

Analysis of the Role of the Algae Photosynthesis Facade System in the ITERA Building in Reducing Carbon Emissions

David Ricardo^{1*}, Adelia Enjelina Matondang¹, Galuh Fajarwati¹

¹Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Way Hui, Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Indonesia 35365

*Penulis Korespondensi: david.ricardo@ar.itera.ac.id

Abstract: *The surge in carbon emissions caused by buildings and vehicles or other aspects of controlling the carbon emissions produced by this is done by utilizing the photosynthetic function of plants. Plants that photosynthesize absorb carbon and release energy and oxygen, so the carbon dioxide emissions can calm down. Algae, which are aerial microorganisms that photosynthesize like plants, supported by technological advances applied in a building display, produce an algae bioreactor facade that has the potential to act as an intermediary to reduce carbon footprint. The Sumatra Institute of Technology is the object of research on the effectiveness of using an algae bioreactor facade in reducing the carbon footprint caused by vehicles passing on the Ryacudu Canal road. Buildings C and D of Institut Teknologi Sumatera were used as research samples and conclusions were drawn and it was concluded that the algae bioreactor facades in buildings C and D were less effective in absorbing carbon footprints due to vehicles passing on the Ryacudu Canal road, Way Hui, South Lampung.*

Keywords: *carbon, algae bioreactor, emissions*

Analisis Peran Sistem Fasad Fotosintesis Alga Pada Gedung ITERA Dalam Pengurangan Emisi Karbon

Abstrak: Lonjakan emisi karbon yang disebabkan oleh bangunan dan kendaraan atau aspek lainnya mengontrol emisi karbon yang dihasilkan oleh hal hal tersebut salah satunya dilakukan dengan cara pemanfaatan fungsi fotosintesis dari tanaman. Tanaman yang berfotosintesis menyerap karbon dan mengeluarkan energi serta oksigen, sehingga karbon dioksida hasil emisi dapat terkontrol. Alga yang merupakan mikroorganisme air yang berfotosintesis seperti tumbuhan didukung oleh kemajuan teknologi yang diterapkan dalam sebuah tampilan bangunan, menghasilkan fasad bioreaktor alga yang berpotensi sebagai perantara untuk mengurangi jejak karbon. Institut Teknologi Sumatera menjadi objek penelitian tentang efektivitas penggunaan fasad bioreaktor alga dalam mengurangi jejak karbon yang disebabkan oleh kendaraan yang melintas di jalan Terusan Ryacudu. Gedung C dan D Institut Teknologi Sumatera digunakan sebagai sampel penelitian dan dilakukan perhitungan lalu disimpulkan bahwa fasad bioreaktor alga pada gedung C dan D kurang efektif dalam menyerap jejak karbon akibat kendaraan bermotor yang melintas di jalan Terusan Ryacudu, Way Hui, Lampung Selatan.

Kata kunci: karbon, alga bioreaktor, emisi

Artikel diterima : 27 November 2023

Artikel diperiksa : 05 Februari 2024

Artikel disetujui : 20 Februari 2024

Artikel dipublikasikan : 20 Februari 2024

1. Latar Belakang

Arus globalisasi yang saat ini berlangsung dengan cepat dan tidak terelakkan (Scholte, 2001) berpengaruh terhadap kemajuan budaya bangsa Indonesia. Di satu sisi, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi informasi dapat dimanfaatkan sebagai media untuk melestarikan serta mengembangkan nilai-nilai budaya lokal (Mubah, 2011). Pembangunan merupakan salah satu penyumbang emisi karbon terbanyak, mulai dari pembangunan, operasional, hingga penghancuran bangunan. Tidak kalah, kendaraan bermotor juga merupakan penyumbang terbesar emisi karbon dunia. Menurut data Badan Pusat Statistik Indonesia, kenaikan jumlah kendaraan bermotor yang cukup signifikan terjadi 3 tahun terakhir ini. Provinsi Lampung yang merupakan jalur utama dalam arus kendaraan yang menyeberang antar pulau Sumatera dan Jawa. Tercatat pada bps.go.id 3,8 juta kendaraan bermotor yang ada pada provinsi Lampung.

Tumbuhan memiliki peranan penting dalam proses penyerapan karbon di udara, yakni dengan proses fotosintesis. Menyerap CO₂ dan air lalu mengubahnya menjadi oksigen. Alga merupakan salah satu jenis organisme berklorofil yang berfotosintesis seperti tanaman lain pada umumnya. Alga tumbuh di perairan, namun organisme ini tetap membutuhkan cahaya matahari dan CO₂ sebagai sumber nutrisi dari fotosintesisnya.

