

Terbit online pada laman web jurnal :<http://jurnaldampak.ft.unand.ac.id/>

Dampak: Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Andalas

| ISSN (Print) 1829-6084 | ISSN (Online) 2597-5129 |



Artikel Penelitian

Meninjau Efisiensi Penurunan Kadar CO₂ oleh Living Moss Wall: Studi tentang Potensi dan Tantangan dalam Mengatasi Pencemaran Udara di dalam Ruangan

M. Alif Fanani S.T*, Dyah Ratri Nurmaningsih S.T., M.T., Ir. Sulistiya Nengse S.T., M.T.

UIN Sunan Ampel Surabaya, Jl. Ir. H. Soekarno, Kecamatan Gunung Anyar, Surabaya No. 682, Indonesia

*Koresponden: fananialif1@gmail.com

Diterima: 20 Juli 2023

Diperbaiki: 25 Juli 2023

Disetujui: 31 Juli 2023

A B S T R A C T

Indoor air pollution is dangerous for human health because almost 90% of human activity occurs indoors. An important factor when assessing indoor air quality is the concentration of carbon dioxide (CO₂). Even at very low concentrations, it can have a marked effect on the health of those in it. The purpose of this study was to review the ability of moss used as a living wall to absorb CO₂ and study its potential application in improving indoor air quality. In addition, this research will also identify challenges that may be faced in implementing living moss walls. This study used the true experimental method with a pretest and posttest control group observation design. The study was conducted by comparing CO₂ levels from 2 white cigarette smoke with and without living moss wall in a prototype room made of glass with dimensions of 40 cm x 40 cm and 55 cm high. The research results show that the use of living moss wall as a solution to overcome indoor air pollution, especially CO₂, cannot be separated from several obstacles that must be faced in its implementation. Living moss wall has a relatively low CO₂ reduction efficiency value by using blumei's moss (*Macromitrium blumei*). The use of a living moss wall must also pay attention to the suitability of the environment where it is installed so that the living moss wall can function properly.

Keywords: Living moss wall, carbon dioxide (CO₂), indoor air pollution

A B S T R A K

Pencemaran udara dalam ruangan berbahaya bagi kesehatan manusia karena hampir 90% aktivitas manusia terjadi di dalam ruangan. Faktor penting dalam menilai kualitas udara dalam ruangan adalah konsentrasi karbon dioksida (CO₂). Bahkan pada konsentrasi yang sangat rendah, CO₂ dapat memiliki efek yang signifikan pada kesehatan orang yang berada di dalamnya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kemampuan lumut yang digunakan sebagai dinding hidup untuk menyerap CO₂ dan mempelajari potensi aplikasinya dalam meningkatkan kualitas udara dalam ruangan. Selain itu, penelitian ini juga akan mengidentifikasi tantangan yang mungkin dihadapi dalam mengimplementasikan dinding lumut hidup. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen sejati dengan desain observasi kelompok kontrol pretes dan postes. Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan tingkat CO₂ dari asap rokok putih dengan dan tanpa dinding lumut hidup dalam sebuah ruangan prototipe yang terbuat dari kaca dengan dimensi 40 cm x 40 cm dan tinggi 55 cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan dinding lumut hidup sebagai solusi untuk mengatasi pencemaran udara dalam ruangan, terutama CO₂, tidak dapat dipisahkan dari beberapa hambatan yang harus dihadapi dalam implementasinya. Dinding lumut hidup memiliki nilai efisiensi pengurangan CO₂ yang relatif rendah dengan menggunakan lumut *Macromitrium blumei*. Penggunaan dinding lumut hidup juga harus memperhatikan kesesuaian lingkungan di mana dinding lumut hidup dipasang agar dapat berfungsi dengan baik.

Kata Kunci: Living moss wall, karbon dioksida (CO₂), pencemaran udara dalam ruangan

1. PENDAHULUAN

Pencemaran udara dibagi menjadi dua, yaitu pencemaran udara luar ruangan (outdoor air pollution) dan pencemaran udara dalam ruangan (indoor air

pollution). Prabowo dan Burhan (2018) menyebutkan sebanyak 400-500 juta orang di negara berkembang menghadapi masalah indoor air pollution. Indoor air pollution berasal dari tiga sumber, antara lain sumber

fisik, kimia, dan biologi. Sumber fisik dan kimia merupakan sumber pencemar yang paling dominan di dalam ruangan (Mukono, 2020). Faktor penting saat menilai kualitas udara dalam ruangan adalah konsentrasi karbon dioksida (CO₂). Bahkan pada konsentrasi yang sangat rendah dapat memiliki efek yang nyata pada kesehatan orang di dalamnya. Konsentrasi alaminya sekitar 400 ppm, dan konsentrasi dalam ruangan yang disarankan tidak boleh melebihi 1000 ppm (Petervoka, et al., 2019).

Konsentrasi CO₂ yang tinggi secara nyata meningkatkan kelelahan dan menghambat konsentrasi, sangat mengurangi kesehatan mental dan membahayakan kesehatan pengguna ruangan. Paparan CO₂ berlebih dapat menyebabkan keracunan dengan gejala, antara lain: sesak napas, berkeringat, pusing, kantuk, bingung/disorientasi, sakit kepala, mual atau muntah, panik, kebutaan sementara, vertigo, peningkatan tekanan darah, hingga dampak yang paling mematikan berupa kematian (Straub, 2021). Pencemaran udara di dalam ruangan merupakan masalah lingkungan yang signifikan dan memiliki dampak yang serius terhadap kesehatan manusia. Karena hampir 90% aktifitas atau kegiatan manusia terjadi di dalam ruangan (Prabowo & Burhan, 2018), penting untuk memahami faktor-faktor yang memengaruhi kualitas udara dalam ruangan, terutama konsentrasi karbon dioksida yang menjadi indikator utama. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada penurunan kadar CO₂ oleh living moss wall sebagai solusi potensial untuk mengatasi pencemaran udara di dalam ruangan.

