

**RANCANG BANGUN *LIVING MOSS WALL* MENGGUNAKAN *LUMUT DAUN BLUMEI* (*Macromitrium blumei*) UNTUK MEREDUKSI KARBON DIOKSIDA (CO<sub>2</sub>) DALAM RUANGAN**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Melengkapi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik (S.T) pada  
Program Studi Teknik Lingkungan



**UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A**

Disusun oleh

M. ALIF FANANI

NIM. H95218052

Dosen Pembimbing

Dyah Ratri Nurmaningsih, S.T., M.T.

Ir. Sulistiya Nengse, S.T., M.T.

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL  
SURABAYA  
2023**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : M. Alif Fanani

Nim : H95218052

Program Studi : Teknik Lingkungan

Angkatan : 2018

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiasi dalam penulisan tugas akhir saya yang berjudul **“RANCANG BANGUN *LIVING MOSS WALL* MENGGUNAKAN *LUMUT DAUN BLUMEI (Macromitrium blumei)* UNTUK MEREDUKSI KARBON DIOKSIDA (CO<sub>2</sub>) DALAM RUANGAN”**. Apabila suatu saat nanti terbukti saya melakukan tindakan plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 13 Juli 2023



(M. Alif Fanani)  
NIM.H95218052



KEMENTERIAN AGAMA  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031 - 8410298 Fax. 031 - 8413300  
E-Mail : [saintek@uinsby.ac.id](mailto:saintek@uinsby.ac.id) Website : [www.uinsby.ac.id](http://www.uinsby.ac.id)

---

**LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING  
TUGAS AKHIR**

Nama : M. Alif Fanani  
NIM : H95218052  
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun *Living Moss Wall* Menggunakan Lumut Daun (Musci) Untuk Mereduksi Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) Dalam Ruang

Telah disetujui untuk pendaftaran Review Tugas Akhir

Surabaya, 26 Juni 2023

Dosen Pembimbing I

**Dyah Ratri Nurmaningsih S.T., M.T**  
NIP. 198503222014032003

Dosen Pembimbing II

**Ir. Sulistiya Nengse, S.T., M.T**  
NIP. 199010092020122019

## PENGESAHAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Dokumen Tugas Akhir Oleh:

Nama : M. Alif Fanani

Nim : H95218052

Judul : Rancang Bangun *Living Moss Wall* Menggunakan *Lumut Daun Blumei* (*Macromitrium blumei*) Untuk Mereduksi Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) dalam Ruangan

Telah dipertahankan didepan penguji tugas akhir

Surabaya, 4 Juli 2023

Mengesahkan,  
Dewan Penguji,

Dosen Penguji I



Dyah Ratri Nurmaningsih S.T., M.T.  
NIP. 198503222014032003

Dosen Penguji II



Ir. Sulistiya Nengse, S.T., M.T.  
NIP. 199010092020122019

Dosen Penguji III



Dedy Suprayogi S.KM., M.KL.  
NIP. 198512112014031002

Dosen Penguji IV



Widya Nilandita, M.KL.  
NIP. 198410072014032002

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
KEMEN SUKRA  
Amipel Surabaya



Saeput Mardani, M.Pd.  
NIP. 196507321000031002



**KEMENTERIAN AGAMA  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA  
PERPUSTAKAAN**

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031-8431972 Fax.031-8413300  
E-Mail: [perpus@uinsby.ac.id](mailto:perpus@uinsby.ac.id)

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : M. Alif Fanani  
NIM : H95218052  
Fakultas/Jurusan : SAINTEK / Teknik Lingkungan  
E-mail address : fananalif1@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :

Skripsi     Tesis     Desertasi     Lain-lain (.....)

yang berjudul :

**RANCANG BANGUN *LIVING MOSS WALL* MENGGUNAKAN *LUMUT DAUN***

***BLUMEI (Macromitrium blumei)* UNTUK MEREDUKSI KARBON DIOKSIDA (CO<sub>2</sub>)**

**DALAM RUANGAN**

beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 13 juli 2023

Pennlis

( M. ALIF FANANI )

## ABSTRAK

### RANCANG BANGUN *LIVING MOSS WALL* MENGGUNAKAN *LUMUT DAUN BLUMEI (MACROMITRIUM BLUMEI)* UNTUK MEREDUKSI KARBON DIOKSIDA (CO<sub>2</sub>) DALAM RUANGAN

Pencemaran udara di dalam ruangan sangat berbahaya bagi kesehatan manusia, karena hampir 90% aktifitas atau kegiatan manusia terjadi di dalam ruangan. Faktor penting saat menilai kualitas udara dalam ruangan adalah konsentrasi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Bahkan pada konsentrasi yang sangat rendah dapat memiliki efek yang nyata pada kesehatan orang di dalamnya. Tujuan penelitian ini adalah membuat *living moss wall* menggunakan *lumut daun blumei (Macromitrium blumei)* dan mengetahui penurunan serta efisiensi *removal living moss wall* terhadap CO<sub>2</sub> di dalam ruangan tanpa dan dengan asap rokok. Penelitian ini menggunakan metode *true experimental* dengan desain observasi *pretest* dan *posttest control group*. Penelitian dilakukan dengan membandingkan kadar CO<sub>2</sub> yang bersumber dari 2 batang asap rokok putih dengan dan tanpa *living moss wall* didalam ruangan prototipe yang terbuat dari kaca dengan dimensi 40 cm x 40 cm dan tinggi 55 cm. *Living moss wall* dirancang dengan pengaplikasian modular berbentuk persegi. Terbuat dari kayu dengan dimensi 23 cm x 23 cm x 4 cm, dan dilengkapi dengan lapisan kedap air di dalamnya, dengan media tanam *rockwool* setebal 2 cm. Hasil pengujian menunjukkan penurunan kadar CO<sub>2</sub> di ruangan tanpa asap rokok menggunakan satu *living moss wall* sebesar 5,50 ppm. Ruangan dengan penambahan asap rokok memiliki penurunan terbesar sebesar 95,50 ppm pada penggunaan empat *living moss wall*. Efisiensi terbesar *living moss wall* dalam menyerap CO<sub>2</sub> di ruangan tanpa asap rokok terjadi pada penggunaan satu *living moss wall* dengan efisiensi *removal* rata-rata sebesar 1,27%. Efisiensi *removal* dalam menyerap CO<sub>2</sub> di ruangan dengan asap rokok terjadi pada penggunaan empat *living moss wall* dengan efisiensi penurunan rata-rata sebesar 1,23%.

**Kata Kunci:** *Living Moss Wall*, Udara dalam Ruangan, Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>), *Lumut Daun Blumei (Macromitrium Blumei)*

## **ABSTRACT**

### **DESIGN OF LIVING MOSS WALL USING BLUMEI'S MOSS (MACROMITRIUM BLUMEI) TO REDUCE INDOOR CARBON DIOXIDE (CO<sub>2</sub>)**

*Indoor air pollution is very dangerous for human health because almost 90% of human activities occur indoors. An important factor when assessing indoor air quality is the concentration of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). 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 make living moss walls using blumei's moss (Macromitrium blumei) and to determine the reduction and removal efficiency of living moss walls to CO<sub>2</sub> indoors without and with cigarette smoke. This study used the true experimental method with a pretest and posttest control group observation design. The study was conducted by comparing CO<sub>2</sub> 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 living moss wall is designed with a square-shaped modular application. Made of wood with dimensions of 23 cm x 23 cm x 4 cm, and is equipped with a waterproof layer inside, with a rockwool planting medium 2 cm thick. The test results showed a decrease in CO<sub>2</sub> levels in a non-smoking room using a living moss wall of 5.50 ppm. The room with the addition of cigarette smoke had the largest reduction of 95.50 ppm when using four living moss walls. The greatest efficiency of a living moss wall in absorbing CO<sub>2</sub> in a smoke-free room occurs in the use of one living moss wall with an average removal efficiency of 1.27%. Removal efficiency in absorbing CO<sub>2</sub> in rooms with cigarette smoke occurs in the use of four living moss walls with an average reduction efficiency of 1.23%.*

**Keywords:** *Living Moss Wall, Indoor Air, Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>), Blumei's Moss (Macromitrium Blumei)*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	ii
<b>LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING</b> .....	iii
<b>PENGESAHAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR</b> .....	iv
<b>LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR RUMUS</b> .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Batasan Masalah .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Pencemaran Udara dalam Ruang .....	5
2.2 Sumber Pencemaran Udara dalam Ruang .....	5
2.3 Dampak Pencemaran Udara dalam Ruang Terhadap Kesehatan Manusia ...	7
2.4 Parameter Kualitas Udara dalam Ruang Rumah .....	9
2.5 Lumut ( <i>Bryophyta</i> ) .....	10
2.6 Pemanfaatan Lumut ( <i>Bryophyta</i> ) dalam Mereduksi Pencemaran Udara ....	17
2.7 Aklimatisasi .....	18
2.7.1 Menumbuhkan Lumut .....	18
2.8 Manfaat Lumut bagi Manusia dalam Perspektif Islam .....	19
2.9 Penelitian Terdahulu .....	22
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	34
3.1 Umum .....	34

3.2 Waktu Penelitian .....	35
3.3 Lokasi Penelitian .....	35
3.4 Kerangka Pikir Penelitian .....	35
3.5 Tahapan dan Metode Penelitian .....	36
3.5.1 Tahap Persiapan .....	38
3.5.2 Tahap Pelaksanaan .....	46
3.5.3 Tahap Analisis Data .....	51
3.5.4 Tahap Pelaporan .....	52
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	54
4.1. Identifikasi <i>Moss</i> .....	54
4.1.1 Aklimatisasi .....	59
4.2 Perancangan Konsep Desain <i>Living Moss Wall</i> .....	67
4.3 <i>Prototype Living Moss Wall Development</i> .....	73
4.4 Proses Uji <i>True Experimental</i> Menggunakan Desain Observasi <i>Pretest</i> dan <i>Posttest</i> .....	76
4.5 Penurunan Kadar CO <sub>2</sub> Pada Ruangan .....	80
4.5.1 Penurunan Kadar CO <sub>2</sub> pada Ruangan Tanpa Asap Rokok dengan dan Tanpa <i>Living Moss Wall</i> .....	80
4.5.2 Penurunan Kadar CO <sub>2</sub> pada Ruangan Berisi Asap Rokok dengan dan Tanpa <i>Living Moss Wall</i> .....	84
4.6 Efisiensi <i>Living Moss Wall</i> dalam Penuruan CO <sub>2</sub> di dalam Ruangan .....	88
4.6.1 Efisiensi Penyerapan CO <sub>2</sub> Oleh <i>Living Moss Wall</i> Tanpa Pemberian Asap Rokok di dalam Ruangan .....	88
4.6.2 Efisiensi Penyerapan CO <sub>2</sub> Oleh <i>Living Moss Wall</i> dengan Pemberian Asap Rokok di dalam Ruangan .....	91
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	99
5.1 Kesimpulan .....	99
5.2 Saran .....	99
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	101
<b>LAMPIRAN</b> .....	106

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Polutan Utama yang Merusak Kesehatan Dihasilkan dari Sumber dalam Ruangan.....	6
Tabel 2.2 Polutan dalam Ruangan yang Umum dan Pengaruhnya Terhadap Kesehatan Manusia.....	7
Tabel 2.3 Parameter Kualitas Fisik Udara dalam Ruang Rumah.....	9
Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu .....	22
Tabel 3.1 Dimensi Awal <i>Living Moss Wall</i> .....	39
Tabel 3.2 Alat Penelitian Rancang Bangun <i>Living Moss Wall</i> .....	48
Tabel 3.3 Bahan Penelitian Rancang Bangun <i>Living Moss Wall</i> .....	48
Tabel 3.4 Jadwal Pengujian Efisiensi <i>Living Moss Wall</i> .....	50
Tabel 3.5 Rancangan Percobaan Penelitian .....	51
Tabel 4.1 Hasil Pengamatan Keceragaman <i>Moss</i> Berdasarkan Tingkat Kelas.....	59
Tabel 4.2 Monitoring Aklimatisasi <i>Moss</i> Minggu ke-1 .....	61
Tabel 4.3 Monitoring Aklimatisasi <i>Moss</i> Minggu ke-2.....	63
Tabel 4.4 Monitoring Aklimatisasi <i>Moss</i> Minggu ke-3 .....	65
Tabel 4.5 Perbandingan <i>Moss</i> dengan <i>Filtered Air Area</i> .....	68
Tabel 4.6 Kadar CO <sub>2</sub> Ruang Tanpa Pemberian Asap Rokok dengan dan Tanpa <i>Living Moss Wall</i> .....	81
Tabel 4.7 Kadar CO <sub>2</sub> Ruang Berisi Asap Rokok dengan dan tanpa <i>Living Moss Wall</i> .....	85
Tabel 4.8 Efisiensi Penyerapan CO <sub>2</sub> Oleh <i>Living Moss Wall</i> Tanpa Pemberian Asap Rokok .....	88
Tabel 4.9 Efisiensi Penyerapan CO <sub>2</sub> Oleh <i>Living Moss Wall</i> dengan Pemberian Asap Rokok .....	92

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Lumut <i>Fontinalis antipyretic</i> .....	11
Gambar 2. 2 Struktur Lumut .....	12
Gambar 2. 3 Diagram Klasifikasi Lumut Berdasarkan Kelas dan Bangsa .....	14
Gambar 2. 4 Lumut Daun <i>Pogonatum neesii</i> (C.Mull.) Doz .....	15
Gambar 2. 5 Lumut Tanduk <i>Phaeoceros laevis</i> (L.) Prosk.....	15
Gambar 2. 6 Lumut Hati <i>Marchantia polaceae</i> .....	16
Gambar 3. 1 Diagram Pikir Penelitian .....	36
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian .....	38
Gambar 3. 3 Sketsa Desain Tampak Depan dan Samping <i>Living Moss Wall</i> .....	39
Gambar 3. 4 Sketsa Desain Detail Susunan <i>Living Moss Wall</i> .....	40
Gambar 3. 5 Denah dan Potongan Ruang Uji .....	41
Gambar 3. 6 Denah dan Potongan Skema Ruang Uji Kelompok Kontrol .....	42
Gambar 3. 7 Denah dan Potongan Skema Uji Kelompok Experiment Variasi 1 .	43
Gambar 3. 8 Denah dan Potongan Skema Uji Kelompok Experiment Variasi 2 .	44
Gambar 3. 9 Denah dan Potongan Skema Uji Kelompok Experiment Variasi 3 .	45
Gambar 3. 10 Reaktor Media Tanam Aklimatisasi.....	47
Gambar 4. 1 <i>Moss</i> yang digunakan .....	54
Gambar 4. 2 Pengamatan Lumut Secara Mikroskopis Sampel 1 .....	55
Gambar 4. 3 Pengamatan Lumut Secara Mikroskopis Sampel 2 .....	55
Gambar 4. 4 Pengamatan Lumut Secara Mikroskopis Sampel 3 .....	56
Gambar 4. 5 Pengamatan Detail Lumut Secara Mikroskopis Sampel 1 .....	56
Gambar 4. 6 Pengamatan Detail Lumut Secara Mikroskopis Sampel 2 .....	57
Gambar 4. 7 Pengamatan Detail Lumut Secara Mikroskopis Sampel 3 .....	57
Gambar 4. 8 Pengamatan Detail Sporofit Tunggal Secara Mikroskopis .....	58
Gambar 4. 9 Pengamatan Detail Sporofit Rumpun Secara Mikroskopis.....	58
Gambar 4. 10 Aklimatisasi <i>Moss</i> .....	60
Gambar 4. 11 Ragam bentuk modular .....	69
Gambar 4. 12 <i>Living Moss Wall</i> Bentuk Persegi .....	69
Gambar 4. 13 <i>Living Moss Wall</i> Bentuk Lingkaran.....	70
Gambar 4. 14 Material dan Bahan Utama (Kayu Meranti Dan <i>Moss</i> ).....	71

Gambar 4. 15 Aplikasi Warna dan <i>Finishing</i> .....	71
Gambar 4. 16 Ilustrasi Aplikasi Produk <i>Living Moss Wall Dalam Ruangan 1</i> ....	72
Gambar 4. 17 Ilustrasi Aplikasi Produk <i>Living Moss Wall Dalam Ruangan 2</i> ....	73
Gambar 4.18 Bingkai <i>Living Moss Wall</i> .....	74
Gambar 4. 19 Memotong Karpet Anti Air .....	74
Gambar 4. 20 Memasang Lapisan Anti Air Pada Bingkai .....	75
Gambar 4. 21 <i>Living Moss Wall</i> .....	75
Gambar 4. 22 Rangkaian Ruang Uji .....	76
Gambar 4. 23 Pengambilan Data 1 <i>Living Moss Wall</i> tanpa Asap Rokok.....	77
Gambar 4. 24 Pengambilan Data 1 <i>Living Moss Wall</i> dengan Asap Rokok.....	77
Gambar 4. 25 Pengambilan Data 2 <i>Living Moss Wall</i> tanpa Asap Rokok.....	78
Gambar 4. 26 Pengambilan Data 2 <i>Living Moss Wall</i> dengan Asap Rokok.....	78
Gambar 4. 27 Pengambilan Data 4 <i>Living Moss Wall</i> tanpa Asap Rokok.....	79
Gambar 4. 28 Pengambilan Data 4 <i>Living Moss Wall</i> dengan Asap Rokok .....	79
Gambar 4.29 Grafik Penurunan Kadar CO <sub>2</sub> Pada Ruang Uji Tanpa Asap Rokok dengan Penambahan dan Tanpa <i>living Moss Wall</i> . .....	83
Gambar 4.30 Grafik Penurunan Kadar CO <sub>2</sub> Pada Ruang Uji Berisi Asap Rokok dengan Penambahan dan Tanpa <i>Living Moss Wall</i> .....	87
Gambar 4.31 Grafik Efisiensi Penyerapan CO <sub>2</sub> Oleh <i>Living Moss Wall</i> Tanpa Pemberian Asap Rokok .....	90
Gambar 4.32 Grafik Efisiensi Penyerapan CO <sub>2</sub> Oleh <i>Living Moss Wall</i> dengan Pemberian Asap Rokok .....	93

UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## DAFTAR RUMUS

Rumus penurunan kadar CO <sub>2</sub> .....	52
Rumus Efisiensi .....	52



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

*World Health Organization (WHO)* merilis *world's air quality guidelines (AQG)* pada tahun 2021 yang menyebutkan bahwa, polusi udara masuk dalam daftar ancaman lingkungan teratas di dunia. Pencemaran udara merupakan salah satu masalah utama di perkotaan terutama di negara berkembang. 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*. Problematika pencemaran udara dalam ruangan mencuat ketika *Environmental Protection Agency (EPA)* Amerika Serikat menerbitkan sebuah penelitian pada tahun 1989 yang menyatakan bahwa *indoor air pollution* memiliki dampak lebih tinggi daripada *outdoor 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, hal tersebut disebabkan oleh bahan bakar yang digunakan untuk kegiatan memasak masyarakat pedesaan maupun perkotaan (Mukono, 2020). Selain itu, perilaku merokok di dalam rumah memiliki dampak terhadap kualitas udara di dalam ruangan, sebagaimana yang diatur dalam Peraturan Menteri Kesehatan No. 1077 tahun 2011. Merokok di dalam ruangan dapat menghasilkan zat-zat kimia berbahaya yang mencemari udara seperti asap rokok (*environmental tobacco smoke/ETS*), sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ), nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ), karbon monoksida ( $\text{CO}$ ), dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ).

Faktor penting saat menilai kualitas udara dalam ruangan adalah konsentrasi karbon dioksida. 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  $\text{CO}_2$  yang tinggi secara nyata meningkatkan kelelahan dan menghambat konsentrasi, sangat

mengurangi kesehatan mental dan membahayakan kesehatan pengguna ruangan. Paparan CO<sub>2</sub> 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).

Manusia diciptakan Allah SWT tidak hanya diberikan akal untuk menuruti keinginannya, tetapi juga kemampuan untuk berpikir. Begitu pula dengan tumbuhan yang memiliki manfaat bagi kehidupan manusia, akan tetapi tidak sedikit tumbuhan di sekitar kita yang belum diketahui manfaatnya oleh manusia. Allah SWT berfirman dalam Al- Qur'an surat asy syu'ara ayat 7 yang berbunyi:

أَوَلَمْ يَرَوْا إِلَى الْأَرْضِ كَيْفَ أَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ - (٧)

Artinya:

*"Dan apakah mereka tidak memperhatikan bumi, betapa banyak kami tumbuhkan di bumi itu berbagai macam pasangan (tumbuh-tumbuhan) yang baik?"*

Sebagaimana yang telah dijelaskan bahwasanya tumbuhan di bumi memiliki manfaat, salah satunya ialah lumut (*moss*). Penelitian yang dilakukan oleh *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. Lukitasari, (2018) menyebutkan lumut dapat mengkonversi karbondioksida (CO<sub>2</sub>) menjadi senyawa organik selama fotosintesis.

Pencemaran udara di dalam ruangan sangat berbahaya bagi kesehatan manusia, karena hampir 90% aktifitas atau kegiatan manusia terjadi di dalam ruangan (Prabowo & Burhan, 2018). Dalam mengatasi permasalahan tersebut maka diperlukan inovasi guna mengatasi pencemaran udara dalam ruangan. Oleh karena itu dalam penelitian ini, penulis merancang bangun *living moss wall* menggunakan lumut daun blumei (*Macromitrium blumei*) untuk mengatasi pencemaran udara dalam ruangan, khususnya mereduksi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dalam ruangan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah dari penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana rancang bangun *living moss wall* menggunakan *lumut daun blumei (Macromitrium blumei)*?
2. Berapa penurunan kadar CO<sub>2</sub> di dalam ruangan tanpa dan dengan asap rokok menggunakan *living moss wall lumut daun blumei (Macromitrium blumei)*?
3. Berapa efisiensi *removal living moss wall* menggunakan *lumut daun blumei (Macromitrium blumei)* terhadap CO<sub>2</sub> di dalam ruangan tanpa dan dengan asap rokok?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Membuat rancang bangun *living moss wall* menggunakan *lumut daun blumei (Macromitrium blumei)*.
2. Mengetahui penurunan kadar CO<sub>2</sub> di dalam ruangan tanpa dan dengan asap rokok menggunakan *living moss wall lumut daun blumei (macromitrium blumei)*.
3. Mengetahui efisiensi *removal living moss wall* menggunakan *lumut daun blumei (Macromitrium blumei)* terhadap CO<sub>2</sub> di dalam ruangan tanpa dan dengan asap rokok.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari rancang bangun *living moss wall* menggunakan *lumut daun blumei (Macromitrium blumei)* yaitu:

1. Manfaat bagi mahasiswa  
Sarana meningkatkan ilmu pengetahuan, keterampilan, dan pengalaman yang telah dipelajari di perkuliahan.

2. Manfaat bagi universitas

Bahan kajian data maupun perbandingan penelitian akademisi dibidang pemanfaatan tanaman lumut (*bryophyta*) dalam mereduksi pencemaran udara dalam ruang khususnya CO<sub>2</sub>.

3. Manfaat bagi Dinas Kebersihan dan Ruang Terbuka Hijau

Inovasi teknologi tepat guna ramah lingkungan dengan memanfaatkan lumut daun *blumei* (*Macromitrium blumei*) untuk mereduksi pencemaran udara dalam ruang khususnya CO<sub>2</sub>.

4. Manfaat bagi masyarakat sekitar

Informasi bahaya pencemaran udara dalam ruangan khususnya CO<sub>2</sub>, serta sebagai peluang usaha dengan memanfaatkan lumut sebagai inovasi teknologi tepat guna ramah lingkungan untuk mereduksi pencemaran udara dalam ruangan.

### 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Rancang bangun *living moss wall* menggunakan lumut daun *blumei* (*Macromitrium blumei*) memiliki detail sebagai berikut:

- a. Pencarian awal untuk menentukan keseragaman lumut yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan klasifikasi *class*, yaitu lumut daun atau *class musci*
- b. Identifikasi lumut lebih lanjut dilakukan oleh laboratorium taksonomi UINSA hingga mencapai klasifikasi *species*
- c. Lumut memiliki ukuran 0,5 – 3 mm, dan berwarna hijau
- d. Dimensi *living moss wall* sebesar 28 x 28 cm dengan dimensi area lumut 20 x 20 cm
- e. Pengujian efisiensi *living moss wall* dilakukan dengan variasi jumlah, antara lain sebagai berikut:
  - Variasi 1 menggunakan 1 *living moss wall*
  - Variasi 2 menggunakan 2 *living moss wall*
  - Variasi 3 menggunakan 4 *living moss wall*

2. Sumber polutan CO<sub>2</sub> berasal dari 2 batang rokok putihan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pencemaran Udara dalam Ruang**

Pencemaran udara dalam ruang atau *indoor air pollution (IAP)* ada di mana-mana, dan mengambil banyak bentuk, mulai dari asap yang dikeluarkan dari pembakaran bahan bakar padat, terutama di rumah tangga di negara berkembang, hingga campuran kompleks senyawa organik volatil dan semi-volatil yang ada di bangunan modern (Zhang & Smith, 2003). Menurut *U.S. Environmental Protection Agency (EPA)*, *IAP* mengacu pada keberadaan bahan pencemar, seperti partikulat (PM), senyawa *volatile organic compound (VOC)*, bahan kimi, dan faktor biologis, yang kesemuanya berada pada konsentrasi tinggi di udara dalam ruangan non-bangunan industri, dan semuanya dapat berdampak negatif bagi tubuh manusia.

Badan kesehatan dunia menyebutkan udara bersih merupakan kebutuhan dasar setiap manusia di bumi. Kualitas udara di rumah, kantor, sekolah, pusat penitipan anak, bangunan umum, fasilitas kesehatan, atau bangunan swasta dan publik lainnya di mana orang menghabiskan sebagian besar aktivitas mereka, merupakan penentu dari gaya hidup sehat pada masyarakat. Zat beracun yang dikeluarkan dari bangunan, bahan konstruksi dan furnitur atau dari aktivitas manusia di dalam ruangan, seperti pembakaran bahan bakar untuk memasak atau pemanasan, menyebabkan gangguan kesehatan dan bahkan dapat menyebabkan kematian (WHO, 2010).

Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia nomor 1077 tahun 2011 menyebutkan pencemaran udara dalam ruang rumah adalah “suatu keadaan adanya satu atau lebih polutan dalam ruangan rumah yang karena konsentrasinya dapat berisiko menimbulkan gangguan kesehatan penghuni rumah”.