Polusi udara akibat kendaraan bermotor pada Jalan Terusan Ryacudu, Way Hui, Lampung Selatan merupakan tempat berlalu lalang kendaraan karena terletak di sebelah tol Kota Baru, serta jalan utama untuk civitas akademika atau pengunjung masuk ke Institut Teknologi Sumatera.

Dalam upaya mengurangi emisi karbon yang disebabkan kendaraan bermotor, penambahan pohon dan tanaman lainnya digunakan. Penggunaan mikroalga yang dapat mengkonversi cahaya menjadi biomassa dan mampu menyerap hingga 2.5 ton per tahun menjadi dapat menjadi potensi dalam menanggulangi emisi karbon ini. Berdasarkan latar belakang, didapatkan permasalahan penelitian.

1. Banyak estimasi karbon yang disebabkan oleh kendaraan bermotor pada jalan Terusan Ryacudu.
2. Efektifitas penggunaan fasad bioreaktor alga pada bangunan Institut Teknologi Sumatera dalam mengurangi jejak karbon yang disebabkan oleh kendaraan bermotor pada Jalan Terusan Ryacudu.
3. Biomassa lain yang dihasilkan oleh bioreaktor alga

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektifitas penggunaan fasad bioreaktor alga pada bangunan Institut Teknologi Sumatera dalam mengurangi emisi karbon yang disebabkan oleh kendaraan bermotor pada jalan Terusan Ryacudu.

2. Tinjauan Pustaka

Pembahasan tinjauan pustaka berkaitan dengan pemanfaatan green facade

untuk menangkap CO₂ dengan pemanfaatan green facade pada bangunan Gedung C dan D.

2.1. Pemanfaatan Tanaman pada Green Facade pada Bangunan

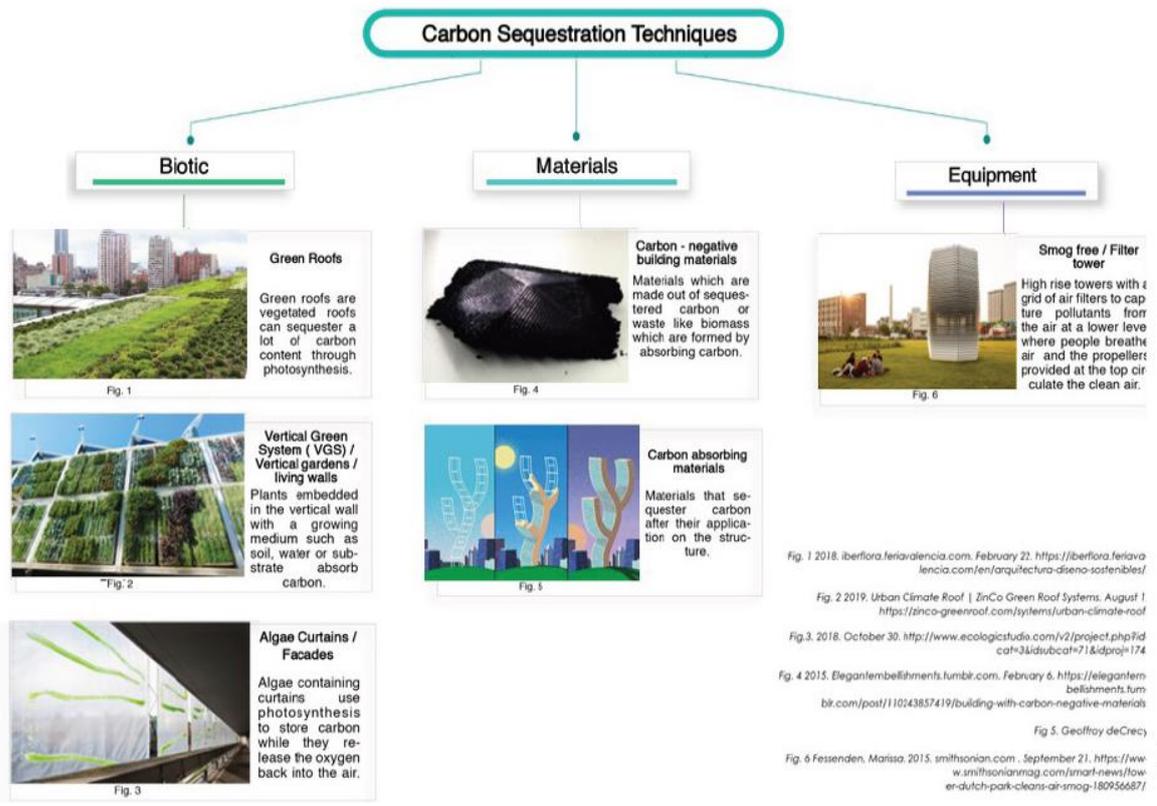
Baik dalam skala kecil maupun besar, pemanfaatan tanaman dapat sangat mempengaruhi polusi udara. Namun, tidak selalu mungkin untuk menanam pohon di daerah yang dihuni oleh banyak orang (Yang, 2008). Oleh karena itu, menggunakan warna hijau di fasad adalah salah satu metode yang paling umum dan populer untuk menyerap polusi udara di perkotaan. Ini karena warna hijau dapat meningkatkan polusi yang sudah ada atau sedang diproduksi oleh bangunan dan memenuhi ruang terbatas. Tambahan pula Sistem ini juga memiliki tujuan lain, yaitu menyerap polutan dari udara. Misalnya, bangunan dapat meningkatkan kinerja termal dengan isolasi (menurunkan biaya energi), kualitas udara, ekosistem perkotaan, air permukaan kota, produksi pangan, estetika lansekap kota, kesehatan masyarakat, dan kepuasan dan kenyamanan pengguna. Selain itu, itu dapat mengurangi polusi suara, pulau panas, dan gas rumah kaca (Rezazadeh et al, 2021).

