

Evaluasi Kualitas Udara pada Ruang Kelas di Sekolah Sekitar Kawasan Pabrik Semen Tonasa

*Nur Mutmainnah¹, Esta Larosa², Salmiah Zainuddin H³

¹Program Studi Teknik Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo.

²Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo.

³Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar

Email Address: nur_mutmainnah@ung.ac.id; esta@ung.ac.id; salmiah@unismuh.ac.id

*Alamat korespondensi, Masuk: 10 Mar. 2023, Direvisi: 17 Mar. 2023, Diterima: 30 Mar. 2023

ABSTRAK : Kualitas udara dalam ruang telah menjadi perhatian penting karena memberikan masalah terhadap kesehatan manusia. Hal ini berkaitan dengan aktivitas manusia yang menghabiskan kurang lebih 90 persen waktunya di dalam ruangan. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi karakteristik kualitas udara pada ruang kelas dengan sistem ventilasi alami pada sekolah yang berada pada ring 1 kawasan pabrik Semen Tonasa II Kabupaten Pangkep Sulawesi Selatan. Pengukuran kualitas udara berfokus pada konsentrasi CO, CO₂, kadar debu total, suhu, kelembapan udara dan kecepatan aliran udara. Hasil penelitian menunjukkan Konsentrasi CO dan CO₂ pada tiga ruang kelas berada di bawah rekomendasi yang dipersyaratkan DOSH dan ASHRAE. Hal ini menunjukkan kualitas udara yang baik dalam ruang kelas dapat dipertahankan dengan sistem ventilasi alami yang digunakan. Untuk pengukuran kadar debu total berada diatas ambang batas yang dipersyaratkan oleh Keputusan Menteri Kesehatan RI No.1405/MENKES/SK/XI/2002. Selain itu terdapat hubungan yang relatif berpengaruh ($p < 0.05$) antara polutan udara dengan faktor meteorologi seperti temperature, dan kelembapan udara pada ruang kelas. Studi menemukan bahwa adanya pengaruh dari lokasi dan lingkungan sekitar sekolah serta jumlah dan aktivitas manusia terhadap nilai konsentrasi polutan pada ruang kelas.

Kata Kunci: Kualitas udara dalam ruang, Karbon Dioksida (CO₂), Karbon Monoksida (CO), Kadar Debu Total, Ventilasi Alami.

ABSTRACT: Indoor air quality has become an important concern because it poses a problem to human health. This relates to human activities that spend approximately 90 percent of their time indoors. This study aims to identify the characteristics of air quality in classrooms with a natural ventilation system in schools located in ring 1 of the Semen Tonasa II factory area, Pangkep Regency, South Sulawesi. Air quality measurements focus on concentrations of Carbon Dioxide (CO₂), Carbon Monoxide (CO), total dust content, temperature, air humidity and airflow velocity. The results showed that the concentrations of CO and CO₂ in three classrooms were below the recommendations required by DOSH and ASHRAE. This shows that good air quality in the classroom can be maintained with the natural ventilation system used. For the measurement of total dust content above the threshold required by the Regulation of the Ministry of Health of the Republic of Indonesia No.1405/MENKES/SK/XI/2002. In addition, there is a relatively influential relationship ($p < 0.05$) between air pollutants and meteorological factors such as temperature and humidity in the classroom. The study found that there was an influence from the location and environment around the school as well as the number and activities of humans on the value of pollutant concentrations in the classroom.

Keywords : Carbon Dioxide (CO₂), Carbon Monoxide (CO), Indoor Air Quality; Natural Ventilation; Total Dust Content.

1. PENDAHULUAN

Isu tentang kualitas udara dalam ruang mulai mendapat perhatian publik ketika sebuah studi yang dilakukan oleh *Environmental Protection Agency* US di tahun 1989 menyatakan bahwa dampak pencemaran udara dalam ruangan lebih berat daripada di luar ruangan. Pencemaran udara dalam ruang dapat menurunkan produktivitas kerja hingga membuat kerugian material, serta kualitas udara yang buruk akan memberikan masalah kesehatan

kepada manusia dan lebih ekstrim, yaitu dapat menyebabkan kematian [1]. Selain itu, menurut WHO dan GBCI pencemaran udara dalam ruangan lebih berbahaya 4 kali lipat daripada pencemaran udara di luar ruangan, terutama bila ruangan tidak memiliki sistem sirkulasi udara alami yang baik serta hanya menggunakan sistem sirkulasi udara mekanis yang tidak terawat. Hal ini dikarenakan

manusia lebih banyak melakukan aktivitas dan menghabiskan waktunya di dalam ruangan.