#### **2.2 Sumber Pencemaran Udara dalam Ruang**

Polusi udara berasal dari berbagai sumber emisi, baik alami maupun antropogenik, dengan yang terakhir menjadi dominan secara global sejak awal industrialisasi. Proses pembakaran merupakan penyumbang terbesar pencemaran

udara, khususnya pembakaran bahan bakar fosil dan biomassa untuk menghasilkan energi. Di dalam ruangan, penggunaan bahan bakar yang berpolusi pada kompor pemanas dan memasak tanpa ventilasi, pembakaran tembakau dan pembakaran untuk tujuan lain, seperti praktik budaya atau agama (WHO, 2021). Adapun jenis polutan dalam ruangan dan sumbernya dirangkum dan disajikan pada tabel 2.1 berikut:

**Tabel 2.1** Polutan Utama yang Merusak Kesehatan Dihasilkan dari Sumber dalam Ruangan

No	Polutan	Sumber Dalam Ruangan Utama	Sumber
1	Partikel halus	Pembakaran bahan bakar/tembakau, pembersihan, memasak	(Zhang & Smith, 2003)
2	Karbon monoksida	Pembakaran bahan bakar/tembakau	
3	Hidrokarbon aromatik polisiklik	Pembakaran bahan bakar/tembakau, memasak	
4	Nitrogen oksida	Pembakaran bahan bakar	
5	Sulfur oksida	Pembakaran batubara	
6	Arsenik dan fluorin	Pembakaran batubara	
7	Senyawa organik yang mudah menguap dan semi-volatil	Pembakaran bahan bakar/tembakau, produk konsumen, perabotan, bahan bangunan, memasak	
8	<i>Aldehyde</i>	Pperabotan, bahan bangunan, memasak	
9	Pestisida	Produk konsumen, debu dari luar	
10	Asbes	Renovasi/pembongkaran material konstruksi	
11	Debu yang mengandung Pb dari cat yang rusak	Renovasi/pembongkaran permukaan yang dicat	
12	Polutan biologis	Area lembab, sistem ventilasi, perabotan	
13	Radon	Tanah di bawah bangunan, bahan konstruksi	
14	Radikal bebas dan senyawa lain yang berumur pendek dan sangat reaktif	Bahan kimia dalam ruangan	(Mukono, 2020)
15	Karbon dioksida	Pembakaran bahan bakar, memasak, rokok	

Polutan dalam ruangan yang umum adalah asap tembakau, partikel, nitrogen dioksida, karbon monoksida, senyawa organik yang mudah menguap dan alergen biologis. Pada negara berkembang, sumber polusi dalam ruangan yang relevan termasuk biomassa dan pembakaran batu bara untuk memasak dan Pemanasan. Konsentrasi polutan ini dapat menjadi berkali-kali lebih tinggi di dalam ruangan daripada di luar ruangan (Viegi, et al., 2004). Sedangkan menurut Mukono, (2020) sumber pencemar yang paling dominan didalam ruangan disebabkan oleh bahan bakar yang digunakan untuk kegiatan memasak masyarakat pedesaan maupun perkotaan. bahan bakar seperti kayu bakar, minyak tanah, batu bara, dan elpiji tersebut akan mengeluarkan *respirable particulate*, formaldehid, *polycyclic aromatic hydrocarbon*, CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, dan gas SO<sub>2</sub>.

### 2.3 Dampak Pencemaran Udara dalam Ruang Terhadap Kesehatan Manusia

Beban penyakit global yang terkait dengan paparan polusi udara memiliki dampak besar pada kesehatan manusia di seluruh dunia. Paparan polusi udara diperkirakan menyebabkan jutaan kematian dan hilangnya angka hidup sehat setiap tahunnya. Beban penyakit akibat polusi udara sekarang sebanding dengan resiko kesehatan global utama lainnya, seperti pola makan yang buruk dan merokok, sehingga polusi udara sekarang diakui sebagai ancaman lingkungan terbesar bagi kesehatan manusia (WHO, 2021). Adapun jenis polutan dalam ruangan dan dampaknya terhadap kesehatan dirangkum dan disajikan pada tabel 2.2 berikut:

**Tabel 2.2** Polutan dalam Ruangan yang Umum dan Pengaruhnya Terhadap Kesehatan Manusia.

No.	Polutan	Dampak Kesehatan
1	PM	Kematian dini pada orang dengan penyakit jantung atau paru-paru, serangan jantung nonfatal, detak jantung tidak teratur, asma yang memburuk, penurunan fungsi paru-paru, peningkatan gejala pernapasan

No.	Polutan	Dampak Kesehatan
2	VOC	Iritasi mata, hidung dan tenggorokan, Sakit kepala, kehilangan koordinasi dan mual, Kerusakan hati, ginjal dan sistem saraf pusat, Beberapa bahan organik dapat menyebabkan kanker
3	NO <sub>2</sub>	Peningkatan reaksi asma, Kerusakan pernapasan yang menyebabkan gejala pernapasan
4	O <sub>3</sub>	Kerusakan DNA, kerusakan paru-paru, asma, penurunan fungsi pernapasan
5	SO <sub>2</sub>	Gangguan fungsi pernapasan, Asma, penyakit paru obstruktif kronik (PPOK), dan penyakit kardiovaskular
6	CO	Kelelahan, nyeri dada, gangguan penglihatan, penurunan fungsi otak
7	CO <sub>2</sub>	Sesak napas, berkeringat, pusing, kantuk, bingung/disorientasi, sakit kepala, mual atau muntah, panik, kebutaan sementara, vertigo, peningkatan tekanan darah, kematian
8	Logam berat	Kanker, kerusakan otak, Efek mutagenik dan karsinogenik: penyakit pernapasan, kematian kardiovaskular
9	Aerosol	Penyakit kardiovaskular, penyakit pernapasan, alergi, kanker paru-paru, iritasi dan ketidaknyamanan
10	Radon (Rn)	Kanker paru-paru
11	Pestisida	Iritasi pada mata, hidung dan tenggorokan; Kerusakan sistem saraf pusat dan ginjal; Peningkatan risiko kanker
12	Alergen biologis	Asma dan alergi Infeksi pernafasan, sensitisasi, penyakit alergi pernafasan dan mengi
13	Mikroorganisme	Demam, masalah pencernaan, penyakit menular, penyakit pernapasan kronis

Sumber : (Tran, Park, & Chul Lee, 2020) dan (Straub, 2021).

Paparan CO<sub>2</sub> 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). Polusi udara dalam ruangan dapat meningkatkan risiko fenomena iritasi, sensitisasi alergi, gangguan pernapasan akut dan kronis dan gangguan fungsi paru. Perkiraan konservatif pada tahun 2004 menunjukkan bahwa 1,5-2 juta kematian per tahun di seluruh dunia dapat dikaitkan dengan polusi udara dalam ruangan. (Viegi, et al., 2004).

WHO merilis artikel yang berjudul *household air pollution and health* pada tahun 2021, yang menyebutkan 3,8 juta orang per tahun meninggal sebelum waktunya karena penyakit yang disebabkan oleh polusi udara rumah tangga. Penggunaan bahan bakar padat dan minyak tanah yang tidak efisien untuk memasak merupakan penyebab dari kematian 3,8 juta orang, adapun detail presentase penyakit yang diderita sebagai berikut:

- 8% dari kanker paru-paru.
- 18% dari stroke
- 20% dari penyakit paru obstruktif kronik (COPD)
- 27% dari penyakit jantung iskemik
- 27% dari pneumonia (WHO, 2021)

#### 2.4 Parameter Kualitas Udara dalam Ruang Rumah

Parameter kualitas udara dalam ruang rumah didasarkan pada pedoman penyehatan udara dalam ruang rumah nomor 1077 tahun 2011 yang ditulis oleh Menteri Kesehatan Republik Indonesia, dengan detail yang dapat dilihat pada tabel 2.3 dibawah ini:

**Tabel 2.3** Parameter Kualitas Fisik Udara dalam Ruang Rumah

No.	Jenis Parameter	Satuan	Kadar yang dipersyaratkan	Keterangan
<b>Kualitas Fisik</b>				
1.	Suhu	°C	18-30	
2.	Pencahayaan	Lux	Minimal 60	

No.	Jenis Parameter	Satuan	Kadar yang dipersyaratkan	Keterangan
3.	Kelembapan	%Rh	40-60	
4.	Laju Ventilasi	m/dtk	0,15-0,25	
5.	PM <sub>2,5</sub>	µg/m <sup>3</sup>	35	24 jam
6.	PM <sub>10</sub>	µg/m <sup>3</sup>	≤70	24 jam
No.	Jenis Parameter	Satuan	Kadar maksimal yang dipersyaratkan	Keterangan
<b>Kualitas Kimia</b>				
1.	Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> )	Ppm	0,1	24 jam
2.	Nitrogen Dioksida (NO <sub>2</sub> )	Ppm	0,04	24 jam
3.	Karbon Monoksida (CO)	Ppm	9	8 jam
4.	Karbon Dioksida (CO <sub>2</sub> )	Ppm	1000	8 jam
5.	Timbal (Pb)	µg/m <sup>3</sup>	1,5	15 menit
6.	Asbes	Serat/ml	5	Panjang serat 5µ
7.	Formaldehid (HCHO)	Ppm	0,1	30 menit
8.	Volatile Organic Compound (VOC)	Ppm	3	8 jam
9.	Environmental Tobacco Smoke (ETS)	µg/m <sup>3</sup>	35	24 jam
No.	Jenis Parameter	Satuan	Kadar maksimal yang dipersyaratkan	Keterangan
<b>Kualitas Biologi</b>				
1.	Jamur	CFU*/m <sup>3</sup>	0	
2.	Bakteri patogen**	CFU/m <sup>3</sup>	0	
3.	Angka kuman	CFU/m <sup>3</sup>	<700	

Sumber: PERMENKES Nomer 1077, 2011

## 2.5 Lumut (*Bryophyta*)

Negara Indonesia terkenal sebagai negara yang kaya akan keanekaragaman hayati, salah satunya adalah jenis tumbuhan tingkat rendah yaitu lumut. Tanaman tingkat rendah merupakan kelompok tumbuhan yang tidak memiliki sistem pembuluh untuk mengangkut air dan nutrisi, sehingga tidak memiliki akar, batang, dan daun sejati seperti yang dimiliki oleh tumbuhan tingkat tinggi. Kelompok tumbuhan terestrial hijau khas ini termasuk tumbuhan yang

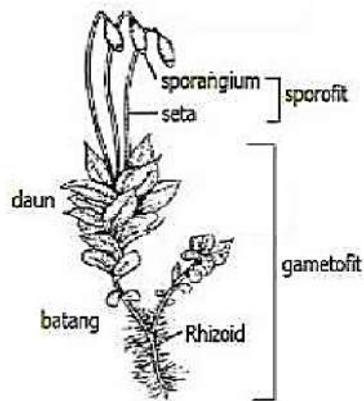
hidup di tempat lembab, hidup berkelompok dan sangat mudah dijumpai di alam sekitar (Lukitasari, 2018). *Encyclopaedia Britannica*, tahun 2022 menyebutkan lumut atau *moss* yang memiliki nama latin *bryophyta*, merupakan salah satu dari setidaknya 12.000 spesies tanaman darat kecil yang tidak berpembuluh atau *non-vascular*. Lumut tersebar di seluruh dunia kecuali di air asin dan umumnya ditemukan di lokasi teduh yang lembab. Lumut terkenal karena spesies tanaman yang melapisi hutan dan lantai hutan. Secara ekologis, lumut memecah substrat yang terbuka, melepaskan nutrisi untuk penggunaan tanaman yang lebih kompleks yang menggantikannya.



**Gambar 2. 1** Lumut *Fontinalis antipyretica*

Sumber: (Lukitasari, 2018)

Lumut adalah organisme *fotoautotrof* yang tidak berbunga. Seperti tanaman lainnya, lumut membutuhkan sinar matahari, karbon dioksida, nutrisi mineral, dan kelembaban untuk memproses pasokan nutrisi mereka melalui fotosintesis. Lumut tidak memiliki akar tetapi menggunakan benang kecil yaitu rizoid, untuk menempel pada sebuah permukaan. Lumut dapat menemukan cara untuk menempel di relung kecil dan retakan batu, tanah, dan bahkan beton. Rizoid hanya berfungsi sebagai jangkar ke permukaan saat tumbuh kembali, bukan untuk transfer nutrisi seperti yang telah disebutkan sebelumnya untuk tanaman *non-vaskular* pada umumnya (Martin, 2015).



**Gambar 2. 2** Struktur Lumut

Sumber: (Lukitasari, 2018)

Lumut tidak memiliki jaringan konduktif khusus seperti tumbuhan vaskular. Daun lumut selalu menempel langsung pada batang tanaman tanpa tangkai. Setiap daun lumut memiliki bagian tengah yang lebih tebal di tengah daun yang disebut pelepah (saraf atau costa). Daun individu lumut cukup kecil, mulai dari 0,5 mm hingga 3 mm (Martin, 2015). Lumut adalah organisme poikilohidrik, yang berarti bahwa mereka tidak memiliki jaringan pelindung untuk mencegah dehidrasi dari sinar matahari, tetapi dapat rehidrasi ketika air tersedia kembali. Lumut memiliki toleransi terhadap kekeringan dan dapat bertahan dalam kondisi iklim yang sangat panas dan perubahan suhu yang cepat. Lumut pulih tanpa kerusakan jaringan dalam waktu singkat, dalam beberapa jam, tergantung pada kondisi spesifik dan suplai kelembaban (Sanne, 2011).

Lumut memiliki siklus hidup reproduksi yang unik. Mereka berkembang biak melalui generasi lain yang mencerminkan dua tahap utama dalam siklus hidupnya, gametofit (tanaman hijau dominan dengan gen) dan sporofit (tanaman pembawa spora). Dikenal tiga metode reproduksi yang berbeda antara lain:

1) Melalui spora

Sel sperma bergerak dari gametofit jantan ke gametofit betina dan membuahi telur, sel sperma tersebut akan berkembang menjadi sporofit yang menghasilkan spora. Ketika spora dilepaskan dan mulai membelah,

gametofit dihasilkan. Spora dapat diangkut dengan mudah oleh air, angin, atau fauna melintasi tanaman permukaan.

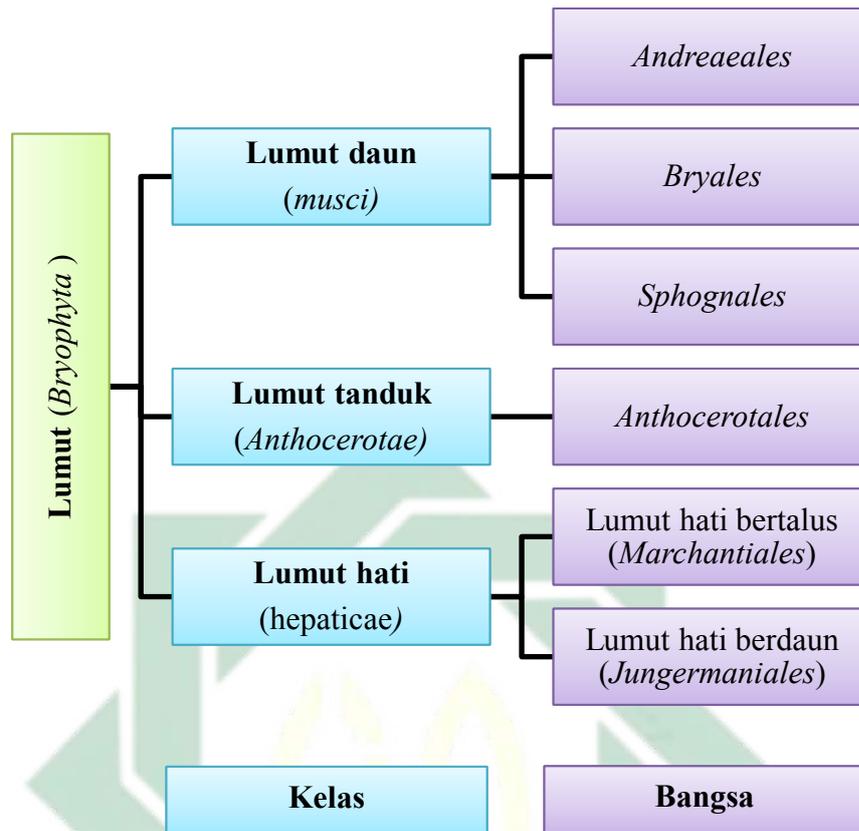
## 2) Melalui fragmen vegetatif

Lumut, dipecah menjadi fragmen kecil dapat didistribusikan ke berbagai area dan tumbuh menjadi tanaman baru. Cara ekspansi yang sangat efektif saat berkebum seperti dengan lumut. Metode penanaman fragmentasi yang menguntungkan ini dapat memfasilitasi lebih cepat, dan menghasilkan lumut tumbuh.

## 3) Melalui reproduksi vegetatif (Gemmae)

Gemmae, yang biasanya tumbuh langsung dari batang atau daun, terdiri dari sel-sel yang terpisah dari tanaman induk dan selanjutnya membentuk organisme baru. Gemmae dapat tersebar ke lokasi baru dan akan tumbuh menjadi gametofit baru (Martin, 2015).

Marheny Lukitasari penulis buku yang berjudul “mengenal tumbuhan lumut (*bryophyta*) deskripsi, klasifikasi, potensi dan cara mempelajarinya” tahun 2018 menyebutkan, untuk memperkirakan jumlah spesies lumut membutuhkan studi penelitian yang cermat. Identifikasi lumut dilakukan dengan cara mengobservasi karakteristik gametofit dan sporofit pada lumut. Pengamatan secara mikroskopis seperti letak, bentuk, detail sel dan pola bercabang dari rhizoid, juga penting dalam mengklasifikasi lumut. Pengalaman penelitian mengklasifikasikan lumut sangat diperlukan untuk mengidentifikasi lumut pada tingkat yang lebih rendah seperti genus atau marga, dan spesies melalui proses pengamatan yang terperinci. Spesies lumut diperkirakan sebanyak 14.000 - 15.000 spesies, dengan detail 200 adalah lumut tanduk, 6.000 lumut hati, dan 8.000 lumut daun. Lumut memiliki tiga divisi atau kelas utama, yang dijelaskan pada gambar 2.3 dibawah ini.



**Gambar 2. 3** Diagram Klasifikasi Lumut Berdasarkan Kelas dan Bangsa

Sumber: (Lukitasari, 2018)

### A. Lumut Daun (*Musci*)

Lumut daun, fitur gametofitik dari struktur daun (terutama rincian sel dan bentuk daun), detail dari margin daun, ornamen sel, penampang melintang dari pelepah, dan posisi organ seksual yang terhubung dengan puncak batang sangat membantu klasifikasi. Fitur sporofit juga penting untuk identifikasi terutama terkait dengan sporangium, khususnya orientasi, bentuk, struktur pelindung sporangial (khususnya stomata dan bentuk sel dari sel terluar) (Lukitasari, 2018).



**Gambar 2. 4** Lumut Daun *Pogonatum Neesii* (C.Mull.) Doz  
Sumber: (Lukitasari, 2018)

Musci memiliki tiga bangsa yakni *andreaeales*, *sphagnales*, *bryales*. Bangsa *andreaeales* memiliki satu suku yakni *andreaeaceae* dengan marga *andreaea*. Bangsa *sphagnales* atau yang biasa dikenal dengan sebutan lumut gambut merupakan bangsa yang memiliki satu suku yakni *sphagnaceae* dengan marga *sphagnum*. Sedangkan bangsa *bryales* merupakan bangsa lumut yang sebagian besar lumut daun yang dijumpai tergolong dalam bangsanya (Lukitasari, 2018).

#### **B. Lumut Tanduk (*Anthocerotales*)**

Lumut tanduk (*anthocerotales*) selalu memiliki struktur yang dicirikan dengan adanya sporofit yang berbentuk tanduk, dengan organ seksual yang tertanam dalam bentuk tubuh yang disebut talus. Dalam perkembangbiakannya lumut tanduk mengeluarkan spora terus menerus dari sporangiumnya untuk kemudian berkembang menjadi lumut tanduk yang baru (Lukitasari, 2018).



**Gambar 2. 5** Lumut Tanduk *Phaeoceros Laevis* (L.) Prosk  
Sumber: (Lukitasari, 2018)

Pada lumut tanduk, struktur talus, terutama anatomi internal dan isi sel merupakan hal penting yang dapat diamati untuk klasifikasi. Begitu juga sporofit (yang mengandung dinding sporangial, spora dan ornamentasinya, dan sel steril bercampur dengan spora) dan struktur silinder steril (jika ada) di sporangium. Bagian-bagian tersebut merupakan bentuk spesifik yang ada pada lumut tanduk sehingga memudahkan untuk klasifikasi (Lukitasari, 2018).

### C. Lumut Hati (*Hepaticeae*)

Lumut hati, identifikasi dapat dibantu melalui penentuan bentuk gametofit, anatomi internal dan isi sel pada talus, dan posisi organ seksual dan struktur pelindungnya. Fitur sporofit, seperti anatomi internal seta, ornamen jaket sporangial, ornamen spora, dan struktur elater, juga penting untuk identifikasi. Dalam genus berdaun, ini fitur internal dan eksternal yang sama, di samping pengaturan daun dan bentuk serta detail sel, dan posisi juga pola bercabang dari rhizoid, juga penting untuk tujuan klasifikasi (Lukitasari, 2018).



**Gambar 2. 6** Lumut Hati *Marchantia Polaceae*  
Sumber: (Lukitasari, 2018)

Lumut hati (*hepaticeae*) dengan perbedaan bangsa yaitu lumut hati bertalus (*marchantiales*) dan lumut hati berdaun (*jungermaniales*) didominasi dengan bentuk tumbuhan dominan talus yang menempel pada permukaan tanah. Memang dibutuhkan pengamatan yang teliti untuk membedakan dua bangsa pada lumut hati tersebut. Hal ini karena daun yang menempel pada *jungermaniales* hanya sedikit (satu atau dua lembar saja)

sehingga akan sangat sulit untuk membedakan apabila daun tersebut belum nampak dalam struktur tubuh lumut hati (Lukitasari, 2018).

## 2.6 Pemanfaatan Lumut (*Bryophyta*) dalam Mereduksi Pencemaran Udara

Lumut secara teratur muncul di tanah, atap, kebun, dan dinding sebagai bagian dari desain arsitektur atau tumbuh secara alami oleh alam, dan dikombinasikan dengan tanaman vaskular disekitarnya. Seiring berkembangnya arsitektur hijau vertikal di perkotaan, berbagai jenis dinding lumut dan fitur urban vertikal lumut lainnya saat ini sedang diteliti secara intensif. Salah satunya ialah *preserved moss wall*, *living moss wall*, dan *moss urban feature* (Julinova & Beckovsky, 2019).

*Start-up* Green City Solution mengembangkan *moss urban feature* berupa filter *bio-techmoss* yang dinamai dengan *city tree*. *City tree* merupakan unit dengan lumut hidup (*living moss*) yang digabungkan menjadi furnitur perkotaan. Produk tersebut berisi sensor terhubung internet berbasis komunikasi cloud. Sehingga mampu mengontrol semua kultur lumut secara real time, untuk mengumpulkan data dan memberi tahu operator apakah lumut membutuhkan lebih banyak perawatan. *City tree* memiliki sistem ventilasi *built-in* dan air hujan dikumpulkan dan didistribusikan kembali oleh sistem irigasi *built-in*, keduanya dipasok oleh daya dari panel surya. *City Tree* memiliki luas 3,5 meter persegi dan menyaring udara disekitarnya sama dengan 275 pohon dan membantu meningkatkan kualitas udara dalam radius 50 meter (Green City Solutions, 2022).

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 (Green City Solutions, 2022). Julinova & Beckovsky, (2019) menyebutkan spesies lumut yang dipilih secara tepat dapat tumbuh di lingkungan apa pun, dapat bertahan hidup pada berbagai suhu yang berbeda dan selalu hijau dengan pemeliharaan yang rendah/tanpa pemeliharaan. Lumut dapat tumbuh baik pada konstruksi horizontal maupun vertikal dan lumut mengambil nutrisi dari udara dan mengubah polutan menjadi biomasnya sendiri. Lumut juga dapat mengkonversi karbondioksida (CO<sub>2</sub>) menjadi senyawa organik selama fotosintesis (Lukitasari, 2018).

## **2.7 Aklimatisasi**

Aklimatisasi merupakan salah satu langkah penting dalam menentukan apakah tanaman dapat beradaptasi dengan baik dengan lingkungan atau habitatnya yang baru. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi proses aklimatisasi antara lain jenis media tanam, intensitas cahaya, kelembapan, suhu dan pH tanah (Permatasari & Rahadiantoro, 2015). Adaptasi tanaman terhadap habitat yang baru dapat terjadi segera atau selama beberapa hari bahkan minggu (Bailey & Rittner, 2005).

Tahap pertama pada aklimatisasi tumbuhan ialah menentukan lokasi tanam. Penentuan lokasi tanam bertujuan agar tumbuhan dapat beradaptasi dengan lingkungan atau habitat yang baru. Kriteria lokasi harus memiliki kelembapan yang cukup dan terhindar cahaya dari matahari langsung. Tahap selanjutnya ialah memilih media tanam yang sesuai dengan habitat tumbuhan semula. Tahap terakhir ialah dengan memindahkan tumbuhan pada lokasi atau media tanam yang baru, hal tersebut bertujuan supaya tumbuhan bisa segera beradaptasi dengan lingkungan atau habitat yang baru (Permatasari & Rahadiantoro, 2015).

### **2.7.1 Menumbuhkan Lumut**

Pertumbuhan lumut umumnya membutuhkan kombinasi faktor-faktor yang terkontrol seperti kelembapan yang cukup, cahaya, nutrisi dan suhu yang sesuai. Selain faktor-faktor tersebut, sebagian besar lumut juga membutuhkan tanah masam dan lingkungan yang teduh. Lumut dapat menerima nutrisinya dari substrat (pergerakan eksternal dan internal) dan juga dari presipitasi dan partikel debu (Julinova & Beckovsky, 2019).

Membudidayakan tanaman lumut, maupun lumut sebagai desain interior atau eksterior, membutuhkan tata cara perawatan lumut yang perlu diketahui dan diikuti untuk memperoleh pertumbuhan lumut yang bagus. Sebagai langkah paling kritis untuk permulaan yaitu pemilihan lokasi, dan spesies yang sesuai dengan kondisi iklim spesifik pada lokasi tersebut. Sebagian besar spesies lumut lebih menyukai naungan sedang hingga cukup tertutup, dan sinar matahari langsung harus dihindari. Terbukti bahwa fasad yang menghadap ke utara atau timur adalah yang paling sesuai untuk menumbuhkan lumut. Sangat penting untuk

melakukan survei pada area yang dipilih dan memutuskan spesies lumut yang tepat dengan sifat yang sesuai untuk lingkungan tersebut (Julinova & Beckovsky, 2019).