2.2. Kebutuhan Penyerapan Karbon

Proses menangkap karbon dari atmosfer dan menyimpannya dengan aman dikenal sebagai penyerapan karbon (CS) (Sundquist dalam Chhabra dan Rakha, 2020). Ini sebagian besar dilakukan untuk mengurangi konsentrasi CO₂ yang berlebihan di udara yang disebabkan oleh industri, pembakaran bahan bakar fosil, dan mobil. Sebaliknya, konsentrasi CO₂ terperangkap di udara, yang pada gilirannya menyebabkan pemanasan global (Sundquist dalam Chhabra dan Rakha, 2020).

Selain itu, meskipun hutan, tanah, dan lautan telah menjadi faktor utama dan penyerap karbon tertua, ada beberapa bukti bahwa hal itu berdampak negatif. Meningkatnya emisi karbon oleh manusia menyebabkan pengasaman air dan perubahan kandungan tanah (Sundquist dalam Chhabra dan Rakha, 2020).

Laporan IPCC menyatakan bahwa kenaikan suhu lebih dari 1,5 derajat Celcius di atas normal harus dihentikan. tingkat industri, jika tidak, akan menyebabkan gelombang panas, kekeringan, dan banjir yang lebih buruk (Zhou, 2018) Untuk mencegah hal ini terjadi, struktur yang mencakup area yang luas di bumi mulai menggunakan teknik CS. Beberapa teknik yang disebutkan dalam tinjauan literatur ini, seperti Taman Vertikal dan Atap Hijau, telah digunakan di bangunan untuk waktu yang lama, tetapi untuk tujuan lain.



