

Konsentrasi CO₂ pada Ruang Kelas dengan Sistem Ventilasi Alami sebuah Penelitian Awal

Basaria Talarosha

Lab. Teknologi Bangunan, Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.

Abstrak

Konsentrasi CO₂ di atas 1000 ppm mengganggu kesehatan dan konsentrasi yang berdampak pada penurunan performa belajar siswa. Penelitian sebelumnya menyimpulkan konsentrasi CO₂ udara di dalam ruang kelas dengan sistem ventilasi alami berhubungan dengan tipe jendela yang digunakan. Disebutkan juga bahwa jendela gantung atas memiliki performa paling buruk dalam menetralkan konsentrasi CO₂. Studi bermaksud memonitor konsentrasi CO₂ pada sebuah ruang kelas sekolah dasar di kota Medan yang menggunakan tipe jendela tersebut. Monitoring dilakukan pada kondisi jendela sisi koridor ruang kelas dibuka dengan sudut 10°, 30° (jendela sisi berlawanan ditutup untuk keamanan) dan pintu terbuka penuh, masing-masing tiga (3) hari sepanjang waktu belajar. Seluruh jendela dan pintu dilengkapi dengan ventilasi jalusi horisontal di atasnya. Hasil studi menunjukkan konsentrasi CO₂ rata-rata udara ruang kurang dari 1000 ppm pada semua kondisi. Hal ini menunjukkan sistem ventilasi alami dengan tipe jendela sebagaimana disebutkan di atas memiliki performa yang baik dalam mempertahankan kualitas udara ruang kelas.

Kata-kunci : CO₂, jendela, ventilasi alami, ruang kelas

Abstract

High CO₂ concentration (>1000 ppm) in a classroom causes a serious impact on students' health as well as reducing their ability to concentrate. Previous research concludes that CO₂ concentration in a naturally ventilated classroom related to window types. Single awning window is presumed to be worst in CO₂ neutralization. This study aims to validate the previous research by measuring CO₂ concentration in a classroom of an elementary school in Medan. The windows at the corridor side is open with 10° and 30° inclination angle, while windows at the other side (outdoor side) are closed due to security reasons. The door is fully open during the three schooldays. All of the windows and the door have louvers at its top. The measurement results show that the average CO₂ concentration inside the classroom is always less than 1000 ppm. This means that the natural ventilation system is good enough in providing air change rate for the classroom.

Keywords : CO₂, window, natural ventilation, classroom

Kontak Penulis

Basaria Talarosha

Lab. Teknologi Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara. Jl. Dr. T. Mansyur No. 9, Padang Bulan, Medan Baru, 20155. Tel : 08126549924

E-mail : basariatalarosha@yahoo.com

Informasi Artikel

Diterima editor 5 Desember 2016. Disetujui untuk diterbitkan 3 April 2017

ISSN 2301-9247 | E-ISSN 2622-0954 | <https://jlbi.iplbi.or.id/> | © Ikatan Peneliti Lingkungan Binaan Indonesia (IPLBI)

Pengantar

Kualitas udara di dalam ruang kelas dipengaruhi oleh kondisi ventilasi (Ribéron, O'Kelly, Maupetit, & Robine, 2002) dan akumulasi pencemar udara yang bersumber dari dalam serta luar ruang. Pencemar yang dikandung udara di dalam ruang kelas antara lain karbon dioksida atau CO₂ (Simpson, 2011), *volatile organic compounds* atau VOCs (Raatikainen, Skön, Turunen, Leiviskä, & Kolehmainen, 2013), partikel berbahaya PM_{2.5} dan PM₁₀ (Rovelli et al., 2014), nitrogen dioksida atau NO₂ (Aris, 2013), *formaldehyde*, serta jamur dan mikroorganisme (Cai et al., 2011).