Spesies lumut sebagian besar lebih menyukai tanah asam (kurang dari nilai pH 6) akan tetapi tidak selalu, beberapa di antaranya dapat berhabitat di tanah yang berkapur (mengandung kalsium karbonat, yang memiliki pH lebih besar dari 7, tanah yang didominasi oleh batu gamping atau batuan dolomit) atau di tanah alkalin (pH lebih tinggi dari 8,5 yang termasuk tanah lempung dan tanah yang menyatu dengan natrium karbonat) (Bailey & Rittner, 2005). Julinova (2019) menyebutkan lumut lebih suka tumbuh di permukaan asam dengan pH antara 5,0 dan 5,5. Terdapat kit pengujian pH dan proses laboratorium pengujian pH yang perlu dilakukan untuk mengevaluasi pH permukaan material yang ditujukan untuk pertumbuhan lumut.

Pemilihan komposisi permukaan dapat berbeda dalam tekstur, porositas dan penyerapan air. Jika bahan dievaluasi dengan tepat, spesies lumut yang telah dipilih akan tumbuh dengan baik. Penyiraman dan *misting* secara teratur merupakan tuntutan penting untuk kelangsungan hidup lumut. Sangat penting untuk menjaga agar lumut tetap lembab setidaknya selama tiga minggu pertama setelah memindahkan lumut (Julinova & Beckovsky, 2019). Lumut memiliki potensi besar untuk tumbuh di semua jenis lingkungan, dan kondisi yang sesuai, baik alami maupun yang dimanipulasi oleh *gardeners*, membuat lingkungan tumbuh menjadi lebih sesuai (Martin, 2015).

## 2.8 Manfaat Lumut bagi Manusia dalam Perspektif Islam

Lumut (*bryophyta*) tersebar di seluruh dunia kecuali di air asin dan umumnya ditemukan di lokasi teduh yang lembab dan lumut merupakan salah satu dari setidaknya 12.000 spesies tanaman darat kecil yang tidak berpembuluh di bumi (*Encyclopaedia Britannica*, 2022). Allah SWT berfirman dalam Al-qur'an surat Surat Ta Ha Ayat 53:

الَّذِي جَعَلَ لَكُمُ الْأَرْضَ مَهْدًا وَسَلَّكَ لَكُمْ فِيهَا سُبُلًا وَأَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا  
بِهِ أَزْوَاجًا مِنْ نَبَاتٍ ثَمَرِيٍّ

Artinya: “Yang telah menjadikan bagimu bumi sebagai hamparan dan Yang telah menjadikan bagimu di bumi itu jalan-jalan, dan menurunkan dari langit air hujan. Maka kami tumbuhkan dengan air hujan itu berjenis-jenis dari tumbuh-tumbuhan yang bermacam-macam”.

Quraish Shihab menafsirkan Surat Ta Ha Ayat 53 sebagai berikut “Dialah Tuhan yang menganugerahkan nikmat kehidupan dan pemeliharaan kepada hamba-hamba-nya. Dengan kekuasaan-nya, dia telah menjadikan bumi sebagai hamparan untukmu, membuka jalan-jalan untuk kamu lalui dan menurunkan hujan di atas bumi sehingga terciptalah sungai-sungai. Dengan air itu Allah menumbuhkan tumbuh-tumbuhan yang berbeda-beda warna, rasa dan manfaatnya. Ada yang berwarna putih dan hitam, ada pula yang rasanya manis dan pahit”.

Negara Indonesia terkenal sebagai negara yang kaya akan keanekaragaman hayati, salah satunya adalah jenis tumbuhan tingkat rendah yaitu lumut. Keanekaragaman spesies tumbuhan lumut yang diperkirakan sebanyak 14.000 - 15.000 (Lukitasari, 2018) merupakan salah satu bukti tanda kekuasaan Allah SWT dalam memberikan nikmat kehidupan di bumi. Allah SWT berfirman dalam Al-qur'an surat An-Nahl ayat 13:

وَمَا ذَرَأْنَا لَكُمْ فِي الْأَرْضِ مُخْتَلِفًا أَلْوَنًا ۗ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً لِّقَوْمٍ يَتَذَكَّرُونَ

Artinya: “Dan dia (menundukkan pula) apa yang dia ciptakan untuk kamu di bumi ini dengan berlain-lainan macamnya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang mengambil pelajaran”.

Quraish Shihab menafsirkan Surat An-Nahl Ayat 13 sebagai berikut “Selain yang telah diciptakan oleh Allah di langit dan disediakan untuk manfaat kalian, dia juga menciptakan berbagai macam binatang, tumbuhan dan benda di muka bumi untuk kalian. Dalam perut bumi, dia juga menciptakan bahan-bahan tambang yang beraneka warna, bentuk dan cirinya. Semua itu diciptakan untuk kalian manfaatkan. Sesungguhnya pada yang demikian itu terdapat tanda-tanda

yang jelas dan banyak bagi kaum yang selalu merenungkan hingga mengetahui kekuasaan Sang Pencipta dan kasih sayang-nya kepada mereka”.

Sebagaimana yang telah dijelaskan pada surat An-Nahl ayat 13, dan tafsir oleh Quraish Shihab, bahwasanya Allah menciptakan segala sesuatu di bumi beraneka macam dan memiliki manfaat bagi manusia, maka dari itu manusia diharapkan mengambil pelajaran dari hal tersebut. Selain itu Allah SWT berfirman dalam Al-qur'an surat Ali 'Imran 190-191

○ **إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لآيَاتٍ لِأُولِي الْأَلْبَابِ  
الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَامًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَاوَاتِ  
وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَاطِلًا سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ**

Artinya: “Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang berakal, (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadaan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): Ya Tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha Suci Engkau, maka peliharalah kami dari siksa neraka”.

Jalalain menafsirkan surat Ali 'Imran ayat 190-191 sebagai berikut “(Sesungguhnya pada penciptaan langit dan bumi) dan keajaiban-keajaiban yang terdapat pada keduanya (serta pergantian malam dan siang) dengan datang dan pergi serta bertambah dan berkurang (menjadi tanda-tanda) atau bukti-bukti atas kekuasaan Allah SWT. (bagi orang-orang yang berakal) artinya yang mempergunakan pikiran mereka. (yakni orang-orang yang) menjadi 'na'at' atau badal bagi yang sebelumnya (mengingat Allah di waktu berdiri dan duduk dan ketika berbaring) artinya dalam keadaan bagaimana pun juga sedang menurut Ibnu Abbas mengerjakan salat dalam keadaan tersebut sesuai dengan kemampuan (dan mereka memikirkan tentang kejadian langit dan bumi) untuk menyimpulkan dalil melalui keduanya akan kekuasaan Allah, kata mereka (wahai Tuhan kami! Tidaklah Engkau ciptakan ini) maksudnya makhluk yang kami saksikan ini (dengan sia-sia) menjadi hal sebaliknya semua ini menjadi bukti atas

kesempurnaan kekuasaan-mu (maha suci engkau) artinya tidak mungkin Engkau akan berbuat sia-sia (maka lindungilah kami dari siksa neraka)”.

Allah SWT telah memberikan tanda-tanda atau bukti atas kekuasaanya, menjadikan setiap ciptaanya di muka bumi memiliki manfaat tanpa terkecuali. Maka dari itu perlunya manusia untuk menggunakan pikiran dan mencari tahu manfaat dari semua ciptaan Allah SWT, salah satunya seperti yang telah dilakukan oleh *Start-up* asal Jerman Green City Solutions pada tahun 2015 yang telah meneliti dan memanfaatkan tumbuhan lumut untuk mengatasi pencemaran udara ambient (Splittgerber & Saenger, 2015).

## 2.9 Penelitian Terdahulu

Rancang bangun *living moss wall* didasarkan pada penelitian terdahulu yang dikembangkan untuk mengetahui efisiensi *lumut daun blumei* (*Macromitrium blumei*) terhadap parameter PM<sub>10</sub> dan CO<sub>2</sub> didalam ruangan. Adapun penelitian terdahulu sebagai acuan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 2.4 dibawah ini.

**Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu**

No	Judul Penelitian	Nama Peneliti dan Tahun	Hasil Penelitian
1	Pengaruh Tanaman Sirih Gading ( <i>Epipremnum Aureum</i> ) Terhadap CO dalam Ruangan	Charles Situmorang, 2017	Metode penelitian yang digunakan ialah metode kuantitatif dan penelitian ini dilaksanakan di ruangan merokok yang berukuran 7m x 10m, dan 4m x 6m dengan polutan yang berasal dari rokok. Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi dua, antara lain: (1) Penentuan Kadar Partikulat, yang mengacu pada "SNI 19-7119.3-2005 tentang cara uji Partikel Tersuspensi total

No	Judul Penelitian	Nama Peneliti dan Tahun	Hasil Penelitian
			<p>menggunakan peralatan High Volume". (2) Penentuan kadar karbon monoksida di udara dalam ruangan mengacu pada "SNI 19 – 7117.10 – 2005 tentang cara uji kadar karbon monoksida (CO) menggunakan metode <i>non dispersive Infra red (NDIR)</i>". Pengulangan pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali, dan dilakukan perminggu. Pengolahan data dilakukan dengan pengujian ANNOVA berdasarkan uji F, uji T dan tabel. Hasil penelitian menyebutkan tanaman hias sirih gading (<i>fenbachia spp</i>) dapat mengurangi pencemaran udara di dalam ruangan, terutama gas karbon monoksida yang dihasilkan dari polutan asap rokok.</p>
2	<i>Living Walls In Indoor Environments</i>	Kanchane Gunawardena, Koen Steemers. 2018	<p>Metode penelitian yang digunakan ialah metode kualitatif dengan mempertimbangkan <i>review</i> publikasi dari tahun 1980 dan seterusnya yang diperoleh melalui pencarian kata kunci database. Basis data yang digunakan antara lain Scopus, Cambridge University Library, dan Google Scholar; dengan kata kunci utama yang digunakan termasuk 'tanaman/vegetasi', 'penghijauan</p>

No	Judul Penelitian	Nama Peneliti dan Tahun	Hasil Penelitian
			<p>vertikal', 'fasad hijau', 'dinding hidup', dan variannya menggunakan awalan 'interior/internal/indoor' dan 'exterior/external/outdoor'. Kemudian disaring untuk mempertimbangkan 44 makalah yang membahas studi aspek kinerja dari segala bentuk penghijauan vertikal, baik itu eksperimental, studi kasus, atau berbasis simulasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penghijauan vertikal yang termasuk dalam kedua kategori menawarkan manfaat yang signifikan, dengan pengaruh pendinginan selama musim panas dan dalam beberapa kasus memberi efek isolasi pemanasan di musim dingin, ekosistem vegetasi dinilai optimal untuk penyerapan karbon, pemurnian udara, dan sebagai keanekaragaman hayati.</p>
3	<p><i>Roadside Moss Turfs in South East Australia Capture More Particulate Matter Along an Urban Gradient than a Common Native Tree</i></p>	<p>Alison Haynes, Robert Popek, Mitchell Boles, Clare Paton-Walsh and Sharon A. Robinson. 2019</p>	<p>Metode penelitian yang digunakan ialah metode kuantitatif dengan membandingkan <i>roadside moss turfs</i> dengan <i>common native tree species (pittosporum undulatum)</i>, dalam kemampuannya menangkap PM di sepanjang gradien perkotaan. Peneliti mengambil sampel lumut seluas 4cm x 4cm disetiap lokasi</p>

No	Judul Penelitian	Nama Peneliti dan Tahun	Hasil Penelitian
	<i>Species</i>		<p>pada sembilan lokasi, dengan tiga di masing-masing tingkat urbanisasi: rendah, sedang, dan tinggi menurut jenis jalan (jalan bebas hambatan, jalan pinggiran kota, jalan pinggiran kota yang tenang). Hasil penelitian menyebutkan berdasarkan berat kering, lumut menangkap lebih banyak PM yakni 6,58 – 25.29 mg per gram berat kering daripada daun dari pohon <i>pittosporum undulatum</i> yang hanya menangkap PM sebanyak 3,58 – 7,62 mg per gram berat kering. kapasitas lumut untuk menangkap, dan potensinya untuk mempertahankan PM dapat menjadi sifat yang berguna ketika mempertimbangkan penanaman untuk penghijauan perkotaan, atau sebagai aplikasi khusus menggunakan lumut untuk meningkatkan kualitas udara perkotaan.</p>
4	<i>Perspectives of moss species in urban ecosystems and vertical living architecture: A review</i>	P. Julinova & D. Beckovsky.2019	<p>Metode penelitian yang digunakan ialah metode kualitatif dengan merangkum artikel terbaru yang diterbitkan tentang membangun <i>vertical greenery systems (VGS)</i> yang berfokus pada <i>living wall</i>. Tanaman yang paling umum untuk</p>

No	Judul Penelitian	Nama Peneliti dan Tahun	Hasil Penelitian
			<p>VGS adalah tanaman yang memiliki batang, dan dikenal sebagai tumbuhan berbunga atau tumbuhan berpembuluh (<i>trachaeophyta</i>). Fokus utama dari penelitian ini adalah tumbuhan tidak berpembuluh, yang diwakili oleh lumut. Pembahasan ditujukan pada biologi lumut, keragaman, dan keterbatasan dibandingkan dengan tanaman berpembuluh. Hasil penelitian menyebutkan spesies lumut yang dipilih secara tepat dapat tumbuh di lingkungan apa pun, dan dapat bertahan hidup pada berbagai suhu yang berbeda, serta akan selalu hijau dengan pemeliharaan yang rendah atau tanpa pemeliharaan. Lumut mengambil nutrisi dari udara dan dapat mengubah polutan menjadi biomasanya sendiri. Lumut dapat tumbuh baik pada konstruksi horizontal maupun vertikal.</p>
5	<p><i>Vertical Garden: Penghijauan untuk Mendukung Smart Living</i> di Kota Yogyakarta</p>	<p>Aviana Vety Jayanti, Eko Priyo Purnomo, dan Aulia Nurkasiwi. 2020</p>	<p>Metode penelitian yang digunakan ialah metode kualitatif dengan desain penelitian deskriptif, yaitu metode penelitian untuk memahami kejadian dan fenomena yang dialami (tindakan, persepsi, perilaku, dll) dari seluruh subjek penelitian yang</p>

No	Judul Penelitian	Nama Peneliti dan Tahun	Hasil Penelitian
			<p>kemudian ditulis dengan kata-kata dan bahasa yang tesusun jelas. Hasil penelitian menyebutkan bahwa <i>vertical garden</i> adalah konsep tanaman yang disusun secara <i>vertikal</i> untuk menyeimbangkan lingkungan sehingga dapat tercipta iklim mikro tertentu di sekitarnya. <i>Vertical garden</i> berdasarkan tingkat perawatanya dibagi menjadi 2, yaitu <i>green facade</i>, dan <i>living wall</i>. <i>Green facade</i> merupakan tempat tumbuhan untuk merambat, dan bukan sebagai media tanam, karena tanaman tumbuh secara <i>horizontal</i> pada permukaan tanah yang kemudian merambat ke atas pada permukaan <i>green facade</i>, selain itu <i>vertical garden</i> jenis tersebut mudah dalam perawatanya. Sedangkan <i>living wall</i> merupakan pengembangan teknologi dari <i>vertical garden</i> menggunakan instalasi media panel tanam, dan membutuhkan biaya perawatan lebih mahal jika dibandingkan dengan <i>green facade</i>. <i>Vertical garden</i> merupakan solusi alternatif untuk meningkatkan penghijauan di daerah perkotaan dengan lahan terbuka yang sempit. Manfaat taman <i>vertikal</i></p>

No	Judul Penelitian	Nama Peneliti dan Tahun	Hasil Penelitian
			antara lain lingkungan yang lebih indah dan alami, penciptaan ruang hijau di lahan terbatas, pengurangan panas eksternal dan polusi udara, pengurangan kebisingan, dan peningkatan produksi oksigen.
6	Tingkat Kemampuan Penyerapan Tanaman <i>Sansevieria</i> dalam Menurunkan Polutan Karbon Monoksida	Kadek Prilian Cahyanti dan Dewa Ayu Agustini Posmaningsih. 2020	Metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini merupakan jenis penelitian <i>pre experimental</i> dengan rancangan <i>one grup pretest posttest</i> . Peneliti menggunakan tanaman <i>Sansevieria</i> sebagai <i>absorben</i> polutan karbon monoksida (CO), adapun tempat percobaan terbuat dari kaca yang berbentuk kotak dengan polutan CO berasal dari dua batang rokok, dengan waktu kontak 8 jam dan 45 menit waktu pengukuran. Pengambilan sampel menggunakan alat <i>thermohy grometer air quality</i> tipe HQ 210 yang dilakukan oleh UPT. Balai Hiperkes dan KK provinsi bali. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa kadar pencemar karbon monoksida mengalami penurunan setelah tanaman <i>sansevieria trifasciata</i> ditempatkan, didapatkan penurunan kadar CO oleh <i>sansevieria trifasciata</i> sebesar

No	Judul Penelitian	Nama Peneliti dan Tahun	Hasil Penelitian
			22,21 ppm. Kemudian dilakukan uji statistik untuk menggeneralisasi data yang didapatkan, uji normalitas <i>shapiro wilk</i> diperoleh penurunan secara signifikan terhadap CO setelah penempatan sansevieria, dengan nilai P yaitu 0,01 atau $p < 0,05$ .
7	<i>Current State of Indoor Air Phytoremediation Using Potted Plants and Green Walls</i>	Bandehali,S., Miri,T., Onyeaka,H., Kumar,P. 2021	Metode penelitian yang digunakan ialah metode kualitatif yang mencakup publikasi tentang penghilangan polutan udara dalam ruangan menggunakan tanaman dan didasarkan pada database Science Direct, Scopus, dan Web of Science serta buku-buku terkait. Kriteria utama pemilihan publikasi adalah topik penghilangan polusi udara dalam ruangan dengan tanaman, dan kata kunci yang digunakan adalah <i>fitoremediasi</i> , penghilangan polusi udara dalam ruangan dengan tanaman pot dan dinding hijau. Hasil penelitian menyebutkan <i>biofiltrasi</i> dan sistem botani adalah metode alternatif untuk menangani polusi udara dalam ruangan oleh tanaman, yang membutuhkan energi lebih rendah dan investasi modal yang jauh lebih rendah serta jauh lebih

No	Judul Penelitian	Nama Peneliti dan Tahun	Hasil Penelitian
			alami dan ramah lingkungan. Studi lebih lanjut direkomendasikan pada <i>green wall</i> dan tanaman dalam arsitektur bangunan untuk mengisi kesenjangan penelitian yang ada, dan mendapatkan pedoman praktik terbaik yang dapat digunakan oleh perencana kota, desainer, atau pemilik rumah individu.
8	<i>Evaluating the Impact of a Wall-Type Green Infrastructure on PM<sub>10</sub> and NO<sub>x</sub> Concentrations in an Urban Street Environment</i>	Villani, M.G., Russo, F., Adani, M., Piersanti, A., Vitali, L., Tinarelli, G., Ciancarella, L., Zanini, G., Donateo, A., Rinaldi, M. 2021	Metode penelitian yang digunakan ialah metode kuantitatif dengan mengevaluasi dampak polusi udara perkotaan dari <i>City Tree</i> (CT), infrastruktur hijau tipe dinding yang terbuat dari lumut, CT memiliki 2 mode yaitu operasi pasif (deposisi) dan aktif (filtrasi), sebuah penelitian dilakukan di lingkungan perkotaan nyata di Modena (Italia) selama 2017 dan 2018, menggabungkan pengukuran eksperimental dengan evaluasi sistem pemodelan. dalam penelitian ini, mengandalkan sumber daya komputasi <i>CRESCO</i> (pusat komputasi untuk penelitian sistem kompleks)/ infrastruktur komputasi kinerja tinggi <i>ENEAGRID</i> , peneliti menggunakan model skala mikro polusi udara <i>PMSS (Parallel Micro-SWIFT-Micro SPRAY)</i> untuk

No	Judul Penelitian	Nama Peneliti dan Tahun	Hasil Penelitian
			<p>mensimulasikan kualitas udara selama kampanye eksperimental. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengurangan konsentrasi PM<sub>10</sub> dan NO<sub>x</sub> mencapai lebih dari 0,1% hingga sekitar 0,8% dalam area 10x20 m<sup>2</sup> di sekitar infrastruktur, ketika infrastruktur hijau beroperasi dalam mode pasif. Dalam mode filtrasi, CT menunjukkan kinerja yang lebih tinggi dalam pengurangan konsentrasi PM<sub>10</sub> (antara 1,5% dan 15%), dalam area yang kira-kira sama.</p>
9	<p>Efektifitas Tanaman Hias, Jamur, dan Carbon Aktif dalam Menurunkan Konsentrasi Carbon Monoksida di Udara</p>	<p>Ulfa Nurullita, Mifbakhuddin. 2021</p>	<p>Jenis penelitian yang digunakan adalah <i>quasi experiment</i> dengan rancangan <i>static group comparison</i>, di mana terdapat kelompok perlakuan dan kelompok kontrol (tanpa perlakuan) yang keduanya dilakukan pengukuran setelah perlakuan. Obyek penelitian adalah gas karbon monoksida (CO) di udara dalam ruang percobaan. Variabel bebas adalah jenis adsorben (kaktus, <i>penicillium sp</i>, karbon aktif kulit durian) dan jumlah adsorben (kaktus: 1, 2, 3, dan 4 batang; <i>Penicillium sp</i> 150 dan 300 gram; karbon aktif kulit durian 1 dan 2 kg),</p>

No	Judul Penelitian	Nama Peneliti dan Tahun	Hasil Penelitian
			<p>variabel terikat adalah konsentrasi CO di udara. Paparan karbon monoksida berasal dari asap rokok kretek tanpa filter selama 5 menit. Selanjutnya diberikan kesempatan adsorpsi oleh tiap adsorben selama 1 menit. Setelah itu dilakukan pengukuran konsentrasi CO dengan CO meter digital. Hasil penelitian menyebutkan Konsentrasi CO di udara dapat diturunkan oleh tanaman kaktus, jamur <i>penicillium sp</i>, dan karbon aktif kulit durian secara terpisah. Penggabungan adsorben tanaman kaktus, jamur <i>penicillium sp</i>, dan adsorben karbon aktif kulit durian dapat menurunkan konsentrasi CO di udara di bawah nilai ambang batas pada skala laboratorium.</p>
10	<p>Efektivitas Ekstraksi Tanaman Lidah Mertua dan Sereh Dalam Mereduksi Kadar CO dalam Ruangan</p>	<p>Rizky Rahadian Wicaksono, Eko Sulistiono. 2021</p>	<p>Metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah jenis penelitian <i>true experimental</i> dengan menggunakan desain observasi <i>pretest</i> dan <i>posttest</i>. Penelitian dilakukan dengan membandingkan kadar karbon monoksida asap rokok dalam ruangan, dengan dan tanpa ekstrak tanaman lidah mertua dan sereh. Ruangan penelitian dibuat</p>

No	Judul Penelitian	Nama Peneliti dan Tahun	Hasil Penelitian
			<p>dengan bahan kaca berukuran 20 x 15 x 30 cm yang tertutup dan diberikan 1 rokok di dalam ruangan. Penelitian ini dilakukan dengan prosedur pengeringan tanaman menggunakan oven dengan suhu 60 °C selama kurun waktu 48 dan 24 jam, yang dilakukan dengan pengulangan sebanyak dua kali, yaitu 2,5 dan 5 gram. Data dianalisis secara deskriptif kuantitatif. Hasil penelitian menyebutkan <i>air freshener</i> ekstrak serih dan tanaman lidah mertua dengan perlakuan oven 24 jam tidak sebgus pengovenan 48 jam dalam penyerapan karbon monoksida diruangan.</p>

UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Umum

Penelitian rancang bangun *living moss wall* menggunakan *lumut daun blumei (Macromitrium blumei)* merupakan perancangan produk yang terdiri dari tahap perencanaan, perancangan, dan pembuatan prototipe. Halim, dkk (2014) menyebutkan secara umum, rancangan atau desain dalam hal ini dapat berupa proposal, gambar, model, maupun deskripsi guna menghasilkan sebuah objek, sistem, komponen atau struktur bisa diartikan sebagai kegiatan yang saling terhubung dengan rangkaian kegiatan me-rancang, me-rencana, mem-bangun, atau me-rekayasa.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk mengetahui penurunan dan efisiensi removal CO<sub>2</sub> oleh *living moss wall* yang menggunakan *lumut daun blumei (Macromitrium blumei)* di dalam ruangan. Menurut Sugiyono, (2019) mengatakan “Metode penelitian eksperimen merupakan salah satu metode kuantitatif dan digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang terkendalikan”. Jenis metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini merupakan jenis penelitian *true experimental* dengan menggunakan desain observasi *pretest* (sebelum diberi perlakuan) dan *posttest* (setelah diberi perlakuan). Data penelitian yang diperoleh dari perlakuan tersebut akan menjadi lebih akurat karena peneliti dapat membandingkan hasil penelitian sebelum, dan setelah diberi perlakuan.

Hasil penelitian 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). Dalam analisis deskriptif, data diorganisir, diproses, dan disajikan secara sistematis untuk memberikan gambaran yang terperinci, singkat, dan jelas tentang suatu gejala, peristiwa, atau keadaan. Data disajikan melalui tabel dan grafik untuk visualisasi yang efektif dan memudahkan pemahaman informasi yang relevan.

