

**PENYERAPAN EMISI CO₂ OLEH MIKROALGA
Euglena sp DENGAN BIOREAKTOR KOLAM KULTUR**

***ABSORPTION OF CO₂ EMISSION BY MICROALGAE
Euglena sp USING POND CULTURE BIOREACTOR***

Titin Handayani, Adi Mulyanto dan Nida Sopiah¹⁾

(Diterima tanggal 30-10-2013; Disetujui tanggal 02-01-2014)

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah menerapkan teknologi penyerapan emisi gas CO₂ yang dihasilkan oleh industri dengan memanfaatkan mikroalga *Euglena* sp. yang dibudidayakan pada bioreaktor kolam kultur jenis *raceway*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dalam mitigasi efek gas rumah kaca yaitu mengurangi emisi gas CO₂. Penelitian ini dilakukan di industri susu (PT Indolacto) yang berlokasi di Cicurug Sukabumi. Analisis sampel dilakukan di Laboratorium Kimia dan Lab Ekotoksikologi Balai Teknologi Lingkungan-BPPT. Kegiatan penelitian ini meliputi : (1) Karakterisasi Emisi Industri di Lokasi Uji Coba, (2) Pengoperasian Kolam Kultur, (3) Sampling dan Analisis Sampel. Pengkajian awal penyerapan emisi gas buang melalui pengaktifan mikroalga dengan kolam kultur volume 1000 L dari bahan *stainless steel* di industri PT Indolacto yang dilengkapi dengan alat penukar panas menunjukkan hasil penyerapan CO₂ oleh mikroalga yang cukup menjanjikan. Sistem pengaliran gas CO₂ pada sistem kolam kultur berjalan dengan baik. Hal ini terbukti dari berhasilnya gas buang dari boiler untuk didinginkan dari suhu sekitar 200 °C menjadi suhu dibawah ambien. Kecuali suhu, gelembung gas yang masuk ke dalam media pada kolam sudah cukup kecil (*fine*), sehingga kontak antara gas dengan media menjadi baik. Efisiensi penyerapan CO₂ oleh *Euglena* sp. dapat mencapai 98,87% dengan pemberian CO₂ rata-rata sebesar 167,26 gram/hari

Kata Kunci: Kolam kultur *raceway*, industri susu, emisi CO₂, mikroalga, *Euglena* sp.

ABSTRACT

The purpose of this study is to assess technology to capture carbon dioxide (CO₂) emissions generated by industry by utilizing of microalgae Euglena sp. The microalgae were cultivated in a bioreactor culture pond raceway type. The result is expected to be useful in mitigating the effects of greenhouse gases in reducing the CO₂ emissions. This research was conducted at milk industry (PT Indolacto), a dairy factory located in Cicurug, Sukabumi. Analyses were conducted at the Laboratory of Chemistry and Ecotoxicology, Institute for Environmental Technology (BTL) – Agency for the Assessment and Application of Technology (BPPT). The research activities include: (1) Characterization of boiler flue gas, (2) Operation of culture pond, (3) Sampling and sample analysis. The results of this study showed that, the initial assessment absorption of the flue gas by microalgae using 1000 L raceway pond completed by heat exchanger were quite promising. The transfer of CO₂ into the pond culture system was run well. This identified from the success of cooling the boiler flue gas from the temperature of about 200 °C to below ambient temperature. Except for the temperature, the gas bubbles into the culture media were quite fine. Therefore, the contact between the gas and the media was well performed. Efficiency of CO₂ absorption by Euglena sp reached 98.87 % with average CO₂ loading of 167.26 grams/day.

Keywords: Raceway pond, milk industry, CO₂ emission, heat exchange, microalgae, *Euglena* sp.

PENDAHULUAN

Global Warming merupakan fenomena peningkatan temperatur global dari tahun ke tahun karena terjadinya efek rumah kaca yang

disebabkan oleh meningkatnya emisi gas-gas seperti karbondioksida (CO₂), metana (CH₄), dinitrooksida (N₂O) dan CFC, sehingga energi

