

Bioreaktor Bahan Isian Vegetasi Rumput-Rumputan Sebagai Alat Uji Penyerap Polutan CO₂

Taufan Ratri Harjanto¹, Saipul Bahri¹

¹Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Politeknik Negeri Cilacap, e-mail: taufantekim2010@gmail.com

ABSTRAK

Emisi antropogenik telah menghasilkan deposisi karbon dioksida (CO₂) yang terus mengalami peningkatan setiap tahun. Saat ini, gas CO₂ di biosfer berada dalam konsentrasi yang relatif tinggi jika dibandingkan dengan kondisi beberapa dekade sebelumnya. Kajian mengenai emisi karbon yang dihasilkan oleh industri merupakan kajian yang layak untuk dilakukan dengan berbagai pertimbangan, baik melalui peraturan pemerintah maupun kondisi aktivitas industri yang menyebabkan terjadinya peningkatan polutan karbon (CO₂) dari tahun ke tahun seiring dengan perkembangan industri di tanah air yang membutuhkan tindakan pengendalian yang dilakukan secara aktif dan dinamis. Usaha untuk mengurangi sumber pencemaran CO₂ dapat dilakukan dengan menghentikan kenaikan konsentrasi CO₂ yang berpengaruh secara langsung terhadap penurunan konsentrasi CO₂ di udara. Masalah yang difokuskan pada penelitian ini yakni identifikasi metode ramah lingkungan untuk mereduksi emisi CO₂. Metode tersebut dapat menjadi solusi alternatif untuk menyerap dan menyimpan cemaran emisi CO₂ dengan mengkonversinya menjadi senyawa lain. Penelitian ini bertujuan untuk membuat rancangan bioreaktor untuk pengendalian emisi CO₂ berbasis pada kemampuan tanaman dalam menyerap emisi CO₂. Penelitian ini dibagi menjadi tiga tahapan yakni tahapan persiapan atau identifikasi awal, tahapan desain dan perakitan bioreaktor, tahapan terakhir berupa interpretasi hasil dan simpulan. Desain bioreaktor memiliki dimensi 1m x 1,5m yang dilengkapi dengan sensor gas, suhu dan kelembaban. Keberhasilan bioreaktor diidentifikasi dengan laju penyerapan CO₂ oleh bahan isian (rumput teki (*Cyperus rotundus L.*), rumput paragis/rumput belulang (*Eleusine indica L.*) dan meniran (*Phyllanthus urinaria L.*)). Bahan isian bioreaktor yang efektif adalah rumput paragis dengan konstanta laju penyerapan CO₂ rata-rata (K_f) = 0,105704/jam, sedangkan rumput teki dan rumput meniran memiliki konstanta laju penyerapan CO₂ rata-rata (K_f) = 0,101281/jam dan 0,071340 /jam.

Kata kunci: Bioreaktor, Emisi, Fotosintesis, Karbon dioksida, Rumput meniran, Rumput paragis, Rumput teki

ABSTRACT

Anthropogenic emissions have resulted in carbon dioxide (CO₂) deposition which continues to increase every year. Currently, CO₂ gas in the biosphere is in a relatively high concentration when compared to conditions in previous decades. A study of carbon emissions produced by industry is a proper study to be carried out with various considerations, both through government regulations and industrial activity conditions which cause an increase in carbon pollutants (CO₂) from year to year in line with industrial developments in the country that require control measures. carried out actively and dynamically. Efforts to reduce sources of CO₂ pollution can be carried out by stopping the increase in CO₂ concentrations which directly affects the decrease in CO₂ concentrations in the air. The problem that is focused on in this research is the identification of green technology methods to reduce CO₂ emissions. This method can be an alternative solution to capture and store CO₂ emissions by converting them into other compounds. This study aims to design a bioreactor to control CO₂ emissions based on the ability of plants to absorb CO₂ emissions. This research was divided into three stages: the preparation or initial identification, the bioreactor design and assembly, and the final stage in the form of the interpretation of results and conclusions. The bioreactor design has dimensions of 1m x 1.5m with gas, temperature, and humidity sensors. The success of the bioreactor is identified by the capture rate of CO₂ by *Cyperus rotundus L.*, *Eleusine indica L.*, and *Phyllanthus urinaria L.* The effective filling material of the bioreactor is *Eleusine indica L.* with an average CO₂ capture rate constant (K_f) = 0.105704/hour, whilst *Cyperus rotundus L.* and *Phyllanthus urinaria L.* have an average CO₂ capture rate constant (K_f) = 0.101281/hour and 0.071340 / hour.

Keywords: Bioreactor, Carbon dioxide, *Cyperus Rotundus L.*, Emissions, *Eleusine Indica L.*, Photosynthesis, *Phyllanthus Urinaria L.*

Citation: Harjanto, T. R., dan Bahri, S., (2022). Bioreaktor Bahan Isian Vegetasi Rumput-Rumputan Sebagai Alat Uji Penyerap Polutan CO₂. Jurnal Ilmu Lingkungan, 21(3),693-703, doi:10.14710/jil.21.3.693-703

1. Pendahuluan

Emisi antropogenik telah menghasilkan deposisi karbon dioksida (CO₂) yang meningkat setiap tahun seiring dengan peningkatan aktivitas industri. Penyumbang emisi CO₂ terbesar di setiap negara diperkirakan berasal dari pembakaran batubara, pembakaran minyak bumi, pembakaran biomassa, peleburan logam, pengolahan dan pembakaran gas alam, pengolahan minyak bumi, pengolahan *pulp* dan kertas, pembakaran limbah pertanian dan industri lainnya (Smith, dkk., 2010).

Protokol Kyoto 1997 kemudian digantikan oleh *Paris Agreement* pada 12 Desember 2015 yang dihadiri oleh 195 negara anggota UNFCCC (UNFCCC, 2015), telah menetapkan sejumlah kebijakan bagi negara-negara peserta untuk mengendalikan dampak perubahan iklim, utamanya adalah pengurangan emisi CO₂ dengan meminimalkan penggunaan bahan bakar fosil dan meningkatkan penangkapan dan penyerapan karbon (Singh, dkk., 2019). Sebagai bentuk dukungan terhadap Protokol Kyoto, Indonesia telah melakukan perumusan terhadap kebijakan lingkungan termasuk diantaranya konsep mitigasi maupun adaptasi yang didasari oleh kesadaran bentuk daerah-daerah di Indonesia yang berupa kepulauan yang rentan terhadap dampak perubahan iklim, Indonesia juga berkomitmen bagi upaya pengendalian perubahan iklim global yang diwujudkan dalam bentuk peran sertanya dalam Persetujuan Paris atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa tentang Perubahan Iklim (*Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change*). Berdasarkan *Paris Agreement*, sebanyak 191 negara memberikan kontribusi aktif terhadap aksi perubahan iklim melalui penetapan target yang lebih ambisius dalam aksi perubahan iklim. Sebagai bentuk dukungan keikutsertaan terhadap program tersebut, melalui UU No. 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan "Persetujuan Paris Atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa tentang Perubahan Iklim", Indonesia telah meratifikasi *Paris Agreement* (Larasati, 2021), dengan mengurangi emisi CO₂ sebesar 29% dengan upaya sendiri dan menjadi 41% jika ada kerja sama internasional dari kondisi tanpa ada aksi (*business as usual*) pada tahun 2030 (UU No.16, 2016).

Emisi CO₂ yang terlepas ke lingkungan baik dalam kondisi operasional terkontrol maupun yang tidak terkontrol di industri dan juga sumber-sumber CO₂ yang ikut andil pada aktivitas industri misalnya dari gas buang bahan bakar kendaraan operasional ataupun kendaraan pengangkutan batubara menyebabkan perlunya dilakukan pengendalian terhadap dampak lingkungan yang disebabkan oleh emisi CO₂ tersebut (Nur, 2017).