Lukitasari, (2018) menyebutkan lumut atau moss dapat mengkonversi karbondioksida menjadi senyawa organik selama fotosintesis. Selain itu Green City Solutions, start-up asal Jerman yang mengembangkan filter udara dengan moss-culture technology scrubs pollution menyebutkan bahwa lumut memiliki kemampuan alami untuk mengikat dan memetabolisme debu halus. Selain itu, lumut dapat mendinginkan udara sekitar dengan menguapkan air di permukaan daunnya yang sangat besar dan menyerap karbondioksida di udara ambient. Studi ini bertujuan untuk meninjau kemampuan lumut yang digunakan sebagai living wall dalam menyerap CO₂ serta mempelajari potensi penerapannya dalam meningkatkan kualitas udara dalam ruangan. Selain itu, penelitian ini juga akan mengidentifikasi tantangan yang mungkin dihadapi dalam menerapkan living moss wall, sehingga memberikan pemahaman yang komprehensif tentang potensi dan tantangan

dalam menggunakan teknologi ini sebagai solusi pencemaran udara dalam ruangan.

2. METODOLOGI

Penelitian yang dilakukan bersifat true experimental dengan menggunakan desain observasi pretest dan posttest. Dalam penelitian ini terdapat pretest, yaitu sebelum diberi perlakuan, dan posttest setelah diberi perlakuan. Obyek penelitian adalah gas karbon dioksida yang bersumber dari 2 batang asap rokok putihan, yang dipaparkan selama 30 menit pada ruangan tertutup, dan living moss wall sebagai alat penyerap polutan karbon dioksida.



Gambar 2. 1 living moss wall

Susunan living moss wall terdiri dari lumut daun blumei (*Macromitrium blumei*) seluas 400 cm² yang digunakan sebagai material utama. Pendekatan modular diterapkan dengan mengatur lumut dalam bentuk persegi dan memasangnya pada panel kayu yang dilengkapi dengan lapisan kedap air di dalamnya. Media tanam rockwool setebal 2 cm disiapkan sebagai media untuk pertumbuhan lumut dan penyerapan CO₂.

Lokasi penelitian, dilaksanakan pada ruangan berbahan kaca yang berdimensi 40 cm x 40 cm x 55 cm. Penelitian ini memiliki variasi kelompok eksperimen 1, dan 2 living moss wall serta kelompok kontrol yaitu tanpa living moss wall. Pengambilan data dilakukan menggunakan instrumen CO₂ meter GCH-2018. Pengukuran dilakukan sebelum dan sesudah pemberian polutan, dengan waktu 30 menit pretest, 30 menit waktu kontak asap rokok terhadap living moss wall yang selanjutnya dilakukan pengukuran posttest selama 30 menit. Eksperimen untuk masing-masing tanaman dilakukan dengan pengulangan sebanyak dua kali. Adapun nilai penurunan dalam penelitian ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Penurunan} = \text{nilai awal} - \text{nilai akhir}$$

Selanjutnya peneliti menganalisis data penurunan yang telah diperoleh untuk mengevaluasi efisiensi penyerapan CO₂ oleh living moss wall, menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi (Ef)} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

Adapun identifikasi tantangan yang mungkin dihadapi dalam menerapkan living moss wall di dalam ruangan dilakukan dengan cara membandingkan hasil efisiensi dengan studi literatur yang relevan. Data hasil penelitian tersebut dianalisis secara deskriptif, yaitu “metode statistik yang bertujuan untuk menganalisis data dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya, tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku umum atau melakukan generalisasi” (Sugiyono, 2019).

Hasil penelitian yang telah dilakukan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik yang bertujuan untuk memberikan gambaran visual yang lebih jelas, terperinci, dan mudah dipahami. Dengan menggunakan tabel, data-data penelitian yang terkait dengan nilai pretest dan posttest dapat disajikan secara terperinci, memungkinkan pembaca untuk melihat nilai awal dan akhir dengan lebih langsung dan detail. Sementara itu, grafik menjadi alat visual yang baik untuk menggambarkan perbandingan dan perubahan nilai dari pretest ke posttest. Melalui grafik, informasi mengenai penurunan nilai dapat diwakili dengan menggunakan garis, batang, atau bentuk visual lainnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengukuran kadar CO₂ didalam ruangan

Kadar CO₂ ruangan dengan perlakuan tanpa asap rokok serta sebelum dan sesudah diberi jumlah living moss wall yang berbeda. Dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Kadar CO₂ ruangan tanpa asap rokok dengan dan tanpa diberi living moss wall

Menit ke	Tanpa Living Moss Wall (ppm)			1 Living Moss wall (ppm)			2 Living Moss wall (ppm)		
	P1	P2	Rt	P1	P2	Rt	P1	P2	Rt
5	463	460	462	413	469	441	427	501	464
10	456	456	456	385	460	423	424	500	462
15	444	463	454	369	465	417	432	508	470
20	469	459	464	362	469	416	435	517	476
25	459	457	458	394	463	429	439	515	477
30	462	459	461	406	465	436	433	518	476
Penurunan	1,00	1,00	1,00	7,00	4,00	5,50	6,00	-17,00	-11,50