Konsentrasi CO₂ yang dikandung udara di dalam ruang kelas seringkali sangat tinggi (bersumber dari proses pernafasan, setiap kali manusia bernafas menghasilkan 4,4% volume CO₂) jika dibandingkan dengan CO₂ yang dikandung udara luar jika ventilasi tidak mencukupi. Konsentrasi CO₂ di atas 1000 ppm akan mengganggu kesehatan (Muscatello et al., 2014), konsentrasi belajar (Twardella et al., 2012), dan performa belajar siswa (Greene, M.Eftekhari, D.Clements-Croome, & G.Georgiou, 2012), khususnya anak usia sekolah dasar sebab mereka sedang dalam masa pertumbuhan sehingga sistem kekebalan tubuhnya belum sempurna dan rentan terhadap polutan di udara. Oleh sebab itu CO₂ sering dijadikan sebagai indikator kecukupan ventilasi untuk mengakomodasi kebutuhan udara segar (oksigen) dan mempertahankan kualitas udara di dalam ruang kelas dengan catatan tidak ada pencemar udara lain yang lebih berbahaya.

Konsentrasi CO₂ di dalam ruang kelas akan bertambah tergantung beberapa faktor antara lain jumlah dan aktivitas siswa (Pacurar & Cernazanu, 2013), densitas atau tingkat kepadatan penghunian ruang (Mysen, Berntsen, Nafstad, & Schild, 2005), lama berada di dalam ruang (Dejan Mumovic, Davies, Ridley, Altamirano-Medina, & Oreszczyn, 2007), serta jumlah udara segar (ventilation rates) yang masuk ke dalam ruang (Turanjanin, Vučićević, Jovanović, Mirkov, & Lazović, 2014). Karbon-dioksida tidak berbau dan tidak berwarna sehingga keberadaannya seringkali tidak dapat dideteksi, juga tidak dapat disaring sehingga mengurangi konsentrasi CO₂ di dalam ruang kelas hanya dapat dilakukan dengan cara pengenceran melalui pertukaran udara atau memasukkan udara segar ke dalam ruang dengan memanfaatkan ventilasi alami (Khatami, Cook, Firth, & Hudleston, 2013), ventilasi mekanis (Kalema & Viot, 2014), atau menggabungkan keduanya (Gao, Wargocki, & Wang, 2014).

Menggunakan ventilasi alami untuk mempertahankan kualitas udara di dalam ruang kelas lebih menguntungkan karena hemat energi. Hasil *monitoring* konsentrasi CO₂ yang dikandung udara pada beberapa ruang kelas sekolah yang menggunakan ventilasi alami di Malaysia

menunjukkan konsentrasi CO₂ rata-rata kurang dari 1000 ppm atau di bawah standar yang direkomendasikan oleh DOSH (*Department of Safety and Health*, Malaysia) dan ASHRAE yaitu 1000 ppm (Ismail, Sofian, & Abdullah, 2010; Razali et al., 2015).

Ukuran, jumlah, posisi bukaan, dan tipe jendela memengaruhi konsentrasi CO₂ yang dikandung udara pada ruang kelas yang menggunakan ventilasi alami (D Mumovic, Davies, Ridley, Altamirano-Medina, & Oreszczyn, 2009). Pada umumnya ruang kelas sekolah dasar negeri di kota Medan menggunakan jendela dan/atau ventilasi alami untuk mengakomodasi kebutuhan penerangan dan udara segar untuk kenyamanan termal dan kualitas udara. Tipe, luas, dan posisi/ letak jendela yang digunakan beragam. Salah satu tipe jendela yang banyak digunakan adalah tipe gantung atas dengan ventilasi permanen berupa jalusi horisontal (*louvre*) di atasnya. Penelitian terdahulu (Grabe, Svoboda, & Bäumler, 2014) menyimpulkan efisien jendela tipe gantung atas sebagai ventilasi paling rendah dibandingkan tipe jendela lain dan memiliki performa paling buruk juga dalam hal mengencerkan CO₂ di dalam ruang kelas. Studi bermaksud menyelidiki performa jendela tersebut dalam mengencerkan konsentrasi CO₂ dengan obyek studi sebuah ruang kelas sekolah dasar di kota Medan.