Seperti halnya di dunia pendidikan, pelajar, guru dan staf administrasi menggunakan waktunya minimal 6 – 8 jam/hari di sekolah. Pihak sekolah harus memperhatikan dan menciptakan suasana ruang kelas yang kondusif, sehat dan nyaman, agar proses belajar mengajar berjalan lancar dan tujuan dalam mencerdaskan siswa tercapai.

Bangunan pendidikan di Indonesia selama ini sangat bergantung pada sistem pencahayaan dan penghawaan alami. Namun rancangan bangunan sekolah yang ada di Indonesia dirancang dan dibangun dengan standar yang sama tanpa mempertimbangkan kondisi iklim setempat, sehingga tidak memperhitungkan kenyamanan pengguna ruangan, dalam hal ini pelajar dan guru. Akibatnya ruang belajar yang terbangun dan telah difungsikan sangat jauh dari kondisi nyaman bagi penghuninya [2].

Dalam studi terdahulu, didapatkan bahwa kualitas udara dalam ruang kelas dapat mempengaruhi proses belajar siswa baik itu dari konsentrasi dan kehadirannya [3]. Kualitas udara yang buruk dalam ruang kelas berdampak pada kesehatan anak-anak di sekolah seperti gangguan pernapasan, iritasi/ alergi dan lainnya yang dapat menurunkan kinerja belajar siswa [4].

Selain faktor diatas, kualitas udara dalam ruangan juga dipengaruhi beberapa faktor lain, seperti lokasi, sumber pencemar dari berbagai kegiatan, jenis polutan, meteorologi/ iklim setempat serta topografi yang mempengaruhi penyebaran polutan di udara [5] [6] [7].

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kualitas udara pada ruang kelas yang berada di sekitar kawasan pabrik semen Tonasa di Kabupaten Pangkep. Studi ini memfokuskan pada konsentrasi polutan udara seperti kadar debu total, karbon dioksida (CO_2), karbon monoksida (CO), dan parameter meteorologi (kelembapan udara, temperatur udara, dan kecepatan aliran udara).

2. METODE

Penelitian kualitas udara ini merupakan penelitian survei dan eksperimental. Sekolah yang menjadi sampel adalah sekolah yang berada pada ring 1 kawasan pabrik PT. Semen Tonasa II dengan jarak ± 500 meter dari Kawasan Tonasa II yaitu SMPN 2 Bungoro.

Penelitian dilakukan selama 3 (tiga) hari pada tanggal 08 Agustus s/d 11 Agustus 2018 selama proses kegiatan belajar berlangsung (08.00 – 13.20).



Gambar 1. Lokasi Pengukuran

Pemilihan kelas dipilih secara acak sesuai kondisi site dan situasi di lokasi penelitian. Terdapat 3 kelas yang diteliti selama 3 hari pengukuran. Pengukuran suhu, kelembapan, kadar CO dan CO_2 dilakukan selama 6 jam sehari dari pukul 08.00 sampai pukul 13.20 WITA setiap sampel penelitian. Pengukuran kadar debu total dilakukan dengan metode sesaat/ grab sampler selama 1 jam dengan 3 kali waktu pengukuran dalam satu ruang kelas, yaitu pukul 08.00 – 9.00; 10.00 – 11.00 dan 12.00- 13.00. Karena keterbatasan alat ukur debu, maka hanya dilakukan pengambilan data pada 1 ruang kelas. Selain itu, perletakan alat ukur mengacu pada Mahyuddin dan Awbi [8] yaitu berada pada ketinggian zona bernafas siswa dalam posisi duduk yaitu 1.00 meter, dengan posisi alat diletakkan ditengah ruangan.



Ket : 1). Alat Anemometer Hobo dan Termometer Dig. Hobo ; 2). LSI Lastem (Angin, Suhu, Kelembapan, CO & CO_2), Dust trak (Kadar Debu Total)

Gambar 2. Perletakan Titik Ukur



Gambar 3. Pelaksanaan Survey di Ruang Kelas SMPN 2 Bungoro

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Tingkat Penghunian Ruang Kelas

Ukuran ruang kelas sesuai dengan PERMENDIKNAS /24/2007 yaitu lebar 7 meter x Panjang 9 meter x tinggi bangunan 3.20 meter. Adapun jumlah siswa di dalam satu rombongan belajar (ruang kelas) pada penelitian ini sebanyak 25 – 27 orang. Adapun densitas ruang kelas dengan ukuran tersebut adalah 2.33- 2,52 m²/siswa, lebih tinggi dari standar/ ketentuan Keputusan Menteri Kesehatan RI No.1429/MENKES/SK/2006 yaitu minimal 1,75 m²/siswa dengan tinggi plafon 3 m.