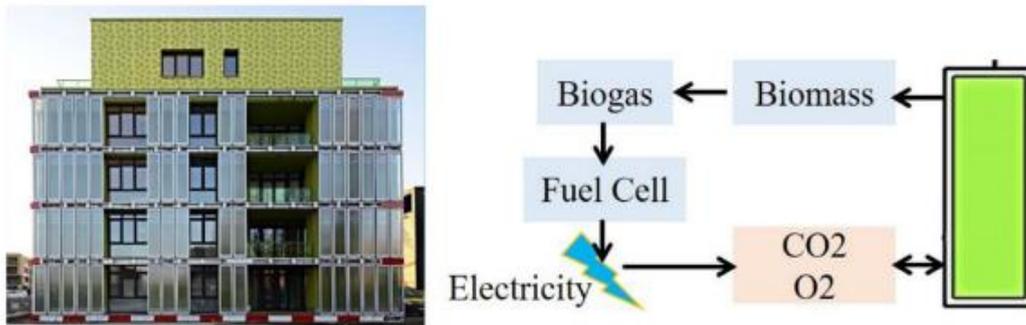
Gambar 1. Teknik Penyerapan Karbon

2.3. Alga

Alga yang tumbuh di air dan dapat berfotosintesis seperti tumbuhan pada umumnya, adalah salah satu organisme tumbuhan berklorofil yang terdiri dari satu atau banyak sel dan berbentuk koloni (Rizald dalam Oktopa dan Prihatmaji, 2015). Tumbuhan algae ini tidak hanya membentuk ekosistem air tetapi juga berfungsi sebagai sumber oksigen yang dilepaskan ke udara dan menjadi makanan bagi makhluk hidup di air seperti ikan dan lainnya. Sebagaimana tumbuhan lainnya, algae membutuhkan CO₂ dan sinar matahari untuk berfotosintesis dan memberi nutrisi. Alga minyak juga dapat digunakan sebagai biomassa untuk menghasilkan listrik. Biofuel yang berfotosintesis, alga lebih efisien daripada biofuel biasa seperti jagung, kedelai, dan bunga (Chang et al, 2017). Sektor bangunan telah dipertimbangkan untuk menerapkan sistem alga karena kemampuan untuk menghasilkan biomassa yang sangat besar dengan sedikit input dan menyerap CO₂ secara organik (Chang et al, 2017). Sistem alga dapat terbuka, tertutup, atau hibrida. Mereka juga dapat menggabungkan terbuka dan tertutup. Di antaranya, metode penyerapan karbon dioksida menggunakan tanaman adalah yang tercepat, termurah, paling berkelanjutan, dan paling efektif. Tumbuhan uniseluler, seperti mikroalga, lumut, dan lumut, bekerja lebih baik karena strukturnya yang sederhana dan luas permukaannya yang tinggi terhadap volumenya (Rezazadeh, 2019).

2.4. Pemanfaatan Sistem Alga Bioreaktor

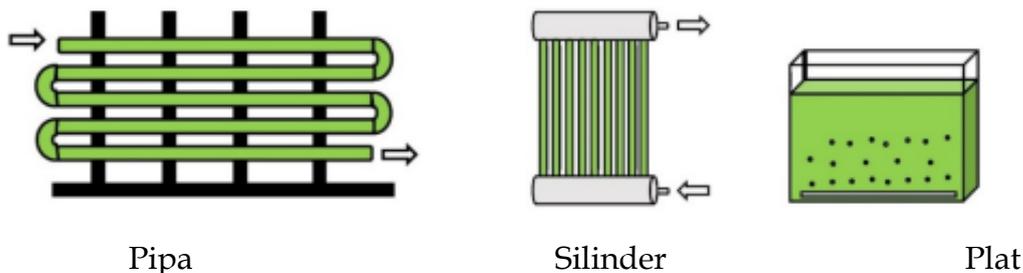
Dengan memantau parameter dengan cermat, bioreaktor tertutup dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroalga dan meningkatkan produktivitas. Terlepas dari manfaatnya, biaya pemasangan dan pengoperasian sistem ini merupakan hambatan besar untuk memanfaatkannya.



Gambar 2. Contoh Gedung BIQ Apartemen dengan Sistem Photobioreactor

Ini adalah standar penting bagi pelanggan dan sektor swasta yang menggunakan sistem ini [65]. Biaya yang diperlukan untuk membangun dan memasang sistem, mengoperasikan bioreaktor, dan memelihara media kultur mikroalga yang seragam secara permanen merupakan komponen dari biaya akhir. Biaya untuk membangun dan memasang bioreaktor lebih besar daripada biaya untuk tata surya atau bahkan bahan bakar konvensional, tetapi biaya yang terkait dengan bioreaktor telah berkurang.

Itu dapat diimbangi dengan mengurangi konsumsi energi, yang akan menghasilkan manfaat jangka panjang bagi bangunan dan lingkungan, menurut Schiller, 2014. Bahkan biayanya dapat dikompensasi dalam waktu sembilan hingga tiga belas tahun, tergantung pada jenis bioreaktor. Biaya fasad bioreaktor jauh lebih tinggi daripada tembok konvensional, tetapi jauh lebih murah daripada jenis fasad lainnya seperti fasad tunggal, baja tahan karat, tirai aluminium, batu, dan bahkan keramik. Akibatnya, biaya konstruksi dan teknis pengoperasian bioreaktor dapat dikurangi dengan kehadiran bangunan di dalamnya.



Gambar 3. Geometri Umum untuk konstruksi Bioreaktor

3. Metode

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *mixed-method* yaitu penelitian dengan menggunakan dua metode yaitu secara kualitatif dan kuantitatif dengan disajikan secara deskriptif.