Kajian mengenai emisi karbon yang dihasilkan oleh industri merupakan kajian yang layak untuk dilakukan dengan berbagai pertimbangan melalui peraturan pemerintah maupun kondisi aktivitas industri yang menyebabkan terjadinya peningkatan CO₂ setiap tahunnya seiring dengan perkembangan industri di tanah air sehingga perlu dilakukan

pengendalian secara aktif dan dinamis. Masalah yang difokuskan pada penelitian ini adalah dengan mengidentifikasi teknologi ramah lingkungan yang mampu untuk mereduksi emisi CO₂. Teknologi tersebut dapat dijadikan solusi alternatif untuk menyerap dan menyimpan cemaran emisi CO₂ dengan mengkonversinya menjadi senyawa lain.

Pada kondisi normal, karbon dioksida adalah salah satu gas yang ada di biosfer dengan konsentrasi yang dapat diabaikan karena jumlahnya yang relatif kecil yakni sekitar 0,03% - 0,04% dalam basis molar (Gayathri, dkk., 2020; kkp.go.id, 2022). CO₂ merupakan komponen penting bagi tumbuhan untuk mensintesis karbohidrat, protein, dan lipid melalui fotosintesis. CO₂ adalah komponen kunci dari siklus karbon, dan memainkan peran penting dalam dari ekosistem makhluk hidup. Pada tumbuhan CO₂ diserap masuk ke dalam sel dalam bentuk molekul karbon organik. Fotosintesis berperan penting dalam pembentukan biomassa pada tumbuhan dan hewan hal tersebut terjadi melalui rantai makanan, sehingga CO₂ terlibat langsung dalam deposit energi biosfer. Selama 1 abad terakhir ini, telah terjadi peningkatan suhu bumi secara tiba-tiba karena peningkatan kadar CO₂ di atmosfer. Pada tahun 1800, CO₂ yang terdapat di atmosfer tercatat kurang dari 250 ppm, namun pada tahun tahun 1900 CO₂ telah meningkat secara bertahap menjadi 280 ppm. Pada tahun 2005, CO₂ mengalami peningkatan pada angka 360 ppm dan di tahun 2019 kembali naik pada angka 419 ppm (Gayathri, dkk., 2020). Peningkatan kadar CO₂ di atmosfer ini adalah alasan utama untuk perubahan iklim tingkat global karena ketidakseimbangan atmosfer rasio oksigen dan karbon dioksida. Terganggunya siklus karbon, secara tidak langsung mempengaruhi siklus biogeokimia berbagai komponen yang akan mempengaruhi lapisan ozon dengan terganggunya pembentukan ozon pada siklus oksigen. (Tokgoz, 2010). Salah satu penyebab utama peningkatan emisi CO₂ ke atmosfer yakni berasal dari penggunaan bahan bakar fosil. Sekitar 80–82% dari gas rumah kaca (GRK) telah dilaporkan berasal dari CO₂ (Gayathri, dkk., 2020). Tahun 2022 menurut Badan Penerbangan dan Antariksa Amerika Serikat (NASA) konsentrasi CO₂ secara global mencapai rata-rata 419 ppm naik sekitar 6,2% dibandingkan pada tahun 2011 dan naik 50% jika dibandingkan tahun 1750, kenaikan CO₂ yang signifikan akan mengakibatkan naiknya potensi suhu global permukaan bumi, perubahan iklim, yang memicu terjadinya bencana alam sehingga berpengaruh terhadap aktivitas ekonomi secara tidak langsung.

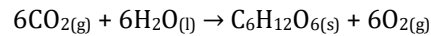
Salah satu usaha untuk mengurangi sumber antropogenik pencemaran CO₂ dapat dilakukan dengan jalan menghentikan kenaikan konsentrasi CO₂ lebih cepat seraya menurunkan konsentrasi CO₂ (Lenton, 2010). Penurunan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dapat dilakukan melalui aksi mitigasi yang meliputi kegiatan dan aksi pembangkitan energi, penggunaan bahan bakar non-fosil untuk aktivitas rumah tangga, penerangan dan transportasi. Berdasarkan jenis sumber emisi, aksi mitigasi sektor

energi berbasis masyarakat mencakup upaya-upaya menurunkan emisi secara langsung dan emisi tidak langsung hal ini tercantum dalam Peraturan Direktur Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim, No. P5 / PPI / SET / KUM I / 12 / 2017.

Memahami CO₂ secara kimia sangat penting untuk mengembangkan proses baru dan untuk memahami mekanisme molekuler yang diadopsi oleh sistem biologis. CO₂ mempunyai atom karbon elektrofilik dan atom oksigen nukleofilik, menjadikannya sebagai molekul bi-fungsional (Jajesniak, dkk., 2014). CO₂ yang tinggi memiliki efek positif dan juga negatif pada tanaman. Dengan pasokan nutrisi dan air yang tepat, laju fotosintesis dapat meningkat pada tanaman. Efek negatif dari peningkatan konsentrasi CO₂ pada tumbuhan meliputi perubahan laju transpirasi, stomata konduktansi, penurunan luas daun, pengurangan ukuran daun, penurunan kandungan nitrogen dan fosfor. Konsentrasi CO₂ yang tinggi dapat mempengaruhi perubahan musim berbunga dan aktivitas reproduksi tanaman, tetapi beberapa spesies menunjukkan penurunan waktu pembungaan, jumlah bunga, dan bibit. Beberapa tanaman menunjukkan efek positif seperti peningkatan jumlah bunga dan biji (Gayathri, dkk., 2020). Untuk mengurangi jumlah CO₂ sebagai gas rumah kaca dapat dikendalikan dengan meningkatkan jumlah serapan CO₂ oleh tumbuhan semaksimal mungkin sehingga berdampak pada penurunan emisi CO₂ ke udara. Dengan mengetahui jumlah karbon yang mampu diserap oleh tumbuhan pada suatu lokasi terkontrol dapat memberikan gambaran kuantitas CO₂ di udara yang telah diserap oleh tumbuhan (Hariana, dkk., 2020). Dalam Perjanjian Paris (*Paris Agreement*), telah ditetapkan bahwa kenaikan suhu global harus dibatasi hingga di bawah 2 °C (UNFCCC, 2015). Menurut *Intergovernmental Panel* Perubahan Iklim, untuk mencapai target 1,5 °C emisi CO₂ global harus di bawah 9 Gt CO₂/tahun pada tahun 2060 dan nol bersih emisi CO₂ pada tahun 2100 (Manson, dkk., 2018; International Energy Agency, 2017). Penyerapan CO₂ yang ramah lingkungan dapat dicapai melalui pemanfaatan yang tepat dari makhluk hidup ini termasuk tumbuhan. Secara umum makhluk hidup misalnya tanaman memiliki mekanisme yang berbeda dalam konversi dan kemampuan menghasilkan biomassa/bioenergi (MacDowell, dkk., 2010). CO₂ yang terserap oleh tumbuhan tergantung pada jumlah total luas penampang daun, semakin banyak dan luas penampang daun semakin baik serapan terhadap CO₂ (Lailati, 2013).