Berdasarkan tabel data 3.1 diatas mengenai penurunan kadar CO₂ di dalam ruangan tanpa asap rokok dengan dan tanpa diberi living moss wall, terdapat beberapa hasil yang dapat dijelaskan. Ketika tidak ada penambahan living moss wall didalam ruangan, dapat diketahui tetap terjadi penurunan kadar CO₂ secara konstan dengan nilai rendah sebesar 1 ppm pada pengulangan pertama dan kedua. Ketika satu living moss wall ditambahkan pada ruangan tanpa asap rokok, diketahui dapat menurunkan kadar CO₂, meskipun memiliki nilai yang tidak jauh berbeda dengan tanpa penambahan living moss wall. Pada pengulangan pertama dengan penambahan satu living moss wall,

didapatkan penurunan kadar CO₂ sebesar 7 ppm. Sedangkan pengulangan kedua menghasilkan penurunan yang lebih rendah dengan nilai 4 ppm.

Selain itu dapat diketahui bahwa penambahan dua living moss wall living moss wall di dalam ruangan tanpa asap rokok tidak dapat menurunkan kadar CO₂. Namun sebaliknya, terjadi kenaikan kadar CO₂ di dalam ruangan setelah penambahan living moss wall tersebut. Pada pengulangan pertama dengan penambahan dua living moss wall terdapat kenaikan kadar CO₂ sebesar 6 ppm dan 17 ppm pada pengulangan kedua.

Kadar CO₂ ruangan dengan perlakuan pemberian asap rokok serta sebelum dan sesudah diberi jumlah living moss wall yang berbeda. Dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut:

Tabel 3.2 Kadar CO₂ ruangan berisi asap rokok dengan dan tanpa diberi living moss wall

Menit ke	Tanpa Living Moss Wall (ppm)			1 Living Moss wall (ppm)			2 Living Moss wall (ppm)		
	P1	P2	Rt	P1	P2	Rt	P1	P2	Rt
5	7862	8284	8073	6975	7948	7462	7235	8347	7791
10	7868	8280	8074	6955	7974	7465	7213	8338	7776
15	7891	8260	8076	6920	7967	7444	7216	8322	7769
20	7878	8275	8077	6920	7967	7444	7182	8338	7760
25	7868	8268	8068	6893	7938	7416	7157	8334	7746
30	7852	8279	8066	6893	7938	7416	7133	8302	7718
Penurunan	10,00	5,00	7,50	82,00	10,00	46,00	102,00	45,00	73,50

Berdasarkan tabel data 3.2 diatas mengenai penurunan kadar CO₂ di dalam ruangan berisi asap rokok dengan dan tanpa diberi living moss wall, terdapat beberapa hasil yang dapat dijelaskan. Ketika tidak ada penambahan living moss wall didalam ruangan, dapat diketahui tetap terjadi penurunan kadar CO₂ dengan nilai sebesar 10 ppm pada pengulangan pertama dan 5 ppm pada pengulangan kedua. Ketika satu living moss wall ditambahkan pada ruangan yang berisi asap rokok, diketahui dapat menurunkan kadar CO₂ dengan nilai penurunan sebesar 82 ppm. Sedangkan pengulangan kedua menghasilkan penurunan yang lebih rendah dengan nilai 10 ppm.

Selain itu dapat diketahui bahwa penambahan dua living moss wall di dalam ruangan berisi asap rokok dapat menurunkan kadar CO₂ lebih baik dari pada hanya 1 living moss wall. Pada pengulangan pertama dengan penambahan dua living moss wall terdapat penurunan kadar CO₂ sebesar 102 ppm dan 45 ppm pada pengulangan kedua.

3.2. Efisiensi penurunan kadar CO₂ didalam ruangan

Efisiensi penurunan kadar CO₂ ruangan dengan perlakuan tanpa asap rokok serta sebelum dan sesudah diberi jumlah living moss wall yang berbeda. Dapat dilihat pada tabel 3.3 berikut:

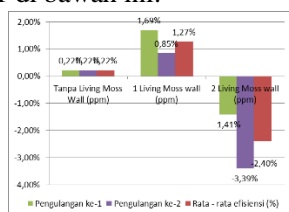
Tabel 3.3 Efisiensi CO2 Oleh Living Moss Wall Tanpa Pemberian Asap Rokok

Rangkaian Percobaan	Pengulangan ke-1			Pengulangan ke-2			Rata - rata efisiensi (%)
	Pre test (ppm)	post test (ppm)	Efisiensi (%)	Pre test (ppm)	post test (ppm)	Efisiensi (%)	
Tanpa Living Moss Wall (ppm)	463	462	0,22%	460	459	0,22%	0,22%
1 Living Moss wall (ppm)	413	406	1,69%	469	465	0,85%	1,27%
2 Living Moss wall (ppm)	427	433	-1,41%	501	518	-3,39%	-2,40%

Berdasarkan data yang diperoleh pada tabel 3.3 diatas, pengulangan ke-1 menunjukkan adanya efisiensi penurunan pada rangkaian percobaan tanpa penambahan living moss wall didalam ruangan yang tidak diberi asap rokok dengan nilai efisiensi sebesar 0,22%. Pada rangkaian percobaan dengan penambahan 1 living moss wal didalam ruangan didapatkan efisiensi penurunan sebesar 1,69%. Sedangkan pada rangkaian percobaan penambahan 2 living moss wall terjadi inefisien atau tidak adanya efisiensi pada percobaan tersebut, dimana penamabahan 2 living moss wall memiliki nilai inefisien sebesar -1,41%,

