Non Karsinogen pada Remaja Siswa Akibat Paparan Inhalasi Debu Particulate Matter <2,5 (PM 2,5). *The Indonesia Journal of Public Health. Vol 14 No. 01. Halaman 26-39.*
- Rencken, G.K, Rutherford, E.K, Ghanta N, Kongetos J. (2021) *Patterns of SARS-Cov-2 aerosol spread in typical classrooms. Journal Building and Environment 204.108167.*
- Talarosha, Basaria. (2016). Konsentrasi CO₂ pada Ruang Kelas dengan Sistem Ventilasi Alami, sebuah Penelitian Awal. *IPLBI. Halaman 99-104*
- Thendean F.J, Tejokeosimo P.E.D, Rakhmawati A. (2019). *Kajian Indoor Air Quality pada Rumah Tradisioanl Baileo Pegunungan di Seram bagian barat, Maluku. Jurnal INTRA vOl. 7 No.2. halaman 38-388.*

Tri W.S, Sandra E.F,Fajar S.I/ *Investigasi Kualitas Udara*

Winata P, Kurniawan I, Hardjoptakoso W, Andini. (2021). Kembali ke Sekolah dengan Aman dan Sehat di Masa Pandemi dan Pasca Pandemi COVID-19 (Panduan menuju Bangunan Sekolah Sehat yang berbasis Ventilasi Alami). Jakarta: Green Building Council Indonesia.

Zhang D, Ding Er, Bluysen P.M. (2022). *Guidance to asses ventilation performance of a classroom based on CO2 monitoring. Journal Indoor and Built environment Vo. 31 (4) page 1107-1126.*