### 3.2 Waktu Penelitian

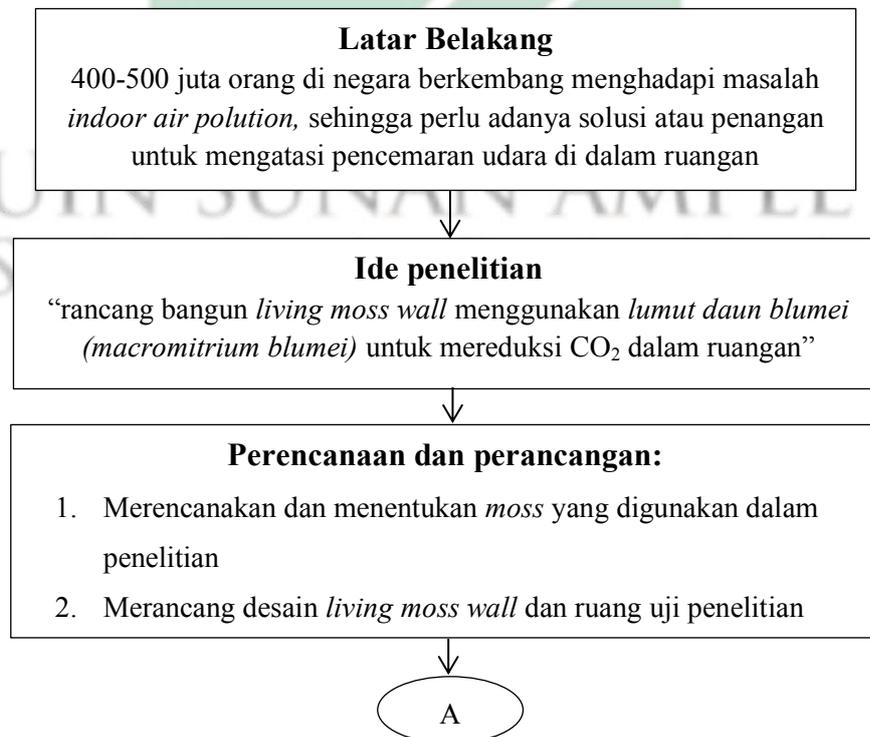
Waktu penelitian “rancang bangun *living moss wall* menggunakan *lumut daun blumei (Macromitrium blumei)* untuk mereduksi CO<sub>2</sub> dalam ruangan” dilaksanakan pada bulan April sampai dengan Juli tahun 2023.

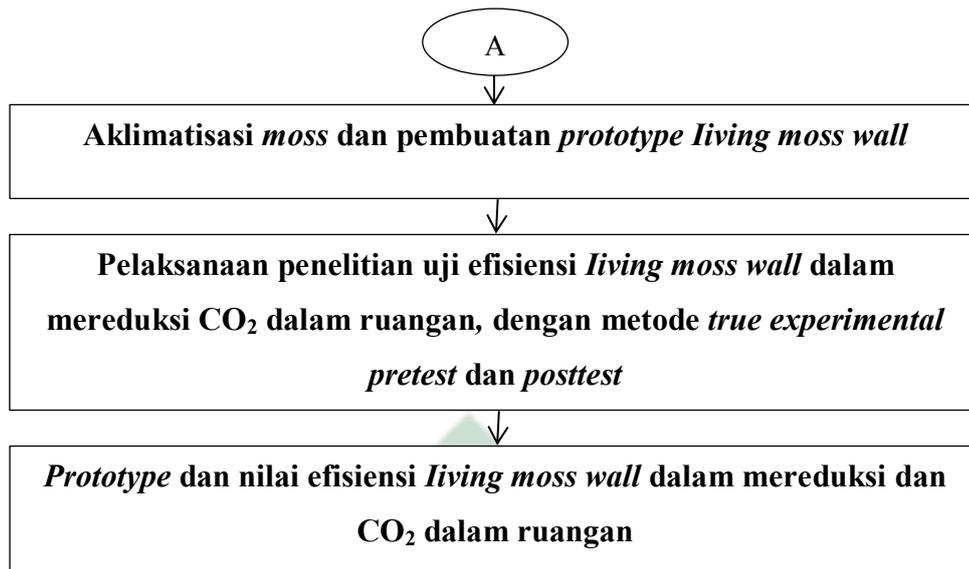
### 3.3 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian, dan uji efisiensi removal “rancang bangun *living moss wall* menggunakan *lumut daun blumei (Macromitrium blumei)* untuk mereduksi CO<sub>2</sub> dalam ruangan” dilaksanakan di laboratorium mandiri yang berlokasi di desa Bulu Pinggir, RT.02 RW.01 Kecamatan Karang Pilang, Kota Surabaya, dan untuk identifikasi spesies lumut dilakukan di laboratorium taksonomi Universitas Islam Negeri Sunan Ampel kampus 2 Gunung Anyar, Surabaya.

### 3.4 Kerangka Pikir Penelitian

Kerangka pikir penelitian merupakan konsep yang berbentuk diagram pada penelitian yang saling berhubungan untuk merepresentasikan variabel secara rinci dan sistematis. Hal ini dilakukan dengan harapan, hasil dari penelitian yang dilakukan sesuai dengan tujuan, dan ruang penelitian. Adapun diagram pikir penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah ini.

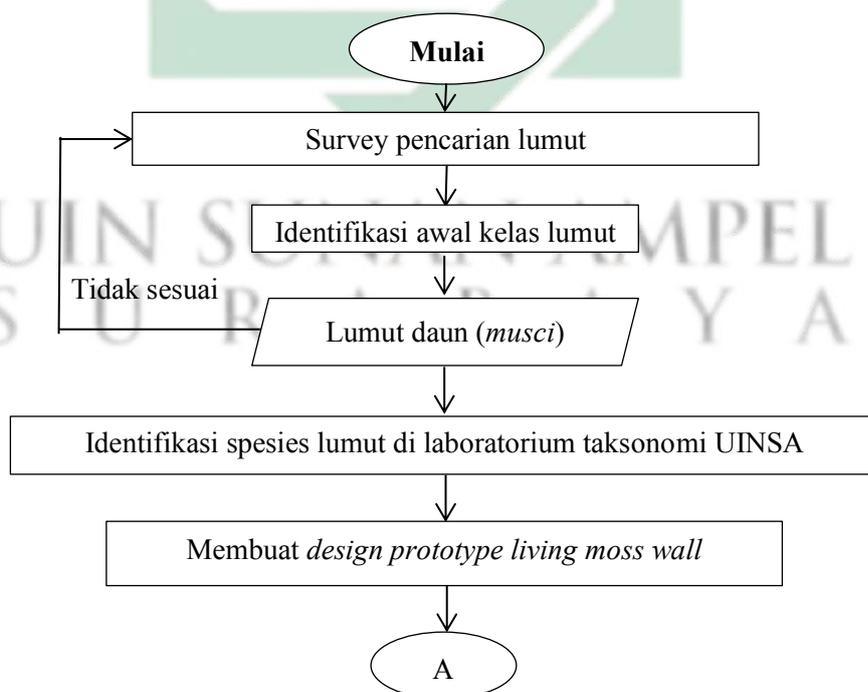


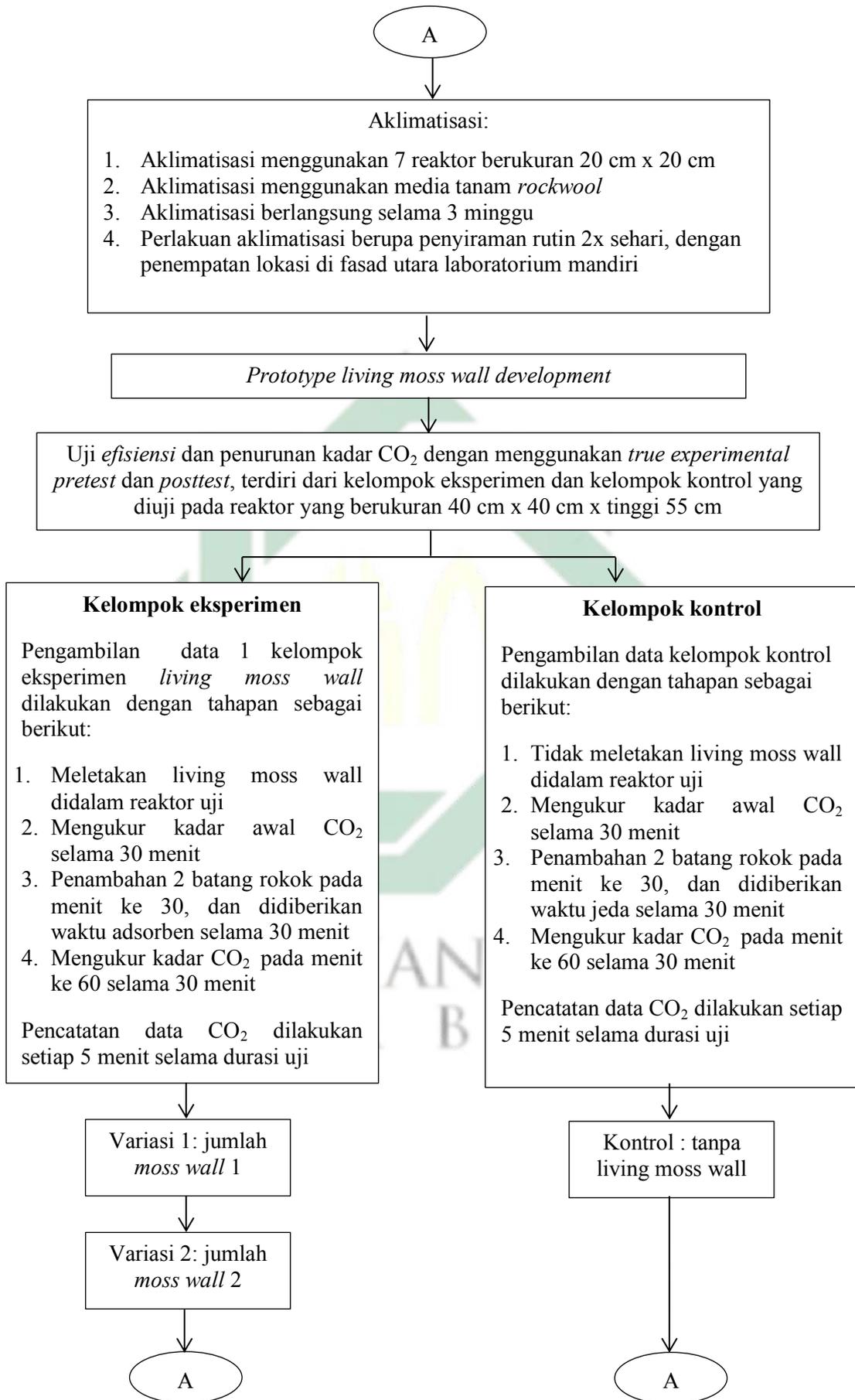


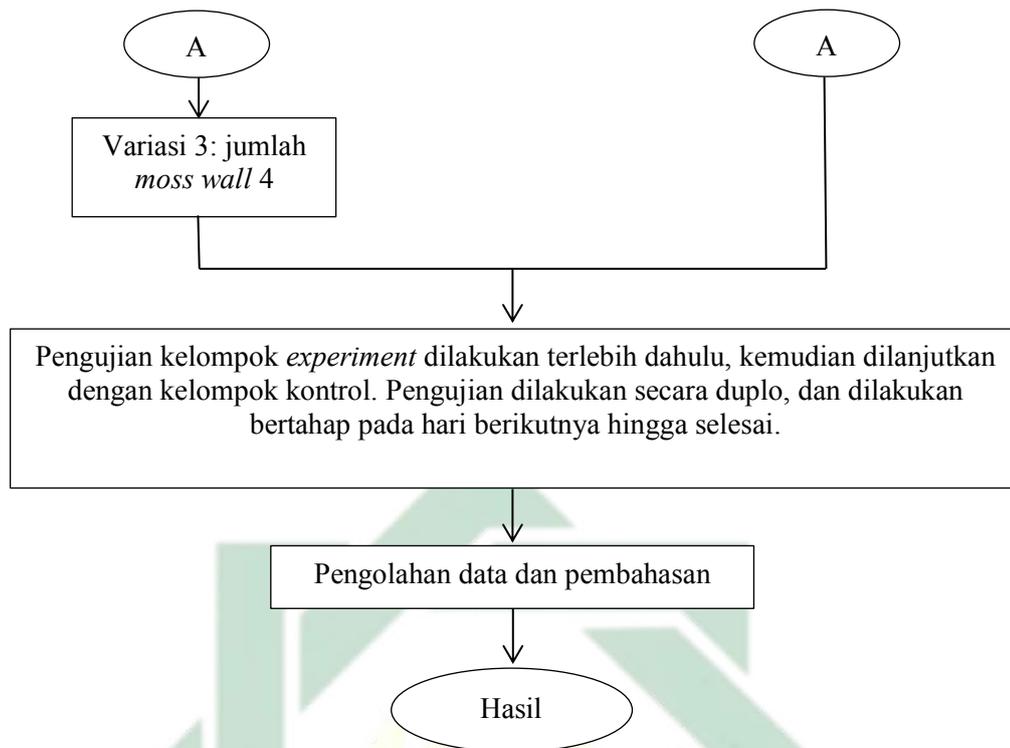
Gambar 3. 1 Diagram Pikir Penelitian

### 3.5 Tahapan dan Metode Penelitian

Penelitian rancang bangun *living moss wall* menggunakan *lumut daun blumei (Macromitrium blumei)* untuk mereduksi CO<sub>2</sub> dalam ruangan dilakukan dengan tahapan yang dijelaskan pada gambar 3.2 sebagai berikut:







**Gambar 3. 2** Diagram Alir Penelitian

### 3.5.1 Tahap Persiapan

Tahap persiapan adalah tahap awal yang berlangsung sebelum melakukan penelitian rancang bangun *living moss wall* menggunakan lumut daun (*musci*) untuk mereduksi CO<sub>2</sub> dalam ruangan. Adapun tahapan persiapan ini terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut:

#### A. Perencanaan

##### 1. Survei Lapangan Ketersediaan Lumut

Survei lapangan dilakukan guna mencari ketersediaan bahan utama penelitian yaitu *lumut daun blumei* (*Macromitrium blumei*). Lumut yang digunakan berasal dari toko budidaya tanaman di Kota Batu.

##### 2. Mengidentifikasi Kesesuaian Jenis Lumut dalam Penelitian

Lumut yang diperoleh dari survei lapangan diidentifikasi awal berdasarkan kelas lumut, guna menentukan keseragaman lumut yang dipakai pada penelitian. Selanjutnya diidentifikasi taksonominya oleh laboratorium taksonomi UINSA 2 yang beralamat di kecamatan Gunung Anyar, Surabaya Jawa Timur.

## B. Perancangan Desain

### 1. Sketsa desain *living moss wall*

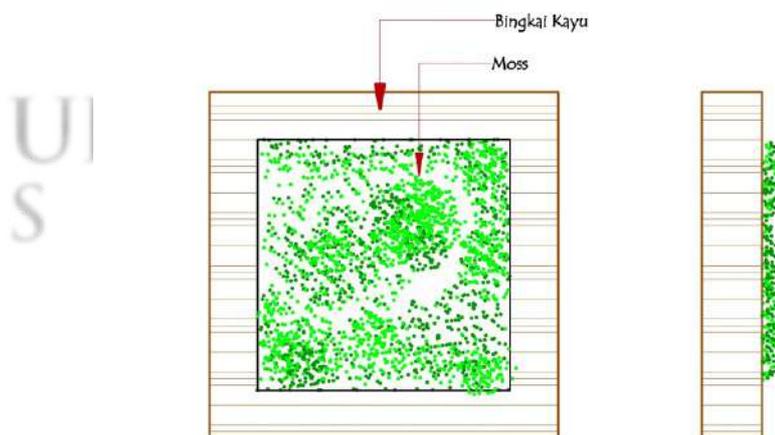
Gambar desain *living moss wall* dilakukan menggunakan *software Autocad 2007* dengan skala yang telah disesuaikan yang kemudian dikembangkan menjadi ilustrasi produk menggunakan *software Sketchup*. Adapun detail ukuran awal *living moss wall* ditampilkan pada tabel 3.1 dibawah ini:

**Tabel 3. 1** Dimensi Awal *Living Moss Wall*

	Area Moss (cm)	Bingkai Kayu (cm)
panjang	20	28
lebar	20	28
kedalaman	5	5

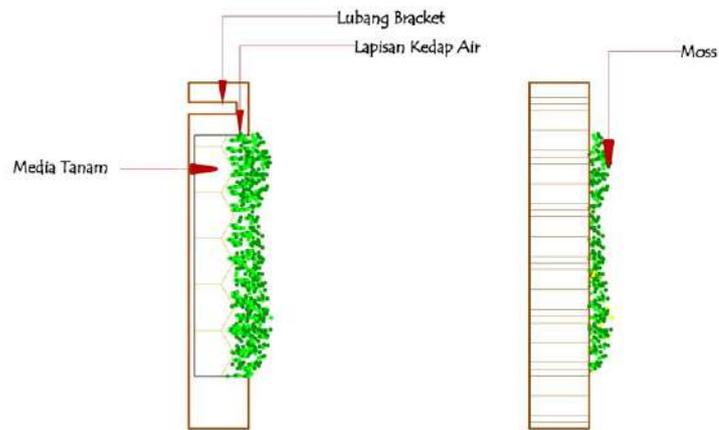
Sumber: Penulis, 2023

Perancangan desain *living moss wall* dapat disesuaikan kembali dengan proses desain yang dilakukan penulis. Adapun gambar sketsa desain *prototype living moss wall* dapat dilihat pada gambar 3.3 dan 3.4 dibawah ini.



**Gambar 3. 3** Sketsa Desain Tampak Depan dan Samping *Living Moss Wall*

Sumber: Penulis, 2023



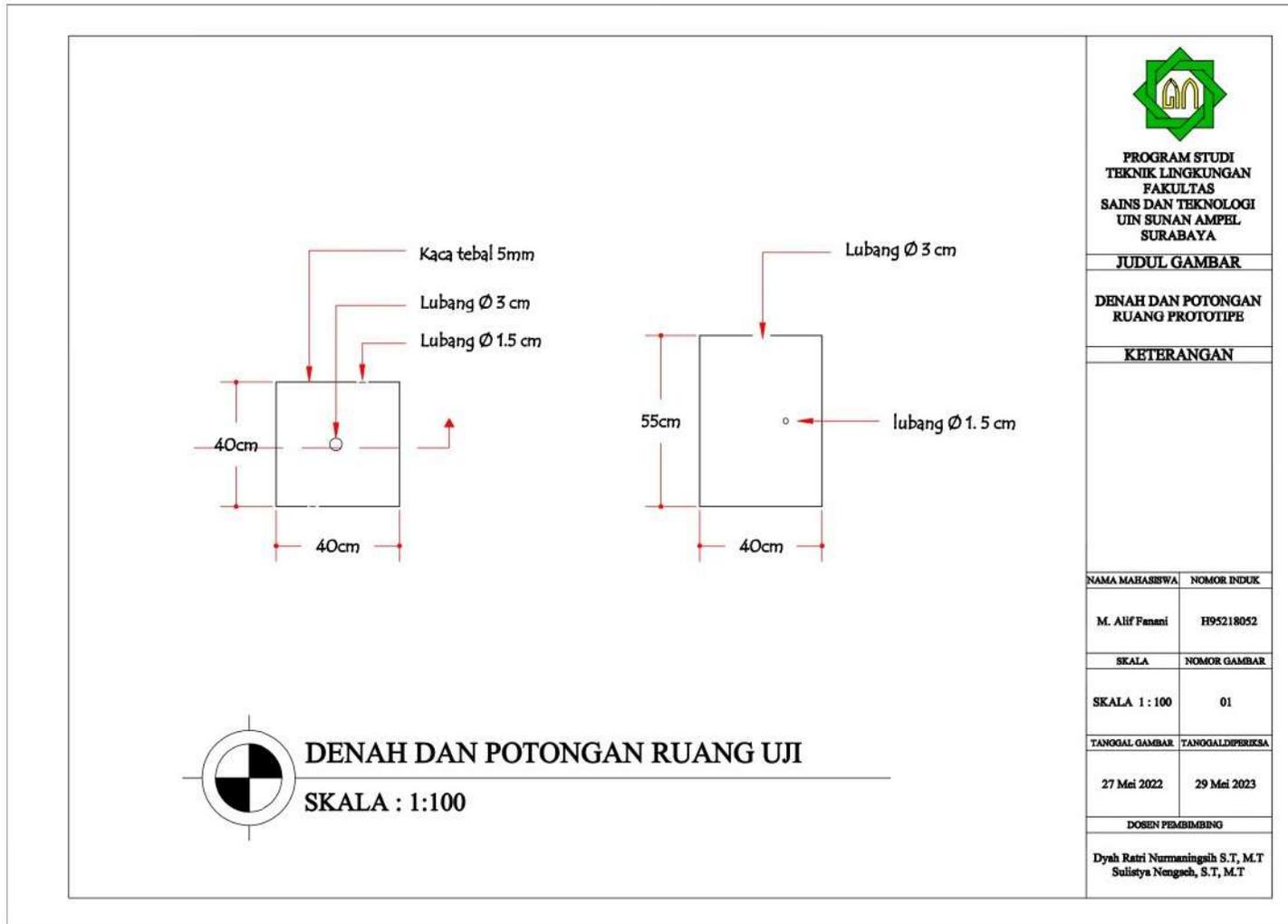
**Gambar 3. 4** Sketsa Desain Detail Susunan *Living Moss Wall*

Sumber: Penulis, 2023

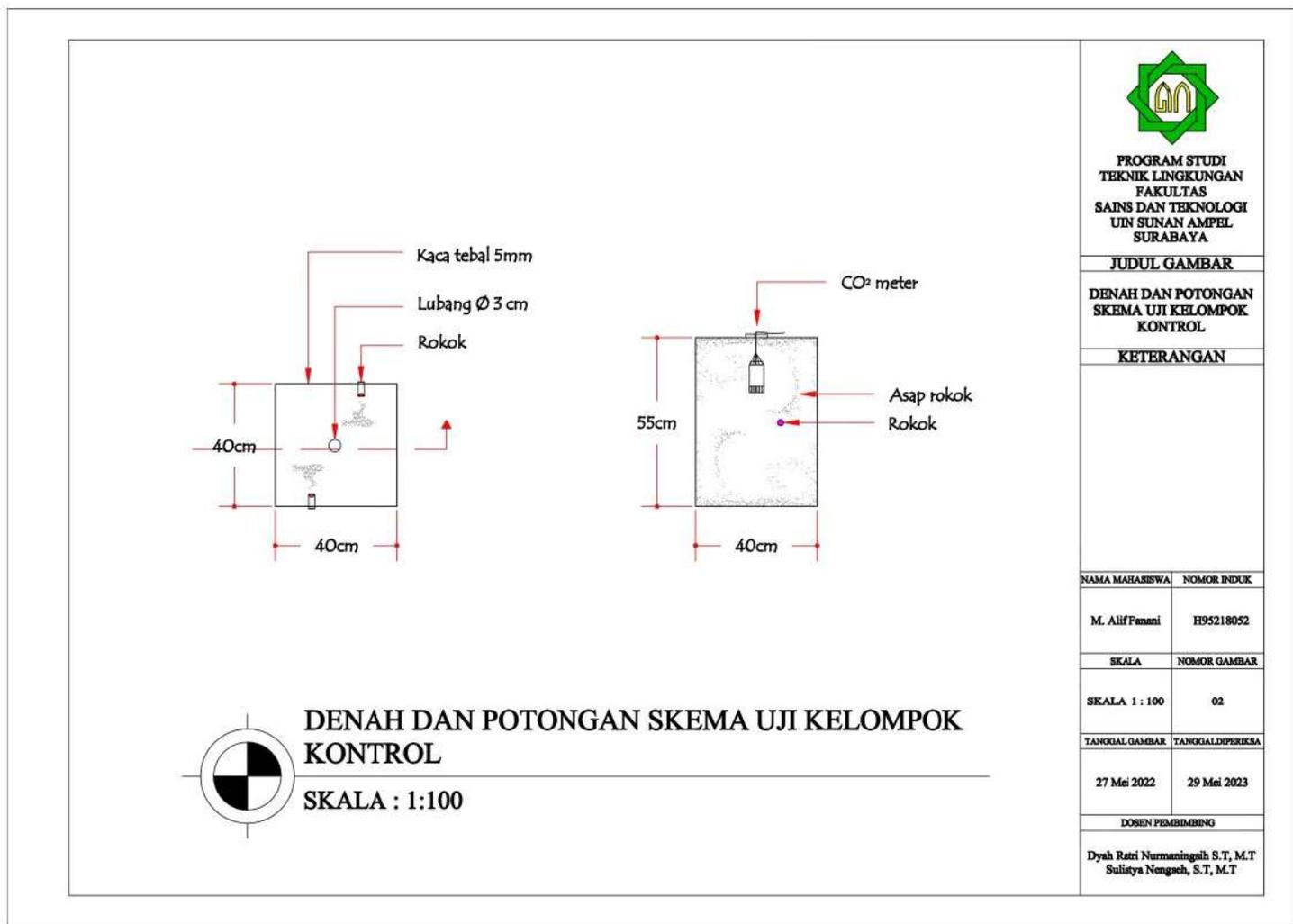
## 2. Desain ruang uji

Ruang uji efisiensi *living moss wall* dilakukan di ruangan prototipe yang terbuat dari kaca dengan dimensi 40 cm x 40 cm dan tinggi 55 cm. Adapun detail gambar ruang prototipe, dan skema uji dapat dilihat pada gambar 3.5 – 3.9 dibawah ini:

UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A



**Gambar 3. 5** Denah dan Potongan Ruang Uji  
Sumber: Penulis, 2023



PROGRAM STUDI  
TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS  
SAINS DAN TEKNOLOGI  
UIN SUNAN AMPEL  
SURABAYA