3.2 Perbandingan Kualitas Udara Dalam Ruang Kelas

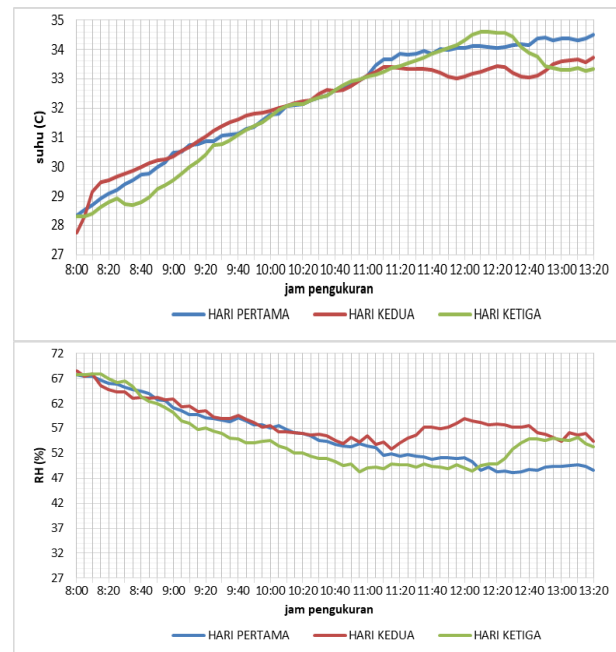
Untuk mengetahui perbandingan nilai konsentrasi variabel kualitas udara dilokasi pengukuran dijelaskan sebagai berikut:

3.2.1. Perbandingan Nilai Temperatur dan Kelembapan udara

Grafik pada gambar 4 dibawah ini memperlihatkan hasil pengukuran tingkat temperatur dan kelembapan udara pada 3 hari pengukuran di 3 ruang kelas.

Pengukuran saat pagi hari temperatur ruangan berada di kisaran 27 – 28.5 °C dan terjadi peningkatan temperatur secara gradual hingga siang

hari, sedangkan kelembapan udara mengalami penurunan hingga siang hari.



	Hari 1	Hari 2	Hari 3
Min	28.27°C	27.58°C	28.15°C
	42.27%	47.31%	41.07%
Max	34.76°C	34.10°C	35.00°C
	70.13%	70.41%	71.13%
Mean	32.28°C	32.05°C	32.00°C
	55.57%	58.38%	54.85%

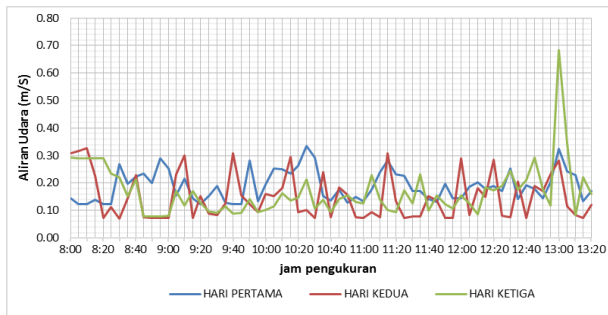
Gambar 4. Hasil Pengukuran Temperatur dan Kelembapan udara di 3 Ruang Kelas

Temperatur rata- rata suhu ruangan di 3 kelas relatif tinggi diatas > 30°C (diluar zona nyaman termal) dengan kelembapan udara diatas > 50%. Sedangkan rekomendasi yang disarankan untuk kenyamanan termal dalam ruang adalah 24°C – 27°C dengan kelembapan udara 55%- 65% dari SNI 6390:2011. Adapun faktor yang menjadi penyebab suhu diatas ambang nyaman adalah bukaan ruang kelas yang tidak optimal kinerjanya, jumlah siswa serta aktivitas siswa di ruang kelas tersebut.

3.2.2. Perbandingan nilai kecepatan aliran udara

Dari gambar 5 dibawah ini terlihat bahwa nilai kecepatan angin yang berhembus masuk bervariasi pada setiap bukaan di 3 ruang kelas. Rata- rata kecepatan angin yang masuk ke dalam ruang kelas sebagian besar berada di bawah 0.20 m/s. Hal ini berarti efek penyegaran terhadap kenyamanan termal tidak dapat dirasakan. Kecepatan aliran udara yang masuk dalam ruang kelas begitu rendah

disebabkan kondisi jendela pada saat pengukuran ventilasi dalam ruang kelas dalam kondisi tertutup.