¹ Balai Teknologi Lingkungan - Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Gedung 820, GEOSTEK Kawasan Puspipstek Serpong, Tangerang Selatan 15314 telp 021-75791381, email: htitin@yahoo.com; adimul2004@yahoo.com; nidasofiah@yahoo.com

matahari terperangkap dalam atmosfer bumi. Meningkatnya jumlah emisi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer disebabkan oleh kegiatan manusia di berbagai sektor, antara lain energi. Penggunaan bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batubara dan gas alam dalam berbagai kegiatan, misalnya pada pembangkitan listrik, transportasi dan industri, akan memicu bertambahnya jumlah emisi GRK di atmosfer. Walaupun sama-sama menghasilkan emisi GRK, namun emisi yang dihasilkan dari penggunaan ketiga jenis bahan bakar fosil tersebut berbeda-beda. Untuk menghasilkan energi sebesar 1 kWh, pembangkit listrik yang menggunakan batubara mengemisikan sekitar 940 gram CO₂. Sementara pembangkit listrik yang menggunakan minyak bumi dan gas alam, menghasilkan emisi sekitar 798 dan 581 gram CO₂. [1]

Seiring dengan semakin meningkatnya konsentrasi CO₂ antropogenik di atmosfer, berbagai upaya rekayasa telah dilakukan untuk menangkap dan memendam CO₂ atmosferik tersebut melalui teknologi *carbon capture and storage* (CCS) dari sumber emisi. Salah satu teknologi CCS yang memungkinkan untuk diterapkan di Indonesia adalah *biosequestration*, yaitu menangkap dan menyimpan CO₂ atmosferik dengan meningkatkan volume dan kualitas fotosintesis melalui bioreaktor mikroalga. Saat ini, percobaan mengenai kemampuan mikroalga dalam menyerap CO₂ telah dilakukan untuk skala laboratorium di Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) dengan membangun fotobioreaktor dan kolam kultur mikroalga. Hasilnya menunjukkan bahwa penyerapan CO₂ oleh mikroalga *Chlorella* sp. dapat mencapai lebih dari 70%, Hasil tersebut

cukup menjanjikan untuk penerapan dalam rangka mengurangi emisi CO₂ dari industri. Untuk itu, perlu dilakukan rekayasa lanjutan yang memperhitungkan berbagai aspek penting yang ada di industri agar teknologi *biosequestration* ini laik diterapkan dalam kurun waktu 1 hingga 2 tahun mendatang dalam rangka mendukung rencana aksi pemerintah menurunkan emisi GRK sebesar 26% pada tahun 2020.

Bioreaktor berbentuk kolam jenis *raceway* yaitu kolam yang diberi perlengkapan pedal/baling-baling untuk proses pengadukan, penggerak elektromotor, pipa pemasukan gas CO₂ dan pipa pemasukan air tawar dan nutrisi.

Kolam terbuat dari bahan *stainless steel* memungkinkan mikroalga menyerap cahaya dan CO₂ pada permukaan hingga kedalaman pada batas tertentu. [2] Kultur yang berada pada bagian dalam reaktor dan tidak mendapatkan cahaya dapat ditingkatkan produktifitasnya melalui pengadukan. [3] Agar keseluruhan sel mikroalga dalam kultur kolam dapat merata mendapatkan cahaya dan menyerap CO₂, sehingga meningkatkan produktivitasnya, maka dilengkapi dengan sistem pengadukan. Dalam penelitian ini digunakan sistem pengadukan dengan pedal dan pompa sirkulasi. Suhu emisi karbon berasal dari industri diatas 100°C, untuk itu dibutuhkan alat untuk mengubah suhu menjadi suhu ambient untuk pertumbuhan mikroalga.

Tujuan penelitian ini adalah menerapkan teknologi penyerapan emisi gas CO₂ yang dihasilkan oleh industri yang menggunakan sistem pembakaran dengan memanfaatkan mikroalga *Euglena* sp. yang dibudidayakan pada bioreaktor kolam kultur jenis *raceway*.

METODOLOGI

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Industri pengolahan susu cair (PT Indolakto) yang berlokasi di Cicurug Sukabumi. Analisis sampel dilakukan di Laboratorium Kimia dan Laboratorium Ekotoksikologi Balai Teknologi Lingkungan-BPPT, gedung 412, Puspiptek, Serpong.

Bioreaktor Kolam Kultur *raceway*

Kolam kultur *raceway* adalah kolam yang diberi perlengkapan pedal/baling-baling untuk proses pengadukan, penggerak elektromotor, pipa pemasukan gas CO₂ dan pipa pemasukan air tawar dan nutrisi.