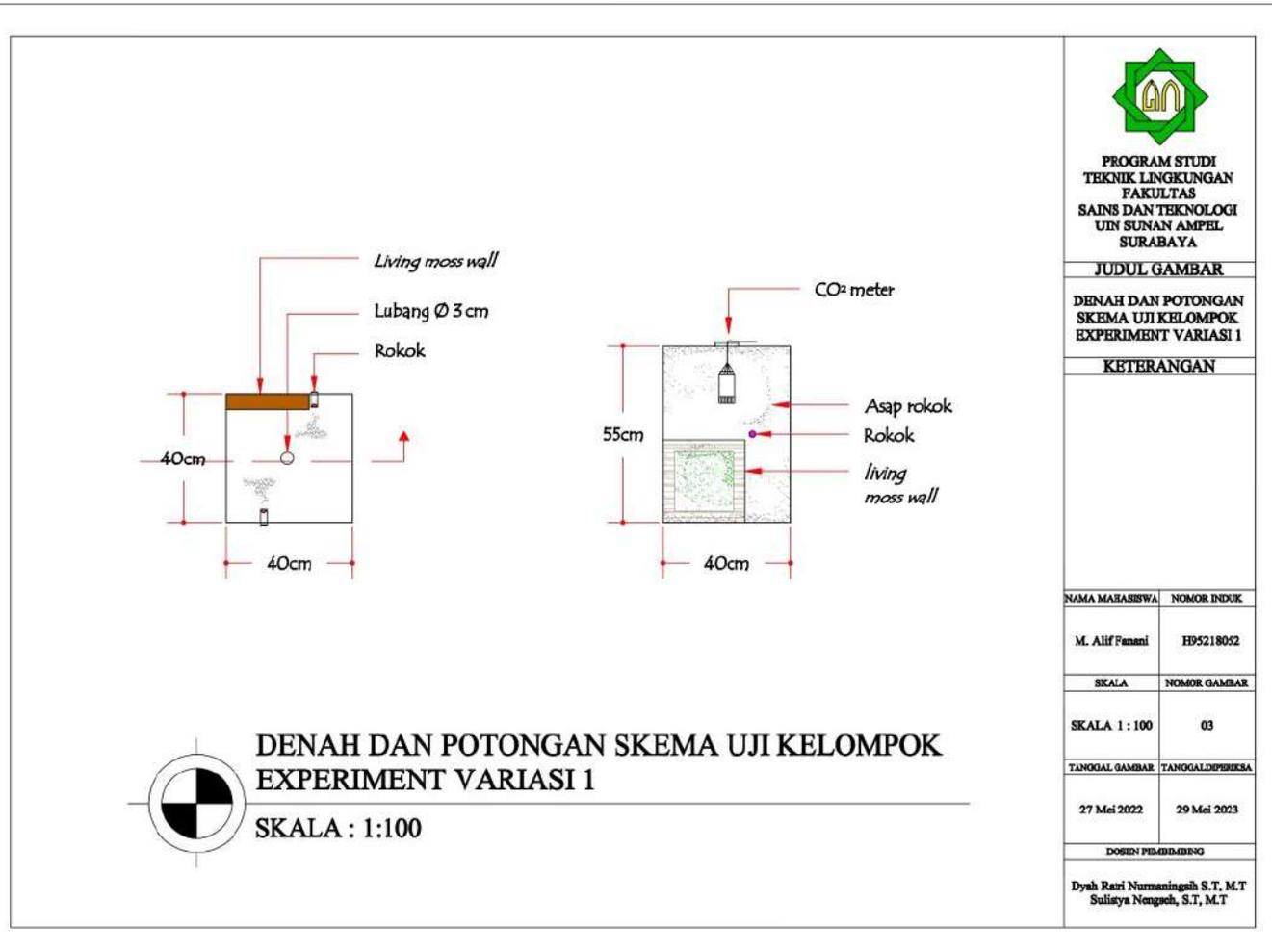
**JUDUL GAMBAR**

**DENAH DAN POTONGAN  
SKEMA UJI KELOMPOK  
KONTROL**

**KETERANGAN**

NAMA MAHASISWA	NOMOR INDIK
M. Alif Fanani	H95218052
SKALA	NOMOR GAMBAR
SKALA 1 : 100	02
TANGGAL GAMBAR	TANGGAL DIPERIKSA
27 Mei 2022	29 Mei 2023
DOSEN PEMBIMBING	
Dyah Ratri Nurmaningsih S.T, M.T Sulistya Ningsih, S.T, M.T	

**Gambar 3. 6** Denah dan Potongan Skema Ruang Uji Kelompok Kontrol  
Sumber: Penulis, 2023



PROGRAM STUDI  
 TEKNIK LINGKUNGAN  
 FAKULTAS  
 SAINS DAN TEKNOLOGI  
 UIN SUNAN AMPEL  
 SURABAYA

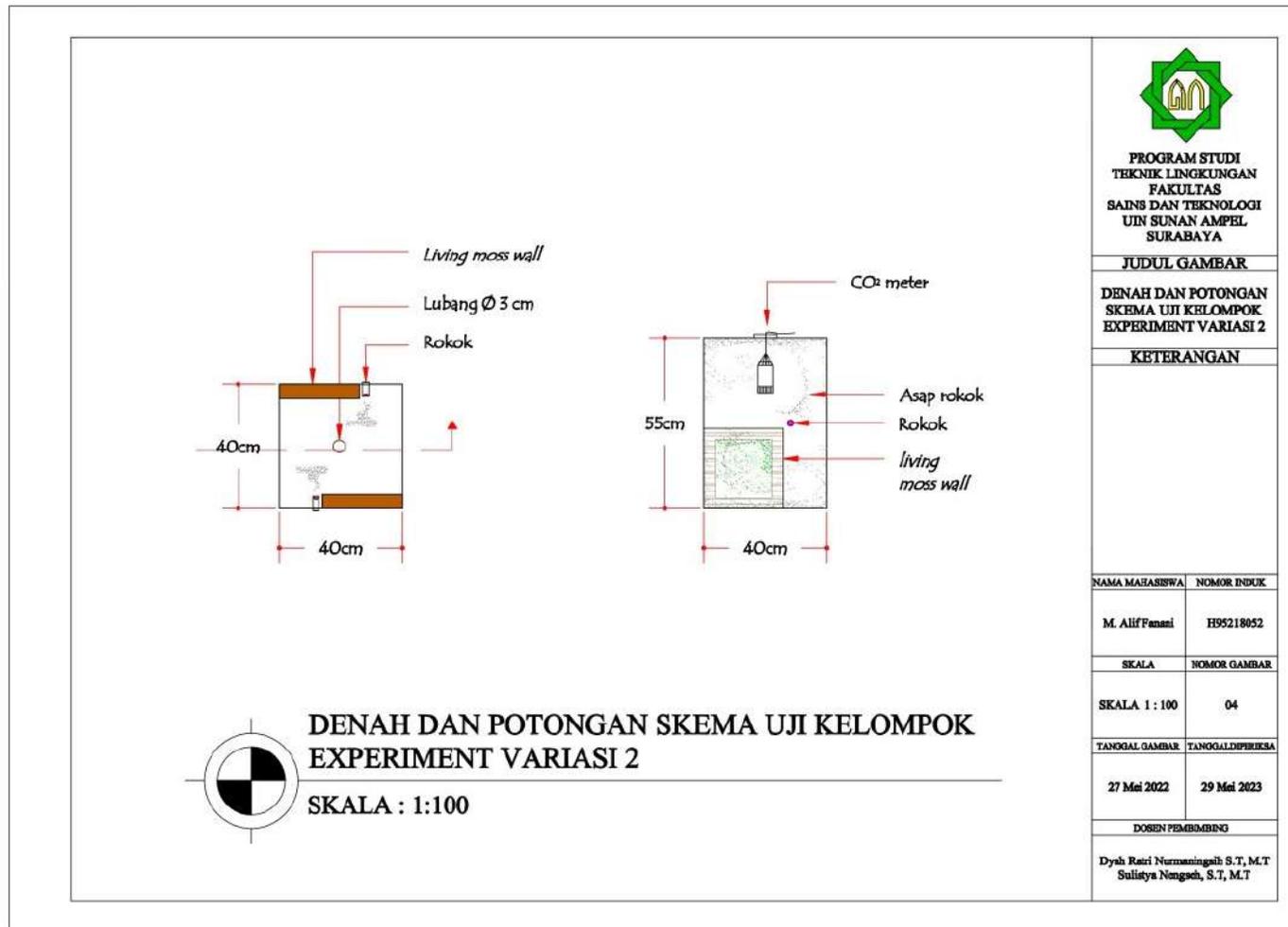
JUDUL GAMBAR

DENAH DAN POTONGAN  
 SKEMA UJI KELOMPOK  
 EXPERIMENT VARIASI 1

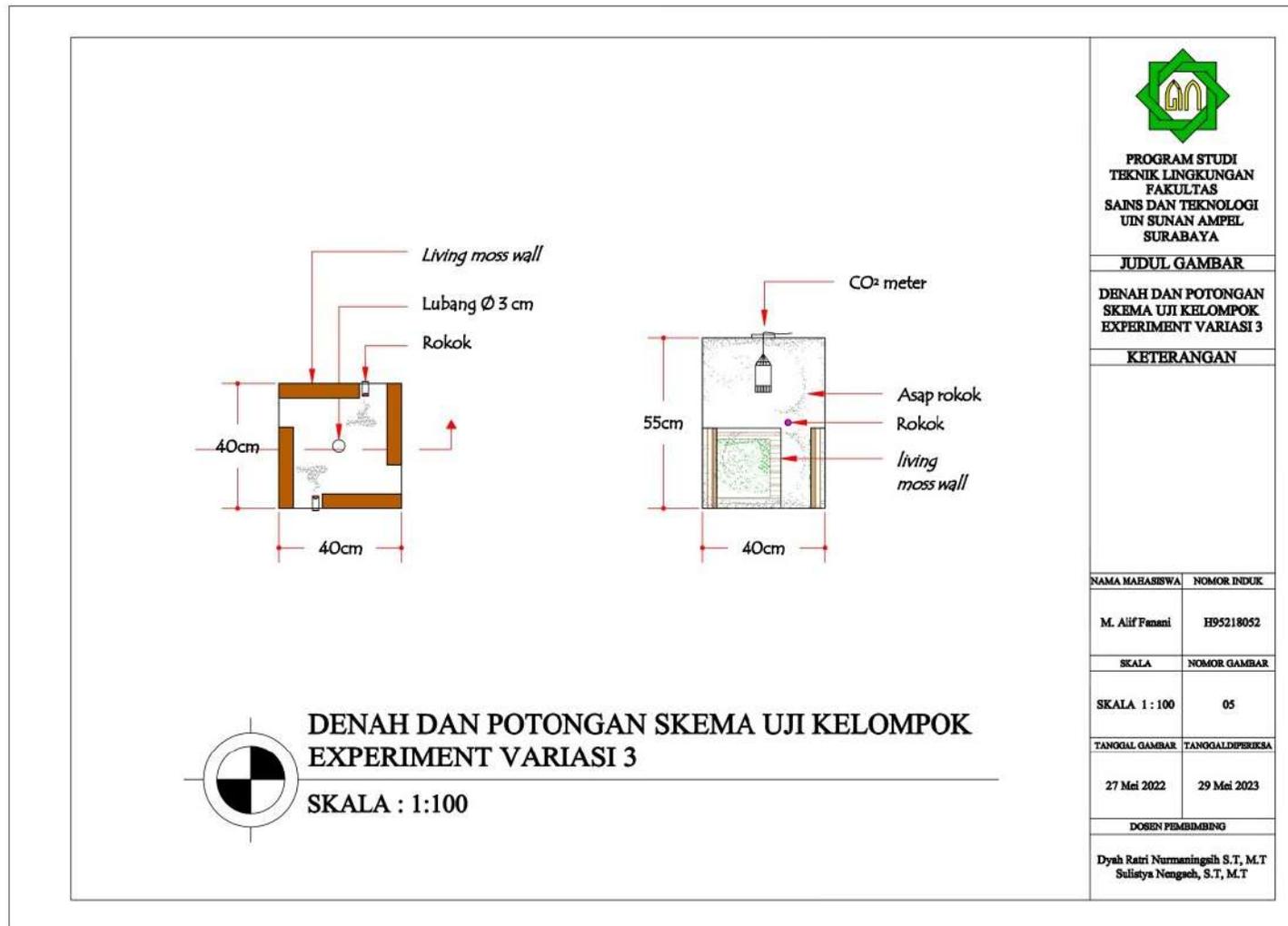
KETERANGAN

NAMA MAHASISWA	NOMOR INDIK
M. Alif Fani	H95218052
SKALA	NOMOR GAMBAR
SKALA 1 : 100	03
TANGGAL GAMBAR	TANGGAL DISERVISI
27 Mei 2022	29 Mei 2023
DOSEN PEMBIMBING	
Dyah Ratri Nurmaningsih S.T, M.T Sulistyana Ningsih, S.T, M.T	

**Gambar 3. 7** Denah dan Potongan Skema Uji Kelompok Experiment Variasi 1  
 Sumber: Penulis, 2023



**Gambar 3. 8** Denah dan Potongan Skema Uji Kelompok Experiment Variasi 2  
Sumber: Penulis, 2023



PROGRAM STUDI  
 TEKNIK LINGKUNGAN  
 FAKULTAS  
 SAINS DAN TEKNOLOGI  
 UIN SUNAN AMPEL  
 SURABAYA

JUDUL GAMBAR

DENAH DAN POTONGAN  
 SKEMA UJI KELOMPOK  
 EXPERIMENT VARIASI 3

KETERANGAN

NAMA MAHASISWA	NOMOR INDIK
----------------	-------------

M. Aih Fani	195218052
-------------	-----------

SKALA	NOMOR GAMBAR
-------	--------------

SKALA 1 : 100	05
---------------	----

TANGGAL GAMBAR	TANGGAL DIPERIKSA
----------------	-------------------

27 Mei 2022	29 Mei 2023
-------------	-------------

DOSEN PEMBIMBING

Dyah Ratri Nurmaningsih S.T, M.T  
 Sulistyra Nengach, S.T, M.T

**Gambar 3. 9** Denah dan Potongan Skema Uji Kelompok Experiment Variasi 3  
 Sumber: Penulis, 2023

### 3.5.2 Tahap Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan rancang bangun *living moss wall* menggunakan *lumut daun blumei (Macromitrium blumei)* untuk mereduksi CO<sub>2</sub> dalam ruangan, dilakukan dengan mengumpulkan data-data yang berkaitan dengan data primer. Penelitian ini memperoleh data primer dengan langkah-langkah sebagai berikut:

#### A. Aklimatisasi

Aklimatisasi merupakan salah satu langkah penting dalam menentukan apakah tanaman dapat beradaptasi dengan baik dengan lingkungan atau habitanya yang baru. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi proses aklimatisasi antara lain jenis media tanam, intensitas cahaya, kelembapan, suhu dan pH tanah (Permatasari & Rahadianoro, 2015). Adaptasi tanaman terhadap habitat yang baru dapat terjadi segera atau selama beberapa hari bahkan minggu (Bailey & Rittner, 2005). Adapun tahap aklimatisasi pada penelitian ini didasarkan pada penelitian (Permatasari & Rahadianoro, 2015) dengan tahapan sebagai berikut:

Aklimatisasi tahap pertama pada lumut adalah menentukan lokasi tanam. Penentuan lokasi tanam bertujuan agar lumut dapat beradaptasi dengan lingkungan yang baru. Kegiatan aklimatisasi dan monitoring lumut dilakukan di laboratorium mandiri yang berlokasi di Desa Bulu Pinggir Kecamatan Karang Pilang, Kota Surabaya. Adapun detail ruangan aklimatisasi menghadap ke utara dengan naungan sedang dan terhindar dari sinar matahari langsung, hal tersebut didasarkan pada penelitian (Julinova & Beckovsky, 2019) yang menyebutkan sebagian besar spesies lumut lebih menyukai naungan sedang hingga cukup tertutup, dan sinar matahari langsung harus dihindari, serta fasad yang menghadap ke utara atau timur adalah yang paling sesuai untuk menumbuhkan lumut.

Tahapan aklimatisasi selanjutnya adalah memilih media tanam atau substrat yang sesuai dengan habitat asal lumut. Adapun media tanam *living moss wall* terdiri dari media tanam yang memiliki tekstur, porositas, dan kemampuan dalam menyerap serta menyimpan air, sehingga

menyerupai habitat lumut aslinya. Hal tersebut didasarkan pada penelitian (Julinova & Beckovsky, 2019). Adapun media tanam *living moss wall* yang digunakan berupa *rockwool*.

Tahap aklimatisasi yang terakhir adalah memindahkan lumut pada media tanam *rockwool*, ke lokasi tanam berupa *box* yang terbuat dari plastik guna menjaga kelembapan *moss*. Adapun salah satu contoh *box* atau reaktor media tanam dapat dilihat pada gambar 3.10 dibawah ini:



**Gambar 3. 10** Reaktor Media Tanam Aklimatisasi

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023

Aklimatisasi lumut berlangsung selama 3 minggu dengan perlakuan yang sama pada masing-masing reaktor media tanam. Hal tersebut didasarkan pada penelitian (Julinova & Beckovsky, 2019) yang menyebutkan sangat penting untuk menjaga agar lumut tetap lembab setidaknya selama tiga minggu pertama setelah memindahkan lumut. Adapun rencana perlakuan meliputi penyiraman secara *spray* atau *misting* setiap pagi, dan sore hari.

## **B. Pengembangan Prototipe (*Prototype Development*)**

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian rancang bangun *living moss wall* sebagaimana disajikan dalam tabel 3.2 dan tabel 3.3 dibawah ini. Tidak menuntut kemungkinan dalam pelaksanaanya terdapat perubahan (penambahan atau pengurangan, dan penggantian) alat dan bahan untuk memperlancar jalanya penelitian rancang bangun *living moss wall*.

**Tabel 3. 2** Alat Penelitian Rancang Bangun *Living Moss Wall*

No	Alat	Kegunaan
1	Perkakas	Sebagai alat bantu perakitan <i>moss wall</i>
2	Pinset	Merekatkan <i>moss</i> dengan media tanam
3	Lem tembak	Merekatkan media tanam dengan bingkai <i>moss wall</i>
4	CO <sub>2</sub> meter Model GCH-2018	Sampling CO <sub>2</sub>

Sumber: Penulis, 2023

**Tabel 3. 3** Bahan Penelitian Rancang Bangun *Living Moss Wall*

No	Bahan	Kegunaan
1	<i>Moss</i>	Sebagai adsorben polutan
2	Box Plastik Ukuran 21cmx21cmx5cm	Sebagai kontainer aklimatisasi
3	<i>Rockwool</i>	Sebagai media tanam
4	Isi lem tembak	Sebagai perekat kontainer media tanam dan bingkai <i>moss wall</i>
5	Sprayer	Sebagai alat untuk menyiram <i>moss</i>
6	Kayu meranti	Sebagai bingkai <i>moss wall</i>
7	Karpet anti air	Sebagai lapisan anti air

Sumber: Penulis, 2023

### C. Uji Efisiensi *Living Moss Wall* Menggunakan Metode *True experimental pretest dan posttest*

Pengujian efisiensi removal terdiri dari kelompok eksperimen (dengan *living moss wall*), dan kelompok kontrol (tanpa *living moss*)

*wall*). Kelompok eksperimen memiliki beberapa variasi diantaranya sebagai berikut:

- Variasi 1 menggunakan 1 *living moss wall*
- Variasi 2 menggunakan 2 *living moss wall*
- Variasi 3 menggunakan 4 *living moss wall*

Metode penelitian yang dilakukan dalam uji efisiensi *living moss wall* merupakan metode *true experimental* dengan menggunakan desain observasi *pretest* dan *posttest control group*. Penelitian dilakukan dengan membandingkan kadar CO<sub>2</sub> yang bersumber dari 2 batang asap rokok putihan dengan dan tanpa *living moss wall*. Penelitian menggunakan ruang prototipe pada laboratorium mandiri yang berlokasi di desa Bulu Pinggir, RT.02 RW.01 Kecamatan Karang Pilang, Kota Surabaya. Berikut tahapan-tahapan dalam melakukan uji *true experimental* dengan menggunakan desain observasi *pretest* dan *posttest control group*:

a) Kelompok *experiment*

Pengambilan data kelompok *living moss wall* dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) Meletakkan *living moss wall* sesuai dengan variasi yang diujikan pada reaktor uji
- 2) Pencatatan nilai CO<sub>2</sub> pada ruang uji yang berisi *living moss wall* sesuai dengan variasi, dan dilakukan pencatatan setiap 5 menit selama rentang waktu 30 menit
- 3) Penambahan polutan CO<sub>2</sub> yang berasal dari 2 batang rokok putihan, yang kemudian diberikan waktu adsorben selama 30 menit
- 4) pencatatan nilai CO<sub>2</sub> pada ruang uji yang berisi *living moss wall* sesuai dengan variasi setelah penambahan polutan, dan dilakukan pencatatan setiap 5 menit selama rentang waktu 30 menit

b) Kelompok kontrol

Pengambilan data kontrol dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) Tidak meletakkan *living moss wall* pada reaktor uji
- 2) pencatatan nilai CO<sub>2</sub> pada ruang uji, dan dilakukan setiap 5 menit selama rentang waktu 30 menit
- 3) Penambahan polutan CO<sub>2</sub> yang berasal dari 2 batang rokok putihan yang kemudian diberikan waktu jeda selama 30 menit
- 4) Pencatatan nilai CO<sub>2</sub> pada ruang uji dan dilakukan setiap 5 menit selama rentang waktu 30 menit

Pengujian efisiensi *living moss wall* dilakukan secara duplo, pada keesokan harinya dengan tata cara yang sama. Adapaun jadwal waktu pengujian dan rancangan percobaan bisa dilihat pada tabel 3.4 dibawah ini.

**Tabel 3.4** Jadwal Pengujian Efisiensi *Living Moss Wall*

Pukul	14-Mei-23	15-Mei-23
6:00-7:00	persiapan	persiapan
7:00-8:00	Pre test	Pre test
8:00-9:00	Post test	Post test
9:00-10:00	persiapan	persiapan
10:00-11:00	Pre test	Pre test
11:00-12:00	Post test	Post test
12:00-13:00	persiapan	persiapan
13:00-14:00	Pre test	Pre test
14:00-15:00	Post test	Post test
15:00-16:00	persiapan	persiapan
16:00-17:00	Pre test	Pre test
17:00-18:00	Post test	Post test

Sumber: Penulis, 2023

Keterangan:

	1 living moss wall
	2 living moss wall
	4 living moss wall
	Tanpa living moss wall

Pengukuran kadar CO<sub>2</sub> menggunakan alat CO<sub>2</sub> meter GCH-2018, yang menggunakan metode sensor *non-dispersif infra red (NDIR)* (Lutron Electronic Enterprise Co., Ltd, 2022). Rancangan percobaan penelitian dapat dilihat pada tabel 3.5 dibawah ini.

**Tabel 3. 5** Rancangan Percobaan Penelitian

Menit ke	Tanpa asap rokok				Dengan asap rokok			
(Menit)	Tanpa Living Moss Wall (ppm)	1 Living Moss wall (ppm)	2 Living Moss wall (ppm)	4 Living Moss wall (ppm)	Tanpa Living Moss Wall (ppm)	1 Living Moss wall (ppm)	2 Living Moss wall (ppm)	4 Living Moss wall (ppm)
	(A)	(B)	(C)	(D)	(a)	(b)	(c)	(d)
5	A5	B5	C5	D5	a5	b5	c5	d5
10	A10	B10	C10	D10	a10	b10	c10	d10
15	A15	B15	C15	D15	a15	b15	c15	d15
20	A20	B20	C20	D20	a20	b20	c20	d20
25	A25	B25	C25	D25	a25	b25	c25	d25
30	A30	B30	C30	D30	a30	b30	c30	d30

Sumber: Penulis, 2023

### 3.5.3 Tahap Analisis Data

Tahap analisis data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

#### A. Perhitungan Penurunan CO<sub>2</sub> di dalam ruangan

Penurunan menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) adalah “proses, cara, perbuatan menurun, menuruni, atau menurunkan; penyusutan; pengurangan (harga dsb); pembongkaran (muatan dsb)”. Dalam konteks ini, penurunan yang dimaksud merujuk pada berkurangnya jumlah gas karbon dioksida di dalam ruangan dari tingkat awalnya. Tujuan utama dari analisis ini adalah untuk menghitung penurunan kadar CO<sub>2</sub> oleh living moss wall di dalam ruangan dengan dan tanpa asap rokok. Adapun nilai penurunan dalam penelitian ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Penurunan} = \text{nilai awal} - \text{nilai akhir} \quad (\text{Rumus 3. 1})$$

Keterangan:

- Nilai awal = konsentrasi awal CO<sub>2</sub> (ppm)
- Nilai akhir = konsentrasi akhir CO<sub>2</sub> (ppm)

### B. Analisis Efisiensi Reduksi CO<sub>2</sub> *Living Moss Wall*

Efisiensi menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) adalah “kemampuan atau cara menjalankan suatu proses secara tepat dan baik dengan waktu, tenaga, dan biaya seminimal mungkin”. Analisa efisiensi *living moss wall* memiliki tujuan mengetahui nilai efisiensi yang dihasilkan *living moss wall* menggunakan *lumut daun blumei* (*Macromitrium blumei*) untuk mereduksi CO<sub>2</sub> dalam ruangan dengan dan tanpa asap rokok. Adapun nilai efisiensi dalam penelitian ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi (Ef)} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\% \quad (\text{Rumus 3. 2})$$

Keterangan:

- Ef = efisiensi penurunan polutan (%)
- C<sub>0</sub> = konsentrasi awal CO<sub>2</sub> (ppm)
- C<sub>1</sub> = konsentrasi akhir CO<sub>2</sub> (ppm)

#### 3.5.4 Tahap Pelaporan

Tahap pelaporan penelitian “rancang bangun *living moss wall* menggunakan *lumut daun blumei* (*Macromitrium blumei*) untuk mereduksi CO<sub>2</sub> dalam ruangan” mencakup rancang bangun, penyajian data dan pembahasan. Rancang bangun meliputi kegiatan merancang atau mendesain *prototype living moss wall* menggunakan *software autocad 2007*, dan bangun yang bertujuan untuk merakit *prototype living moss wall*. Dalam penyajian data, desain yang telah dibuat disajikan dengan bentuk gambar, dan direalisasikan menjadi *prototype living moss wall*. 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.



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Identifikasi *Moss*

*Living moss wal* merupakan tanaman lumut hidup dengan instalasi media panel tanam yang dipasang pada bingkai secara vertikal yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas udara dengan cara menyerap polusi disekitarnya, dan sebagai salah satu bentuk arsitektur hijau vertikal di perkotaan (Julinova & Beckovsky, 2019). Dilakukan pemeriksaan keseragaman awal jenis *moss* berdasarkan bentuk gametofit dan sporofit untuk memastikan bahwa *moss* yang dipakai merupakan 1 jenis yang sama, yaitu lumut dengan taksonomi *classis musci* atau lumut daun. Gambar dibawah ini merupakan gambar *moss* yang diperoleh dari kota batu.