Hasil pengulangan ke-2 menunjukkan adanya efisiensi penurunan pada rangkaian percobaan tanpa penambahan living moss wall didalam ruangan yang tidak diberi asap rokok dengan nilai efisiensi sebesar 0,22%. Pada rangkaian percobaan dengan penambahan 1 living moss wal didalam ruangan didapatkan efisiensi penurunan sebesar 0,85%. Sedangkan pada rangkaian percobaan penambahan 2 living moss wall terjadi inefisien atau tidak adanya efisiensi pada percobaan tersebut, dimana penambahan 2 living moss wall memiliki nilai inefisien sebesar -3,39%.

Perhitungan rata-rata dari pengulangan ke satu dan ke dua, dapat diketahui bahwa penambahan jumlah living moss wall tidak dapat memberikan nilai perubahan efisiensi yang besar terhadap kadar CO2 di dalam ruangan tanpa pemberian asap rokok. Rata-rata efisiensi kadar CO2 tanpa penambahan living moss wall adalah 0,22%, sementara rata-rata efisiensi dengan penambahan satu living moss wall adalah 1,27%. Sedangkan penambahan dua living moss wall memiliki nilai inefisien sebesar -2,40%. Untuk mendapatkan visualisasi yang jelas terkait efisiensi kadar CO2 pada ruang uji tanpa pemberian asap rokok dengan penambahan dan tanpa living moss wall, dapat dilihat pada grafik 3.1 di bawah ini.



Gambar 3. 1 Efisiensi Penyerapan CO2 Oleh Living Moss Wall Tanpa Pemberian Asap Rokok di dalam Ruang

Berdasarkan gambar grafik 3.1 yang telah diuraikan diatas, dapat diketahui penambahan satu living moss wall di dalam ruangan memberikan efek yang positif dalam mengurangi konsentrasi CO2 dengan nilai rata rata efisiensi sebesar 1,27%. Namun, penambahan dua living moss wall menghasilkan data yang tidak diharapkan dengan peningkatan konsentrasi CO2 yang tidak efisien dengan nilai rata rata sebesar -2,40%.

Penelitian ini mengungkapkan paradoks dalam penambahan living moss wall terhadap kadar CO2 di dalam ruangan. Sementara penambahan satu living moss wall memiliki efek yang positif dalam mengurangi kadar CO2, namun peningkatan jumlah living moss wall tidak selalu menghasilkan manfaat yang lebih besar. Dalam kasus ini, penambahan dua living moss wall justru memicu peningkatan konsentrasi CO2 yang tidak diinginkan, Hasil ini menyoroti adanya batasan dalam kapasitas living moss wall untuk menyerap CO2 didalam ruangan. Penting untuk mempertimbangkan faktor-faktor pengaruh seperti luas ruangan, pencahayaan, dan kapasitas living moss wall dalam menyerap CO2 secara efisien.

Temuan tersebut sesuai dengan penelitian oleh Torpy et al. (2017) berjudul "Green wall technology for the phytoremediation of indoor air: a system for the reduction of high CO2 concentrations". Green wall dalam penelitian ini terdiri dari modul-modul dengan impeller elektrik kecil berdiameter 72 mm di tengah belakangnya. Impeller ini berfungsi sebagai ventilasi aktif yang mengalirkan udara merata melalui pleno di dalam modul green wall, membantu sirkulasi udara melalui media pertumbuhan dan daun tanaman. Penelitian juga menganalisis penggunaan cahaya di ruangan untuk memahami perbedaan laju penyerapan CO2 oleh green wall. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kurangnya pencahayaan dan penonaktifan impeller pada modul green wall dapat meningkatkan kadar CO2 dalam ruangan dalam waktu 40 menit. Kurangnya pencahayaan menghambat kemampuan fotosintesis tanaman pada green wall, mengurangi penyerapan CO2, dan meningkatkan kadar CO2 dalam ruangan. Penonaktifan ventilasi juga mengurangi kemampuan green wall secara signifikan dalam menyerap CO2.

Sehingga dapat dikaitkan dari penelitian diatas, meskipun penambahan satu living moss wall secara alami dapat menurunkan konsentrasi CO2, perencanaan yang bijaksana terkait pencahayaan serta penambahan sistem ventilasi pada living moss wall perlu dipertimbangkan kembali. Dalam konteks ini, diperlukan pendekatan yang seimbang untuk mencapai kondisi ideal di dalam

ruangan tanpa meningkatkan konsentrasi CO₂ secara berlebihan.