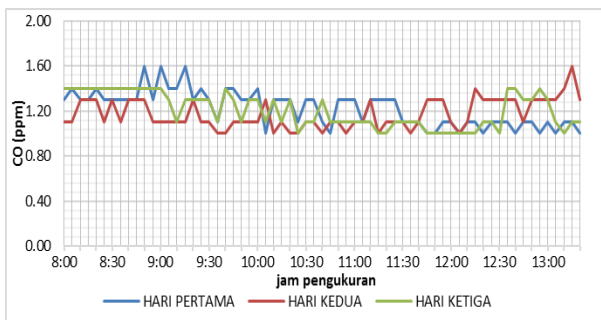


	Hari 1	Hari 2	Hari 3
Min	0.12 m/s	0.07 m/s	0.08 m/s
Max	0.33 m/s	0.33 m/s	0.69 m/s
Mean	0.19 m/s	0.15 m/s	0.17 m/s

Gambar 5. Hasil Pengukuran Kecepatan Angin di Ruang Kelas

3.2.3. Perbandingan konsentrasi CO dan CO₂

Nilai rekomendasi kadar karbon monoksida (CO) tidak melebihi kadar 9 ppm dalam 8 jam serta 35 ppm dalam 1 jam untuk dapat merasakan udara dengan kualitas yang baik dan nilai rekomendasi kadar CO₂ di dalam suatu ruang harusnya tidak melebihi 1000 ppm per 8 jam standar DOSH [9] dan ASHRAE [10].

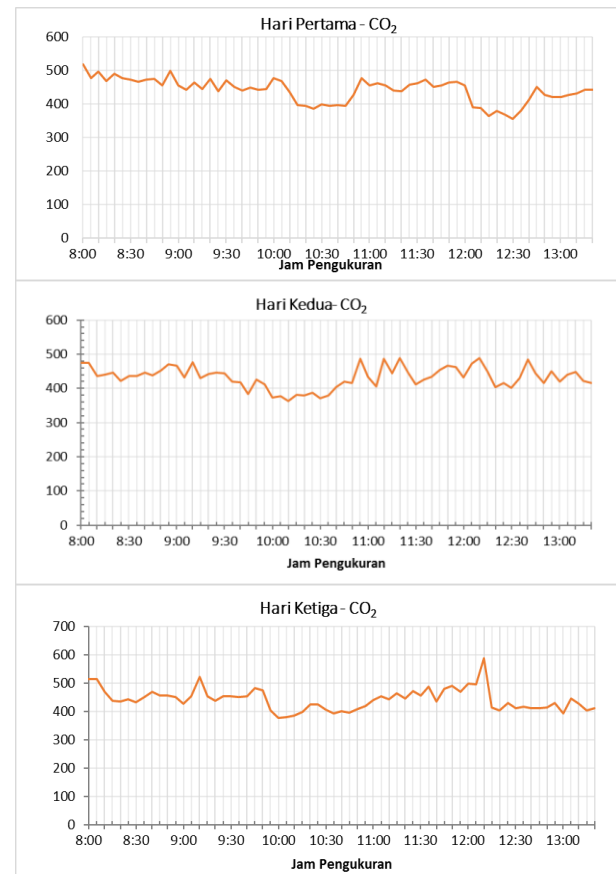


	Hari 1	Hari 2	Hari 3
Min	1 ppm	1 ppm	1 ppm
Max	1.6 ppm	1.6 ppm	1.4 ppm
Mean	1.2 ppm	1.2 ppm	1.2 ppm

Gambar 6. Hasil Pengukuran konsentrasi CO dalam ruang kelas

Dari gambar 6 diatas, terlihat bahwa nilai kadar konsentrasi CO dalam ruangan masih dalam kategori aman. Nilai rata-rata konsentrasi CO di 3 ruang kelas menunjukkan nilai yang sama. Nilai CO yang rendah tersebut disebabkan oleh lokasi sekolah yang jauh dari jalan raya, dimana kendaraan menjadi sumber utama penghasil polutan CO.

Sedangkan hasil pengukuran konsentrasi CO₂ pada 3 ruang kelas terlihat pada gambar 7 dibawah ini, menunjukkan hasil nilai rata-rata berada pada rentang 432.39 – 442.05 ppm. Nilai CO₂ tersebut masih di dalam ambang aman yaitu dibawah 1000 ppm.