Kolam kultur mikroalga terbuat dari bahan *stainless steel* dengan volume 1.000 liter, kedalaman air di dalam kolam dapat diatur 20 cm, 15 cm, dan 10 cm. Kedalaman air yang dipakai dalam percobaan ini dipilih 20 cm. Kolam dilengkapi dengan tutup transparan yang terbuat dari plastik (mika) untuk memperkecil resiko kontaminasi terhadap kultur mikroalga. Air yang digunakan adalah air tawar.

Inokulasi Mikroalga

Jenis mikroalga yang digunakan adalah jenis *Euglena* sp. yang telah dikultivasi dalam medium Benneck dan kemudian sebelum dikulturkan pada kolam diaklimatisasi dahulu dengan menggunakan medium yang mengandung pupuk NPK 35 mg/L yang selanjutnya akan digunakan pada sistem kolam kultur. Kepadatan awal yang digunakan sekitar 300.000 sel/ml, dihitung secara mikroskopis menggunakan *haemocytometer*.

Inokulasi mikroalga terdiri atas serangkaian kegiatan yang antara lain meliputi persiapan

wadah dan air yang meliputi pencucian dan sanitasi wadah..

Kegiatan selanjutnya adalah *upscaling* secara bertahap dari skala laboratorium ke skala yang lebih besar. Skala yang lebih besar dilakukan di dalam kantong-kantong plastik bervolume 20 liter yang dilengkapi aerasi. Media yang digunakan untuk perbanyakan mikroalga tersebut adalah air hasil mikrofiltrasi yang sudah diberi pupuk NPK dengan kadar 35 mg/L. Setelah berumur antara 3-4 minggu, kelimpahan kultur dapat mencapai sekitar 6x10⁶ sel/ml media. Pada tingkat kepadatan tersebut mikroalga dapat dipindahkan ke kolam kultur volume 1000 L.

Kolam diisi dengan air sebanyak 950 L yang sebelumnya sudah mengalami proses penyaringan menggunakan proses ultrafiltrasi untuk meminimisasi terjadinya kontaminasi terhadap kultur mikroalga. Kemudian dimasukkan kultur mikroalga yang untuk masing-masing kolam sebanyak 50 liter dari kantong-kantong plastik, hingga kepadatan awal 300.000 sel/ml. Langkah berikutnya adalah pemberian pupuk NPK 35 mg/L untuk pertumbuhan mikroalga. Setelah 3 minggu masa kultur, mikroalga mulai diperlakukan dengan pemberian emisi CO₂ pada kolam kultur volume 1000 L.

Pengoperasian Emisi CO₂ ke dalam Kolam Kultur

Mikroalga adalah mikro-organisme heterotrof yaitu menyerupai tumbuhan, sehingga membutuhkan cahaya dan CO₂ selain nutrisi. Penentuan asupan CO₂ didasarkan pada konsentrasi gas tersebut yang diambil contohnya dari bagian keluaran (*effluent*) cerobong boiler.

Perlengkapan untuk mencatu CO₂ ke dalam kolam adalah persediaan gas tersebut yang ditempatkan di dalam *gas holder* terbuat dari plastik. CO₂ di dalam kantong plastik dikondisikan dengan konsentrasi sekitar 6%. Perlengkapan lain adalah pemipaan gas dari kantong plastik ke kolam kultur. Untuk menghisap gas CO₂, digunakan kompresor. Pada bagian *effluent* gas, dipasang katup pelepas gas. Gas yang keluar diambil contohnya untuk diukur kadar CO₂ nya.

Sistem Pemantauan Operasional Sistem Kolam Kultur

Pada kolam kultur sudah tersedia pipa/‘port’ untuk melakukan pengambilan contoh gas yang dilepaskan oleh sistem. ‘Port’ tersebut terletak di bagian samping sebelah atas kolam berdiameter ½ inchi. Pengambilan contoh dilakukan 2 kali dalam sehari, yaitu pagi hari pada sekitar jam 09.00, 12.00 dan 15.00 WIB. Parameter yang diukur ialah konsentrasi gas oksigen dan gas karbon dioksida. Peralatan yang digunakan berupa portable multi gas detektor merk Riken type RX-515.

Pengukuran suhu dilakukan di sekitar kolam kultur dan pelaksanaan pengukuran dilakukan setiap hari pada sekitar pukul 9.00 WIB dan 15.00 WIB.

Intensitas cahaya sangat berpengaruh terhadap aktifitas mikroalga, terutama dalam hal fotosintesis. Alat yang digunakan adalah digital instrument Light Meter model LX-101A. Pelaksanaan pengukuran dilakukan setiap hari pada sekitar jam 9.00 WIB dan 15.00 WIB.