Efisiensi penurunan kadar CO₂ ruangan dengan perlakuan pemberian asap rokok serta sebelum dan sesudah diberi jumlah living moss wall yang berbeda. Dapat dilihat pada tabel 3.4 berikut:

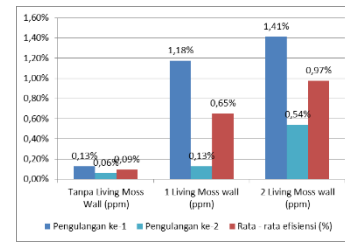
Tabel 3.4 Efisiensi CO₂ Oleh Living Moss Wall dengan Pemberian Asap Rokok

Rangkaian Percobaan	Pengulangan ke-1			Pengulangan ke-2			Rata - rata efisiensi (%)
	Pre test (ppm)	post test (ppm)	Efisiensi (%)	Pre test (ppm)	post test (ppm)	Efisiensi (%)	
Tanpa Living Moss Wall (ppm)	7862	7852	0,13%	8284	8279	0,06%	0,09%
1 Living Moss wall (ppm)	6975	6893	1,18%	7948	7938	0,13%	0,65%
2 Living Moss wall (ppm)	7235	7133	1,41%	8347	8302	0,54%	0,97%

Berdasarkan data yang diperoleh pada tabel 3.4 diatas, pengulangan ke-1 menunjukkan adanya efisiensi pada rangkaian percobaan tanpa penambahan living moss wall didalam ruangan yang diberi asap rokok dengan nilai efisiensi sebesar 0,13%. Penambahan 1 living moss wal didalam ruangan didapatkan efisiensi penurunan sebesar 1,18%. Pada rangkaian percobaan penambahan 2 living moss wall memiliki nilai efisiensi penurunan sebesar 1,41%.

Hasil pengulangan ke-2 menunjukkan adanya efisiensi penurunan kadar CO₂ pada semua rangkaian percobaan. Rangkaian percobaan tanpa penambahan living moss wall didalam ruangan yang tidak diberi asap rokok memiliki nilai efisiensi sebesar 0,06%. Pada rangkaian percobaan dengan penambahan 1 living moss wal didalam ruangan didapatkan efisiensi penurunan sebesar 0,13%. Pada rangkaian percobaan penambahan 2 living moss wall memiliki nilai efisiensi penurunan sebesar 0,54%. Dari uraian diatas, dapat diketahui rangkaian percobaan dengan penambahan living moss wall 1 dan 2 mengalami kenaikan efisiensi removal kadar CO₂ pada setiap pengujiannya.

Perhitungan rata-rata dari pengulangan ke satu dan ke dua, dapat diketahui bahwa penambahan jumlah living moss wall secara konsisten dapat memberikan hasil efisiensi removal yang lebih baik terhadap penurunan kadar CO₂ di dalam ruangan berisi asap rokok jika dibandingkan dengan ruangan tanpa asap rokok. Rata-rata efisiensi penurunan kadar CO₂ tanpa penambahan living moss wall adalah 0,09%, sementara rata-rata efisiensi dengan penambahan satu living moss wall adalah 0,65%. Sedangkan penambahan dua living moss wall terjadi efisiensi kadar CO₂ dengan nilai rata-rata sebesar 0,97%. Untuk mendapatkan visualisasi yang jelas terkait efisiensi removal kadar CO₂ pada ruang uji berisi asap rokok dengan penambahan dan tanpa living moss wall, dapat dilihat pada grafik 3.2 di bawah ini.



Gambar 3. 2 Efisiensi Penyerapan CO₂ Oleh Living Moss Wall dengan Pemberian Asap Rokok di dalam Ruangan Berdasarkan grafik 3.2 nilai efisiensi removal yang telah diuraikan diatas, Efisiensi penyerapan CO₂ yang optimal oleh living moss wall didalam ruangan dengan berisi asap rokok, terlihat pada rangkaian percobaan dengan penambahan 2 living moss wall, dimana pada pengulangan ke satu penambahan 2 living moss wall memiliki nilai efisiensi 1,41% dan pada pengulangan ke 2 nilai efisiensi turun menjadi 0,54%, adapun rata-rata nilai efisiensi dari kedua pengulangan tersebut sebesar 0,97%. Selain itu, grafik diatas menunjukkan adanya penurunan nilai efisiensi pada pengulangan ke-2 pada setiap perlakuan penambahan living moss wall didalam ruangan.

Dalam penelitian ini, living moss wall yang sama digunakan dalam pengujian kedua. Hal ini dilakukan untuk menjaga konsistensi variabel internal. Penggunaan living moss wall yang sama memastikan konsistensi genetik dan karakteristik lumut yang dapat memengaruhi kapasitas penyerapan polutan. Tujuannya adalah mengurangi perbedaan yang disebabkan oleh variasi genetik pada living moss wall, sehingga penelitian dapat fokus pada perbandingan efisiensi living moss wall dalam mengurangi polutan. Selain itu, dengan menggunakan living moss wall yang sama dalam pengulangan kedua, penelitian dapat secara langsung membandingkan hasil antara pengulangan pertama dan kedua. Hal ini membantu dalam mengidentifikasi perubahan atau perbedaan dalam kemampuan living moss wall dalam menyerap polutan CO₂ di udara dalam ruangan.

Pada eksperimen pertama, teramati bahwa living moss wall yang terpapar polutan CO₂ yang berasal dari 2 batang rokok mengalami perubahan fisik dan fisiologis. Adanya peningkatan perubahan warna menjadi kekuningan pada beberapa gametofit pada lumut yang terdapat di living moss wall. Selain itu, penelitian ini juga mengungkapkan bahwa penggunaan living moss wall yang sama dalam pengulangan eksperimen mengakibatkan akumulasi yang serupa dari polutan CO₂ di dalam lumut dari waktu ke waktu. Fenomena akumulasi ini dapat berdampak pada kemampuan lumut dalam menyerap CO₂, sehingga terdapat jumlah polutan yang terakumulasi di dalam lumut telah mencapai titik jenuh atau mempengaruhi kesehatan lumut secara

keseluruhan. Hal tersebut kemudian berpotensi menurunkan efisiensi penyerapan CO₂ pada seluruh rangkaian pengulangan eksperimen kedua.