3.1. Metode Pengumpulan Data

Pada penelitian ini penulis melakukan survei lapangan untuk mendapatkan data yang diinginkan. Karena perhitungan beban emisi pada penelitian ini memerlukan panjang jalan yang akan dilewati kendaraan, maka diperlukan penentuan zona yang akan dianalisis. Jalan yang digunakan merupakan zona yang berdekatan dan bersinggungan langsung dengan objek penelitian yaitu jalan terusan Ryacudu depan ITERA.

Kendaraan bermotor yang disurvei adalah jenis kendaraan mobil dan motor. Perhitungan jumlah dan jenis kendaraan dilakukan selama dua hari pada jam puncak pagi, siang, dan sore. Perhitungan ini dilakukan selama satu jam pada saat jam puncak masing-masing waktu. Perhitungan jumlah masing-masing kendaraan bermotor menggunakan aplikasi *traffic counter*.

Rekapitulasi jumlah kendaraan yang melewati ruas jalan yang sudah ditentukan yaitu saat jam puncak volume kendaraan yang melintas pada ruas jalan yang ditentukan. volume kendaraan yang diperoleh merupakan rata-rata volume maksimal saat jam puncak, sehingga beban emisi yang dihasilkan merupakan beban emisi maksimum pula.

3.2. Metode Analisis Data

Perhitungan beban emisi dilakukan dengan mengacu pada rumus yang ditentukan berdasarkan KemenLH tahun 2012 yaitu:

$$Q = Ni \times Fe \times Ki \times L$$

Keterangan:

Q = Jumlah emisi (g/jam)
tipe-i (kendaraan/jam)

Ni = Jumlah kendaraan bermotor

Fe = Faktor Emisi CO₂ (g/liter)
i (liter/100km)

Ki = Konsumsi energi spesifik tipe-i

L = Panjang jalan (km)

Nilai dari faktor emisi dengan tipe bahan bakar dan jenis kendaraan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Faktor emisi kendaraan bermotor berdasarkan tipe bahan bakar

No	Tipe Kendaraan	Bahan Bakar	Faktor Emisi CO ₂ (g/liter)
1	Motor	Bensin	2.597,86
2	Mobil Penumpang	Bensin	2.597,86

3	Truk	Diesel	2.924,90
4	Bus	Diesel	2.924,90

(Sumber: IPCC *dalam* Nurdjanah, 2014).

Sedangkan untuk konsumsi bahan bakar yang telah disesuaikan berdasarkan jenis kendaraannya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Konsumsi energi spesifik kendaraan bermotor

No	Tipe Kendaraan	Bahan Bakar	Konsumsi Energi Spesifik (liter/100km)
1	Motor	Bensin	02,66
2	Mobil Penumpang	Bensin	11,79
3	Truk	Diesel	15,15
4	Bus	Diesel	13,04

(Sumber: BPPT *dalam* Banurea dkk, 2013)

Total emisi karbon yang dihasilkan adalah jumlah dari seluruh emisi karbon yang dihasilkan semua jenis kendaraan. Untuk mendapatkan jumlah reduksi karbon yang dapat dikurangi oleh penggunaan panel alga dari emisi karbon kendaraan bermotor adalah dengan cara mengurangi jumlah total emisi karbon yang dihasilkan kendaraan bermotor dengan jumlah karbon yang dapat direduksi oleh panel alga. Sehingga sisa dari emisi karbon di kampus ITERA menggunakan panel alga adalah sebagai berikut:

$$\text{Sisa emisi} = \text{Emisi total} - \text{Daya serap total}$$

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Potensi Daya Serap Panel Alga Kampus ITERA