Pertumbuhan *microalgae* sebagai hasil respon terhadap emisi CO₂ diamati dengan

penghitungan secara mikroskopis setiap hari dari jumlah sel per milimeter dengan *haemocytometer*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

PT. Indolakto, Sukabumi menggunakan 3 (tiga) buah boiler yang berbahan bakar ‘heavy oil’. Bahan bakar ini harus disimpan pada temperatur sekitar 38 °C dan pada saat akan dipompa harus dipanaskan lebih lanjut antara suhu 66 °C–121 °C. Masing-masing boiler berkapasitas 5 ton steam per jam. Dalam pengoperasiannya setiap hari, PT. Indolakto menggunakan 2 (dua) buah boiler, sementara yang satu ada dalam posisi *stand by*. Tekanan operasi dari boiler mencapai 8 bar. Temperatur pada gas buang mencapai 230 °C. Gas buang dikeluarkan melalui cerobong (menara) setinggi kurang lebih 10 meter.

Untuk penelitian pemanfaatan CO₂ dari cerobong boiler yang dilakukan di PT. Indolakto, Cicurug, Sukabumi, tidak dilakukan proses desulfurisasi. Hal itu disebabkan karena PT. Indolakto menggunakan gas dari Perusahaan Gas Negara. Menurut PGN, gas yang digunakan oleh PT. Indolakto yang berlokasi di area Bogor mempunyai nilai kalor sebesar 900 – 1300 BTU/SCF atau 7703 – 11127 Kcal/m³.

Sebelum melakukan perakitan dan instalasi kolam kultur, terlebih dahulu dilakukan perancangan rangkaian penelitian yang tertera pada gambar 1. Setelah dilakukan perancangan, maka dilakukan pembuatan unit-unit operasi yang dibutuhkan untuk melakukan penelitian pemanfaatan dan penyerapan CO₂ menggunakan kultur mikroalga

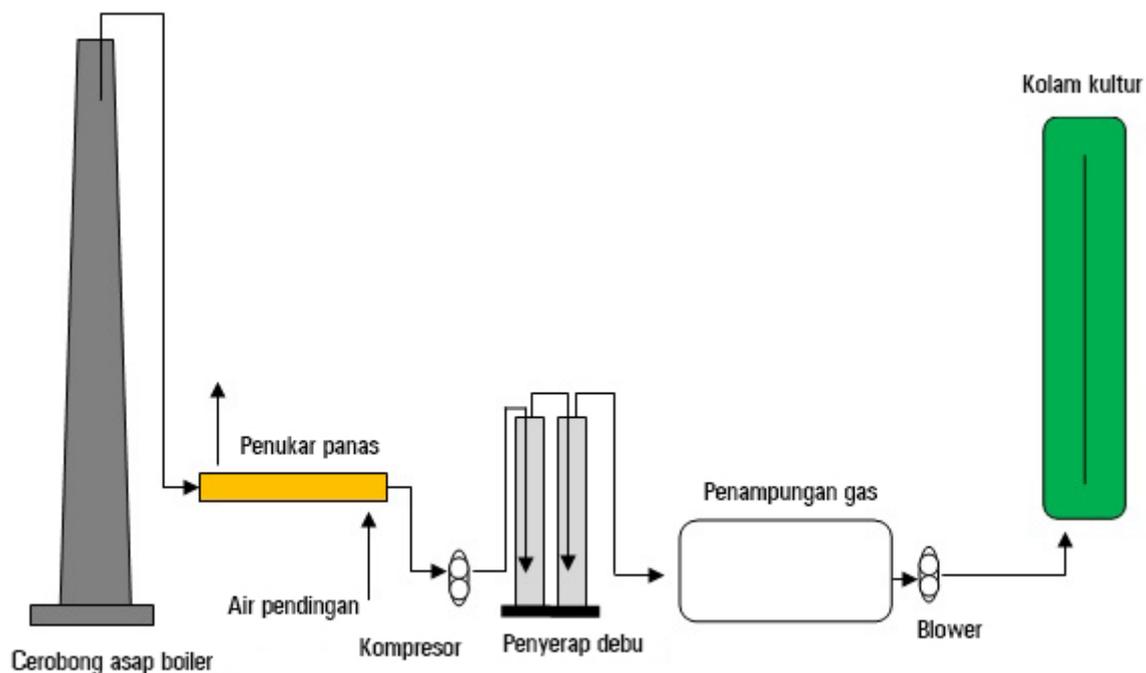
Pencatuan CO₂

Emisi dari boiler mempunyai suhu yang tinggi, yaitu sekitar 210 °C. Rangkaian proses yang ditambahkan ialah: pemipaan, kompresor dan scrubber untuk menyerap partikulat dan SO_x, penukar panas, kolam pendingin, penampung kondensat.