Gambar 7. Hasil Pengukuran Konsentrasi CO₂ dalam ruang kelas

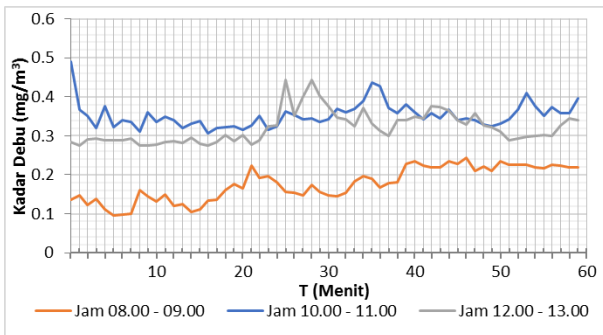
Nilai minimum konsentrasi CO₂ selama pengukuran di 3 ruang kelas berada direntang 354.4 – 376.4 ppm yang terjadi pada pukul 10.00 – 10.40 WITA disebabkan waktu beristirahat bagi siswa sehingga kebanyakan siswa berada di luar ruang kelas serta pada jam 12.00 – 12.30 disebabkan waktu shalat dhuhur bagi siswa beragama islam. Nilai kadar maksimum CO₂ selama pengukuran di 3 ruang kelas yaitu antara 489.3 – 586.6 ppm, yang terjadi pada kegiatan proses belajar mengajar di dalam kelas. Secara umum, nilai konsentrasi CO₂ pada ruang kelas secara signifikan lebih tinggi pada saat proses belajar mengajar dibandingkan jika ruangan dalam keadaan jam istirahat dan jam untuk shalat.

Nilai konsentrasi CO dan CO₂ yang di bawah ambang batas tersebut menyimpulkan bahwa sistem ventilasi alami yang digunakan baik dan mampu

mempertahankan kualitas udara dalam ruang kelas. Tidak terdapat banyak perbedaan nilai konsentrasi CO₂ diantara 3 ruang kelas karena jumlah siswa di setiap kelas hampir sama yaitu 25 - 27 orang seperti yang direkomendasikan oleh Kementerian Pendidikan Nasional Indonesia. Hasil pengukuran konsentrasi CO₂ pada studi ini memiliki nilai yang lebih rendah dari studi yang telah dilakukan pada ruang kelas SD yang berventilasi alami di kota Medan oleh Talarosha [11].

3.2.4. Perbandingan kadar debu total

Nilai ambang batas kadar debu total di udara menurut Peraturan Kementerian Kesehatan RI tentang persyaratan kesehatan lingkungan kerja perkantoran dan industri adalah 0,15 mg/m³ dengan pertukaran udara 0,283 m³/menit/orang dengan kecepatan aliran udara 0,15-0,25 m/s.



Gambar 8. Hasil pengukuran konsentrasi Kadar Debu Total dalam Ruang Kelas

Dari gambar 8 diatas, terlihat bahwa hasil pengukuran kadar debu pada ruang kelas secara signifikan mengalami penambahan nilai dari pagi hari sampai menjelang siang hari. Nilai konsentrasi kadar debu total minimum di 3 waktu pengukuran berada pada rentang 0.096 mg/m³-0.307 mg/m³. Sedangkan nilai konsentrasi kadar debu total maksimum berada pada rentang 0.244 mg/m³ – 0.490 mg/m³. Konsentrasi kadar debu total pada pagi hari lebih rendah daripada 2 waktu pengukuran lainnya.

Hal ini disebabkan karena pada pagi hari ruang kelas masih dalam keadaan bersih dan aktivitas siswa yang belum aktif. Pada gambar di atas, terlihat pengukuran kedua pada saat jam istirahat memiliki rata-rata nilai kadar debu total tertinggi. Adapun rata-rata kadar debu total dalam ruang kelas 0.283 mg/m³. Nilai konsentrasi debu total tersebut berada diatas nilai yang dipersyaratkan yaitu maksimal 0.15 mg/m³. Lokasi sekolah yang berdekatan dengan pabrik semen tonasa (radius 500 meter)

menjadi sumber adanya debu di dalam ruang. Selain itu, faktor lainnya yaitu kurangnya kesadaran siswa untuk menjaga kebersihan ruangan secara berkala dan aktivitas siswa/pergerakan siswa di dalam dan di luar ruang.

3.3 Hubungan antara variabel parameter meteorologi dengan konsentrasi kualitas udara dalam ruang kelas.

Untuk mengetahui hubungan antara parameter meteorologi dengan konsentrasi kualitas udara dalam ruang kelas maka akan dilakukan pengujian statistik dengan analisis uji korelasi bivariat “Spearman”. Analisis dengan melakukan korelasi antara polutan udara (CO, CO₂, kadar debu total) dan parameter meteorologi (temperatur, kelembapan udara dan kecepatan angin) dalam ruang kelas.