Metode

Studi menggunakan metoda eksperimental dan mengumpulkan data secara empiris dari hasil monitoring konsentrasi CO₂ udara pada ruang kelas yang menggunakan jendela tipe gantung atas yang dibuka dengan sudut inklinasi 10° dan 30°. Monitoring dilakukan enam hari (masing-masing tiga hari) selama aktivitas sekolah pukul 7.06 – 12.30 WIB, menggunakan alat CO₂ data logger Trotec BZ 30. Kemampuan alat mengukur konsentrasi CO₂: 0 – 9.999 ppm, resolusi 1 ppm dan akurasi 75 ppm atau ± 5 % dari hasil pengukuran, sekaligus mengukur suhu dan kelembaban udara. Data direkam setiap 2 detik.

– Obyek studi

Lokasi sekolah berada di kawasan permukiman dan ruang kelas obyek studi ditentukan berdasarkan pertimbangan densitas ruang (jumlah siswa dan luas ruangan), lama belajar, serta luas dan posisi bukaan.

a. Densitas ruang (jumlah siswa dan luas ruang)

Jumlah siswa untuk setiap rombongan belajar (kelas) sekolah dasar di Indonesia mengacu pada Peraturan Menteri Pendidikan Nasional (Permendiknas) No. 24 tahun 2007 tentang Standar Sarana dan Prasarana Sekolah mak-simal 28 siswa dan ukuran ruang kelas 7 m x 8 m (luas 56 m²). Hal ini sejalan dengan ketentuan ASHRAE (1999) dan Permendiknas No. 24 tahun 2007 yang

menetapkan kepadatan maksimum ruang (densitas) untuk mempertahankan kualitas udara di dalam ruang kelas adalah 2 m²/siswa. Kebijakan lain yaitu Permendiknas No. 15 tahun 2010 tentang Standar Pelayanan Minimal Pendidikan Dasar di Kabupaten/Kota menetapkan jumlah siswa maksimal adalah 32 orang. Jika luas ruang kelas 56 m² maka densitas ruang adalah 1,75 m²/siswa sejalan dengan ketentuan kementerian Kesehatan RI yang menetapkan densitas ruang 1,75 m²/siswa untuk mempertahankan kualitas udara di dalam ruang (Kesehatan, 2006).

b. Luas bukaan untuk ventilasi

Bukaan untuk ruang kelas sekolah dasar di-maksudkan untuk mengakomodasi kebutuhan pencahayaan alami dan ventilasi (Kemendiknas, 2009). Terdapat beragam kebijakan yang me-ngatur ventilasi pada bangunan pendidikan di Indonesia. SNI 03-6572-2001 tentang Tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung menetapkan ventilasi alami dapat berupa bukaan permanen (luas minimal 5% terhadap luas lantai ruangan), jendela, pintu atau sarana lain yang dapat dibuka. Keputusan Menteri Kesehatan No.1429/ MENKES/SK/2006 tentang Pedoman Penyelenggaraan Kesehatan Lingkungan Sekolah menetapkan luas lubang ventilasi untuk menjamin aliran udara segar dalam ruang kelas di ling-kungan sekolah adalah 20% dari luas lantai dengan kepadatan kelas minimal 1,75 m² dan tinggi langit-langit minimal 3 m dari permukaan lantai. Lampiran II Permendikbud No. 32 tahun 2011 tentang Standar dan Spesifikasi Teknis Rehabilitasi Ruang Kelas Rusak, Pembangunan Ruang Kelas Baru beserta Perabotnya dan Pembangunan Ruang Perpustakaan Beserta Perabotnya untuk SD/SDLB menetapkan luas bukaan 20% dari luas total lantai bangunan, 6% - 10% dari luas tersebut berupa ventilasi (bukaan permanen) dengan prinsip ventilasi silang atau ventilasi satu sisi.

c. Lama waktu belajar

Satuan pendidikan sekolah dasar di Indonesia menyelenggarakan proses pembelajaran selama 34 minggu per tahun dengan kegiatan tatap muka 18 jam per minggu bagi kelas 1 dan 2, 24 jam per minggu bagi kelas 3, dan 27 jam per minggu bagi kelas 4 hingga kelas 6 (Nasional, 2010).