**Gambar 4. 1** *Moss* yang digunakan

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023

Berdasarkan hasil pengamatan secara mikroskopis, *moss* yang diperoleh dari kota batu memiliki keseragaman yang sama dengan ciri-ciri utama yang sesuai pada *class musci* atau lumut daun, dan berlawanan dengan ciri-ciri utama *class anthocerotales* atau lumut tanduk, dan *class hepaticae* atau lumut hati. Pengamatan tersebut didasarkan pada pengamatan langsung yang kemudian dibandingkan dengan buku yang di tulis oleh (Lukitasari, 2018) dengan judul “mengenal tumbuhan lumut (*bryophyta*) deskripsi, klasifikasi, potensi dan cara

mempelajarinya”. Berikut merupakan foto hasil identifikasi secara mikroskopis dengan perbesaran 0.67 x yang dapat dilihat pada gambar 4.3-4.10 dan hasil pengamatan keseragaman *moss* yang dirangkum pada tabel 4.1 dibawah ini:



**Gambar 4. 2** Pengamatan Lumut Secara Mikroskopis Sampel 1

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023



**Gambar 4. 3** Pengamatan Lumut Secara Mikroskopis Sampel 2

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023



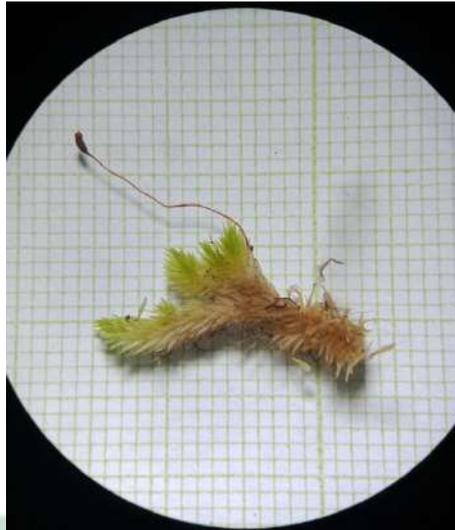
**Gambar 4. 4** Pengamatan Lumut Secara Mikroskopis Sampel 3

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023



**Gambar 4. 5** Pengamatan Detail Lumut Secara Mikroskopis Sampel 1

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023



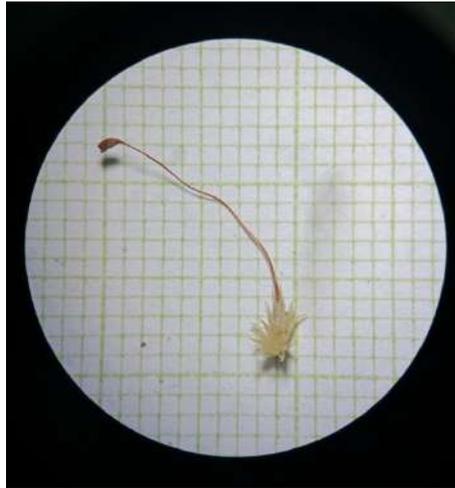
**Gambar 4. 6** Pengamatan Detail Lumut Secara Mikroskopis Sampel 2

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023



**Gambar 4. 7** Pengamatan Detail Lumut Secara Mikroskopis Sampel 3

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023



**Gambar 4. 8** Pengamatan Detail Sporofit Tunggal Secara Mikroskopis

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023



**Gambar 4. 9** Pengamatan Detail Sporofit Rumpun Secara Mikroskopis

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023

**Tabel 4. 1** Hasil Pengamatan Keseragaman *Moss* Berdasarkan Tingkatan Kelas

No.	<i>Classis Moss</i>	Ciri-Ciri Utama	Kesesuaian
1	Lumut daun ( <i>musci</i> )	Berdasarkan bentuk gametofitnya batang dari lumut daun adalah semu tegak dengan lembaran daun yang tersusun spiral, dan sporofit membentuk kuncup pada ujung cabang batang.	ya
2	Lumut tanduk ( <i>anthocerotales</i> )	Berdasarkan bentuk sporofitya, lumut tanduk memiliki bentuk yang menyerupai tanduk	tidak
3	Lumut hati ( <i>hepaticeae</i> )	Berdasarkan bentuk gametofitnya, lumut hati memiliki bentuk yang menyerupai hati	tidak

Sumber: Penulis, 2023

Setelah diketahui bahwa *moss* yang digunakan memiliki keseragaman tingkatan kelas yang sama, maka identifikasi taksonomi untuk mengetahui tingkat spesies selanjutnya dilakukan oleh Laboratorium UIN Sunan Ampel Surabaya Kampus 2 Gunung Anyar. Adapun klasifikasi taksonomi *moss* yang diperoleh sebagai berikut:

*Kingdom* : *Plantae*

*Divisi* : *Bryophyta*

*Kelas* : *Bryopsida*

*Bangsa* : *Orthotrichales*

*Suku* : *Orthotrichaceae*

*Marga* : *Macromitrium*

*Jenis* : *Lumut daun blumei (Macromitrium blumei)*

Nama lokal : *Lumut daun blumei*

Nama inggris : *Blumei's moss*

#### 4.1.1 Aklimatisasi

Setelah memastikan keseragaman *moss* yang digunakan dalam penelitian, maka dilanjutkan dengan proses aklimatisasi. Aklimatisasi merupakan salah satu langkah penting dalam menentukan apakah tanaman dapat beradaptasi dengan baik dengan lingkungan atau habitanya yang baru (Permatasari & Rahadiantoro,

2015). Berikut merupakan dokumentasi proses aklimatisasi yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 4. 10** Aklimatisasi *Moss*

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023

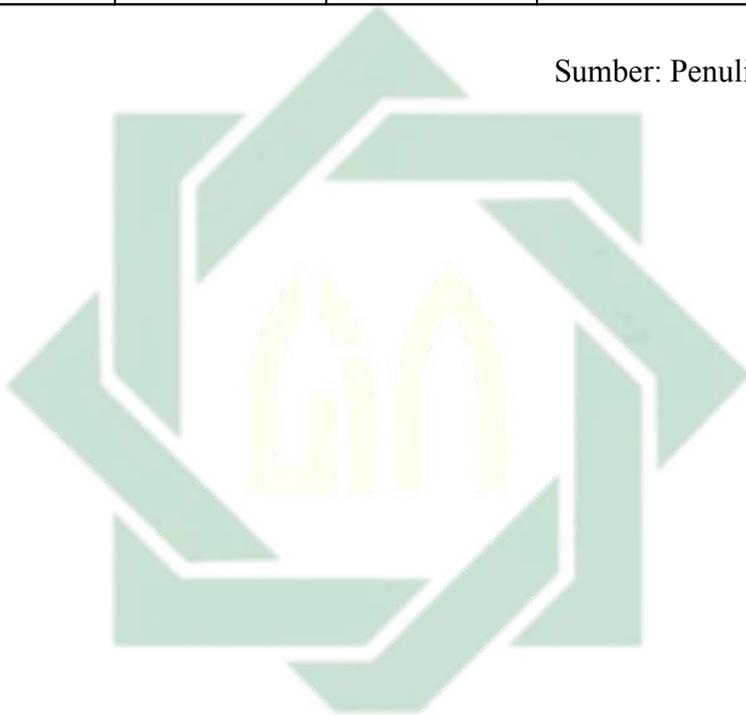
Kegiatan aklimatisasi *moss* berlangsung selama 3 minggu dengan jumlah 8 reaktor *moss*, sedangkan jumlah reaktor *moss* yang digunakan dalam pembuatan *living moss wall* berjumlah 7 reaktor. Penggunaan *moss* lebih saat aklimatisasi bertujuan untukantisipasi jika saat pasca aklimatisasi tanaman banyak mengalami kerusakan atau kematian. Proses aklimatisasi *moss* dilakukan dengan kegiatan penyiraman secara *spray* atau *misting* di waktu pagi dan sore hari yang bertujuan untuk menjaga kelembapan *moss*, adapun lokasi aklimatisasi bertempat pada laboratorium mandiri di Desa Bulu Pinggir Kecamatan Karang Pilang, Kota Surabaya. Berikut monitoring aklimatisasi *moss* yang disajikan pada tabel dibawah ini

**Tabel 4. 2** Monitoring Aklimatisasi *Moss* Minggu ke-1

Hari	Keterangan	Dokumentasi						
1	<i>moss</i> berwarna hijau muda -hijau tua							
2	<i>moss</i> berwarna hijau muda -hijau tua							
3	<i>moss</i> berwarna hijau muda -hijau tua							
4	<i>moss</i> berwarna hijau muda -hijau tua							
5	terdapat sedikit perubahan warna pada ujung <i>moss</i>							

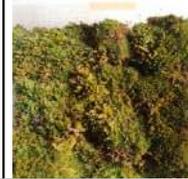
Hari	Keterangan	Dokumentasi						
6	terdapat sedikit perubahan warna pada ujung <i>moss</i>							
7	terdapat sedikit perubahan warna pada ujung <i>moss</i>							

Sumber: Penulis, 2023

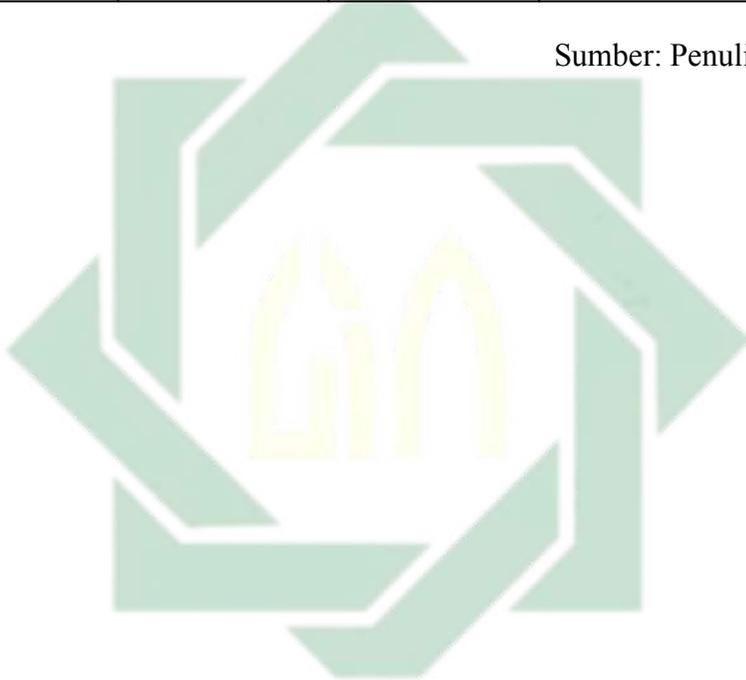


Tabel 4. 3 Monitoring Aklimatisasi Moss Minggu ke-2

Hari	Keterangan	Dokumentasi						
1	Peningkatan intensitas penyiraman, tidak ada perubahan pada <i>moss</i>							
2	Tidak ada perubahan kondisi <i>moss</i> yang signifikan							
3	Tidak ada perubahan kondisi <i>moss</i> yang signifikan							
4	Tidak ada perubahan kondisi <i>moss</i> yang signifikan							
5	Terlihat pertumbuhan gametofit baru							

Hari	Keterangan	Dokumentasi						
6	Tidak ada perubahan kondisi <i>moss</i> yang signifikan							
7	Tidak ada perubahan kondisi <i>moss</i> yang signifikan							

Sumber: Penulis, 2023

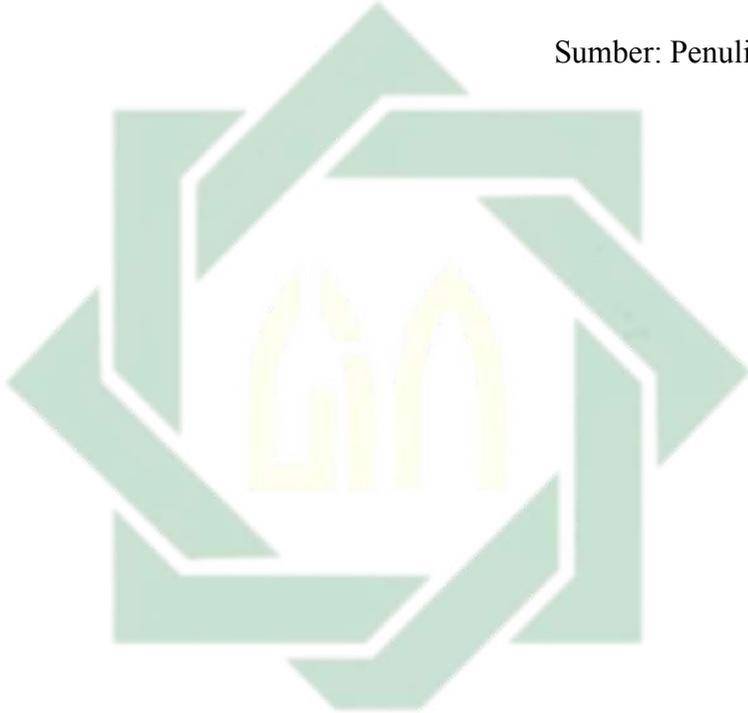


Tabel 4. 4 Monitoring Aklimatisasi Moss Minggu ke-3

Hari	Keterangan	Dokumentasi						
1	Tidak ada perubahan kondisi <i>moss</i> yang signifikan							
2	Tidak ada perubahan kondisi <i>moss</i> yang signifikan							
3	Tidak ada perubahan kondisi <i>moss</i> yang signifikan							
4	Tidak ada perubahan kondisi <i>moss</i> yang signifikan							
5	Tidak ada perubahan kondisi <i>moss</i> yang signifikan							

Hari	Keterangan	Dokumentasi						
6	Tidak ada perubahan kondisi <i>moss</i> yang signifikan							
7	<i>Moss</i> yang kondisinya masih baik, lebih mendominasi							

Sumber: Penulis, 2023



Berdasarkan tabel diatas, aklimatisasi *moss* berlangsung dengan baik. Hal ini ditunjukkan dengan gametofit yang berwarna hijau terlihat lebih mendominasi dibandingkan dengan gametofit yang mengalami perubahan warna kuning, selain itu terlihat pertumbuhan tunas gametofit yang baru. Dari hasil pengamatan, gametofit yang mengalami perubahan warna tersebut terletak paling ujung.

#### **4.2 Perancangan Konsep Desain *Living Moss Wall***

Konsep desain diawali dengan melihat permasalahan yang ada kemudian dilakukan tahap pengolahan ide yang bertujuan untuk memberikan solusi terkait permasalahan yang ada. Ghoustonjiwani, dkk (2011) menyebutkan penggunaan teknologi *vertical garden* di Indonesia masih sangat terganjal, selain itu masyarakat menilai teknologi tersebut mempunyai biayanya yang relatif mahal, dan pemakaiannya lebih banyak pada bangunan komersil. Maka dari itu perlu adanya solusi rancangan desain yang dapat secara nyaman, dan mudah digunakan oleh pengguna untuk beraktifitas di dalam ruangan. Selain itu perancangan desain harus mengikuti perkembangan gaya desain yang ada atau *up-to-date*, estetik, dan fungsional.

Perancangan produk *living moss wall* didasari oleh upaya riset dan pengembangan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh *startup Green City Solution*. *Startup* tersebut telah mengadakan penelitian dan inovasi yang mendalam untuk menciptakan produk *City Three* dan *City Breeze* yaitu filter udara yang menggabungkan alam dengan teknologi digital. Menggunakan kemampuan alami *living moss* dalam mereduksi polutan di udara ambient, yang disertai *active ventilation*, dan *smart sensors* sehingga dapat meningkatkan kualitas udara di sekitarnya (Green City Solutions, 2022). Hal tersebutlah yang menjadi dasar dari perancangan *living moss wall* untuk mereduksi polutan didalam ruangan khususnya CO<sub>2</sub>. Dalam upaya mengoptimalkan proses rancang bangun, penulis mengadopsi pendekatan desain modular sebagai peran utama dalam perancangan konsep.

Sistem modular, yaitu sistem konstruksi yang memberikan kebebasan, dan kemudahan dalam menyesuaikan kebutuhan pengguna. Penyesuaian kebutuhan pengguna bisa dinilai dari segi kenyamanan, fungsi, dan keindahan ruang

(Goutama, dkk, 2018). Dengan mempertimbangkan desain modular, konsep desain *living moss wall* telah disesuaikan dengan skala yang lebih kecil dan disederhanakan. Hal ini memungkinkan pemisahan produk menjadi modul-modul yang terdefinisi dengan jelas, yang dapat diproduksi secara independen dan kemudian digabungkan menjadi produk utuh. Pendekatan ini mengurangi kompleksitas dalam tahap perancangan, manufaktur, dan perakitan produk, sehingga menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi. Berikut merupakan perbandingan skala perancangan konsep desain *living moss wall* yang didasarkan pada penelitian startup *Green City Solution* dengan produk *City Breeze*.

Diketahui data awal, *Green City Solution* menyebutkan tiap  $2\text{m}^2$  *moss* yang terdapat pada produk *City Breeze* dapat menyerap polusi di udara ambient hingga  $60\text{m}^2$ . Sehingga perlu diketahui berapa luas area *filtered air* oleh *moss* tiap  $1\text{cm}^2$ . Hasil skala perbandingan *moss* dengan *filtered air* disajikan pada tabel dibawah ini:

**Tabel 4. 5** Perbandingan *Moss* dengan *Filtered Air Area*

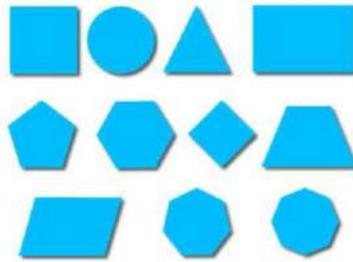
<i>Moss</i>		<i>Filtered Air Area</i>	
luas <i>moss</i>	Satuan	luas area	Satuan
2	$\text{m}^2$	60	$\text{m}^2$
1	$\text{m}^2$	30	$\text{m}^2$
10000	$\text{cm}^2$	300000	$\text{cm}^2$
<b>1</b>	<b><math>\text{cm}^2</math></b>	<b>30</b>	<b><math>\text{cm}^2</math></b>

Sumber: Penulis, 2023

Berdasarkan data perbandingan *moss* dengan *filtered air area* penelitian terdahulu, penulis merancang konsep desain untuk mengurangi kompleksitas, namun dapat meningkatkan efisiensi penggunaan ruang, dan memberikan solusi yang lebih fleksibel. Pendekatan ini memungkinkan pengembangan produk yang lebih terjangkau, skalabel, dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan pasar maupun pengguna didalam ruangan. Konsep desain *living moss wall* dirancang untuk memberikan fleksibilitas dalam hal penggantian dan peningkatan komponen. Jika terjadi masalah pada satu modul, modul tersebut dapat diganti dengan mudah tanpa harus menggantikan seluruh produk. Adapun pembuatan konsep desain *living moss wall* meliputi aplikasi bentuk, aplikasi material dan bahan, aplikasi

warna dan *finishing*, serta ilustrasi penggunaan atau aplikasi produk *living moss wall* yang dapat dilihat dibawah ini.

#### A. Aplikasi bentuk



**Gambar 4. 11** Ragam bentuk modular

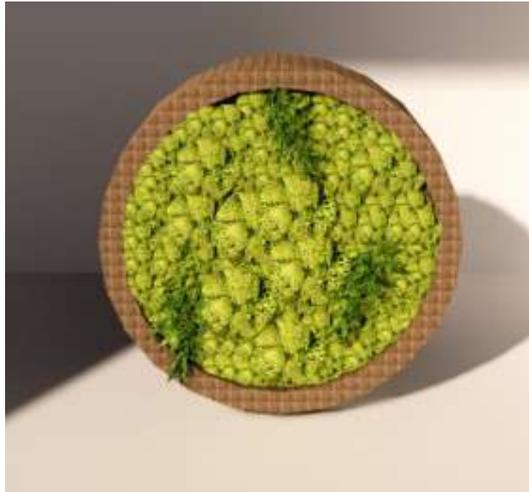
Sumber: (Goutama, dkk, 2018).

Perancangan desain produk modular menggunakan ragam bentuk geometris yang sederhana seperti yang terlihat pada gambar diatas. Pemilihan bentuk tersebut memungkinkan untuk dilakukanya konfigurasi dengan mudah oleh pengguna produk (Goutama, dkk, 2018). Berikut merupakan ide ragam bentuk *living moss wall* yang didesain dengan mempertimbangkan ragam bentuk modular menggunakan *software* SketchUp yang dapat dilihat dibawah ini.



**Gambar 4. 12** *Living Moss Wall* Bentuk Persegi

Sumber: Dirancang menggunakan SketchUp, 2023



**Gambar 4. 13** *Living Moss Wall* Bentuk Lingkaran

Sumber: Dirancang menggunakan SketchUp, 2023

Penulis memilih desain bentuk persegi untuk *living moss wall* dengan pertimbangan yang matang. Salah satu pertimbangan utamanya adalah kemudahan pengaplikasian bentuk modular yang simpel dan mudah disusun. Desain persegi memberikan keuntungan dalam hal konsistensi dan keseragaman komponen yang dapat disusun secara modular. Dengan bentuk yang sederhana dan teratur, modul-modul produk *livingmoss wall* dapat dipasang dan dihubungkan dengan mudah, menghasilkan struktur yang kokoh dan stabil. Selain itu, desain persegi *living moss wall* memungkinkan pemanfaatan ruang yang lebih efisien. Sehingga produk dapat diatur dengan lebih optimal tanpa adanya kekosongan ruang yang tidak diperlukan. Kesederhanaan dan kemudahan dalam pengaturan dan penyusunan modul menjadi faktor penting dalam pemilihan desain persegi, karena hal ini memungkinkan peningkatan efisiensi dalam pemasangan produk. Pembuatan *living moss wall* akan dibahas lebih detail pada sub bab 4.3 *prototype living moss wall development*.

## B. Aplikasi material dan bahan



**Gambar 4. 14** Material dan Bahan Utama (Kayu Meranti Dan Moss)

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023

*Living moss wall* menggunakan material utama kayu dan moss. Kayu meranti dipilih sebagai struktur utama karena memiliki nilai estetika yang *natural*, selain itu kayu bersifat relatif ringan namun kuat, dan mudah untuk dibentuk serta didapatkan. Sedangkan moss berfungsi sebagai tanaman utama dalam produk *living moss wall* yang menyerap polutan di sekitarnya serta memberikan kesan sejuk didalam ruangan.

## C. Aplikasi warna dan finishing



**Gambar 4. 15** Aplikasi Warna dan Finishing

Sumber: <https://www.catkayu.com/>, 2023

*Living moss wall* menggunakan warna natural kayu, sedangkan pelapisan akhir produk menggunakan lapisan pernis kayu yang tidak akan memberikan warna pada medianya, dengan tujuan supaya pola atau motif kayu dapat terlihat secara alami dan berkilau serta sebagai lapisan perlindungan.

D. Ilustrasi penggunaan atau pengaplikasian produk *living moss wall*.

Penggunaan *living moss wall* dapat memberikan nilai keindahan pada ruangan, dan nuansa yang sejuk di mata. Pengguna dapat menyesuaikan *furniture* yang bisa dipadupadankan dengan *living moss wall* untuk menciptakan kesan estetik pada ruangan. Berikut merupakan gambar ilustrasi pengaplikasian *living moss wall* didalam ruangan yang dibuat dengan aplikasi SketchUp.



**Gambar 4. 16** Ilustrasi Aplikasi Produk *Living Moss Wall* Dalam Ruangan 1

Sumber: Dirancang menggunakan SketchUp, 2023

UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A



**Gambar 4. 17** Ilustrasi Aplikasi Produk *Living Moss Wall* Dalam Ruang 2

Sumber: Dirancang menggunakan SketchUp, 2023

#### **4.3 Prototype *Living Moss Wall* Development**

Sesuai dengan perancangan konsep desain *living moss wall* yang telah dibuat, peneliti mengikuti konsep desain tersebut dengan bahan dan alat yang sudah dipersiapkan. Langkah pertama ialah membuat bingkai yang menjadi struktur utama *living moss wall*. Terdapat penyesuaian ukuran dalam proses pembuatan bingkai *living moss wall* yang dapat dilihat sebagai berikut:

Panjang bingkai : 24 cm

Lebar bingkai : 24 cm

Ketebalan bingkai : 1,5 cm

Kedalaman bingkai : 4 cm

Adapun *moss* yang dipakai untuk 1 produk *living moss wall* seluas 400 cm<sup>2</sup>. Bingkai terbuat dari kayu meranti yang dipotong mengikuti ukuran yang telah ditentukan, kemudian diberi alas triplek dengan panjang dan lebar 24 cm x 24 cm. Bingkai *living moss wall* dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



**Gambar 4.18** Bingkai *Living Moss Wall*

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023

Proses selanjutnya memasang lapisan kedap air pada bingkai *living moss wall* yang terbuat dari karpet anti air dengan cara memotong, dan menempelkan karpet anti air sesuai ukuran dan bentuk bingkai *living moss wall* menggunakan gunting dan lem tembak. Lapisan kedap air ini bertujuan untuk menahan rembesan air dari media tanam menuju bingkai kayu. Berikut merupakan gambar proses pemasangan lapisan kedap air pada bingkai *living moss wall*.



**Gambar 4. 19** Memotong Karpet Anti Air

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023



**Gambar 4. 20** Memasang Lapisan Anti Air Pada Bingkai

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023

Proses selanjutnya menyatukan *moss* yang sudah di aklimatiasi dengan bingkai *living moss wall* menggunakan alat bantu pinset dan lem tembak yang berfungsi untuk merekatkan media pada bingkai. Berikut merupakan gambar penyatuan *moss* dan hasil akhir produk *living moss wall* yang dapat dilihat dibawah ini.



**Gambar 4. 21** *Living Moss Wall*

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023

#### 4.4 Proses Uji *True Experimental* Menggunakan Desain Observasi *Pretest* dan *Posttest*

Langkah pertama dalam uji *true experimental* menggunakan desain observasi *pretest* dan *posttest* yaitu dengan menyiapkan alat sampling CO<sub>2</sub> meter GCH-2018 dan ruang uji yang kemudian dirangkai mengikuti skema uji penelitian. Ruang uji penelitian terbuat dari kaca tebal 5mm dengan dimensi panjang 40cm x lebar 40cm dan tinggi 55cm. Adapun rangkaian uji dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



**Gambar 4. 22** Rangkaian Ruang Uji

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023

Ruang uji penelitian tersebut memiliki lubang yang berada di sisi atas dan samping, dengan fungsinya masing-masing yang berbeda. Lubang diatas ruang uji berfungsi sebagai tempat masuknya alat sampling CO<sub>2</sub> meter GCH-2018 yang kemudian diikat menggunakan tali rafia dan diberi simpul yang disesuaikan ketinggiannya terhadap kabel dengan tujuan beban alat yang menggantung tersalurkan pada tali rafia dan bukannya kabel dari alat sampling CO<sub>2</sub> meter GCH-2018. Cella lubang yang ada di bagian atas ruang uji ditutup menggunakan plastisin dengan maksud mencegah keluar masuknya udara pada ruang uji. Sedangkan lubang sisi samping berfungsi sebagai tempat masuknya rokok, dan lubang sisi samping tersebut, awalnya diberi lapisan plastik dengan tujuan mencegah bertukarnya udara didalam ruang uji sebelum rokok dimasukan.