Penelitian A'yuningsih (2017) yang berjudul "Pengaruh Faktor Lingkungan Terhadap Perubahan Struktur Anatomi Daun" menunjukkan bahwa tumbuhan dapat digunakan sebagai bioindikator efektif untuk memonitor pencemaran. Tumbuhan memiliki kemampuan tinggi dalam menyerap karbon dioksida dari udara. Polutan-polutan akan masuk ke dalam daun melalui stomata, yang dipengaruhi oleh kondisi udara sekitarnya. Pencemaran udara dapat mempengaruhi tumbuhan, terutama dalam pembukaan dan penutupan stomata. Gangguan ini mengganggu proses fotosintesis dan pertumbuhan tanaman. Pencemaran udara juga menyebabkan perubahan biokimia sel dan struktur anatomi tanaman, yang dapat diamati melalui kerusakan makroskopis pada daun, kerusakan klorofil, dan perubahan struktur anatomi.

Pernyataan yang berkesinambungan dengan hasil penelitian diatas, dapat dilihat pada penelitian yang dilakukan oleh Yatim & Azman (2021) berjudul "Moss as Bio-indicator for Air Quality Monitoring at Different Air Quality Environment" mengungkapkan bahwa lumut dapat digunakan sebagai bioindikator dalam memantau kualitas udara saat terpapar lingkungan dengan kualitas udara yang berbeda. Penelitian ini melibatkan empat kondisi lingkungan yang berbeda, yaitu daerah perkotaan, hutan lindung, ruang tamu, dan ruang perokok. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lumut mengalami perubahan fisik setelah satu minggu paparan. Respons lumut terhadap kondisi lingkungan kualitas udara yang berbeda sangat signifikan. Pada lingkungan yang sangat tercemar, lumut mengalami perubahan warna dari hijau segar menjadi kecoklatan di ruang perokok. Pengamatan fisik terhadap lumut juga mengungkapkan perubahan warna dari hijau menjadi kuning dan coklat. Selain itu, dapat diketahui lumut juga mengalami klorosis dan nekrosis. Klorosis adalah kondisi di mana jaringan tanaman berubah menjadi kuning akibat penurunan kandungan klorofil, sedangkan nekrosis adalah kematian jaringan tanaman yang ditandai dengan perubahan warna menjadi coklat.

3.3. Potensi dan Tantangan dalam Mengoptimalkan Efisiensi Penurunan Kadar CO₂ oleh Living Moss Wall

Nilai efisiensi penurunan kadar CO₂ yang rendah dalam penelitian ini menunjukkan living moss wall memiliki potensi yang kecil dalam menyerap CO₂ di udara dalam ruangan berisi polutan karbon dioksida. Meskipun efisiensinya relatif rendah, penelitian ini menunjukkan

bahwa adanya kemampuan lumut pada living moss wall dalam menurunkan kadar CO₂. Lukitasari (2018) menjelaskan bahwa lumut, yang termasuk dalam klasifikasi tumbuhan tingkat rendah, memiliki kemampuan untuk mengubah karbon dioksida menjadi senyawa organik melalui proses fotosintesis yang disebut fiksasi karbon.

Beberapa penelitian telah mengungkapkan bahwa tanaman lumut dapat menyerap polutan CO₂. Salah satu literatur yang mendukung penelitian ini adalah penelitian yang dilakukan oleh startup Green City Solutions asal Jerman. Green City Solutions telah mengembangkan inovasi produk bernama CityTree, yaitu panel dinding yang dipenuhi dengan lumut hidup yang memiliki kemampuan luar biasa dalam menyerap CO₂. CityTree dirancang sebagai "living wall" atau "plant wall" yang dapat dipasang di perkotaan dengan ruang terbatas. Struktur CityTree terdiri dari panel vertikal yang dipenuhi dengan lumut hidup dan tanaman lumut yang dipilih secara khusus untuk kemampuan mereka dalam menyerap polutan udara, seperti partikel PM, NO₂, dan CO₂. CityTree menggunakan teknologi biofiltrasi yang memungkinkan lumut untuk menyerap polutan dari udara ambient. Hasil dari inovasi tersebut, menunjukkan melalui fotosintesis, lumut mampu mengubah CO₂ menjadi oksigen dan biomassa (Green City Solutions, 2022).

Living wall, juga dikenal sebagai dinding hidup dan merupakan salah satu teknologi terbaru yang berkembang dari konsep vertical garden. Teknologi ini melibatkan instalasi panel tanam secara vertikal yang menciptakan taman vertikal di dalam ruangan. Meskipun memiliki banyak manfaat, perawatan dan pemasangan living wall cenderung lebih mahal dibandingkan dengan metode penghijauan lainnya. Ini disebabkan oleh kompleksitas sistem irigasi dan pemeliharaan yang diperlukan untuk memastikan kesehatan dan pertumbuhan optimal tanaman pada dinding hidup. Meskipun ada biaya tambahan yang terkait, nilai estetika dan manfaat kesehatan serta keindahan visual yang ditawarkan oleh living wall menjadikannya alternatif yang menarik dalam menciptakan lingkungan interior yang sehat dan hijau (Jayanti, Purnomo, & Nurkasiwi, 2020). Selain itu living wall, memiliki kemampuan untuk menurunkan kadar CO₂ di dalam ruangan dan memberikan manfaat kesehatan bagi manusia. Penelitian yang dilakukan oleh (Petervoka, et al., 2019) menguji pengaruh living wall pada kondisi iklim interior dan kesehatan manusia. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa living wall dapat menyerap CO₂ melalui proses fotosintesis tanaman. Penyerapan CO₂ ini membantu mengurangi

kadar CO₂ di udara dalam ruangan, sehingga meningkatkan kualitas udara yang dihirup oleh manusia.