Tabel 1. Hubungan antara variabel parameter meteorologi dengan konsentrasi kualitas udara dalam ruang kelas

Variabel	CO	CO ₂	Kadar Debu Total
Temperatur	-0.502**	-0.244**	0.822**
Kelembapan	0.545**	0.289**	-0.579**
Aliran udara	0.043	-0.078	0.017

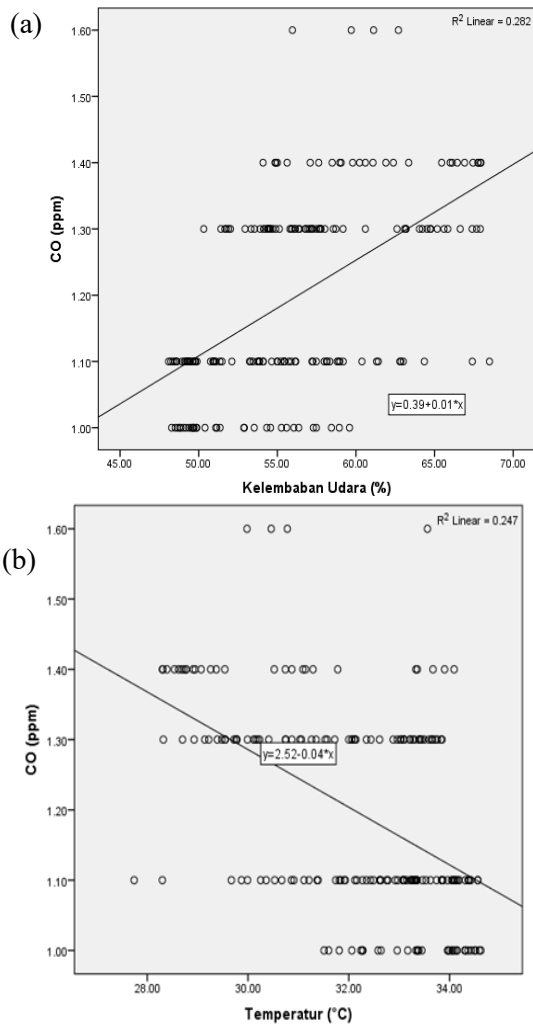
Dari tabel 1 diatas, terlihat konsentrasi CO₂ mempunyai hubungan negatif yang rendah/ lemah dengan variabel temperatur dan hubungan positif yang rendah dengan kelembapan udara. Berbeda dengan konsentrasi CO₂, konsentrasi CO memiliki hubungan negatif yang kuat dengan temperatur sebesar r = -0.502 dan hubungan positif yang kuat dengan kelembapan udara sebesar r = 0.545. Hubungan negatif antara temperatur dengan konsentrasi CO dan CO₂ menunjukkan adanya kecenderungan hubungan antara naiknya suhu udara di dalam ruang kelas dengan berkurangnya nilai konsentrasi CO dan CO₂ di dalam ruang. Hal ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan [12] [13].

Selain itu, temperature udara juga memiliki hubungan positif yang tinggi/sangat kuat dengan kadar debu total sebesar r = 0.832. Ini menunjukkan nilai berbanding lurus antara temperatur udara dengan nilai kadar debu total, dimana semakin tinggi suhu udara dalam ruang, semakin besar pula konsentrasi kadar debu total didalam ruang. Hal ini sesuai dengan penelitian sejenis seperti di India

[14]. Suhu udara yang meningkat menyebabkan debu di udara teremisi dan semakin ringan sehingga debu lebih lama mengendap di permukaan tanah. Hal ini dengan mudah dapat terhempas dan terhirup oleh reseptor seperti manusia.