Reduksi gas CO₂ di udara dilakukan dengan metode *carbon capture*. Teknologi penangkapan dan penyimpanan karbon secara umum dibagi dalam dua metode yaitu: *Artificial method* dan *Natural method*. Pada *artificial method* menggunakan cara non biologis atau menggabungkan non biologis dan biologis. *Natural method* merupakan cara untuk menyerap karbon dengan melibatkan tanaman (Gayathri, dkk., 2020). Penggabungan cara dalam teknologi

penangkapan dan penyimpanan karbon dapat dilakukan antara *artificial* dan *natural method* yaitu salah satunya dengan reaktor bahan isian tanaman (bioreaktor). Untuk merancang bioreaktor, diperlukan pengetahuan tentang kinetika reaksi. (Najafpour, 2007). Laju reaksi pada proses fotosintesis berdasarkan reaksi:



dengan:

g = dalam bentuk gas

l = dalam bentuk cair

s = dalam bentuk padat

dapat menggunakan orde reaksi satu. Laju reaksi fotosintesis dapat didefinisikan sebagai perubahan konsentrasi CO₂ per satuan waktu (Purba, 2012). Laju reaksi fotosintesis orde satu dinyatakan dalam bentuk persamaan:

$$\frac{dC_{\text{CO}_2}}{dt} = -K_f(C_{0\text{CO}_2} - C_{\text{CO}_2})$$

dengan:

$C_{0\text{CO}_2}$ = Konsentrasi CO₂ mula
- mula (ppm)

C_{CO_2} = Konsentrasi CO₂ yang terserap
tanaman (ppm)

$C_{0\text{CO}_2} - C_{\text{CO}_2}$ = Konsentrasi CO₂ belum terserap
tanaman (ppm)

K_f = Konstanta laju reaksi (jam⁻¹)

Rumus tersebut diadaptasi dari (Churchill, 1974).

Berdasarkan permasalahan dan fakta potensi krisis peningkatan gas CO₂ yang akan berakibat perubahan iklim global, metode dan teknik untuk mereduksi CO₂ sangat penting untuk segera dilakukan. Tujuan pada penelitian ini adalah untuk membuat rancangan bioreaktor untuk pengendalian emisi CO₂ berbasis pada kemampuan tanaman dalam menyerap emisi CO₂. Manfaat yang bisa diharapkan pada penelitian ini yakni memberikan kontribusi dalam menurunkan CO₂ berbasis *biological carbon capture* untuk kesejahteraan ekosistem secara umum.

2. Metodologi

Penelitian ini dibagi menjadi tiga tahapan yakni tahapan pertama berupa persiapan atau identifikasi awal, tahapan kedua yakni desain dan perakitan bioreaktor, tahapan terakhir berupa interpretasi hasil dan simpulan. Ketiga tahapan ini dilakukan pada kurun waktu satu semester.

Pada tahap persiapan awal, dilakukan dengan identifikasi tanaman jenis rumput-rumputan yang diprediksi mampu secara efektif menyerap CO₂ berdasarkan citasi studi yang dirujuk. Pada tahap ini juga dilakukan penyiapan tanaman jenis rumput-rumputan sebagai bahan isian bioreaktor yaitu rumput teki (*Cyperus rotundus L.*), rumput

paragis/rumput belulang (*Eleusine indica L.*) dan meniran (*Phyllanthus urinaria L.*).

Pada tahap proses desain / membuat bioreaktor, pendekatan yang dilakukan adalah sesuai dengan konsep *biological carbon capture* yaitu menghilangkan bahan pencemar CO₂ dengan memanfaatkan vegetasi rumput-rumputan. Adapun untuk kemampuan vegetasi dalam menyerap emisi CO₂ akan digunakan metode simulasi dengan menggunakan *control chamber* melalui semburan polutan dengan pencatatan pada berkurangnya konsentrasi CO₂ dengan menambahkan alat sensor pada bioreaktor sehingga faktor cuaca dan kondisi lingkungan seperti faktor pencahayaan matahari, suhu dan kelembaban dan kondisi lainnya yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman dapat dikondisikan dengan baik.

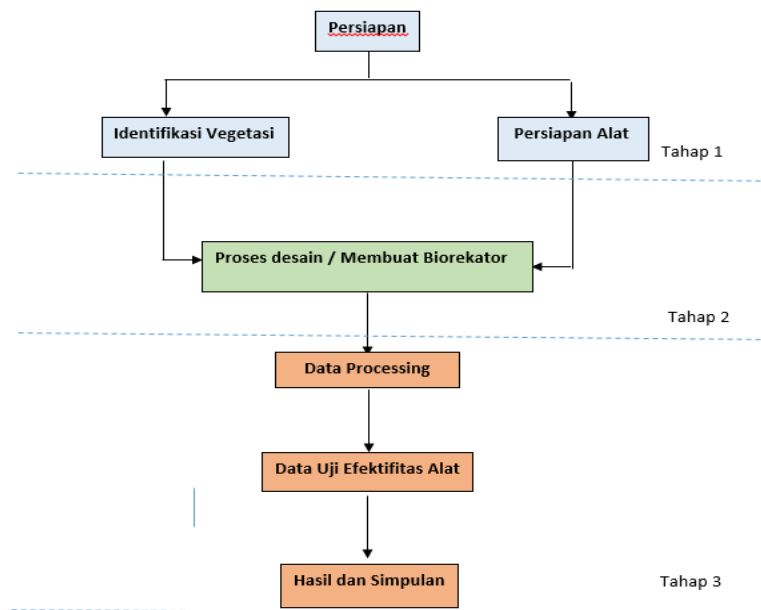
Tahapan *data processing* dilakukan dengan analisis kecepatan serapan emisi CO₂ dari jenis tanaman rumput-rumputan. Data uji diambil untuk menentukan berapa kecepatan gas CO₂ yang mampu direduksi oleh tanaman. Efektifitas alat ditentukan berdasarkan hasil dari kemampuan alat dalam mereduksi CO₂. Sejumlah gas CO₂ dimasukkan dalam bioreaktor hingga 2000 ppm, pencatatan dilakukan hingga CO₂ tereduksi hingga 417 - 440 ppm. Skenario perlakuan dilakukan pada tanaman rumput teki, rumput paragis dan meniran dengan bahan isian sebanyak 100 batang rumput sejenis. Hasil uji untuk mendapatkan data yang akan diolah secara kualitatif maupun kuantitatif. Uji alat dilakukan pada bahan isian berupa visualisasi atau respon yang tampak pada tanaman berupa kemampuan dalam mereduksi CO₂.

Pada tahap interpretasi hasil dan simpulan dilakukan untuk menjelaskan berbagai faktor terkait dengan efektifitas alat dalam melakukan reduksi CO₂. Adapun tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

3. Hasil dan Pembahasan

Tahapan pemetaan jenis tanaman rumput-rumputan untuk menganalisis efektifitasnya dalam mereduksi CO₂. Tanaman tersebut adalah rumput teki, rumput paragis, dan meniran. Tahapan ini melibatkan data primer dan sekunder serta metode simulasi menggunakan metode *control chamber* berdasarkan kontrol terhadap suhu, pencahayaan, dan kondisi lain yang mempengaruhi kecepatan fotosintesis.

Pemilihan jenis rumput-rumputan berdasar pada potensi sebagai *carbon capture* dan potensi ekonomis, misalnya memiliki senyawa-senyawa yang bermanfaat bagi manusia antara lain lipid, alkaloid, flavonoid, lignin, steroid, triterpenoid, protein, glikoprotein, serta karbohidrat. Rumput teki (*Cyperus rotundus L.*), rumput paragis atau rumput belulang (*Eleusine indica L.*) dan meniran (*Phyllanthus urinaria L.*) selama ini dipandang sebagai rumput gulma pengganggu tanaman lain yang menghambat kesuburan tanaman lain tetapi ternyata mempunyai potensi sebagai tanaman obat keluarga. Penelitian ini memanfaatkan rumput-rumputan untuk mengkonversi CO₂ menjadi O₂ melalui proses fotosintesis terkontrol (Susianti, 2015; Sreenivasulu, 2015; Kartika, 2017).



Gambar 1 Alur Metode Penelitian Bioreaktor

Fotosintesis adalah proses alami oleh tumbuhan mengubah karbon anorganik CO₂ menjadi karbon organik gula, dengan bantuan energi matahari. Dengan cara ini karbon dialokasikan ke berbagai bagian tanaman seperti biji, batang, akar dan berbagai organ lainnya. Penyerapan CO₂ oleh tanaman merupakan teknik yang aman dan permanen dalam hal teknologi penangkapan gas CO₂, sehingga proses fiksasi CO₂ meningkatkan penyerapan karbon di atmosfer global. Merupakan suatu tantangan untuk mengidentifikasi laju fotosintesis baik menggunakan pendekatan alami atau rekayasa (Nogia, 2016). Bagian tumbuhan yang berperan dalam proses fotosintesis adalah stomata, rumput-rumputan memiliki pembukaan stomata yang lebih kecil dibandingkan dengan tanaman besar lainnya, sehingga rumput-rumputan merupakan tanaman yang tahan terhadap cuaca kering (Setiawati, dkk., 2019).