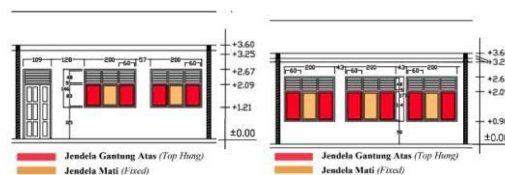
Berdasarkan pertimbangan di atas maka obyek studi adalah SDN 066046, berada di Jl. Tanjung Perumnas Helvetia, Kecamatan Helvetia Medan. Obyek studi berada pada lokasi yang sama dengan SDN 066049 dan tata letak seluruh massa bangunan membentuk pola *courtyard* tertutup. Gedung sekolah SDN 066046 memiliki 9 ruang kelas masing-masing berukuran 7,4 m x 7,0 m (51.8 m²) dan tinggi lantai-plafon 3,25 m. Seluruh siswa SDN 066046 berjumlah 302 orang terbagi dalam 10 rombongan

belajar. Dengan pertimbangan jumlah siswa, letak ruang, lama belajar dan pengamatan terhadap kondisi ventilasi ruangan kelas maka studi dilakukan di ruang kelas V dengan jumlah siswa 30 orang.



Gambar 1. Lokasi SDN 066046 dan Ruang Kelas Obyek Studi

Ruang kelas menggunakan jendela tipe gantung atas dengan ventilasi permanen berupa jalusi horisontal di atasnya. Jalusi horisontal terdiri dari 14 lubang dengan ukuran @ 60 cm x 48 cm dan 1 jalusi horisontal di atas pintu dengan ukuran 99 cm x 48 cm sehingga luas total 4,8 m² atau 9 % dari luas lantai ruang kelas. Ambang bawah jendela pada sisi koridor berada pada ketinggian 1,20 m di atas lantai sementara pada sisi yang berlawanan berada pada ketinggian 90 cm di atas lantai. Jendela gantung atas pada sisi koridor terdiri dari 2 unit, masing-masing dengan ukuran 200 cm x 83 cm, terdiri dari 3 lubang dengan perincian 2 lubang jendela tipe gantung atas (ukuran @ 60 cm x 83 cm) dan 1 jendela mati (fix light) di bagian tengah dengan ukuran yang sama. Pada sisi yang berlawanan (kondisi tertutup karena alasan keamanan), jendela terdiri dari 3 unit masing-masing dengan ukuran 200 cm x 114 cm dengan tipe yang sama sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tipe Jendela

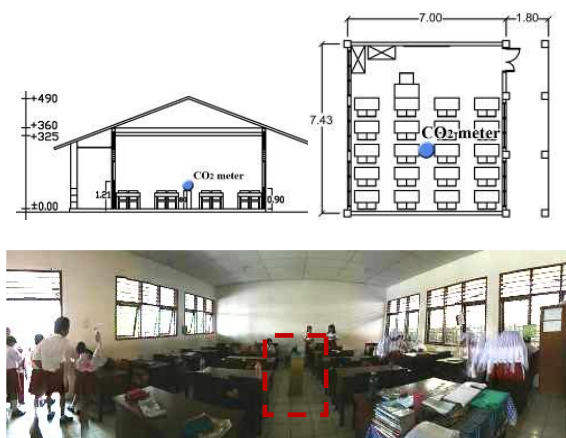
Total luas bukaan 16,02 m² atau 31% dari luas lantai ruang kelas terdiri dari: 4,8 m² atau 9 % jalusi horisontal dan 2,08 m² atau 4 % lubang pintu yang berfungsi sebagai ventilasi permanen (total 13%), serta 1,99 m² atau 4% jendela gantung atas yang berfungsi sebagai ventilasi, selebihnya berfungsi untuk penerangan saja.