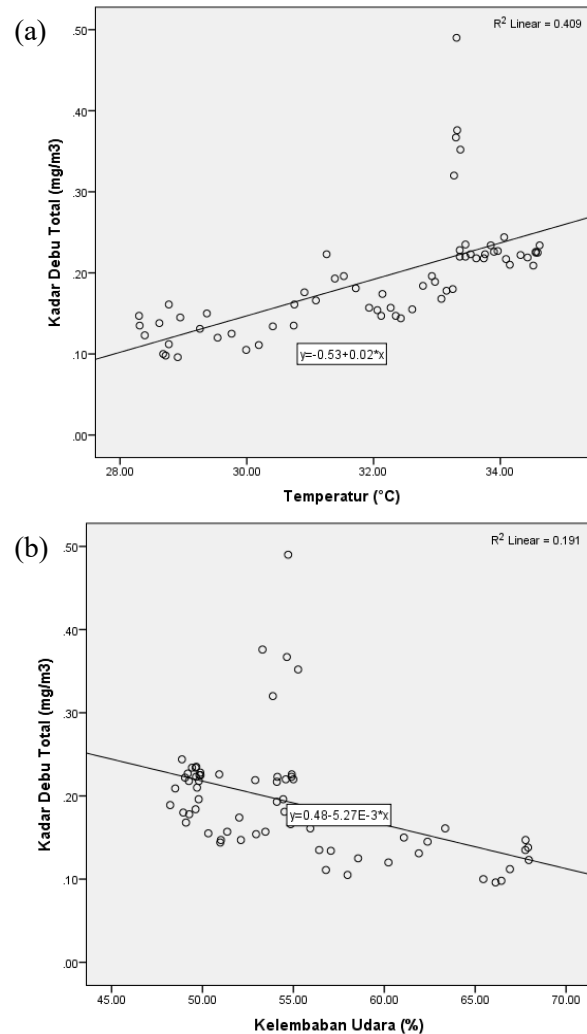
Berbeda dengan temperatur, kelembapan udara memiliki hubungan negatif yang kuat dengan kadar debu total sebesar $r = -0.579$. Hal ini sesuai dengan studi terdahulu yang menyatakan hubungan negatif antara konsentrasi debu TSP dengan kelembapan udara [15], [16]. Kelembapan udara yang tinggi menyebabkan debu di udara semakin berat karena kadar uap air pada debu bertambah, sehingga mempercepat pengendapan debu ke tanah. Hal ini mengurangi kadar debu yang terpajan terhirup oleh manusia.

Dari korelasi pada tabel 1 di atas, maka dapat kita lihat grafik persamaan regresi untuk korelasi yang kuat dimana $0.5 < r < 1.00$ sebagai berikut.



Gambar 9. Kecenderungan konsentrasi CO terhadap temperatur dan kelembapan udara pada 3 ruang kelas

Gambar 9 di atas menunjukkan hubungan yang cukup kuat antara konsentrasi CO dengan temperatur dan kelembapan udara. Berdasarkan output pada gambar 9 di atas maka didapatkan nilai regresi sebagai berikut: 1). CO - Temperatur, $y_1 = 2.52 - 0.04 x$; 2). CO- Kelembapan udara, $y_2 = 0.39 + 0.01 x$; dimana a). Nilai 2.52 dan 0.39 adalah konstanta yang menunjukkan bahwa jika tidak ada kenaikan pada variabel bebas (temperatur dan kelembapan udara) atau bernilai nol, maka variabel terikat (karbon monoksida) akan mencapai nilai 2.52 dan 0.39; b). Setiap kenaikan 1 satuan pada temperatur maka akan terjadi penurunan sebesar 0.04 pada karbon monoksida; c). Setiap penambahan 1 satuan pada kelembapan udara maka akan terjadi kenaikan sebesar 0.01 pada karbon monoksida.



Gambar 10. Kecenderungan konsentrasi kadar debu total terhadap temperatur dan kelembapan udara pada 3 ruang kelas

Pada Gambar 10 diatas, menunjukkan hubungan yang kuat antara kadar debu total dengan temperatur dan kelembapan udara. Berdasarkan output pada gambar 10 di atas maka didapatkan nilai regresi sebagai berikut: 1). Kadar debu total – temperatur, $y_1 = -0.53 + 0.02x$; 2). Kadar debu total – kelembapan udara, $y_2 = 0.48 - 0.005x$; dimana: a). nilai -0.53 serta 0.48 pada regresi merupakan konstanta yang menunjukkan bahwa jika tidak ada penambahan pada variabel bebas (temperatur dan kelembapan udara) atau bernilai nol, maka variabel terikat kadar debu total akan mencapai nilai -0.53 dan 0.48; b). Setiap penambahan 1 satuan pada temperatur maka akan terjadi penambahan sebesar 0.02 pada kadar debu total; c). Setiap penurunan 1 satuan pada kelembapan udara maka akan terjadi kenaikan sebesar 0.005 pada kadar debu total.

4. KESIMPULAN

Hasil pengukuran CO dan CO₂ pada penelitian ini masuk kategori kelas “*excellent*” sebagaimana

nilai konsentrasi dibawah 800 ppm dan 1.7 ppm seperti yang disarankan oleh menurut EMSD Hongkong serta sesuai dengan yang telah ditetapkan oleh DOSH dan ASHRAE. Hasil pengukuran CO dan CO₂ pada ruang kelas ini mengindikasikan bahwa sistem ventilasi alami yang digunakan baik dan mampu mempertahankan kualitas udara dalam ruang kelas.