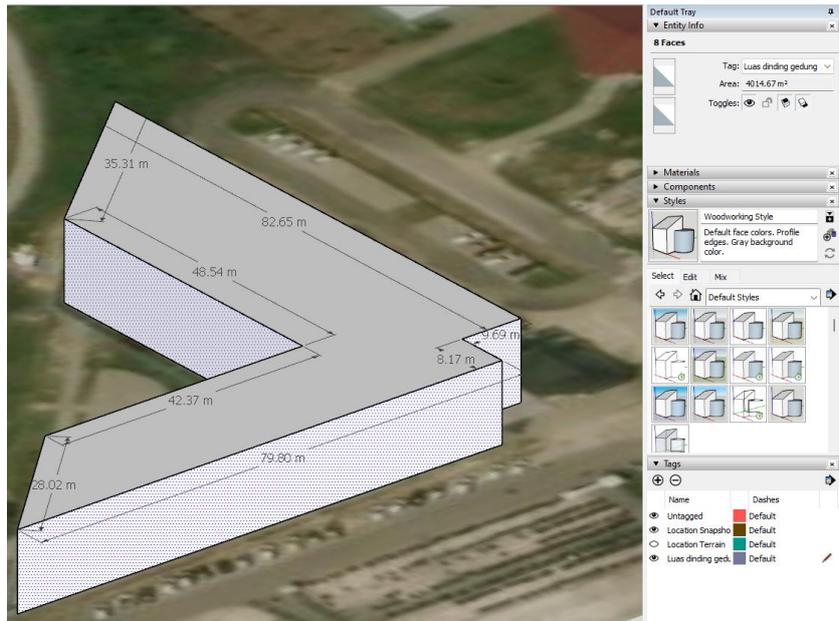




Gambar 6. Gedung C dan D ITERA

Alga dapat dimanfaatkan sebagai fasad bangunan yang digunakan sebagai panel alga yang bisa mereduksi CO₂ yang ada disekitarnya. *BIQ House+SolarLeaf - The use of microalga Hamburg, Germany* dalam penelitiannya menyatakan bahwa panel alga bisa mereduksi CO₂ dengan luas panel sebesar 200 m² dapat menyerap 2,5ton CO₂/tahun. Dari data tersebut 200 m² dapat menyerap 8,4 kg/hari, serta dalam sehari 1m² dapat menyerap CO₂ sebanyak 0,0042 kg/hari atau 4,2 g/hari (Oktopa & Prihatmaji, 2020).

Pengambilan sampel gedung dipilih menggunakan gedung C dan D, karena gedung tersebut merupakan gedung terdekat dengan jalan Terusan Ryacudu. Melalui aplikasi sketchup dan menggunakan fitur sketchup geolocation untuk melakukan *trace* pada gedung C, lalu diberikan ketinggian sebesar 12 m. sehingga luas dinding yang ditunjukkan pada aplikasi tersebut sebesar 4.014,67 m². Jika diasumsikan penggunaan fasad bioreaktor pada luas dinding bangunan sebesar 50%, maka luas dinding yang ditutupi oleh bioreaktor alga adalah 2.007,34 m².



Gambar 7. Luas Alga Gedung C dan D ITERA Dengan Geolocation Skechup

Jika luas fasad alga yang diterapkan pada gedung C dan D ITERA sebesar 2.007,34 m² dan panel alga yang dapat menyerap 0,0042 kg/hari, gedung C dan D ITERA dapat menyerap (2.007,34 m² x 0,0042 kg/hari) 84.31 kg CO₂/harinya atau 3,51 kg/jam.

4.2. Beban Emisi Karbon di Lingkungan Kampus ITERA

Ada beragam jenis kendaraan yang melewati jalan terusan Ryacudu mulai dari sepeda motor, mobil ringan, bus dan truk. Dengan banyaknya kendaraan yang lalulalang menyebabkan emisi karbon di daerah ini cukup besar yang disebabkan pembakaran kendaraan bermotor.

Setelah melakukan observasi di lapangan maka diperoleh puncak jam lalu lalang kendaraan bermotor. jam puncak yang dimaksud adalah volume kendaraan dengan jumlah tertinggi pada jam tertentu. terdapat tiga waktu tertinggi arus kendaraan yaitu pukul 07:00 - 08:00, 12:00 - 13:00, dan 17:00 - 18:00 WIB. perhitungan dilakukan pada tanggal 29 November 2022 dan 30 November 2022, dengan menggunakan alat penghitung traffic counter didapatkan jumlah data kendaraan yang melintas pada jalan terusan Ryacudu dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Jumlah dan rata-rata kendaraan yang melintas pada jalan terusan Ryacudu

waktu	jumlah berdasarkan jenis kendaraan			
	motor	mobil penumpang	truk	bus
29/11/2022,12:00-13:00	2331	720	101	13
29/11/2022,17:00-18:00	2919	1003	121	24
30/11/202,207:00-08:00	2911	849	85	12
total	8161	2571	307	49
rata-rata	2720	857	102	16

Waktu yang dipakai adalah waktu pada jam maksimum aktivitas keluar masuk kampus, sehingga jumlah kendaraan yang melintas adalah jumlah maksimum. sehingga jumlah karbon yang dihasilkan juga jumlah maksimum.