Waktu belajar siswa kelas 4,5 dan 6 pada hari Senin - Kamis pukul 07.30 – 12.05 diselingi 2 x jam istirahat masing-masing 15 menit (pukul 09.15 – 09.30 dan 10.40 – 10.55), hari Jumat pukul 07.30 – 10.40 dan pada hari

Sabtu pukul 07.30 - 10.00. Berdasarkan lama waktu belajar maka studi dilakukan diantara hari Senin - Kamis.

– Perletakan alat

Mengacu pada Mahyuddin and Awbi (2012), alat ukur diletakkan di tengah ruang pada zona ketinggian bernafas siswa dalam posisi duduk.



Gambar 3. Perletakan Alat Ukur.

Monitoring konsentrasi CO₂ di dalam ruang kelas dilakukan pada posisi sudut inklinasi jendela sisi koridor dibuka 10° dan 30° masing-masing selama tiga (3) hari. Karena alasan teknis jen-dela sisi yang berlawanan dalam kondisi ter-tutup namun pintu tetap terbuka selama waktu pengukuran.

Metode Analisis Data

Analisis data secara kuantitatif dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran konsentrasi CO₂ yang dikandung udara di dalam ruang kelas pada kondisi sudut inklinasi bukaan jendela 10° dan 30°, dikaitkan juga dengan luas ventilasi yang terdapat pada obyek studi.

Analisis dan Interpretasi

– Densitas ruang

Jumlah siswa di dalam ruang kelas obyek studi seluruhnya 30 orang. Dengan luas ruang 51,8 m² (tinggi plafon 3,25 m) maka densitas ruang kelas adalah 1,73 m²/siswa, lebih rendah dari ketentuan dalam Keputusan Menteri Kesehatan No.1429/MENKES/SK/2006 yaitu minimal 1,75 m²/siswa dengan tinggi plafon 3 m.

– Luas Ventilasi

Bukaan yang berfungsi sebagai ventilasi pada kasus studi adalah jendela gantung atas dan pintu yang terletak pada dinding sisi koridor ruang kelas, seluruhnya dilengkapi dengan ven-tilasi permanen di atasnya, ditambah jalusi hori-sontal di atas jendela yang tertutup pada sisi yang berlawanan. Mengacu pada ketentuan yang ada, dapat dilihat bahwa ventilasi yang dibutuhkan untuk

mempertahankan kualitas udara di dalam ruang kelas di Indonesia adalah berupa ventilasi permanen (bukan jendela yang dapat dibuka tutup) dengan luas sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 1. Melihat bahwa densitas ruang kelas adalah 1,73 m²/siswa maka mengacu pada Keputusan Menteri Kesehatan No. 1429/MENKES/SK/2006 dibutuhkan luas ventilasi permanen sejumlah 20% dari luas lantai ruang sementara luas ventilasi permanen eksisting adalah 9%.

Tabel 1. Kondisi Eksisting Ventilasi terhadap Standar/ Kebijakan terkait Ventilasi Alami pada Ruang Kelas di Sekolah Indonesia

Ventilasi (exsiting)	Luas ventilasi / luas lantai (%)	Standar Luas ventilasi / luas lantai (%)		
		1	2	3
Jendela gantung atas (sisi koridor)	3,83	-	-	-
Pintu	4	-	-	-
Ventilasi permanen	9	20	6 - 10	5

Keterangan:

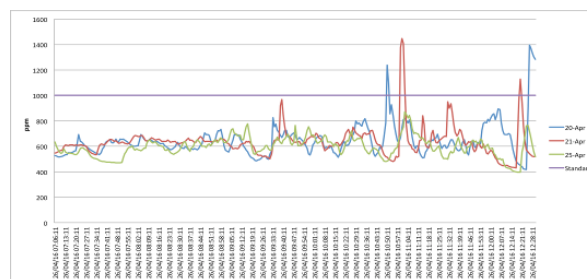
1 = Kep. Men.Kes. No. 1429/ MENKES/ SK/ 2006

2 = Lamp. II Permendikbud No. 32 tahun 2011

3 = SNI 03-6572-2001

– Konsentrasi CO₂, Sudut Inklinasi Jendela 10°

Monitoring dilakukan tanggal 20, 21, dan 25 April 2016. Grafik pada Gambar 4 menunjukkan konsentrasi CO₂ berada di bawah standar yang diijinkan untuk kesehatan (< 1000 ppm).



Gambar 4. Grafik Konsentrasi CO₂, Sudut Inklinasi Jendela 10°

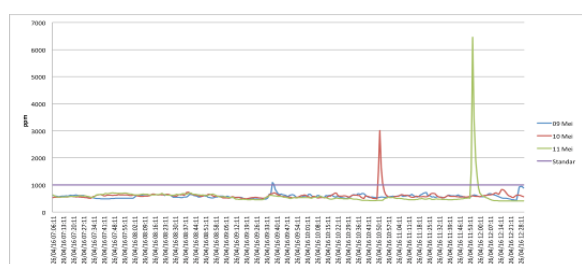
Hasil pengukuran menunjukkan konsentrasi CO₂ minimum selama 3 hari pada rentang 397 ppm – 430 ppm dan maksimum pada rentang 871 ppm – 1447 ppm. Konsentrasi CO₂ rata-rata pada rentang 596,5 ppm – 644,5 ppm, di bawah ambang batas yang diijinkan untuk kesehatan mengacu pada ASHRAE (Tabel 2).

Tabel 2. Konsentrasi CO₂ Rata-rata, Median, Maksimum dan Minimum, Sudut Inklinasi Jendela 10°

	Konsentrasi CO ₂ (ppm)		
	Hari 1	Hari 2	Hari 3
Rata-rata	644.5	635.3	596..5
Median	622.0	632.0	596.0
Maksimum	1.395.0	1.447.0	871.0
Minimum	416.0	430.0	397.0

– Konsentrasi CO₂, Sudut Inklinasi Jendela 30°

Monitoring konsentrasi CO₂ dilakukan pada tanggal 9, 10 dan 11 Mei 2016. Grafik pada Gambar 5 menunjukkan konsentrasi CO₂ umumnya berada di bawah ambang batas yang diijinkan untuk kesehatan.

**Gambar 2.** Grafik Konsentrasi CO₂, Sudut Inklinasi Jendela 30°

Konsentrasi CO₂ sesaat sangat tinggi (6.455 ppm) terjadi pada tanggal 11 Mei pukul 11.55, kemungkinan siswa dekat dengan alat. Konsentrasi CO₂ minimum berada pada rentang 405 ppm – 486 ppm, maksimal pada rentang 1.090 ppm – 6.455 ppm dan rata-rata pada rentang 579 ppm – 605 ppm (Tabel 3).

Tabel 3. Konsentrasi CO₂ Rata-rata, Median, Maksimum dan Minimum, Sudut Inklinasi Jendela 30°

	Konsentrasi CO ₂ (ppm)		
	Hari 4	Hari 5	Hari 6
Rata-rata	581.8	605.0	579.0
Median	575.0	585.0	533.0
Maksimum	1.090.0	3.004.0	6.455.0
Minimum	432.0	486.0	405.0

Jika dibandingkan, dapat dilihat konsentrasi CO₂ rata-rata pada kedua posisi sudut jendela berada di bawah ambang batas yang diijinkan untuk kesehatan yaitu 1000 ppm (Tabel 4). Konsentrasi CO₂ maksimum pada sudut inklinasi jendela 30° berada di atas 1000 ppm sementara pada sudut inklinasi jendela 10° masih di-temukan nilai maksimum konsentrasi CO₂ di bawah 1000 ppm.