Penelitian yang dilakukan Jayanti, Purnomo, & Nurkasiwi, (2020) menyebutkan mayoritas bangunan di Indonesia yang menerapkan vertical garden sebenarnya bukan untuk mengatasi masalah lingkungan, melainkan lebih cenderung sebagai gaya hidup perkotaan karena kebanyakan adalah bangunan komersial. Hal ini disebabkan oleh fokus pada aspek estetika dan daya tarik visual yang ditawarkan oleh vertical garden. Sebagian masyarakat dengan pendapatan rendah juga belum mampu menerapkan teknologi ini karena biayanya yang relatif mahal. Namun, perlu dicatat bahwa di Kota Yogyakarta terdapat beberapa bangunan yang menerapkan vertical garden, terutama di kafe-kafe yang umumnya bertujuan untuk menarik minat pelanggan. Meskipun demikian, penggunaan vertical garden pada bangunan di Kota Yogyakarta masih lebih banyak berfokus pada aspek estetika dan pemanis visual daripada sebagai solusi konkret dalam mengatasi masalah lingkungan. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Ghoustanjiwani A.P, Rio Kusmara, & Wahyu Yanuar, (2011) menyebutkan penggunaan teknologi vertikal garden di Indonesia cenderung lebih berorientasi pada gaya hidup perkotaan (urban life style) daripada menerapkan konsep sustainable yang sesungguhnya. Hal ini terlihat dari cara penggunaan teknologi vertikal garden tersebut. Mayoritas bangunan yang menggunakan vertikal garden di Indonesia adalah bangunan komersial yang lebih mengutamakan aspek estetika visual dan daya tarik bagi pengunjung.

Penempatan vertikal garden yang tidak tepat pada bangunan dapat menyebabkan dampak negatif, tidak hanya terhadap keberlanjutan bangunan tetapi juga terhadap kesehatan penghuninya. Khususnya di iklim Indonesia yang tropis dan lembab, perlu memberikan perhatian ekstra pada penempatan teknologi vertical garden pada bangunan. Jika vertikal garden tidak ditempatkan dengan tepat, hal ini dapat menyebabkan peningkatan tingkat kelembaban ruangan yang berpotensi menciptakan lingkungan yang tidak sehat. Tingginya tingkat kelembaban dalam ruangan dapat menjadi tempat berkembangnya mikroorganisme seperti jamur dan bakteri yang dapat membahayakan kesehatan penghuni bangunan (Ghoustanjiwani A.P, Rio Kusmara, & Wahyu Yanuar, 2011).

Sebagai teknologi terbaru dalam perkembangan vertical garden, penting untuk melakukan perencanaan dan pemilihan lokasi yang teliti dalam pemasangan living wall. Faktor-faktor seperti pencahayaan, ventilasi udara, dan tata letak pada ruangan serta luas ruangan harus

dipertimbangkan dengan cermat agar living wall dapat berfungsi secara optimal dan tidak mengganggu kesehatan lingkungan dalam ruangan. Selain itu, pemilihan tanaman yang tepat juga menjadi hal yang sangat penting, karena beberapa jenis tanaman mungkin lebih cocok untuk tumbuh dalam lingkungan dalam ruangan dengan tingkat kelembaban yang tinggi daripada yang lainnya.

Pemilihan tanaman lumut sebagai living moss wall, meskipun memberikan nilai estetika dan keunikan pada vertical garden, ternyata juga memiliki nilai efisiensi penurunan kadar CO₂ yang relatif kecil. Penelitian menunjukkan bahwa kemampuan lumut dalam menyerap CO₂ lebih terbatas dibandingkan dengan beberapa jenis tanaman lain yang biasa digunakan dalam vertical garden. Meskipun lumut daun blumei (*Macromitrium blumei*) yang digunakan dalam living moss wall memiliki beberapa keunggulan seperti kemampuannya dalam tumbuh secara vertikal dan bahan yang mudah didapatkan, serta nilai estetika yang tercipta menambah nuansa naturalist pada hunian rumah, namun hasil penelitian menunjukkan bahwa fiksasi karbon oleh lumut relatif rendah dalam mengurangi kadar CO₂ di dalam ruangan.

Meskipun demikian, hal ini tidak mengurangi manfaat dan nilai potensi dari living wall sebagai salah satu alternatif dalam meningkatkan kualitas udara di dalam ruangan sekaligus mempercantik lingkungan perkotaan atau dalam ruangan. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan efisiensi penyerapan CO₂ oleh living moss wall dan mencari solusi untuk meningkatkan kinerja teknologi ini sebagai upaya dalam mengatasi pencemaran udara khususnya karbondioksida di dalam ruangan. Dalam keseluruhan, living wall tetap menjadi opsi yang menarik dalam menciptakan lingkungan yang sehat, hijau, dan berkelanjutan di tengah urbanisasi yang terus berkembang.