Rumput teki memiliki potensi ekonomi yang potensial, hal ini disebabkan oleh kandungan rumput teki mengandung senyawa antioksidan, flavanoid, terpenoid, alkanoid dan saponin (Susianti, 2015), selain itu kandungan klorofilnya dapat digunakan sebagai pewarna alami makanan (Suhaila, dkk., 2015). Rumput paragus mengandung protein, lemak, tannin, saponin dan polifenol (Kartika, 2017), bahkan di dunia farmasi tanaman ini berpotensi sebagai obat sakit kepala, sakit perut, demam tifoid, diare, infeksi usus, dan sulit buang air besar (Ervina, 2019). Rumput meniran dikenal dengan kandungan kimia yang berkhasiat diantaranya: alkaloid, steroid, flavonoid, fenolik, tannin, minyak atsiri dan antrakuinon (Aerias, 2005).

Desain bioreaktor, dirancang untuk mengkonversi CO₂ menjadi O₂ dengan sistem tertutup. Bioreaktor diisi dengan 100 batang rumput sejenis yang sebelumnya sudah dibiakan terlebih dahulu. Sejumlah gas CO₂ dimasukkan dalam bioreaktor hingga konsentrasi tertentu, lampu UV, fan akan menyala secara otomatis jika indikator gas dioperasikan. Setelah gas CO₂ masuk dalam bioreaktor dengan kadar yang diinginkan maka gas dalam sistem tidak terjadi perpindahan massa keluar (tertutup), kemudian data dicatat sampai didapatkan konsentrasi CO₂ yang konstan mendekati kadar CO₂ di udara bebas. Berikut adalah desain bioreaktor:

1. Tampak Atas



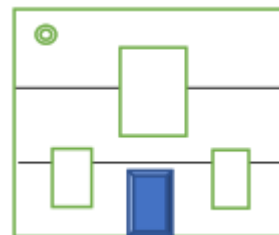
Gambar 2 Desain Bioreaktor Tampak Atas

2. Tampak Samping



Gambar 3 Desain Bioreaktor Tampak Samping

3. Tampak Depan



Gambar 4 Desain Bioreaktor Tampak Depan

Dimensi Alat

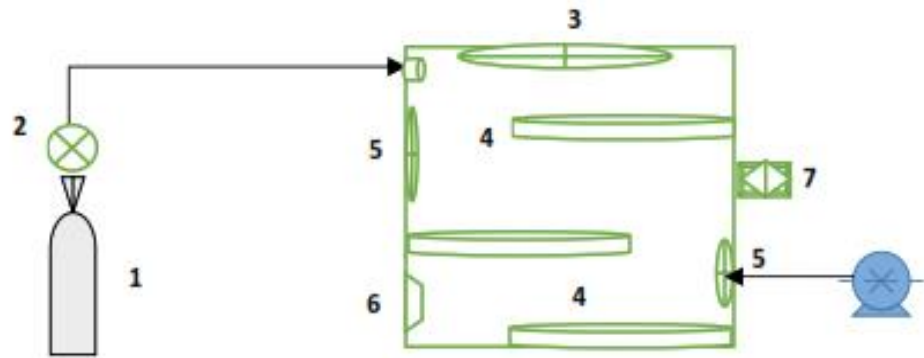
Dimensi alat ditentukan berdasarkan kapasitas polutan CO₂, jumlah, sifat dan karakteristik tanaman serta faktor ergonomis. Berikut adalah dimensi bioreaktor bahan isian rumput-rumputan:

Panjang	: 1 meter
Tinggi	: 1,5 meter
Jarak ketinggian rak media tanaman	: 0,4 meter
Lampu UV	: 50 W
Fan/Blower	: 50 W
Jumlah <i>hole</i> media tanaman	: 100
Indikator	: CO ₂ , O ₂ , Kelembaban dan Suhu
Dimensi Pintu 1	: panjang 60 cm; lebar 50 cm
Dimensi Pintu 2	: panjang 20 cm; lebar 25 cm

Gas CO₂ yang dimasukkan kedalam bioreaktor sebesar 2000 ppm, merupakan kadar CO₂ dengan level tingkat buruk sedang yang menyebabkan kantuk, udara stagnan, pengap, dan sakit kepala. Sedangkan ambang batas maksimal bagi manusia sampai dengan terpapar 8 jam adalah 5000 ppm (Sutoyo, 2011). Kadar CO₂ yang tinggi akan menyebabkan tanaman mengalami stress dengan mengecilnya stomata tetapi hal ini menguntungkan bagi tanaman karena stomata akan mengecil/tidak membutuhkan pembukaan stomata maksimal sehingga penggunaan air akan dihemat (Kusumaputri, 1998). Bahan isian rumput teki digunakan untuk menyerap CO₂ yang masuk dalam bioreaktor. Suhu bioreaktor dipertahankan pada kisaran 30 °C sampai dengan 37 °C, dimaksudkan agar meningkatnya tumbukan antara molekul CO₂ dan H₂O dan kelembaban pada 70% - 78%. (Purba, 2012). Hasil dari penyerapan tersebut disajikan dalam tabel dan gambar berikut ini.

Hasil yang didapat pada Tabel 1., 2. dan Gambar 3., 4. pada bahan isian rumput teki dan rumput paragis diketahui bahwa penurunan konsentrasi CO₂ terjadi pada jam 06.30 WIB sampai dengan 11.30 WIB. Fotosintesis dapat berjalan dengan baik jika panjang gelombang 390 nm – 760 nm, panjang gelombang ini terjadi pada jam 06.30 – 10.00 (Fauziah, dkk., 2019; Ahabuddin, dkk., 2014). Setelah jam 15.00 WIB sampai dengan jam 22.00 WIB, konsentrasi gas CO₂ kembali naik hal ini disebabkan oleh adanya aktivitas

respirasi sel dengan merombak glukosa untuk menghasilkan ATP (*adenosine triphosphate*) dengan melepaskan gas CO₂. Meskipun mengalami kenaikan tetapi konsentrasi CO₂ sudah berkurang karena proses fotosintesis yang terjadi. Penelitian reduksi CO₂ melalui proses fotosintesis ini sudah dilakukan seperti pada penelitian oleh: Lara (2007), Sundquist (2008) MacDowell (2010), Ghannoum (2011), Mansur (2014), Nogia (2016), Mistry (2019).