Pemipaan gas buang dengan memasukkan ujung pipa ke dalam cerobong asap dibuat menyerupai corong. Supaya terjadi aliran gas, maka dipakai kompresor yang sudah dimodifikasi. Modifikasi yang dilakukan adalah memanfaatkan inlet udara masuk sebagai inlet gas CO₂. Gas kemudian dialirkan melalui proses penyerapan kandungan partikulat dan senyawa sulfur dan ditampung di dalam kantung gas ekualisasi. Di dalam kantung gas ini dilakukan pengukuran kualitas

gas. Apabila sudah dicapai kualitas gas yang diinginkan maka dengan menggunakan sebuah aerator, gas dialirkan ke dalam penampung gas yang siap untuk dimasukkan ke dalam kolam kultur. Gas dialirkan dari bagian dasar kolam melalui distributor (*sparger*) yang berjumlah 6 buah.

Sistem pengaliran gas dari penampung gas ke dalam kolam kultur diatur menggunakan timer. Sebuah aerator digunakan untuk mengalirkan gas ke dalam kolam. Proses pengadukan kolam (menggunakan pedal) dan pemasukan gas ke dalam kolam dilakukan bersamaan dan diatur oleh sebuah timer. Dengan sistem demikian, maka aliran gas akan mengalami kontak dengan media kultur dalam waktu yang lebih lama.



Gambar 1. Rangkaian penelitian di PT. Indolakto.

Kolam Kultur berukuran 1000 L (5 x 1 x 0,5) m³ dan penampung gas berukuran 1000 L