Setelah ruang uji dirangkai dan siap digunakan, pengambilan data preset dan posttest dapat dilakukan sesuai dengan skema uji penelitian. Adapun rangkaian pengambilan data tersebut didokumentasikan pada foto dibawah ini



**Gambar 4. 23** Pengambilan Data Variasi 1 *Living Moss Wall* tanpa Asap Rokok

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023



**Gambar 4. 24** Pengambilan Data Variasi 1 *Living Moss Wall* dengan Asap Rokok

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023



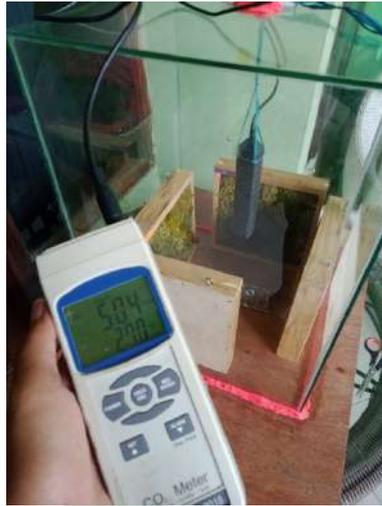
**Gambar 4. 25** Pengambilan Data Variasi 2 *Living Moss Wall* tanpa Asap Rokok

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023



**Gambar 4. 26** Pengambilan Data Variasi 2 *Living Moss Wall* dengan Asap Rokok

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023



**Gambar 4. 27** Pengambilan Data Variasi 4 *Living Moss Wall* tanpa Asap Rokok

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023



**Gambar 4. 28** Pengambilan Data Variasi 4 *Living Moss Wall* dengan Asap Rokok

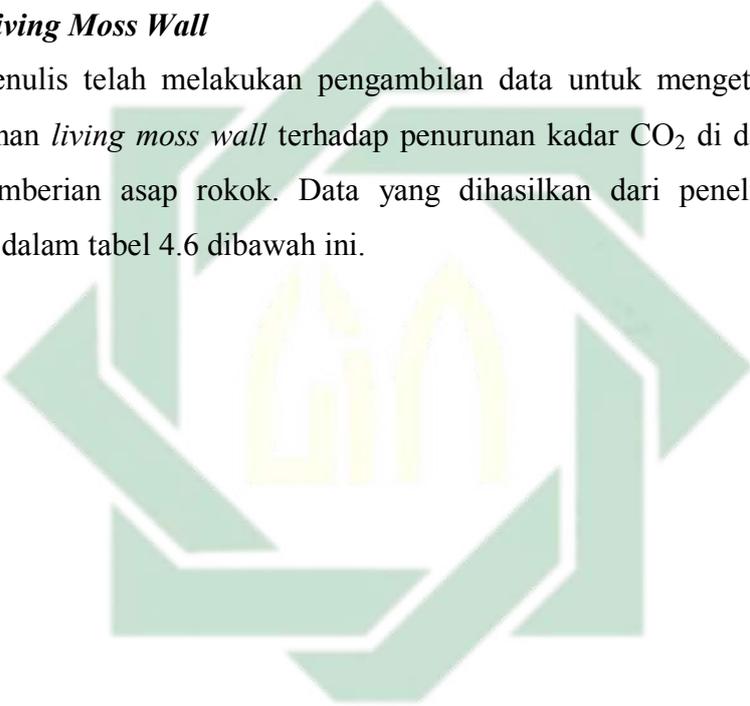
Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023

#### **4.5 Penurunan Kadar CO<sub>2</sub> Pada Ruangan**

Hasil pengujian metode *true experimental* menggunakan desain observasi *pretest dan posttest* terbagi menjadi 2 data, yaitu hasil penurunan kadar CO<sub>2</sub> didalam ruangan tanpa asap rokok, dan dengan asap rokok yang diberi perlakuan penambahan *living moss wall* dengan variasi jumlah *living moss wall* yang berbeda.

##### **4.5.1 Penurunan Kadar CO<sub>2</sub> pada Ruangan Tanpa Asap Rokok dengan dan Tanpa *Living Moss Wall***

Penulis telah melakukan pengambilan data untuk mengetahui pengaruh penambahan *living moss wall* terhadap penurunan kadar CO<sub>2</sub> di dalam ruang uji tanpa pemberian asap rokok. Data yang dihasilkan dari penelitian ini telah disajikan dalam tabel 4.6 dibawah ini.



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

**Tabel 4. 6** Kadar CO<sub>2</sub> Ruangan Tanpa Pemberian Asap Rokok dengan dan Tanpa *Living Moss Wall*

Menit ke	Tanpa <i>Living Moss Wall</i> (ppm)			1 <i>Living Moss wall</i> (ppm)			2 <i>Living Moss wall</i> (ppm)			4 <i>Living Moss wall</i> (ppm)		
	P1	P2	Rt	P1	P2	Rt	P1	P2	Rt	P1	P2	Rt
5	463	460	462	413	469	441	427	501	464	487	541	514
10	456	456	456	385	460	423	424	500	462	494	545	520
15	444	463	454	369	465	417	432	508	470	491	552	522
20	469	459	464	362	469	416	435	517	476	493	554	524
25	459	457	458	394	463	429	439	515	477	491	561	526
30	462	459	461	406	465	436	433	518	476	501	563	532
Penurunan	1,00	1,00	1,00	7,00	4,00	5,50	-6,00	-17,00	-11,50	-14,00	-22,00	-18,00

Sumber: Hasil Penelitian, 2023

Keterangan:

P1 = Pengulangan ke-1

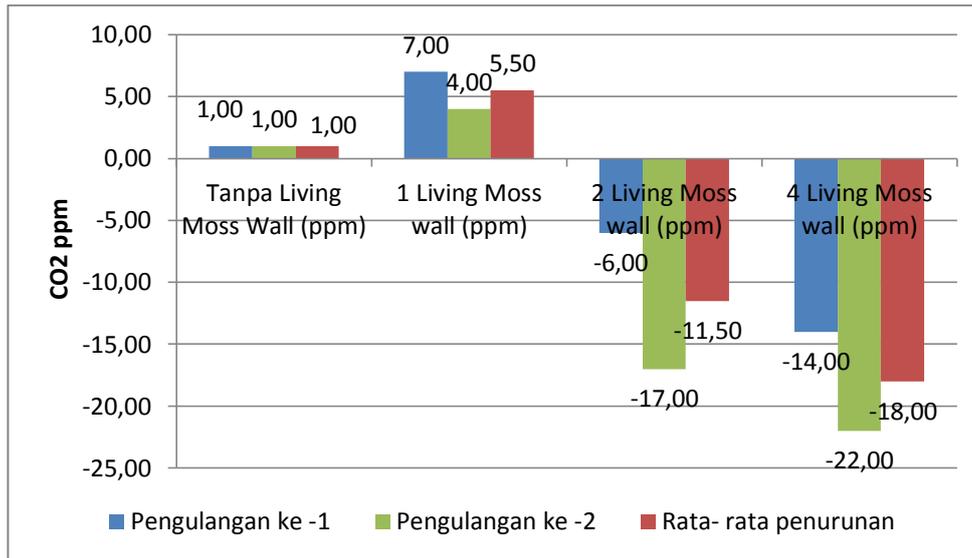
P2 = Pengulangan ke-2

Rt = Rata- rata pengulangan ke 1 dan ke 2

Berdasarkan tabel data 4.6 diatas mengenai penurunan kadar CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>, 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 CO<sub>2</sub> 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* dan empat *living moss wall* di dalam ruangan tanpa asap rokok tidak dapat menurunkan kadar CO<sub>2</sub>. Namun sebaliknya, terjadi kenaikan kadar CO<sub>2</sub> di dalam ruangan setelah penambahan *living moss wall* tersebut. Pada pengulangan pertama dengan penambahan dua *living moss wall* terdapat kenaikan kadar CO<sub>2</sub> sebesar 6 ppm dan 17 ppm pada pengulangan kedua. Sedangkan penambahan empat *living moss wall* menyebabkan kenaikan kadar CO<sub>2</sub> sebesar 14 ppm dan 22 ppm pada pengulangan kedua.

Perhitungan rata-rata dari pengulangan ke satu dan ke dua, dapat diketahui bahwa penambahan jumlah *living moss wall* secara konsisten tidak dapat memberikan penurunan yang lebih besar terhadap kadar CO<sub>2</sub> di dalam ruangan. Rata-rata penurunan kadar CO<sub>2</sub> tanpa penambahan *living moss wall* adalah 1 ppm, sementara rata-rata penurunan dengan penambahan satu *living moss wall* adalah 5,50 ppm. Sedangkan penambahan dua dan empat *living moss wall* tidak dapat menurunkan kadar CO<sub>2</sub>, melainkan terjadi kenaikan rata-rata kadar CO<sub>2</sub> dengan nilai sebesar 11,50 ppm untuk pemakaian dua *living moss wall*, dan 18 ppm untuk pemakaian empat *living moss wall*. Untuk mendapatkan visualisasi yang jelas terkait penurunan kadar CO<sub>2</sub> pada ruang uji tanpa pemberian asap rokok dengan penambahan dan tanpa *living moss wall*, dapat dilihat pada grafik 4.29 di bawah ini.



**Gambar 4.29** Grafik Penurunan Kadar CO<sub>2</sub> Pada Ruang Uji Tanpa Pemberian Asap Rokok dengan Penambahan dan Tanpa *living Moss Wall*.

Sumber: Hasil Penelitian, 2023

Grafik 4.29 diatas menggambarkan hasil penelitian mengenai pengaruh jumlah *living moss wall* terhadap konsentrasi CO<sub>2</sub> di dalam ruangan tanpa asap rokok. Dalam penelitian ini, teramati bahwa walaupun memiliki kontribusi yang relatif kecil, satu *living moss wall* memiliki efek positif dalam menurunkan kadar CO<sub>2</sub>. Namun, hasil yang tidak terduga terlihat ketika jumlah *living moss wall* ditingkatkan secara konsisten. Penambahan dua *living moss wall* justru mengakibatkan peningkatan yang tidak diinginkan terhadap konsentrasi CO<sub>2</sub> di dalam ruangan, dapat dilihat dengan batang grafik yang menurun. Hal tersebut menunjukkan adanya nilai negatif dari peningkatan jumlah *living moss wall* menjadi dua terhadap kadar karbon dioksida didalam ruangan.

Terkait dengan itu, peningkatan jumlah *living moss wall* menjadi empat menunjukkan nilai yang lebih berdampak negatif. Grafik batang yang terlihat menurun menunjukkan kenaikan yang signifikan dalam konsentrasi CO<sub>2</sub> di dalam ruangan. Temuan ini menyoroti adanya batasan kapasitas ruangan untuk menampung jumlah *living moss wall* tertentu, tanpa mempengaruhi kualitas udara secara negatif pada ruangan tanpa asap rokok. Hal ini dibahas lebih lanjut pada sub bab 4.6.1 efisiensi penyerapan CO<sub>2</sub> oleh *living moss wall* didalam ruangan tanpa asap rokok.

#### **4.5.2 Penurunan Kadar CO<sub>2</sub> pada Ruang Berisi Asap Rokok dengan dan Tanpa *Living Moss Wall***

Penulis telah melakukan pengambilan data untuk mengetahui pengaruh penambahan *living moss wall* terhadap penurunan kadar CO<sub>2</sub> di dalam ruang uji dengan pemberian asap rokok. Data yang dihasilkan dari penelitian ini telah disajikan dalam tabel 4.7 dibawah ini, yang menggambarkan nilai penurunan kadar CO<sub>2</sub> dengan dan tanpa penambahan living moss wall.



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

**Tabel 4. 7** Kadar CO<sub>2</sub> Ruangan Berisi Asap Rokok dengan dan tanpa *Living Moss Wall*

Menit ke	Tanpa <i>Living Moss Wall</i> (ppm)			1 <i>Living Moss wall</i> (ppm)			2 <i>Living Moss wall</i> (ppm)			4 <i>Living Moss wall</i> (ppm)		
	P1	P2	Rt	P1	P2	Rt	P1	P2	Rt	P1	P2	Rt
5	7862	8284	8073	6975	7948	7462	7235	8347	7791	7470	8334	7902
10	7868	8280	8074	6955	7974	7465	7213	8338	7776	7454	8345	7900
15	7891	8260	8076	6920	7967	7444	7216	8322	7769	7440	8335	7888
20	7878	8275	8077	6920	7967	7444	7182	8338	7760	7453	8333	7893
25	7868	8268	8068	6893	7938	7416	7157	8334	7746	7431	8314	7873
30	7852	8279	8066	6893	7938	7416	7133	8302	7718	7353	8260	7807
Penurunan	10,00	5,00	7,50	82,00	10,00	46,00	102,00	45,00	73,50	117,00	74,00	95,50

Sumber: Hasil Penelitian, 2023

Keterangan:

P1 = Pengulangan ke-1

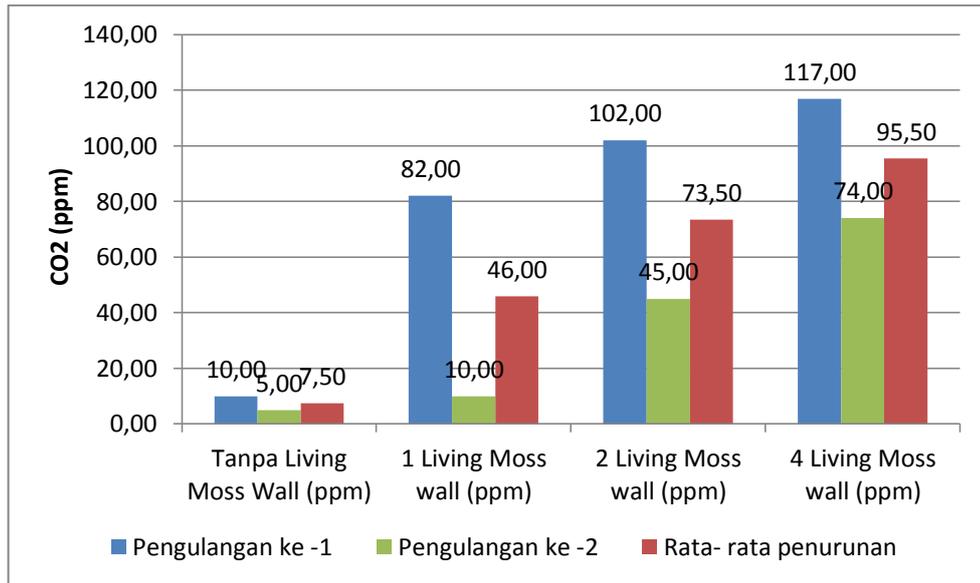
P2 = Pengulangan ke-2

Rt = Rata- rata pengulangan ke 1 dan 2

Berdasarkan tabel data 4.7 diatas mengenai penurunan kadar CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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* dan empat *living moss wall* di dalam ruangan berisi asap rokok dapat menurunkan kadar CO<sub>2</sub> lebih baik dari pada hanya 1 *living moss wall*. Pada pengulangan pertama dengan penambahan dua *living moss wall* terdapat penurunan kadar CO<sub>2</sub> sebesar 102 ppm dan 45 ppm pada pengulangan kedua. Sedangkan penambahan empat *living moss wall* menyebabkan penurunan kadar CO<sub>2</sub> sebesar 117 ppm dan 74 ppm pada pengulangan kedua.

Perhitungan rata-rata dari pengulangan ke satu dan ke dua, dapat diketahui bahwa penambahan jumlah *living moss wall* secara konsisten dapat memberikan hasil penurunan yang lebih baik terhadap kadar CO<sub>2</sub> di dalam ruangan berisi asap rokok. Rata-rata penurunan kadar CO<sub>2</sub> tanpa penambahan *living moss wall* adalah 7,50 ppm, sementara rata-rata penurunan dengan penambahan satu *living moss wall* adalah 46 ppm. Sedangkan penambahan dua dan empat *living moss wall* terjadi penurunan rata-rata kadar CO<sub>2</sub> dengan nilai sebesar 73,50 ppm untuk pemakaian dua *living moss wall*, dan 95,50 ppm untuk pemakaian empat *living moss wall*. Untuk mendapatkan visualisasi yang jelas terkait penurunan kadar CO<sub>2</sub> pada ruang uji berisi asap rokok dengan penambahan dan tanpa *living moss wall*, dapat dilihat pada grafik 4.30 di bawah ini.



**Gambar 4. 30** Grafik Penurunan Kadar CO<sub>2</sub> Pada Ruang Uji Berisi Asap Rokok dengan Penambahan dan Tanpa *Living Moss Wall*

Sumber: Hasil Penelitian, 2023

Grafik 4.30 diatas menggambarkan hasil penelitian mengenai pengaruh jumlah *living moss wall* terhadap konsentrasi CO<sub>2</sub> di dalam ruangan berisi asap rokok. Analisis pada grafik batang menunjukkan bahwa penambahan *living moss wall* memberikan kontribusi positif yang berpengaruh dalam menurunkan kadar CO<sub>2</sub> di dalam ruangan berisi asap rokok. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketika hanya satu *living moss wall* yang ditambahkan, terlihat adanya penurunan pada kadar CO<sub>2</sub>. Namun, perubahan tersebut belum begitu signifikan. Ketika jumlah *living moss wall* ditingkatkan menjadi dua dan empat, grafik batang menunjukkan penurunan kadar CO<sub>2</sub> yang semakin jelas. Hal tersebut mengindikasikan bahwa peningkatan jumlah *living moss wall* berdampak positif dalam mengurangi CO<sub>2</sub> di dalam ruangan berisi asap rokok. Lebih lanjut hal ini dibahas pada sub bab 4.6.2 efisiensi penyerapan CO<sub>2</sub> oleh *living moss wall* dengan pemberian asap rokok pada ruangan

#### 4.6 Efisiensi *Living Moss Wall* dalam Penurunan CO<sub>2</sub> di dalam Ruangan

Hasil efisiensi terbagi menjadi 2 data, yaitu hasil efisiensi penyerapan kadar CO<sub>2</sub> pada ruangan tanpa asap rokok, dan dengan asap rokok yang diberi perlakuan penambahan *living moss wall* dengan variasi jumlah *living moss wall* yang berbeda.

##### 4.6.1 Efisiensi Penyerapan CO<sub>2</sub> Oleh *Living Moss Wall* Tanpa Pemberian Asap Rokok di dalam Ruangan

Berikut merupakan efisiensi *removal living moss wall* menggunakan *lumut daun blumei (Macromitrium blumei)* terhadap CO<sub>2</sub> di dalam ruangan, yang dapat dilihat pada tabel 4.8 dibawah ini:

**Tabel 4. 8** Efisiensi Penyerapan CO<sub>2</sub> Oleh *Living Moss Wall* Tanpa Pemberian Asap Rokok

Rangkaian Percobaan	Pengulangan ke-1			Pengulangan ke-2			Rata - rata efisiensi (%)
	<i>Pre test</i> (ppm)	<i>post test</i> (ppm)	Efisiensi (%)	<i>Pre test</i> (ppm)	<i>post test</i> (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%
4 Living Moss wall (ppm)	487	501	-2,87%	541	563	-4,07%	-3,47%

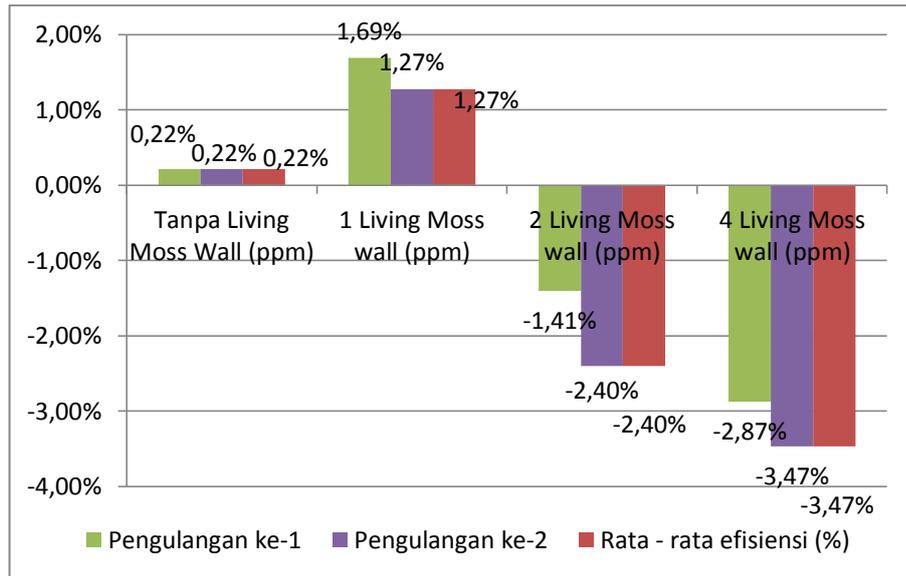
Sumber: Hasil Penelitian, 2023

Berdasarkan data yang diperoleh pada tabel 4.8 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, dan 4 *living moss wall* terjadi inefisien atau tidak adanya efisiensi pada percobaan tersebut,

dimana penambahan 2 *living moss wall* memiliki nilai inefisien sebesar -1,41%, dan penambahan 4 *living moss wall* memiliki nilai inefisien sebesar -2,87%.

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, dan 4 *living moss wall* terjadi inefisien atau tidak adanya efisiensi pada percobaan tersebut, dimana penambahan 2 *living moss wall* memiliki nilai inefisien sebesar -3,39%, dan penambahan 4 *living moss wall* memiliki nilai inefisien sebesar -4,07%.

Perhitungan rata-rata dari pengulangan ke satu dan ke dua, dapat diketahui bahwa penambahan jumlah *living moss wall* secara konsisten tidak dapat memberikan nilai efisiensi yang lebih besar terhadap kadar CO<sub>2</sub> di dalam ruangan tanpa pemberian asap rokok. Rata-rata efisiensi kadar CO<sub>2</sub> tanpa penambahan *living moss wall* adalah 0,22%, sementara rata-rata efisiensi dengan penambahan satu *living moss wall* adalah 1,27%. Sedangkan penambahan dua dan empat *living moss wall* memiliki nilai inefisien sebesar -2,40% untuk pemakaian dua *living moss wall*, dan -3,47% untuk pemakaian empat *living moss wall*. Untuk mendapatkan visualisasi yang jelas terkait efisiensi kadar CO<sub>2</sub> pada ruang uji tanpa pemberian asap rokok dengan penambahan dan tanpa *living moss wall*, dapat dilihat pada grafik 4.31 di bawah ini.



**Gambar 4. 31** Grafik Efisiensi Penyerapan CO<sub>2</sub> Oleh *Living Moss Wall* Tanpa Pemberian Asap Rokok

Sumber: Hasil Penelitian, 2023

Berdasarkan gambar grafik 4.31 yang telah diuraikan diatas, dapat diketahui penambahan satu *living moss wall* di dalam ruangan memberikan efek yang positif dalam mengurangi konsentrasi CO<sub>2</sub> dengan nilai rata rata efisiensi sebesar 1,27%. Namun, penambahan dua *living moss wall* menghasilkan data yang tidak diharapkan dengan peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> yang tidak efisien dengan nilai rata rata sebesar -2,40%. Lebih lanjut, penambahan empat *living moss wall* menyebabkan peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> yang melebihi dari perlakuan sebelumnya, dengan tingkat rata rata inefisiensi sebesar -3,47%.

Penelitian ini mengungkapkan paradoks dalam penambahan *living moss wall* terhadap kadar CO<sub>2</sub> di dalam ruangan. Sementara penambahan satu *living moss wall* memiliki efek yang positif dalam mengurangi kadar CO<sub>2</sub>, 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 CO<sub>2</sub> yang tidak diinginkan, dan efek ini semakin diperparah dengan penambahan empat *living moss wall*. Hasil ini menyoroti adanya batasan dalam kapasitas *living moss wall* untuk menyerap CO<sub>2</sub> didalam

ruangan. Penting untuk mempertimbangkan faktor-faktor seperti luas ruangan, pencahayaan, dan kapasitas *living moss wall* dalam menyerap CO<sub>2</sub> secara efisien.

Temuan tersebut sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Torpy, M Zavattaro, & PJ Irga, (2017) dengan judul “*Green wall technology for the phytoremediation of indoor air: a system for the reduction of high CO<sub>2</sub> concentrations*”. *Green wall* dalam penelitian ini terdiri dari beberapa susunan modul yang dilengkapi dengan *small electric axial impeller* berdiameter 72 mm yang terletak di tengah belakang modul. *Impeller* ini berfungsi sebagai ventilasi aktif yang mengalirkan udara secara merata melalui pleno, yaitu suatu saluran atau ruang di dalam modul *green wall* yang membantu sirkulasi udara melalui media pertumbuhan dan melewati daun tanaman. Selain itu peneliti juga menganalisis penggunaan cahaya pada ruangan untuk mengetahui adanya perbedaan laju penyerapan CO<sub>2</sub> oleh *green wall*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemilihan tingkat pencahayaan yang kurang memadai dan penonaktifan ventilasi *small electric axial impeller* pada modul *green wall* dapat menyebabkan kenaikan kadar CO<sub>2</sub> di dalam ruangan dalam rentang waktu 40 menit. Pencahayaan yang tidak cukup menghambat kemampuan tanaman pada *green wall* untuk melakukan fotosintesis, sehingga penyerapan CO<sub>2</sub> terhambat dan kadar CO<sub>2</sub> di dalam ruangan mengalami peningkatan. Sementara itu penonaktifan ventilasi mengakibatkan penurunan kemampuan *green wall* dalam menyerap CO<sub>2</sub>.

Sehingga dapat dikaitkan dari penelitian diatas, meskipun penambahan satu *living moss wall* secara alami dapat menurunkan konsentrasi CO<sub>2</sub>, 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 CO<sub>2</sub> secara berlebihan.