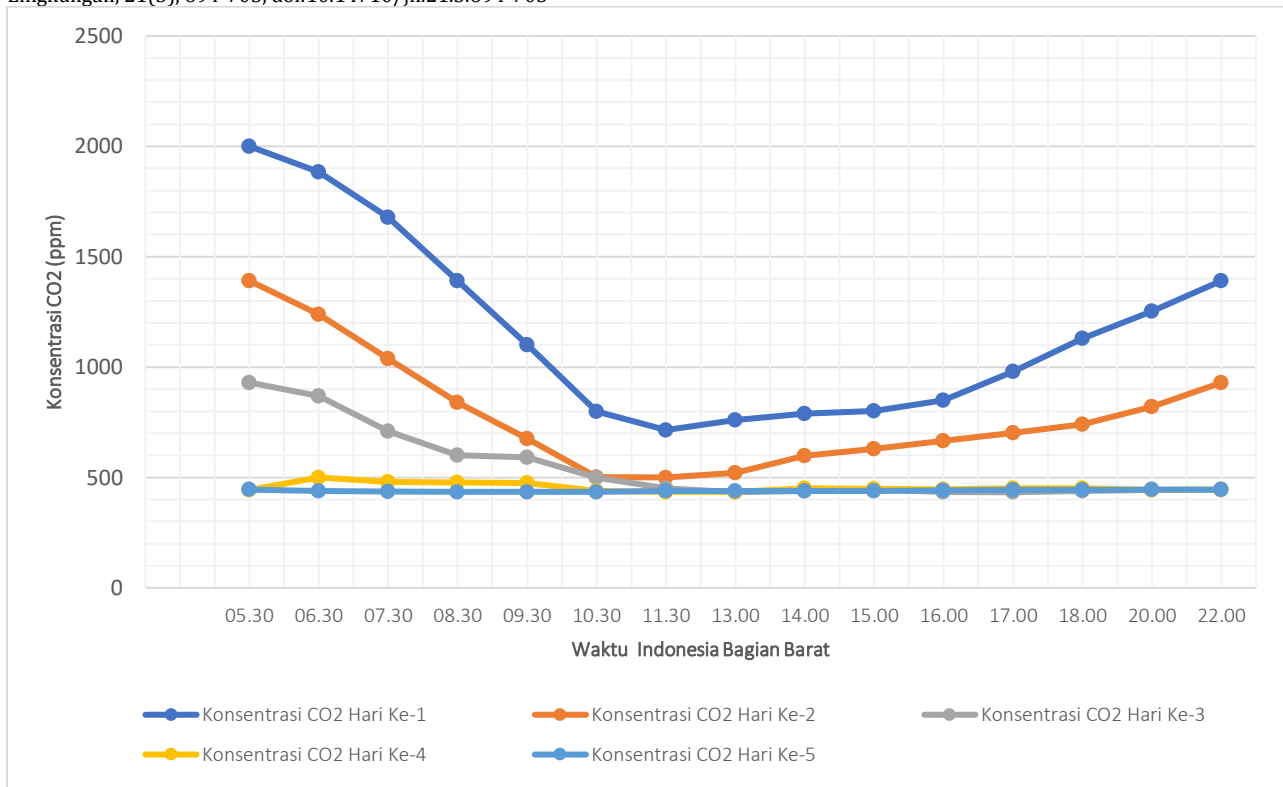
Keterangan Gambar:

- 1. Tabung CO₂
- 2. Regulator CO₂
- 3. Lampu UV
- 4. Media tumbuh bahan isian berupa rumput
- 5. Spray
- 6. Fan/Blower
- 7. Indikator gas, kelembaban dan suhu

Gambar 5 Skema Gambar Rangkaian Alat Bioreaktor

Tabel 1. Konsentrasi CO₂ dan O₂ pada Bioreaktor dengan Bahan Isian Rumput Teki pada Berbagai Variasi Waktu

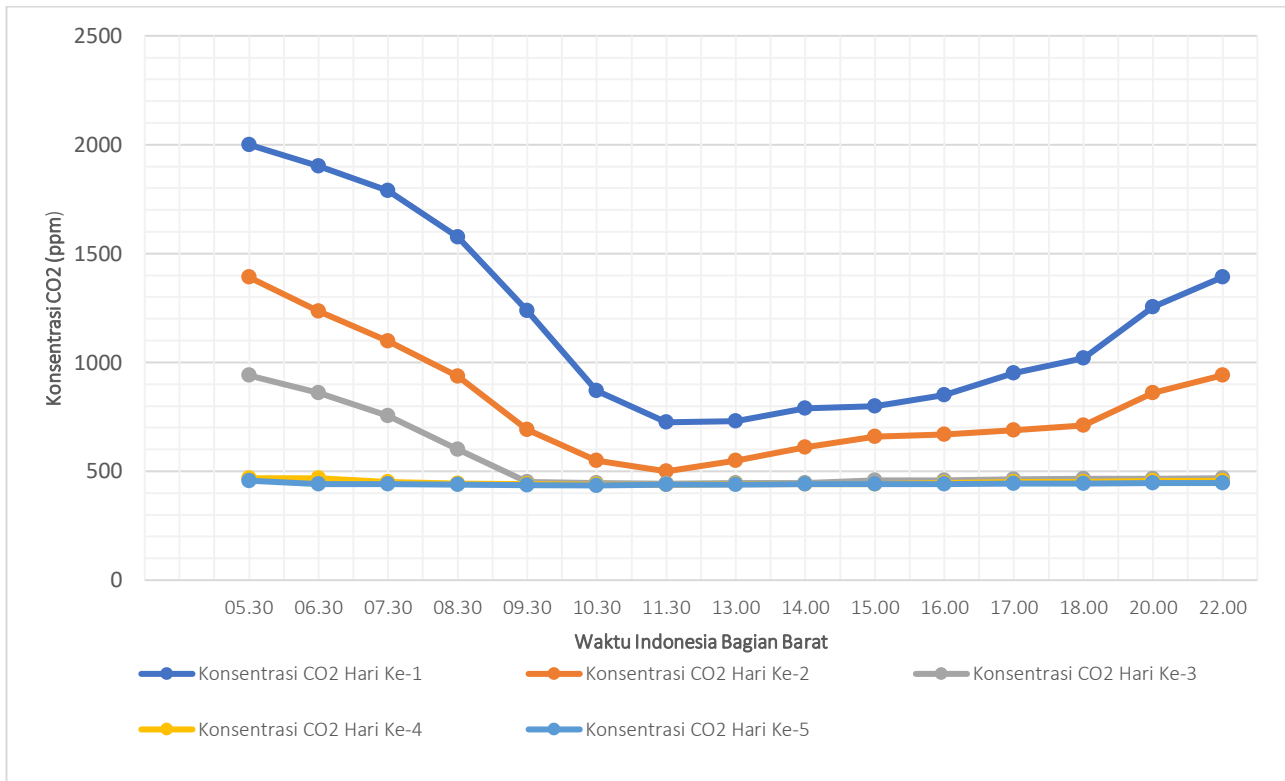
Waktu (WIB)	Konsentrasi Gas Hari ke-1 (ppm)		Konsentrasi Gas Hari ke-2 (ppm)		Konsentrasi Gas Hari ke-3 (ppm)		Konsentrasi Gas Hari ke-4 (ppm)		Konsentrasi Gas Hari ke-5 (ppm)	
	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂
05.30	2000	20,9	1391	20,9	930	20,9	444	21,4	445	21,2
06.30	1885	20,9	1239	20,9	870	20,9	500	21,1	440	21,1
07.30	1678	21,2	1037	20,9	710	20,9	480	21,1	436	20,9
08.30	1390	21,2	841	21,3	600	21,2	478	21,0	435	20,9
09.30	1100	21,3	675	21,3	590	21,3	475	21,0	435	20,9
10.30	800	21,4	501	21,4	500	21,3	440	21,5	435	20,9
11.30	715	21,4	500	21,4	452	21,3	435	21,5	438	20,9
13.00	760	21,4	520	21,3	433	21,5	435	21,5	438	20,9
14.00	789	21,2	599	21,3	440	21,5	452	21,3	438	20,9
15.00	802	21,0	630	21,2	445	21,5	448	21,2	440	20,9
16.00	850	21,0	667	21,2	435	21,5	446	21,2	441	21,0
17.00	980	20,9	702	21,2	433	21,5	450	21,1	444	21,1
18.00	1130	20,9	740	21,2	438	21,4	452	21,1	444	21,1
20.00	1254	20,9	820	21,2	443	21,5	443	21,2	445	21,0
22.00	1391	20,9	930	21,2	444	21,4	445	21,2	445	21,1



Gambar 6 Grafik Hubungan Konsentrasi CO₂ dengan Waktu pada Bioreaktor Bahan Isian Rumput Teki

Tabel 2. Konsentrasi CO₂ dan O₂ pada Bioreaktor dengan Bahan Isian Rumput Paragis pada Berbagai Variasi Waktu