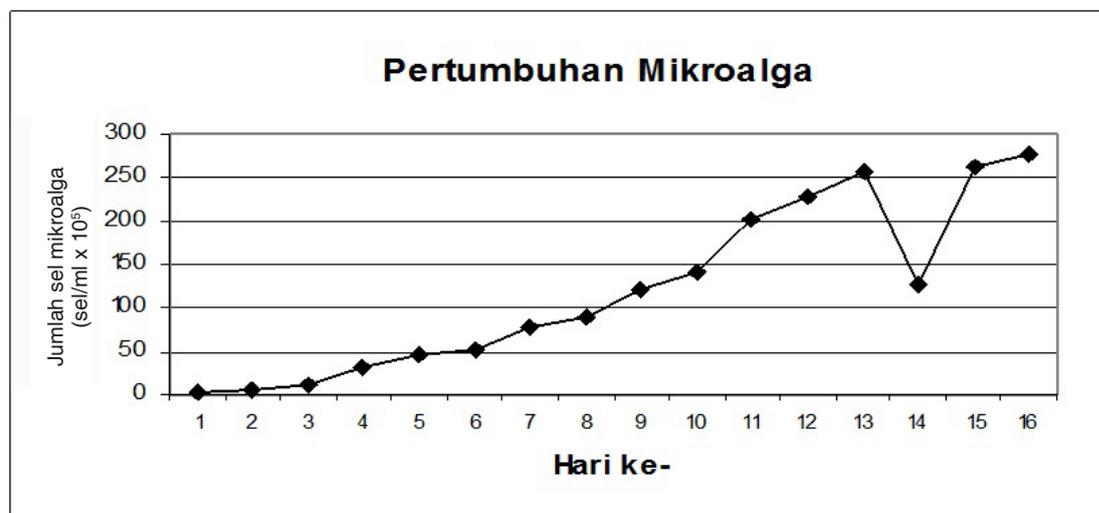
Pertumbuhan Mikroalga

Hasil pengamatan mikroalga *Euglena* sp. pada awalnya menunjukkan respon pertumbuhan yang kurang baik dengan tampaknya warna hijau kekuningan. Hasil analisis kandungan nutrisi pada media menunjukkan kekurangan unsur P. Setelah dilakukan penambahan unsur P yang terkandung pada pupuk NPK (16:16:16) sebanyak 35 mg/l, warna mikroalga berubah hijau segar dan tampak mulai terjadi pertumbuhan. Grafik pertumbuhan mikroalga pada periode I dan II disajikan pada Gambar 2 dan 3. Hal tersebut menunjukkan bahwa lingkungan kolam kultur telah mendukung pertumbuhan mikroalga. Mikroalga *Euglena* sp mampu menyerap CO₂ dengan konsentrasi 15-50% [8] Mikroalga *Euglena* sp merupakan mikroalga kosmopolit yang sebagian besar hidup di lingkungan akuatik baik perairan tawar, laut maupun payau yang banyak mengandung nutrisi, juga ditemukan di tanah dan di tempat lembab. Sel *Euglena* sp. memiliki tingkat reproduksi yang tinggi, setiap sel *Euglena* sp. mampu berkembang menjadi 10.000 sel dalam waktu 24 jam. [3]

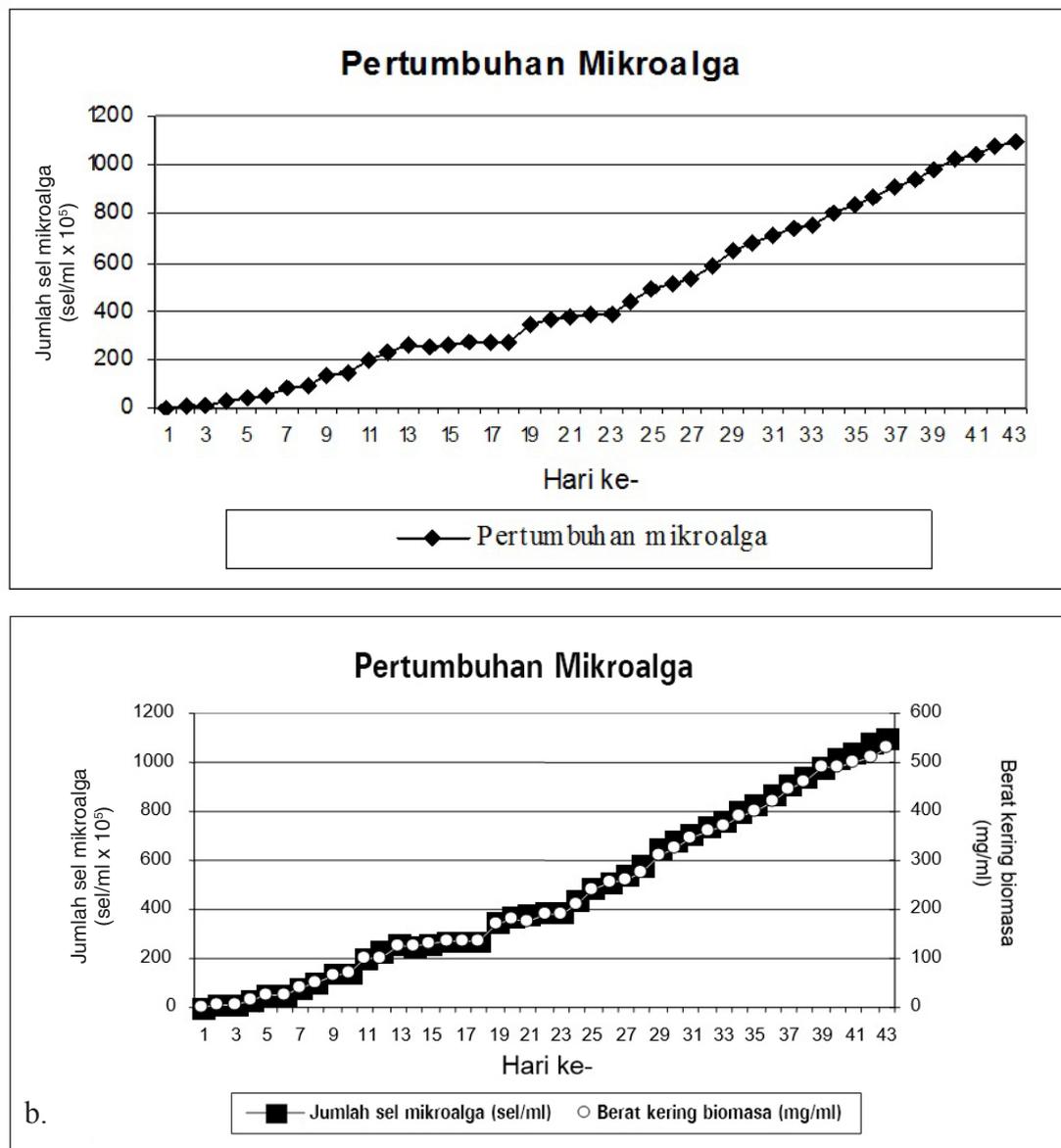
Analisa dan Interpretasi Kinerja Kolam Kultur