Panjang jalan yang dipakai adalah jalan terusan Ryacudu yang terletak di depan kampus ITERA sebagai akses keluar masuk kampus dan akses keluar masuk pintu Tol. Panjang keseluruhan jalan tersebut diukur menggunakan GPS. Dengan menggunakan alat tersebut maka didapatkan nilai total panjang yang akan dijadikan bahan penelitian yaitu sebesar 0,98 km.

Untuk menghitung beban emisi karbon maksimum dari kendaraan bermotor yaitu dengan menggunakan persamaan yang ditentukan menLH tahun 2012 oleh Lestari, D., Ergantara, R. I., & Nasoetion, P. (2021), maka nilai dari emisi karbon yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor yang melintas di jalan terusan Ryacudu depan kawasan ITERA dapat dilihat dari tabel 4. total emisi karbon yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor di jalan terusan Ryacudu paling banyak bersumber dari mobil penumpang berbahan bakar bensin yang menghasilkan CO₂ sebesar 25.723,87 kg/jam. kemudian motor dengan berbahan bakar bensin sebesar 18.420,11 kg/jam, mobil truk yang berbahan bakar diesel menghasilkan CO₂ sebanyak 4.429,45 kg/jam, serta kendaraan bus yang berbahan bakar diesel menghasilkan 59.171,1 kg/jam CO₂.

Tabel 4. Jumlah dan rata-rata kendaraan yang melintas pada jalan terusan Ryacudu

No	Tipe Kendaraan			
1	Motor	Bensin	18.420.115,94	1
2	Mobil Penumpang	Bensin	25.723.878,27	2
3	Truk	Diesel	4.429.451,01	3
4	Bus	Diesel	598.046,11	4
Total	49.171.491,33			Total
No	Tipe Kendaraan	Bahan Bakar	Jumlah Emisi CO ₂ (g/jam)	No

Dari perhitungan yang telah dilakukan dengan menggunakan data yang ada maka jumlah rata-rata emisi CO₂ yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor yang melintas pada jalan terusan Ryacudu adalah sebesar 49.171.491,33 g/jam.

4.3. Analisis Konsentrasi CO₂ yang Direduksi Panel Alga

Dari perhitungan yang telah dilakukan yaitu dengan menghitung luasan panel alga yang dapat diterapkan pada gedung C dan D maka didapatkan luas panel alga sebesar 2.007,34 m² Dengan luasan panel tersebut gedung C dan D ITERA dapat mereduksi emisi karbon sebanyak 3,51 kg/jam. Jumlah beban emisi yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor yang melintas di jalan terusan Ryacudu depan kampus ITERA melalui penelitian dan perhitungan tanpa memperhitungkan arah mata angin (tidak terdispersi), maka jumlah maksimum beban emisi CO₂ yang dihasilkan adalah sebanyak 49.171.491,33 g/jam atau sekitar 49.171,5 kg/jam.

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan maka bisa dicari selisih

emisi atau sisa emisi karbon yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor yang melintas di jalan terusan Ryacudu yang dapat direduksi dari panel alga yang diterapkan pada gedung C dan D ITERA dapat dihitung melalui rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Sisa emisi} &= \text{Emisi total} - \text{Daya serap total} \\ &= 49.171,5 \text{ kg/jam} - 3,51 \text{ kg/jam.} \\ &= 49.167,99 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa penerapan panel alga pada bangunan gedung C dan D masih kurang dalam mereduksi emisi CO₂ yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor.

5. Kesimpulan

Penerapan panel alga dapat dilakukan pada bangunan yang sudah berdiri, karena pada dasarnya panel ini hanyalah sebagai cangkang (fasad) pada bangunan. penerapan panel alga ini bisa digunakan untuk mereduksi emisi CO₂ yang dihasilkan oleh aktivitas manusia. Pada penelitian ini CO₂ yang dihitung adalah emisi karbon yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor. Keterbatasan penyerapan CO₂ oleh panel alga ini berpengaruh terhadap jumlah emisi yang mampu direduksi.

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Luas Panel Yang diperlukan} &= \text{Sisa Emisi} : \text{Luas Reduksi Karbon} \\ &= 49.167,99 \text{ kg/jam} : 3,51 \text{ kg/jam.} \\ &= 14.007,97 \text{ kg/jam} \\ &= 14.007,97 \times 2.007,34 \text{ (Luas Panel Alga/ m}^2\text{)} \\ &= 28.118.758,49 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, maka diperlukan sekitar 28.118.758,49 m² panel alga pada bagian gedung ITERA untuk mereduksi semua emisi CO₂ yang dihasilkan. Jadi, dengan kapasitas panel alga yang dapat diterapkan pada bangunan C dan D ITERA masih belum cukup untuk mereduksi semua beban emisi CO₂ yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor.