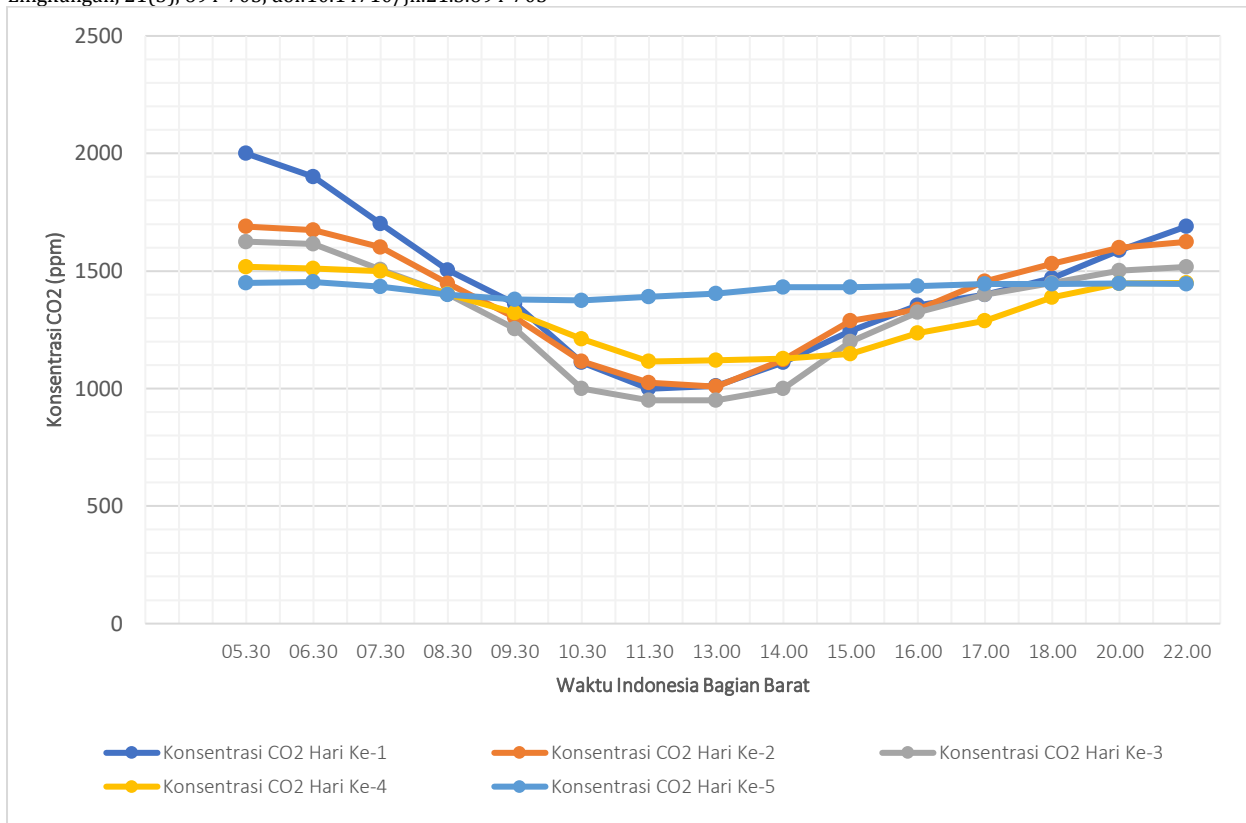
Waktu (WIB)	Konsentrasi Gas Hari ke-1 (ppm)		Konsentrasi Gas Hari ke-2 (ppm)		Konsentrasi Gas Hari ke-3 (ppm)		Konsentrasi Gas Hari ke-4 (ppm)		Konsentrasi Gas Hari ke-5 (ppm)	
	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂
05.30	2000	20,9	1391	20,9	940	20,9	468	21,3	457	21,2
06.30	1902	20,9	1235	20,9	860	20,9	468	21,3	440	21,1
07.30	1789	21,2	1097	20,9	756	20,9	450	21,2	440	20,9
08.30	1575	21,2	935	21,3	600	21,2	444	21,5	438	20,9
09.30	1237	21,3	690	21,3	450	21,3	440	21,5	436	20,9
10.30	870	21,4	550	21,4	445	21,3	438	21,5	435	20,9
11.30	725	21,4	500	21,4	443	21,3	438	21,5	438	20,9
13.00	730	21,4	550	21,3	445	21,5	441	21,5	439	20,9
14.00	789	21,2	610	21,3	447	21,5	441	21,3	440	20,9
15.00	798	21,0	660	21,2	459	21,4	441	21,2	440	20,9
16.00	850	21,0	670	21,2	459	21,3	446	21,2	441	21,0
17.00	950	20,9	689	21,2	463	21,2	450	21,1	444	21,1
18.00	1019	20,9	710	21,2	465	21,3	452	21,1	444	21,1
20.00	1254	20,9	860	21,2	465	21,3	455	21,2	445	21,0
22.00	1391	20,9	940	21,2	468	21,3	457	21,2	445	21,1



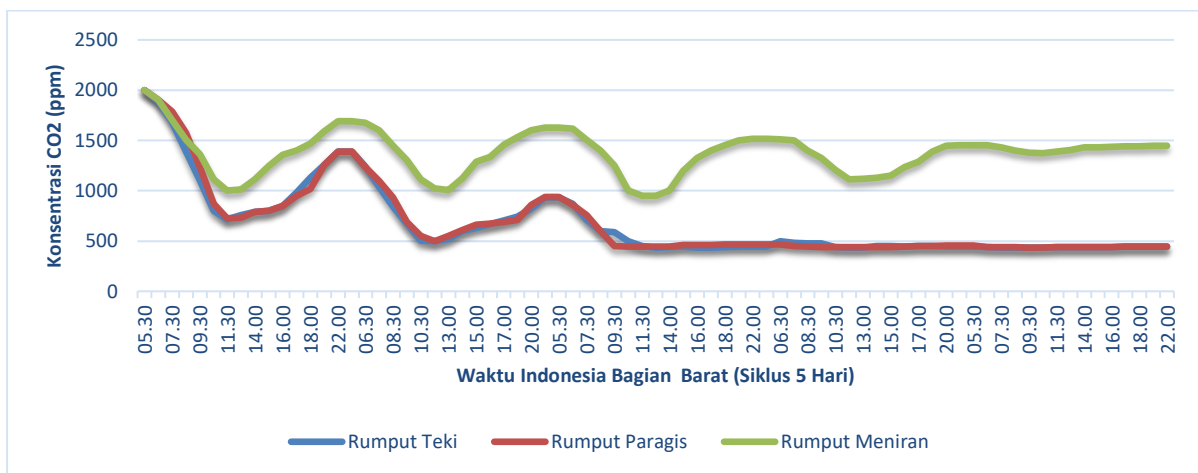
Gambar 7 Grafik Hubungan Konsentrasi CO₂ dengan Waktu pada Bioreaktor Bahan Isian Rumput Paragis

Tabel 3. Konsentrasi CO₂ dan O₂ pada Bioreaktor dengan Bahan Isian Rumput Meniran pada Berbagai Variasi Waktu