#### **4.6.2 Efisiensi Penyerapan CO<sub>2</sub> Oleh *Living Moss Wall* dengan Pemberian Asap Rokok di dalam Ruangan**

Berikut merupakan efisiensi *removal living moss wall* menggunakan *lumut daun blumei (Macromitrium blumei)* terhadap CO<sub>2</sub> di dalam ruangan yang berisi asap rokok, yang dapat dilihat pada tabel 4.9 dibawah ini:

**Tabel 4. 9** Efisiensi Penyerapan CO<sub>2</sub> Oleh *Living Moss Wall* dengan Pemberian Asap Rokok

Rangkaian Percobaan	Pengulangan ke-1			Pengulangan ke-2			Rata - rata efisiensi (%)
	<i>Pre test</i> (ppm)	<i>post test</i> (ppm)	Efisiensi (%)	<i>Pre test</i> (ppm)	<i>post test</i> (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%
4 Living Moss wall (ppm)	7470	7353	1,57%	8334	8260	0,89%	1,23%

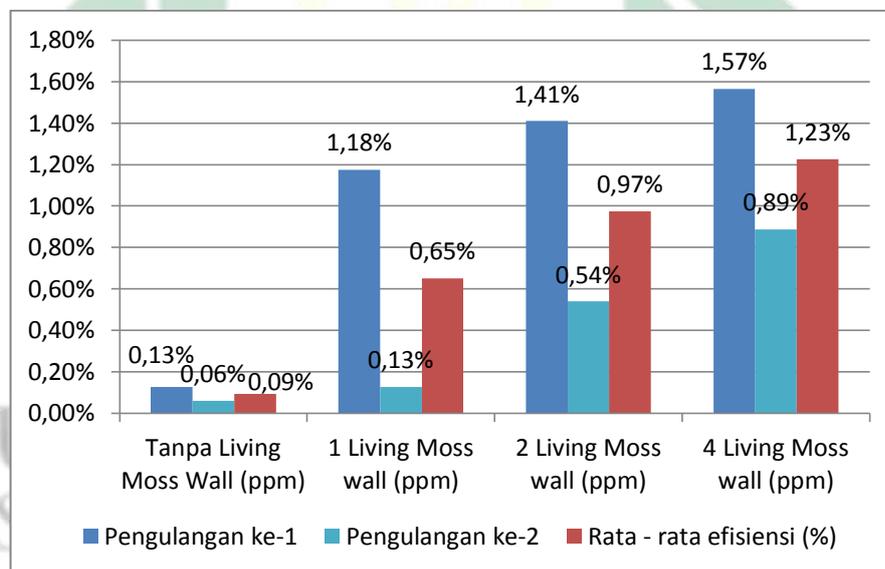
Sumber: Hasil Penelitian, 2023

Berdasarkan data yang diperoleh pada tabel 4.9 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%, dan penambahan 4 *living moss wall* memiliki nilai efisiensi penurunan sebesar 1,57%. Dari uraian diatas, dapat diketahui rangkaian percobaan dengan penambahan *living moss wall* 1, 2, dan 4 selalu mengalami kenaikan efisiensi penurunan kadar CO<sub>2</sub> pada setiap pengujiannya.

Hasil pengulangan ke-2 menunjukkan adanya efisiensi penurunan kadar CO<sub>2</sub> 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%, dan penambahan 4 *living moss wall* memiliki nilai efisiensi penurunan sebesar 0,89%. Dari uraian diatas, dapat diketahui rangkaian

percobaan dengan penambahan *living moss wall* 1, 2, dan 4 selalu mengalami kenaikan efisiensi removal kadar CO<sub>2</sub> 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 kadar CO<sub>2</sub> di dalam ruangan berisi asap rokok. Rata-rata efisiensi kadar CO<sub>2</sub> tanpa penambahan *living moss wall* adalah 0,09%, sementara rata-rata efisiensi dengan penambahan satu *living moss wall* adalah 0,65%. Sedangkan penambahan dua dan empat *living moss wall* terjadi efisiensi kadar CO<sub>2</sub> dengan nilai rata-rata sebesar 0,97% untuk pemakaian dua *living moss wall*, dan 1,23% untuk pemakaian empat *living moss wall*. Untuk mendapatkan visualisasi yang jelas terkait efisiensi removal kadar CO<sub>2</sub> pada ruang uji berisi asap rokok dengan penambahan dan tanpa *living moss wall*, dapat dilihat pada grafik 4.32 di bawah ini.



**Gambar 4. 32** Grafik Efisiensi Penyerapan CO<sub>2</sub> Oleh *Living Moss Wall* dengan Pemberian Asap Rokok

Sumber: Hasil Penelitian, 2023

Berdasarkan grafik 4.32 nilai efisiensi removal yang telah diuraikan diatas, Efisiensi penyerapan CO<sub>2</sub> yang optimal oleh *living moss wall* didalam ruangan dengan berisi asap rokok, terlihat pada rangkaian percobaan dengan penambahan 4 *living moss wall*, dimana pada pengulangan ke 1 penambahan 4 *living moss wall*

memiliki nilai efisiensi 1,57% dan pada pengulangan ke 2 nilai efisiensi turun menjadi 0,89%. Selain itu, grafik diatas menunjukkan adanya penurunan nilai efisiensi pada pengulangan ke-2 pada setiap perlakuan penambahan *living moss wall* didalam ruangan.

Perlu diketahui penelitian ini menggunakan *living moss wall* yang sama dalam pengujian ke-2. Tujuan penggunaan *living moss wall* yang sama dalam pengulangan uji ke-2, ialah sebagai konsistensi variabel internal. Penggunaan *living moss wall* yang sama memastikan konsistensi genetik dan karakteristik *moss* yang dapat mempengaruhi kapasitas penyerapan polutan. Hal ini membantu dalam mengurangi perbedaan yang disebabkan oleh variasi genetik *moss* pada *living moss wall* dan memfokuskan pada perbandingan efisiensi *living moss wall* dalam mengurangi polutan. Selain itu dengan menggunakan *living moss wall* yang sama pada pengulangan kedua, penelitian dapat secara langsung membandingkan hasil antara pengulangan pertama dan kedua. Untuk mengetahui adanya perubahan atau perbedaan dalam kemampuan *living moss wall* menyerap polutan CO<sub>2</sub> di udara dalam ruangan.

*Living moss wall* yang telah digunakan dalam pengujian pertama dengan pemberian paparan polutan CO<sub>2</sub> yang bersumber dari 2 batang rokok, terlihat adanya perubahan fisik atau fisiologis yang ditandai dengan menguningnya beberapa gametofit pada *moss* di *living moss wall*. Selain itu dalam penelitian diketahui bahwa penggunaan *living moss wall* yang sama dalam pengulangan eksperimen mengakibatkan akumulasi polutan CO<sub>2</sub> yang sama di dalam *moss* dari waktu ke waktu. Hal tersebut dapat menyebabkan perubahan dalam kemampuan *moss* untuk menyerap CO<sub>2</sub>, karena jumlah polutan yang sudah ada di dalam *moss* diduga telah mencapai batas jenuh atau mempengaruhi kesehatan tanaman secara keseluruhan, sehingga dapat menyebabkan penurunan efisiensi penyerapan CO<sub>2</sub> pada keseluruhan rangkaian pengulangan uji eksperimen yang ke-2.

Pernyataan tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh A'yuningsih, (2017) yang berjudul "Pengaruh Faktor Lingkungan Terhadap Perubahan Struktur Anatomi Daun". Hasil penelitian menyebutkan tumbuhan digunakan sebagai bioindikator yang efektif untuk memantau pencemaran.

Bioindikator tumbuhan memiliki kemampuan yang tinggi dalam menyerap karbondioksida di udara. Dengan menggunakan tumbuhan sebagai bioindikator, polutan-polutan akan terdifusi ke dalam daun melalui stomata, yang terpengaruh oleh kondisi udara di sekitarnya. Stomata berfungsi sebagai pintu gerbang bagi pertukaran gas dan uap air antara tumbuhan dan lingkungan sekitarnya. Namun disaat yang bersamaan pencemaran udara dapat mempengaruhi tumbuhan tersebut, terutama dalam proses pembukaan dan penutupan stomata. Ketika stomata terbuka dan kondisi udara lembab, gas-gas yang ada di udara akan diserap oleh tumbuhan dan terakumulasi pada stomata sehingga menyebabkan penutupan stomata, yang berakibat pada terganggunya proses fotosintesis. Pencemaran udara umumnya dapat menyebabkan kerusakan dan perubahan fisiologi pada tanaman, yang kemudian terlihat dalam gangguan pertumbuhan. Pencemaran ini mengakibatkan perubahan pada tingkat biokimia sel, terutama dalam proses pembukaan dan penutupan stomata serta kerapatannya. Hal ini kemudian diikuti oleh perubahan fisiologi pada tingkat individu tanaman. Gejala yang sering terlihat pada tanaman akibat pencemaran udara meliputi kerusakan makroskopis pada daun, kerusakan klorofil, dan perubahan struktur anatomi.

Pernyataan yang berkesinambungan dengan hasil penelitian diatas terdapat pada penelitian yang dilakukan oleh Yatim & Azman, (2021) dengan judul “*Moss as Bio-indicator for Air Quality Monitoring at Different Air Quality Environment*”. Tujuan penelitian tersebut untuk mengetahui kemampuan lumut untuk digunakan sebagai bioindikator pemantauan kualitas udara saat terpapar lingkungan kualitas udara yang berbeda. Empat kondisi lingkungan dipilih untuk melakukan penelitian daerah perkotaan, hutan lindung, ruang tamu dan ruang perokok. Hasil penelitian menunjukkan lumut mengalami perubahan kenampakan fisik setelah 1 minggu pemaparan. Lumut bereaksi sesuai dengan lingkungan kualitas udara yang berbeda. Lumut bereaksi sebagian besar di lingkungan yang sangat tercemar, di kamar perokok terjadi perubahan warna dari hijau segar menjadi kecoklatan. Dari pengamatan penilaian fisik yang dilakukan terhadap lumut, beberapa bagian lumut telah teridentifikasi perubahan warna dari kehijauan menjadi kekuningan dan kecoklatan. Lumut telah mengalami klorosis dan nekrosis. Klorosis, didefinisikan sebagai keadaan dimana jaringan tanaman

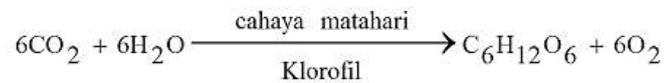
berubah warna menjadi kekuningan yang menandakan berkurangnya klorofil, sedangkan nekrosis didefinisikan sebagai kematian jaringan tanaman dengan berubah warna menjadi kecoklatan.

Nilai efisiensi yang kecil dalam penelitian ini menunjukkan *living moss wall* memiliki potensi kemampuan dalam menyerap CO<sub>2</sub> di udara dalam ruangan yang terdapat polutan karbon dioksida, meskipun efisiensinya relatif rendah. Beberapa penelitian telah mengungkapkan bahwa tanaman lumut yang dijadikan *living wall* dapat menyerap polutan CO<sub>2</sub>. Salah satu literatur yang mendukung penelitian ini adalah penelitian yang dilakukan oleh (Petervoka, et al., 2019) yang menyebutkan bahwa *living wall*, memiliki kemampuan untuk menurunkan kadar CO<sub>2</sub> di dalam ruangan dan memberikan manfaat kesehatan bagi manusia. Penelitian ini menguji pengaruh *living wall* pada kondisi iklim interior dan kesehatan manusia. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa *living wall* dapat menyerap CO<sub>2</sub> melalui proses fotosintesis tanaman. Penyerapan CO<sub>2</sub> ini membantu mengurangi kadar CO<sub>2</sub> di udara dalam ruangan, sehingga meningkatkan kualitas udara yang dihirup oleh manusia.

Penelitian lain yang mendukung pernyataan kemampuan lumut dalam menyerap CO<sub>2</sub>, dilakukan oleh *startup* Green City Solutions. Green City Solutions telah mengembangkan inovasi bernama "*CityTree*", yaitu panel dinding yang dipenuhi dengan lumut hidup yang memiliki kemampuan luar biasa dalam menyerap CO<sub>2</sub>. *CityTree* menggunakan teknologi *biofiltrasi* yang memungkinkan lumut untuk menyerap CO<sub>2</sub> dari udara. Hasil dari inovasi tersebut, menunjukan melalui fotosintesis, lumut mampu mengubah CO<sub>2</sub> menjadi oksigen dan biomassa (Green City Solutions, 2022).

Kemampuan lumut untuk menurunkan kadar CO<sub>2</sub> pada penelitian ini disebabkan karena adanya proses fiksasi karbon. Lukitasari, (2018) menyebutkan, lumut sebagai tanaman yang termasuk dalam klasifikasi tumbuhan tingkat rendah melakukan konversi karbon dioksida menjadi senyawa organik selama fotosintesis yang disebut dengan fiksasi karbon. Sedangkan fotosintesis adalah proses penyusunan atau pembentukan zat organik (karbohidrat) dengan menggunakan energi cahaya. Fotosintesis juga merupakan proses pengubahan zat anorganik H<sub>2</sub>O

dan CO<sub>2</sub> oleh klorofil menjadi zat organik (karbohidrat) dengan pertolongan cahaya (Situmorang M. V., 2020). Proses fotosintesis dapat dinyatakan dengan persamaan reaksi kimia sebagai berikut:



Proses fotosintesis dilakukan oleh tumbuhan, alga, dan beberapa jenis bakteri untuk menghasilkan karbohidrat dan oksigen sebagai produk sampingan. Dalam fotosintesis, zat hara, karbondioksida, dan air digunakan, dengan energi cahaya matahari sebagai bantuannya. Fotosintesis juga merupakan salah satu metode asimilasi karbon, di mana karbon dioksida diikat (difiksasi) dan diubah menjadi gula sebagai molekul penyimpan energi. Secara prinsip, proses fotosintesis dapat dibagi menjadi dua bagian utama: reaksi terang (yang membutuhkan cahaya) dan reaksi gelap (yang tidak memerlukan cahaya tetapi membutuhkan karbon dioksida) (Handoko & Rizki, 2020).

Meskipun hasil efisiensi penyerapan CO<sub>2</sub> oleh *living moss wall* dalam penelitian masih terbatas, hal ini memberikan wawasan penting mengenai potensi penggunaan lumut yang bisa dijadikan sebagai salah satu alternatif tanaman pada *living wall* untuk mengurangi konsentrasi CO<sub>2</sub> di dalam ruangan. Sebagaimana dalam Al-Qur'an surat An-Nahl ayat 13:

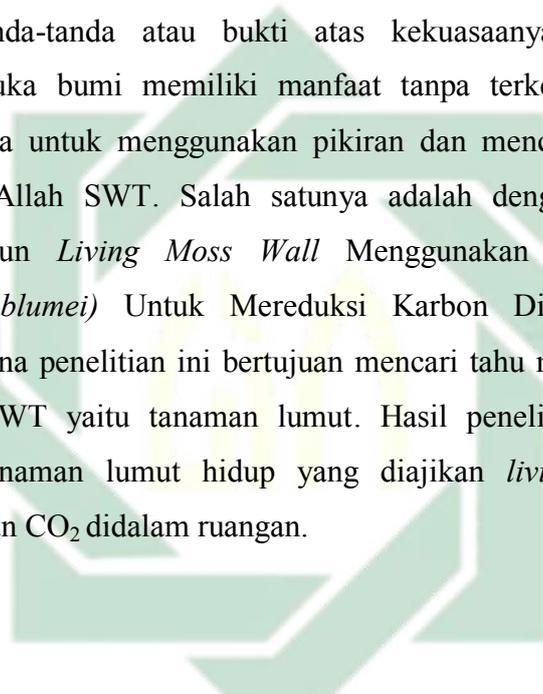
وَمَا ذَرَأَ لَكُمْ فِي الْأَرْضِ مُخْتَلِفًا أَلْوَنُهُ ۗ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً لِّقَوْمٍ يَتَذَكَّرُونَ

Artinya: “Dan dia (menundukkan pula) apa yang dia ciptakan untuk kamu di bumi ini dengan berlain-lainan macamnya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang mengambil pelajaran”.

Quraish Shihab menafsirkan Surat An-Nahl Ayat 13 sebagai berikut “Selain yang telah diciptakan oleh Allah di langit dan disediakan untuk manfaat kalian, dia juga menciptakan berbagai macam binatang, tumbuhan dan benda di muka bumi untuk kalian. Dalam perut bumi, dia juga menciptakan bahan-bahan tambang yang beraneka warna, bentuk dan cirinya. Semua itu diciptakan untuk

kalian manfaatkan. Sesungguhnya pada yang demikian itu terdapat tanda-tanda yang jelas dan banyak bagi kaum yang selalu merenungkan hingga mengetahui kekuasaan Sang Pencipta dan kasih sayang-nya kepada mereka”.

Sebagaimana yang telah dijelaskan pada surat An-Nahl ayat 13, dan tafsir oleh Quraish Shihab, bahwasanya Allah menciptakan segala sesuatu di bumi beraneka macam dan memiliki manfaat bagi manusia, maka dari itu manusia diharapkan mengambil pelajaran dari hal tersebut. Karena Allah SWT telah memberikan tanda-tanda atau bukti atas kekuasaanya, menjadikan setiap ciptaanya di muka bumi memiliki manfaat tanpa terkecuali. Maka dari itu perlunya manusia untuk menggunakan pikiran dan mencari tahu manfaat dari semua ciptaan Allah SWT. Salah satunya adalah dengan adanya penelitian “Rancang Bangun *Living Moss Wall* Menggunakan *Lumut daun blumei (Macromitrium blumei)* Untuk Mereduksi Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) Dalam Ruang”. Dimana penelitian ini bertujuan mencari tahu manfaat dari salah satu ciptaan Allah SWT yaitu tanaman lumut. Hasil penelitian diketahui adanya manfaat dari tanaman lumut hidup yang diajikan *living moss wall* dalam mereduksi polutan CO<sub>2</sub> didalam ruangan.



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Prototipe *living moss wall* dirancang dengan pengaplikasian modular berbentuk persegi. Terbuat dari kayu dengan dimensi 23 cm x 23 cm x 4 cm, dan dilengkapi dengan lapisan kedap air di dalamnya. *Moss* yang digunakan adalah *lumut daun blumei (Macromitrium blumei)* seluas 400 cm<sup>2</sup>. Dengan media tanam *rockwool* yang memiliki ketebalan 2 cm. *Living moss wall* menggunakan warna natural kayu dan dilapisi dengan pernis kayu.
2. Penurunan kadar CO<sub>2</sub> di dalam ruangan tanpa asap rokok didapatkan hanya dari penggunaan satu *living moss wall* dengan nilai rata-rata sebesar 5,50 ppm. Sedangkan penurunan kadar CO<sub>2</sub> didalam ruangan dengan asap rokok memiliki nilai rata-rata penurunan terbesar 95,50 ppm dari penggunaan empat *living moss wall*.
3. Efisiensi terbesar *living moss wall* dalam menyerap CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> didalam ruangan dengan asap rokok didapatkan pada penggunaan empat *living moss wall* dengan nilai rata-rata efisiensi penurunan sebesar 1,23%.

### 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka saran untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Perlu dilakukanya uji coba dengan mempertimbangkan faktor pencahayaan, luas ruangan uji coba, dan rentang waktu yang lebih lama.
2. Dapat dilakukanya penelitian dengan memvariasikan atau memodifikasi *living moss wall* yang disertai penambahan rangkaian *small fans* dan

penggabungan tanaman lain sehingga dapat mendukung penyerapan polutan yang ada.

3. Perlu dilakukan pengambilan sampel menggunakan alat yang sudah terkalibrasi.



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## DAFTAR PUSTAKA

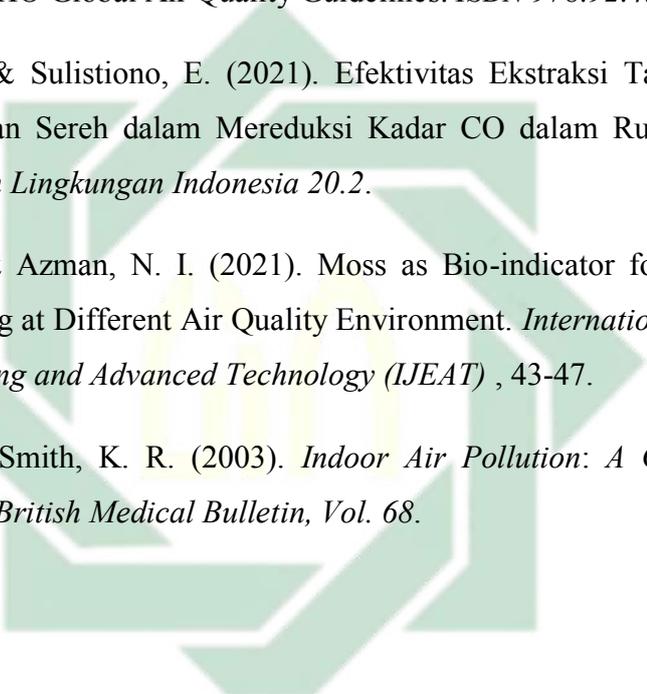
- A'yuningsih, D. (2017). Pengaruh Faktor Lingkungan Terhadap Perubahan Struktur Anatomi Daun. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Biologi Jurusan Pendidikan Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta* (hal. 103-108). Yogyakarta: Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta .
- Ahmad, A. (2019). Model Penetapan Ruang Terbuka Hijau untuk Pengendalian Karbon Dioksida Udara Ambien di Kawasan Industri Petrokimia. *Thesis – RE185401*.
- Bailey, R. A., & Rittner, D. (2005). *Encyclopedia Of Chemistry*. New York: Fact On File, Inc.
- Bandehali, S., Miri, T., Onyeaka, H., & Kumar, P. (2021). *Current State of Indoor Air Phytoremediation Using Potted Plants and Green Walls. Atmosphere, 12, 473*.
- Britannica, The Editors of Encyclopaedia. (2022, Febuari 8). Moss. Dipetik Maret 15, 2022, dari Encyclopedia Britannica: <https://www.britannica.com/plant/moss-plant>
- Cahyanti, K. P., & Posmanngsih, D. (2020). Tingkat Kemampuan Penyerapan Tanaman Sansevieria dalam Menurunkan Polutan Karbon Monoksida. *Junral kesehatan lingkungan Vol.10 No.1*.
- 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.
- Goutama, H., Mulyono, G., & Nilasari, P. F. (2018). Perancangan Produk Interior Modular Multifungsi Berbasis Material Kayu Olahan. *Jurnal Intra Vol. 6, No. 2*.

- Green City Solutions. (2022, Januari 22). *The Solution*. Dipetik Febuari 16, 2022, dari Green City Solutions : <https://greencityolutions.de/en/solution/problem-fine-dust/>
- Gurnawardena, K., & Steemers, K. (2018). *Living Walls In Indoor Environments. Building and Environment xxx, Department of Architecture, University of Cambridge, 1-5 Scroope Terrace.*
- Handoko, A., & Rizki, A. M. (2020). *Buku Ajar Fisiologi Tumbuhan*. Lampung: Universitas Islam Negeri (UIN) Raden Intan Lampung.
- Haynes, A., Popek, R., Boles, M., Paton-Walsh , C., & A, S. (2019). Roadside Moss Turfs in South East Australia Capture More Particulate Matter Along an Urban Gradient than a Common Native Tree Species. *Atmosphere,10*, 224.
- 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.*
- Julinova, P., & Beckovsky, D. (2019). Perspectives of Moss Species in Urban Ecosystems and Vertical Living-Architecture:A review. *Advances in Engineering Materials, Structures and Systems: Innovations, Mechanics and Applications – Zingoni (Ed.) ISBN 978-1-138-38696-9, 2370-2375.*
- Lukitasari, M. (2018). *Mengenal Tumbuhan Lumut (Bryophyta) Deskripsi, Klasifikasi, Potensi dan Cara Mempelajarinya*. Magetan: CV. Ae Media Grafika.
- Lutron Electronic Enterprise Co., Ltd. (2022). *Lutron Instruments: CO<sub>2</sub> and humidity meter GCH-2018*. Dipetik April 20, 2022, dari Lutron Instruments.eu: <https://www.lutroninstruments.eu/without-recording-2/co2-and-humidity-meter-gch-2018/>
- Martin, A. (2015). *The Magical World of Moss Gardening*. portland: Timber Press, Inc.

- Menteri Kesehatan Republik Indonesia. (2011). Pedoman Penyehatan Udara Dalam Ruang Rumah. *Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011*.
- Miller, M.R., Shaw, C.A., & Langrish, J.P. (2012). From Particles to Patients: Oxidative Stress and The Cardiovascular Effects of Air Pollution. *Future Cardiol.*
- Mukono, H. (2020). *Analisis Kesehatan Lingkungan Akibat Pemanasan Global*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Nurullita, U., & Mifbakhuddin. (2021). Efektifitas Tanaman Hias, Jamur, dan Carbon Aktif dalam Menurunkan Konsentrasi Carbon Monoksida di Udara. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia 20.1*.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia. (2011). Pedoman Penyehatan Udara Dalam Ruang Rumah. *NOMOR 1077/MENKES/PER/V/2011*.
- Permatasari, I., & Rahadiantoro, A. (2015). Tahap Aklimatisasi Dan Monitoring Tanaman Hasil Eksplorasi Pulau Sempu: Blok Waru-Waru Kebun Raya Purwodadi. *Prosiding Seminar nasional Biologi / IPA dan Pembelajarannya* (hal. 183-186). Malang: Universitas Brawijaya Malang.
- 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.
- Sanne, J. (2011). Biological growth on rendered façades. *Lund University, Division of Building Materials*.
- Situmorang, M.V. (2020). *Biologi Dasar*. Bandung: Widina Bhakti Persada Bandung.

- Situmorang, C. (2017). Pengaruh Tanaman Sirih Gading (*Epipremnum Aureum*) Terhadap CO dalam Ruangan. *Jurnal TechLINK Vol. 1 No.2*.
- Splittgerber, V., & Saenger, P. (2015). *The CityTree: a vertical plant wall* . *WIT Transactions on Ecology and The Environment, Vol 198*.
- 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 CO<sub>2</sub> concentrations. *Air Qual Atmos Health* , 576-585.
- Tran, V. V., Park, D., & Chul Lee, Y. (2020). *Indoor Air Pollution, Related Human Diseases, and Recent Trends in the Control and Improvement of Indoor Air Quality*. *Int. J. Environ. Res. Public Health*.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2022). *Introduction to Indoor Air Quality*. Dipetik Maret 16, 2022, dari <https://www.epa.gov/report-environment/indoor-air-quality>
- USEPA. (2022). *Volatile Organic Compounds' Impact on Indoor Air Quality*. Dipetik April 20, 2022, dari <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality>
- Viegi, G., Simoni, M., Scognamiglio, A., Baldacci, S., Pisteli, F., Carrozzi, L., et al. (2004). *Indoor Air Pollution and Airway Disease*. *The International Journal of Tuberculosis and Lung Diseases*.
- Vilaini, M., Russo, F., Adani, M., Piersanti, A., Vitali, L., Tinaereli, G., et al. (2021). *Evaluating the Impact of a Wall-Type Green Infrastructure on PM<sub>10</sub> and NO<sub>x</sub> Concentrations in an Urban Street Environment*. *Atmosphere*, 12, 839.

- WHO. (2010). *WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants*. Europe: WHO Regional Office for Europe.
- WHO. (2021, September 22). *Household Air Pollution and Health*. Dipetik Maret 14, 2022, dari World Health Organization newsroom: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>
- WHO. (2021). WHO Global Air Quality Guidelines. ISBN 978.92.4.003422.8.
- Wicaksono, R., & Sulistiono, E. (2021). Efektivitas Ekstraksi Tanaman Lidah Mertua dan Sereh dalam Mereduksi Kadar CO dalam Ruangan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia* 20.2.
- 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.
- Zhang, J. J., & Smith, K. R. (2003). *Indoor Air Pollution: A Global Health Concern*. *British Medical Bulletin*, Vol. 68.



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A