6. Daftar Pustaka

- Banurea, I., Rahmawaty, R., & Afifuddin, Y. (2013). Analisis Kemampuan Ruang Terbuka Hijau dalam Mereduksi Konsentrasi CO₂ dari Kontribusi Kendaraan Bermotor di Kampus USU Medan (Green Open Space Capability Analysis on Reducing Concentration of CO₂ from Motor Vehicles at Campus USU Medan). *Peronema Forestry Science Journal*, 2(2), 122-129.
- Barokah, M. (2017). Proses Fotosintesis Pada Tumbuhan. Retrieved December 20, 2022, from <https://www.mastah.org/proses-fotosintesis-pada-tumbuhan-artikel-komplit-download-pdf/>
- Changa, Soowon., Lacouturea, Daniel Castro., Duttb, Florina & Yang, Perry Pei-Ju. (2017). Framework for evaluating and optimizing algae façades using closed-loop simulation analysis integrated with BIM. World Engineers Summit – Applied Energy Symposium & Forum: Low Carbon Cities & Urban Energy Joint Conference.

- Chhabra, Jayati & Rakha, Tarek. (2020). Building-Integrated Carbon Sequestration Techniques: Towards Mitigating Climate Change. AIA/ACSA Intersections Research Conference: CARBON.
- Lestari, D., Ergantara, R. I., & Nasoetion, P. (2021). Pemetaan Konsentrasi Karbon Dioksida (CO₂) dari Kendaraan Bermotor di Kecamatan Kedaton Bandar Lampung Menggunakan Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Rekayasa, Teknologi, dan Sains*, 5(1), 20-24.
- Lumbessy, S. Y., Setyowati, D. N. A., Mukhlis, A., Lestari, D. P., & Azhar, F. (2020). Komposisi Nutrisi dan Kandungan Pigmen Fotosintesis Tiga Spesies Alga Merah (Rhodophyta sp.) Hasil Budidaya. *Journal of Marine Research*, 9(4), 431-438.
- Nurdjanah, N. (2014). Emisi CO₂ akibat kendaraan bermotor di Kota Denpasar. *Jurnal Penelitian Transportasi Darat*, 16(4), 189-202
- Oktopa, H. J., & Prihatmaji, Y. P. (2020). Re-Desain Shophouse Building dengan Pendekatan Sistem Alga untuk Mengurangi Urban Carbon Print di Geylang Singapura.
- Pemerintah Indonesia. (1999). Peraturan Pemerintah No. 41 tahun 1999 pasal 6 ayat 4 Tentang Kehutanan. 1999.
- Poerbo, H. W., Martokusumo, W., Koerniawan, M. D., Ardiani, N. A., & Krisanti, S. (2017, December). Alga façade as green building method: application of alga as a method to meet the green building regulation. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 99, No. 1, p. 012012). IOP Publishing.
- Rezazadeh, H. R. (2019). Feasibility Study of Building Wall Design to Reduce Air Pollution Using Microorganisms: Design of Office Building in Shiraz. Unpublished Master Thesis in Bionic Architecture Technology. Mazandaran University, Babolsar, Iran.
- Rezazadeh, Hamidreza., Salahshoor, Zahra., Ahmadi, Ferial & Nasrollahi, Farshad. (2021). Reduction of carbon dioxide by bio-façades for sustainable development of the environment. *Environ. Eng. Res.* 2022; 27(2): 200583.
- Soeprapto, H. (2015). Manfaat cahaya bagi alga khususnya Chlorophyta. *Pena Akuatika: Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 1(1).
- Talaei, M., Mahdavinejad, M., & Azari, R. (2020). Thermal and energy performance of alga bioreactive façades: A review. *Journal of Building Engineering*, 28, 101011.
- Yang J, Yu Q, Gong P. (2008). Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmos. Environ.* 2008;42(31):7266-7273.
- Zhou, Wenji. 2018. "IPCC 2018, Cap2." Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report
- Zulkarnaen, Wijaya Khairi. (2018). *Penggunaan Arang Aktif dari Tempurung Kemiri Sebagai Adsorben untuk Menurunkan Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Berbahan Bakar Bensin* (Doctoral dissertation, Universitas Mataram).