Waktu (WIB)	Konsentrasi Gas Hari ke-1 (ppm)		Konsentrasi Gas Hari ke-2 (ppm)		Konsentrasi Gas Hari ke-3 (ppm)		Konsentrasi Gas Hari ke-4 (ppm)		Konsentrasi Gas Hari ke-5 (ppm)	
	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂
05.30	2000	20,9	1689	20,9	1625	20,9	1518	20,9	1450	20,9
06.30	1902	20,9	1675	20,9	1615	20,9	1510	20,9	1453	20,9
07.30	1701	20,9	1602	20,9	1505	20,9	1500	20,9	1433	20,9
08.30	1503	20,9	1448	20,9	1401	20,9	1402	20,9	1400	20,9
09.30	1360	20,9	1302	20,9	1253	20,9	1323	20,9	1380	20,9
10.30	1112	20,9	1115	20,9	1000	20,9	1211	20,9	1375	20,9
11.30	999	20,9	1025	20,9	950	20,9	1115	20,9	1390	20,9
13.00	1012	20,9	1008	20,9	950	20,9	1120	20,9	1403	20,9
14.00	1112	20,9	1123	20,9	999	20,9	1128	20,9	1430	20,9
15.00	1245	20,9	1289	20,9	1199	20,9	1148	20,9	1431	20,9
16.00	1355	20,9	1335	20,9	1325	20,9	1236	20,9	1435	20,9
17.00	1399	20,9	1456	20,9	1399	20,9	1288	20,9	1444	20,9
18.00	1469	20,9	1530	20,9	1450	20,9	1387	20,9	1444	20,9
20.00	1588	20,9	1600	20,9	1501	20,9	1448	20,9	1446	20,9
22.00	1689	20,9	1625	20,9	1518	20,9	1450	20,9	1445	20,9



Gambar 8 Grafik Hubungan Konsentrasi CO₂ dengan Waktu pada Bioreaktor Bahan Isian Rumput Meniran



Gambar 9 Grafik Komparasi Bahan Isian Rumput-Rumputan pada Bioreaktor dalam Serapan Konsentrasi CO₂ dengan Berbagai Variasi Waktu

Tabel 4. Nilai K_f pada Variasi Bahan Isian Bioreaktor

Jenis Bahan Isian	Harga K_f , jam ⁻¹					Harga K_f Rata-Rata, jam ⁻¹
	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	
Rumput Teki	0,186511	0,189635	0,115404	0,013178	0,001674	0,101281
Rumput Paragis	0,177768	0,183963	0,146194	0,012633	0,007961	0,105704
Rumput Meniran	0,120702	0,086455	0,092247	0,053304	0,003993	0,071340

Pada Tabel 3 dan Gambar 5 terlihat bahwa tanaman rumput meniran tidak tahan terhadap konsentrasi CO₂ yang tinggi (2000 ppm). Pada bioreaktor ditandai dengan rontoknya daun meniran dan pada hari ke-5

terlihat layu dan mengering. Kerusakan sel pada tanaman rumput meniran dikarenakan pada konsentrasi karbondioksida (CO₂) yang tinggi yang mengakibatkan menutupnya stomata sehingga

menurunkan aktifitas respirasi (Ahabuddin, dkk., 2014). Hal tersebut juga dipengaruhi oleh rasio klorofil a/b pada daun sehingga akan memperlambat laju reaksi penyerapan CO₂. (Yustiningsih, 2019). Tingginya konsentrasi CO₂ selain menyebabkan perubahan laju transpirasi, stomata konduktansi, mempengaruhi penurunan luas daun, pengurangan ukuran daun, penurunan kandungan nitrogen dan fosfor (Gayathri, dkk., 2020), juga akan meningkatkan biosintesis etilen yang mempercepat pemasakan dan penuaan sel (Kusumaputri, 1998) sehingga menyebabkan rumput meniran mengalami kerontokan pada daun.

Berdasarkan Gambar 6 dapat diketahui laju reaksi fotosintesis dari persamaan:

$\frac{dC_{CO_2}}{dt} = -K_f(C_{CO_2} - C_{CO_2})$, yang ditunjukkan dalam Tabel 4.

Tabel 4 menunjukkan bahwa hari ke-1,2 dan ke-3, laju reaksi relatif lebih cepat jika dibandingkan dengan hari berikutnya yakni hari ke-4 dan hari ke-5, hal ini disebabkan oleh konsentrasi CO₂ yang masih tinggi optimal di 1000 ppm, sehingga akan memacu metabolisme tumbuhan untuk tumbuh lebih cepat hingga 50% (Blom, dkk., 2002). Fisiologis struktur daun pada rumput teki dan paragis cenderung hampir sama, tetapi berbeda dengan rumput meniran, sehingga penyerapan cahaya matahari / UV akan berbeda, perbedaan ini berakibat pada produksi klorofil a. Klorofil a berperan dalam mempengaruhi sintesis klorofil b yang bertanggungjawab pada metabolisme tumbuhan (proses fotosintesis). Rasio klorofil a/b tersebut mempengaruhi laju reaksi (Yustiningsih, 2019). Dengan besarnya konstanta laju reaksi maka kecepatan fotosintesis akan semakin cepat. Berdasarkan data yang diperoleh dari penggunaan bioreaktor yang dirancang, bahan isian yang efektif adalah rumput teki dan rumput paragis.

4. Kesimpulan

Desain bioreaktor memiliki dimensi 1m x 1,5m yang dilengkapi dengan sensor gas, suhu dan kelembaban. Keberhasilan bioreaktor diidentifikasi dengan laju penyerapan CO₂ oleh bahan isian (rumput teki (*Cyperus rotundus L.*), rumput paragis/rumput belulang (*Eleusine indica L.*) dan meniran (*Phyllanthus urinaria L.*). Bahan isian bioreaktor yang efektif adalah rumput paragis dengan konstanta laju penyerapan CO₂ rata-rata (K_f) = 0,105704/jam, sedangkan rumput teki dan rumput meniran memiliki konstanta laju penyerapan CO₂ rata-rata (K_f) = 0,101281/jam dan 0,071340 /jam.

Berdasarkan hasil yang diperoleh bioreaktor bahan isian rumput-rumputan tersebut sebagai penyerap CO₂ berpotensi dapat digunakan diwaktu yang akan datang namun masih memerlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui faktor-

faktor lain agar proses fotosintesis dapat berjalan secara kontinyu selama 24 jam sehingga memberikan kontribusi pada program pemerintah untuk mengurangi CO₂ di atmosfer.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Politeknik Negeri Cilacap dalam hal ini LP3M yang telah memberikan pembiayaan terhadap penelitian yang dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahabuddin., Kheriyah., & Chadijah. 2014. Pengaruh Peningkatan Konsentrasi Karbondioksida (CO₂) Terhadap Pertumbuhan Populasi Dan Performansi Fitoplankton Adopsi (*Emiliana Huxleyi Sp*) Skala Laboratorium. Octopus. Vol.3. No.2.: 309-319
- Air Quality Science IAQ Resource Center (Aerias). 2005. Carbon Dioxide: A Common Indoor Air Pollutant. www.Aerias.com
- Blom, T. J., Straver, W. A., Ingratta, F. J., Khosla, S., & Wayne Brown. 2002. Carbon Dioxide In Greenhouses.
- Churchill, S. W., 1974. Interpretation and Use of Rate Data The Rate Concept., 1st ed., p.8., Scripta Publishing Company. Washington D.C.
- Dowell, M. N. et al., 2010. An overview of CO₂ capture technologies. Energy and Environmental Science, vol. 3, no. 11. doi: 10.1039/c004106h.
- Ervina, M. N. & Mulyono, Y. 2019. Etnobotani Meniran Hijau (*Phyllanthus Ninuri L*) Sebagai Potensi Obat Kayap Ular (*Herpes Zoster*) dalam Tradisi Suku Dayak Ngaju. Jurnal Jejaring Matematika dan Sains, Vol. 1, No. 1: 30-38
- Fauziah, A., Bengen, D. G., Kawaroe, M., Effendi, H., & Krisanti, M., 2019. Hubungan Antara Ketersediaan Cahaya Matahari dan Konsentrasi Pigmen Fotosintetik Di Perairan Selat Bali. Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis Vol. 11 No. 1; 37-48
- Gayathri, R., Mahboob, S., Govindarajan, M., Khalid A., Al-Ghanim, Ahmed, Z., Al-Mulhm, N., Vodovnik, M., & Vijayalakshmi, S., 2020., A review on Biological Carbon Sequestration: A Sustainable Solution for A Cleaner Air Environment, Less Pollution and Lower Health Risks. Journal of King Saud University – Science 33. 101282
- Ghannoum, O., Evans, J. R. and Caemmerer, S.V. 2011. Nitrogen and Water Use Efficiency of C4 Plants, vol. 1200.
- Hariana, A., Rahman, A., & Gunawan., 2020., Estimasi Karbon Tersimpan pada Alang-Alang (*Imperata cylindrica Beauv.*) di Lahan Kering, Jurnal Bioscientiae, Vol. 17, 1, p.40-51
- International Energy Agency. Energy technology Perspectives 2017-executive summary. Int Energy Agency Publ 2017;371. https://doi.org/10.1787/energy_tech-2014-en.
- Jajesniak, P., Eldin, H., Hhhhhggg Ali, M. O., & Wong, T. S., 2014., Carbon Dioxide Capture and Utilization using Biological Systems: Opportunities and Challenges, J Bioprocess Biotech 4: 155 doi: 10.4172/2155-9821.1000155
- Kartika, T. 2017. Potensi Tumbuhan Liar Berkhasiat Obat di Sekitar Pekarangan Kelurahan Silaberanti Kecamatan Silaberanti, Sainmatika. Vol. 14. No 2: 89-99
- Kusumaputri, L. T. 1998. Pengaruh Meningkatnya Konsentrasi Karbondioksida Di Atmosfer Terhadap