Tabel 4. Pembandingan konsentrasi CO₂ Rata-rata, Median, Maksimum dan Minimum pada posisi sudut inklinasi jendela 10° dan 30°

	Konsentrasi CO ₂ (ppm)	
	Sudut 10°	Sudut 30°
Rata-rata	596.5 - 644.5	579.0 - 605.0
Median	596.0 - 632.0	533.0 - 585.0
Maksimum	871.0 - 1.447.0	1.090.0 - 6.455.0
Minimum	397.0 - 430.0	405.0 - 486.0

Kesimpulan

Ventilasi alami berupa jendela tipe gantung atas yang terbuka dengan sudut inklinasi 10° atau 30°, beserta pintu dan ventilasi permanen (di atas jendela dan pintu) seluas 9% memiliki performa yang baik dalam mempertahankan kualitas udara di dalam ruang kelas (konsentrasi CO₂ rata-rata di bawah ambang batas yang diijinkan ASHRAE untuk kesehatan yaitu 1000 ppm).

Daftar Pustaka

- Aris, M. S. B. M. (2013). *An Assessment of Indoor Air Quality at Two Contrasting Location and Building Ventilation Types in London*. (Doctor of Philosophy Thesis). King's College London. London.
- ASHRAE. (1999). ASHRAE Standard 62-1999, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality (*supersedes ANSI/ASHRAE 62-1989*) Includes ASHRAE Addenda Listed in Appendix I.
- Cai, G.-H., Hashim, J. H., Hashim, Z., Ali, F., Bloom, E., Larsson, L. Norbäck, D. (2011). Fungal DNA, allergens, mycotoxins and associations with asthmatic symptoms among pupils in schools from Johor Bahru, Malaysia. *Pediatric Allergy And Immunology: Official Publication Of The European Society Of Pediatric Allergy And Immunology*, 22(3). 290-297. doi: 10.1111/j.1399-3038.2010.01127.x
- Gao, J. Wargocki, P. & Wang, Y. (2014). Ventilation system type, classroom environmental quality and pupils' perceptions and symptoms. *Building and environment*, 75(0), 46-57. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.01.015>
- Grabe, J. v. Svoboda, P. & Bäumler, A. (2014). Window ventilation efficiency in the case of buoyancy ventilation. *Energy and Buildings*, 72, 203-211. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.10.006>
- Greene, R., M.Eftekhari, D.Clements-Croome, & G.Georgiou. (2012). *Measurements of CO2 levels in a classroom and its effect on the performance of the students*. Paper presented at the CIBSE ASHRAE Technical Symposium, Imperial College, London UK
- Ismail, M. Sofian, N. Z. M. & Abdullah, A. M. (2010). Indoor Air Quality in Selected Samples of Primary Schools in Kuala Terengganu, Malaysia. *EnvironmentAsia*, 3, 103-108.
- Kalema, T., & Viot, M. (2014). Methods to Reduce the CO2 Concentration of Educational Buildings Utilizing internal Ventilation by Transferred Air. *Indoor Air*, 24, 71-80. doi: 10.1111/ina.12059
- Lampiran IV Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 3 Tahun 2009 Tanggal 29 Januari 2009 Standar/Spesifikasi Teknis Pembangunan/Rehabilitai Gedung dan Meubelair Sekolah Dasar (2009).
- Keputusan Menteri Kesehatan R.I. Nomor 1429/MENKES/SK/XII/2006 tentang Pedoman Penyelenggaraan Kesehatan Lingkungan Sekolah (2006).