Sementara itu, hasil pengukuran untuk konsentrasi kadar debu total memperlihatkan nilai kadar debu total yang tinggi sebesar 0,283 mg/m³ berada diatas ambang peraturan pemerintah yang telah ditetapkan yaitu 0,15 mg/m³. Hal ini disebabkan oleh lokasi sekolah yang berada pada ring 1 kawasan industri pabrik Semen Tonasa.

Hasil penelitian ini juga memperlihatkan adanya hubungan yang signifikan antara parameter meteorologi (suhu dan kelembapan udara) dengan parameter polutan udara yaitu CO, CO₂, dan kadar debu total.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] “National Ambient Air Quality Standards,” 2012. [Online]. Available: <http://www.epa.gov/air/criteria.html>. [Diakses 28 Maret 2018].
- [2] B. Hamzah, R. Mulyadi dan S. Amin, “Analisis Kenyamanan Termal Ruang Kelas Sekolah Dasar di Kota Makassar – Studi Kasus SD Unggulan Toddopuli,” dalam *Prosiding Temu Ilmiah IPLBI*, 2016.
- [3] M. J. Mendell dan G. A. Heath, “Do Indoor Pollutants and Thermal Conditions in Schools Influence Student Performance? A Critical Review of The Literature,” *Indoor Air*, vol. 15, no. 1, pp. 27-52, 2003.
- [4] M. J. Mendell, “Indoor Residential Chemical Emissions as Risk Factors for Respiratory and Allergic Effects in Children: A Review,” *Indoor Air*, vol. 17, pp. 259-277, 2007.
- [5] “Technology Transfer Network : National Ambient Air Quality Standards,” 2013. [Online]. Available: <http://www.epa.gov/ttn/naaqs/>. [Diakses 22 Maret 2018].
- [6] Sustainable Management for European Local Ports, “Pollution Part 1 of 2 Overview,” 2010.
- [7] B. C. A. Quality, “Factors Affecting Air Quality,” 2016. [Online]. Available: <http://www.bcairquality.ca/101/air-quality-factors.html>. [Diakses 3 April 2018].
- [8] N. Mahyuddin dan H. B. Awbi, “A Review of CO₂ Measurement Procedures in Ventilation Research,” *International Journal of Ventilation*, vol. 10 No. 4, pp. 353 - 370, 2012.
- [9] DOSH, Industry Code of Practice On Indoor Air Quality, Malaysia: Department of Occupational Safety and Health, Ministry of Human Resources., 2010.
- [10] ASHRAE, ASHRAE Standard 62.1-2004: Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality, Atlanta, Georgia: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc, 2004.
- [11] B. Talarosha, “Konsentrasi CO₂ pada Ruang Kelas dengan Sistem Ventilasi Alami, sebuah Penelitian Awal,” dalam *Prosiding Temu Ilmiah IPLBI*, 2016.

- [12] B. Talarosha, “Adaptasi Bangunan terhadap Kenyamanan Termal dan Dampaknya terhadap Kualitas Udara di dalam Ruang Kelas, sebuah Penelitian Awal,” dalam *Proceeding of TAU Conference: Mitigating and Adapting Built Environments for Climate Change in The Tropics. School of Architecture, Tanri Abeng University, Jakarta, Indonesia*, 2015.
- [13] S. S. Nagendra dan P. S. Harika, “Indoor air quality assessment in a school building in Chennai City, India,” *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, vol. 136, pp. 275 - 286, 2010.
- [14] S. K dan M. P, “A preliminary assessment of PM(10) and TSP concentrations in Tuticorin, India,” *Air quality, atmosphere, & health*, vol. 3, pp. 95 - 102, 2010.
- [15] C. Monn, O. Braendli, G. Schaeppi, C. Schindler, U. Ackermann-Liebrich dan P. Leuenberger, “Particulate matter < 10 μm (PM10) and total suspended particulates (TSP) in urban, rural and alpine air in Switzerland,” *Atmospheric Environment*, vol. 29, no. 19, pp. 2565 - 2573, 1995.
- [16] S. M. S. Nagendra dan P. . S. Harika , “Indoor Air Quality Assessment In A School Building In Chennai City, India,” *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, vol. 136, pp. 275 - 286, 2010.



© 2023 the Author(s), licensee Jurnal LINEARS. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)