- Harjanto, T. R., dan Bahri, S., (2022). Bioreaktor Bahan Isian Vegetasi Rumput-Rumputan Sebagai Alat Uji Penyerap Polutan CO₂. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(3), 694-703, doi:10.14710/jil.21.3.694-703
- Metabolisme Tanaman. *Jurnal Chimera*. Vol. 3 No.2
Leily Tjandrawaskitasari Kusumaputri
- Lailati, M., 2013., Kemampuan Rosot Karbondioksida 15 Jenis Tanaman Koleksi Di Kebun Raya Bogor (Carbondioxide Sink Ability Of 15 Plant Species Collection in Bogor Botanical Garden), Widyariset, Vol. 16 No. 2: 277-286
- Lara, M. V. and Andreo, C.S. 2017. C4 plants adaptation to high levels of CO₂ and to drought environments, in *Abiotic stress in plants - mechanisms and adaptations*. Book Section
- Larasati, E. Peran Sentral Indonesia dalam Mendorong Penanganan Perubahan Iklim di Tingkat Dunia. Glasgow, 1 November 2021: <https://www.kemenkeu.go.id/publikasi/berita/peran-sentral-indonesia-dalam-mendorong-penanganan-perubahan-iklim-di-tingkat-dunia/>. [Accessed 31 Maret 2022].
- Lenton, T. M., 2010., The potential for land-based biological CO₂ removal to lower future atmospheric CO₂ concentration, *Journal Carbon Management*. 1:1, 145-160
- MacDowell, N., Florin, N., Buchard, A., Hallett, J., Galindo, A., Jackson, G., Adjiman, C.S., Williams, C.K., Shah, N., & Fennell, P., 2010. An overview of CO₂ capture technologies. *Energy Environ. Sci.* 3, 1645-1669
- Mansur, M., & Pratama, A. 2014. Potensi Serapan Gas Karbondioksida (CO₂) Pada Jenis-Jenis Pohon Pelindung Jalan. *J Biologi Indones*, vol. 10, no. 2.
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Portner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., & Shukla, P. R., et al. 2018. Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of globalwarming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gasemission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change 2018. <https://www.ipcc.ch/sr15/download/>. [Accessed 31 Maret 2022].
- Mistry, A. N., & Ganta, U., 2019. Chakrabarty, Dutta, A. A review on biological systems for CO₂ sequestration: Organisms and their pathways. *Environmental Progress and Sustainable Energy*, vol. 38, no. 1. doi: 10.1002/ep.12946.
- Nur, R. E. M., 2017. Strategi Implementasi NDC. Indonesia. Accessed: Dec. 23, 2022. [Online]. Available: <http://ditjenppi.menlhk.go.id>
- Najafpour, Ghasem., 2007. *Bioreactor Design.*, p.142-169., doi: 10.1016/B978-044452845-2/50006-9.
- Nogia, P., Sidhu, G. K., Mehrotra, and Mehrotra, S. 2016. Capturing atmospheric carbon: Biological and nonbiological methods. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, vol. 11, no. 2. doi: 10.1093/ijlct/ctt077.
- Peraturan Direktur Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim Nomor: P5 / PPI / SET / KUM I / 12 / 2017
- Purba, E., & Khairunisa, A. C., 2012. Kajian Awal Laju Reaksi Fotosintesis untuk Penyerapan Gas CO₂ Menggunakan Mikroalga Tetraselmis Chuii. *Jurnal Rekayasa Proses*, Vol. 6 No.1 p.7-13
- Setiawati, T., Febrihardianti, I., & Syamsi. 2019. Karakteristik Stomata Berdasarkan Estimasi Waktu dan Perbedaan Intensitas Cahaya Pada Daun Hibiscus Tiliaceus Linn. Di Pangandaran, Jawa Barat. *Jurnal Pro-Life* Vol. 6 No. 2
- Singh, J., & Dhar, D.W., 2019. Overview of Carbon Capture Technology: Microalgal Biorefinery Concept and State-of-the-Art, *Journal of Frontiers in Marine Science*. 6. 29
- Smith, S. J., Aardenne, J. V., Klimont, Z., Volke, A., & Arias, S. D., 2010, Anthropogenic Sulfur Dioxide Emissions: 1850-2005, *Atmospheric Chemistry and Physics Discussion (ACPD)*, Vol 10, hal 16111-16151.
- Sreenivasulu, M., Ramesh, P., & Damodharam, T. 2015. Effect of Glyphosate on Chlorophyll and Carotenoids in Weed Species (*Parthenium hysterophorus* L. and *Cyperus rotundus* L.). *International Journal of Advanced Scientific and Technical Research*; Vol. V No.4:116-123.
- Suhaila, A. Gani, A. Tanjung, Y. Yustika, D. Tondang, C. K. & Parderde, J. A. 2021. Pengembangan Produk Permen Rumput Untuk Pereda Nyeri Haid Dikalangan Remaja Kota Binjai. Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat, Seminar dalam Jaringan LPPM Universitas Negeri Medan. p. 358-362
- Sundquist. 2008. "Carbon Sequestration to Mitigate Climate Change," USGS Science for a changing world. U. S. Co
- Susianti. 2015. Potensi Rumput Teki (*Cyperus rotundus* L.) sebagai Agen Antikanker. Prosiding Seminar Presentasi Artikel Ilmiah:52-57. Universitas Negeri Lampung, Bandar Lampung
- Sutoyo. 2011. Masalah Dan Peranan Co₂ Pada Produksi Tanaman. *Buana Sains* Vol. 11 No 1.; 83-90
- Tokgoz, N. 2010. Numerical analysis of worldwide CO₂ emissions and effects on atmospheric warming in Turkey. *Energy Source Part A*. 32, 769-783. ISSN: 1556-7036 print/1556-7230 online DOI: 10.1080/15567030802606137
- UNFCCC. Conference of the parties (COP). Paris Agreement 2015;32. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement> [Accessed 31 Maret 2022].
- Yustiningsih, M. 2019. Intensitas Cahaya dan Efisiensi Fotosintesis Pada Tanaman Naungan dan Tanaman Terpapar Cahaya Langsung. *Jurnal Pendidikan Biologi*. Vol. IV. No.2: 44-49
<http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/00-077.htm>. [Accessed 31 Oktober 2022].
<https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>[Accessed, 20 November 2022]
<https://kkp.go.id/diprl/p4k/artikel/44262-karbon> [Accessed 25 March 2023]
<https://widyariset.pusbindiklat.lipi.go.id/index.php/widyariset/article/download/117/107>