- Khatami, N. Cook, M. J. Firth, S. K., & Hudleston, N. (2013). Control of Carbon Dioxide Concentration in Educational Spaces Using Natural Ventilation. *International Journal of Ventilation*, 11(4), 339-352. doi: 10.5555/2044-4044-11.4.339
- Mahyuddin, N., & Awbi, H. B. (2012). A Review of CO₂ Measurement Procedures in Ventilation Research. *International Journal of Ventilation*, 10(4), 353-370. doi: 10.5555/2044-4044-10.4.353
- Mumovic, D. Davies, M. Ridley, I. Altamirano-Medina, H. & Oreszczyn, T. (2007). *Carbon dioxide levels and dynamics in newly built schools in England*. Paper presented at the Sixth International Indoor Air Quality. Ventilation and Energy Conservation in Buildings Conference (IAQVEC 2007). Sendai. Japan.
- Mumovic, D. Davies, M. Ridley, I. Altamirano-Medina, H. & Oreszczyn, T. (2009). A methodology for post-occupancy evaluation of ventilation rates in schools. *Building Services Engineering Research and Technology*. 30(2), 143-152.
- Muscatiello, N. McCarthy, A. Kielb, C. Hsu, W. H. Hwang, S. A. & Lin, S. (2014). Classroom conditions and CO₂ concentrations and teacher health symptom reporting in 10 New York State Schools. *Indoor Air*. 25(2), 157-167. doi: 10.1111/ina.12136
- Mysen, M. Berntsen, S. Nafstad, P. & Schild, P. G. (2005). Occupancy density and benefits of demand-controlled ventilation in Norwegian primary schools. *Energy and Buildings*. 37(12). 1234-1240. dari: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.01.003>
- Peraturan Menteri Pendidikan Nasional R.I Nomor 15 Tahun 2010 Tentang Standar Pelayanan Minimal Pendidikan Dasar di Kabupaten/Kota (2010).
- Pacurar, C. & Cernazanu, C. (2013). A Study of CO₂ Influence on Student Activity in Classroom. *Revista Română de Inginerie Civilă*. 4(2). 81-88.
- Raatikainen, M. Skön, J.-P. Turunen, M. Leiviskä, K., & Kolehmainen, M. (2013). *Evaluating Effects of Indoor Air Quality in School Buildings and Students' Health: A Study in Ten Schools of Kuopio, Finland*. Paper presented at the 2013 2nd International Conference on Environment. Energy and Biotechnology Singapore.
- Razali, N. Y. Y. Latif, M. T. Dominick, D. Mohamad, N. Sulaiman, F. R. & Srithawirat, T. (2015). Concentration of particulate matter, CO and CO₂ in selected schools in Malaysia. *Building and environment*, 87, 108-116.
- Ribéron, J. O'Kelly, P. Maupetit, F. & Robine, E. (2002). *Indoor air quality in schools: the impact of ventilation conditions and indoor activities*. Paper presented at the Indoor Air.
- Rovelli, S. Cattaneo, A. Nuzzi, C. P. Spinazzè, A. Piazza, S. Carrer, P. & Cavallo, D. M. (2014). Airborne Particulate Matter in School Classrooms of Northern Italy. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(2), 1398-1421.
- Simpson, K. (2011). *The indoor air quality of a Victorian school with a post-1968 extension*. Paper presented at the Conference : People and Buildings. Network for Comfort and Energy Use in Buildings. London.
- Turanjanin, V. Vučićević, B. Jovanović, M. Mirkov, N. & Lazović, I. (2014). Indoor CO₂ measurements in Serbian schools and ventilation rate calculation. *Energy*, 77(0), 290-296. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.10.028>
- Twardella, D. Matzen, W. Lahrz, T. Burghardt, R. Spiegel, H. Hendrowarsito, L. Fromme, H. (2012). Effect of classroom air quality on students' concentration: results of a cluster-randomized cross-over experimental study. *Indoor Air*, 22(5), 378-387. doi: 10.1111/j.1600-0668.2012.00774.x