4. KESIMPULAN

Penggunaan living moss wall sebagai solusi untuk mengatasi pencemaran udara dalam ruangan khususnya CO₂ tidak terlepas dari beberapa tantangan atau permasalahan yang harus dihadapi dalam implementasinya. Permasalahan tersebut antara lain:

- Efisiensi Penurunan Kadar CO₂ yang Rendah: Seperti yang telah diidentifikasi sebelumnya, penggunaan lumut daun blumei (*Macromitrium blumei*) sebagai bahan untuk living moss wall memiliki nilai efisiensi penurunan kadar CO₂ yang relatif rendah.
- Efisiensi terbesar living moss wall dalam menyerap CO₂ didalam ruangan tanpa asap rokok didapatkan

hanya pada penggunaan satu living moss wall dengan nilai rata-rata efisiensi removal mencapai 1,27%. Sedangkan efisiensi removal dalam menyerap CO₂ didalam ruangan dengan asap rokok didapatkan pada penggunaan dua living moss wall dengan nilai rata-rata efisiensi penurunan sebesar 0,97%.

- Pemasangan dan Perawatan: living moss wall pada penelitian ini menggunakan material seperti panel kayu dengan lapisan kedap air, media tanam rockwool, dan sistem irigasi atau penyiraman secara manual. Sehingga biaya pemasangan relatif rendah dan mudah, namun disisi lain perawatan yang dilakukan secara manual akan menjadi hambatan bagi banyak individu atau organisasi dalam mengadopsi teknologi ini.
- Kesesuaian Lingkungan: Penggunaan living moss wall juga harus mempertimbangkan kesesuaian lingkungan tempat pemasangannya. Faktor-faktor seperti pencahayaan, ventilasi udara, dan tata letak pada ruangan serta luas ruangan harus dipertimbangkan secara tepat agar living moss wall dapat berfungsi dengan baik.

Untuk mengatasi kendala efisiensi penurunan kadar CO₂ yang rendah, upaya penelitian dan pengembangan living moss wall lebih lanjut perlu dilakukan. Penelitian dapat dilakukan untuk mengidentifikasi tanaman lain yang memiliki kemampuan lebih tinggi dalam menyerap CO₂ dan cocok untuk tumbuh dalam ruangan dengan perawatan yang relatif mudah. Sehingga terdapat variasi penggunaan tanaman pada living wall. Selain itu, perlu adanya inovasi dalam sistem irigasi atau penyiraman secara otomatis yang terintegrasi dengan teknologi untuk mempermudah perawatan living wall.

DAFTAR PUSTAKA

A'yuningsih, D. (2017). PENGARUH FAKTOR LINGKUNGAN TERHADAP PERUBAHAN STRUKTUR ANATOMI DAUN . Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Biologi Jurusan Pendidikan Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta (hal. 103-108). Yogyakarta: Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta .

Ghoustonjiwani A.P , Rio Kusmara, & Wahyu Yanuar. (2011). Teknologi Vertical Garden : Sustainable Design atau Hanya Sebuah Trend dalam Urban Life Style ? SEMINAR NASIONAL LIFE STYLE AND ARCHITECTURE , (hal. 580-589). Bandung.

Green City Solutions. (2022, Januari 22). The Solution. Dipetik Febuari 16, 2022, dari Green City Solutions :<https://greencitysolutions.de/en/solution/problem-fine-dust/>

Jayanti, A. V., Purnomo, E. P., & Nurkasiwi, A. (2020). Vertical Garden: Penghijauan untuk Mendukung Smart Living di Kota Yogyakarta. AL-IMARAH: Jurnal Pemerintahan dan Politik Islam, Vol.5 No.1.

Lukitasari, M. (2018). Mengenal Tumbuhan Lumut (Bryophyta) Deskripsi, Klasifikasi, Potensi dan Cara Mempelajarinya. Magetan: CV. AE MEDIA GRAFIKA.

Mukono, H. (2020). Analisis Kesehatan Lingkungan Akibat Pemanasan Global. Surabaya: Airlangga University Press.

Petervoka, J., Magdaléna Michalčíková, Vítězslav Novák, Richard Slávik, Jiří Zach, Azra Korjenic, et al. (2019). The influence of green walls on interior climate conditions and human health. MATEC Web of Conferences 282, 02041.

Prabowo, K., & Burhan, M. (2018). Bahan Ajar Kesehatan Lingkungan Penyehatan Udara. Jakarta: Kementrian Kesehatan Republik Indonesia.

Straub, F. D. (2021). Toxic Carbon Dioxide Exposures. PSJ Professional Safety, 24-34.

Sugiyono. (2019). Metode Penelitian Pendidikan pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Bandung: CV. Alfabeta.

Torpy, F., M Zavattaro, & PJ Irga. (2017). Green wall technology for the phytoremediation of indoor air: a system for the reduction of high CO₂ concentrations. Air Qual Atmos Health , 576-585.

Yatim, M. N., & Azman, N. I. (2021). Moss as Bio-indicator for Air Quality Monitoring at Different Air Quality Environment. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) , 43-47.

NOMENKLATUR

Nilai awal	: konsentrasi awal CO ₂ (ppm)
Nilai akhir	: konsentrasi akhir CO ₂ (ppm)
Ef	: efisiensi penurunan polutan (%)
C0	: konsentrasi awal CO ₂ (ppm)
C1	: konsentrasi akhir CO ₂ (ppm)
P1	: pengulangan ke-1
P2	: pengulangan ke-2
Rt	: rata- rata pengulangan ke 1 dan 2