Gas yang dihisap dari cerobong asap boiler menggunakan pemipaan (galvanis) berdiameter ½ inchi mempunyai kondisi sebagai berikut. Debit gas masuk ke dalam kolam 2,091 L/menit. Rata-rata konsentrasi CO₂ yang masuk ke dalam kolam adalah 6,17%. Dengan mengatur timer, maka dibuat dua tahap pemasukan jumlah gas yang masuk ke dalam kolam yang masing-masing nilainya sebesar 1003,68 L/hari pada periode I dan 1.505,52 L/hari pada periode II. Kondisi gas masuk ke dalam kolam dapat dilihat pada Tabel 1. Maka dapat dihitung efisiensi penyerapan CO₂ yaitu 96,90% untuk periode I (hari 1-16) dan 98,87% untuk periode II (hari 1-25).

Budidaya *Euglena* sp. dengan tektik kultur bergantung pada kesesuaian antara jenis mikroalga yang dibudidayakan dan beberapa faktor lingkungan, salah satu hal yang perlu diperhatikan adalah faktor pengadukan agar metabolisme sel mikroalga tidak mengganggu. [7]



Gambar 2. Grafik Pertumbuhan *Euglena* sp pada periode I pemberian emisi CO₂



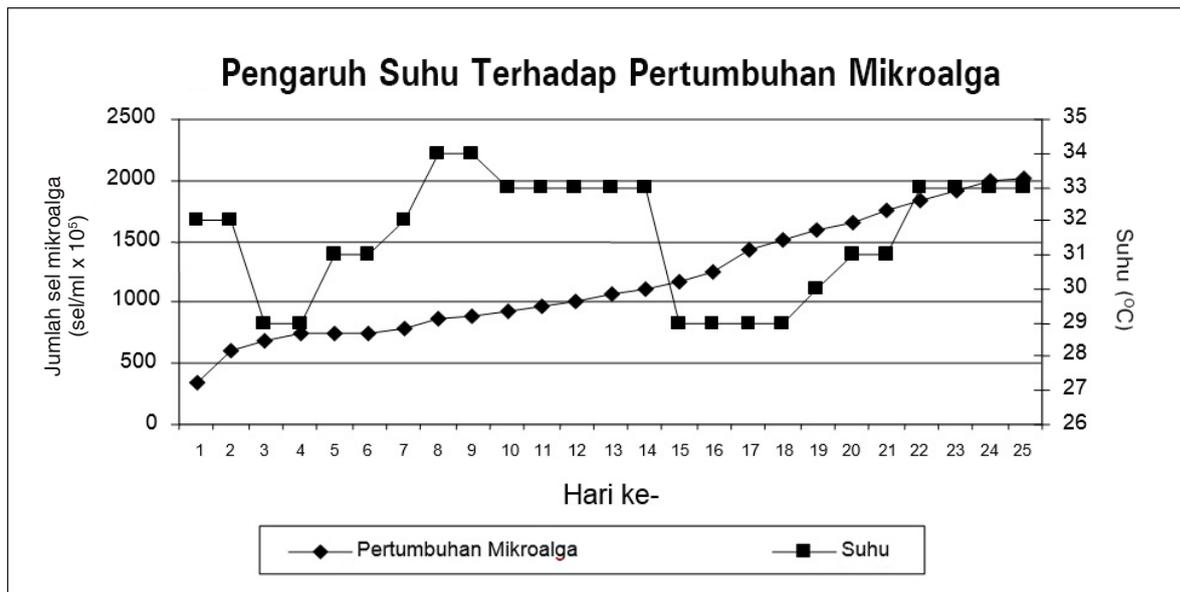
Gambar 3. a dan b. Grafik Pertumbuhan Mikroalga pada periode II pemberian emisi CO₂

Pemanfaatan kultur mikroalga pada industri untuk penyerapan emisi CO₂ perlu dilakukan kontrol dalam fotobioreaktor. Upaya pemanfaatan alga sebagai *carbon sink*

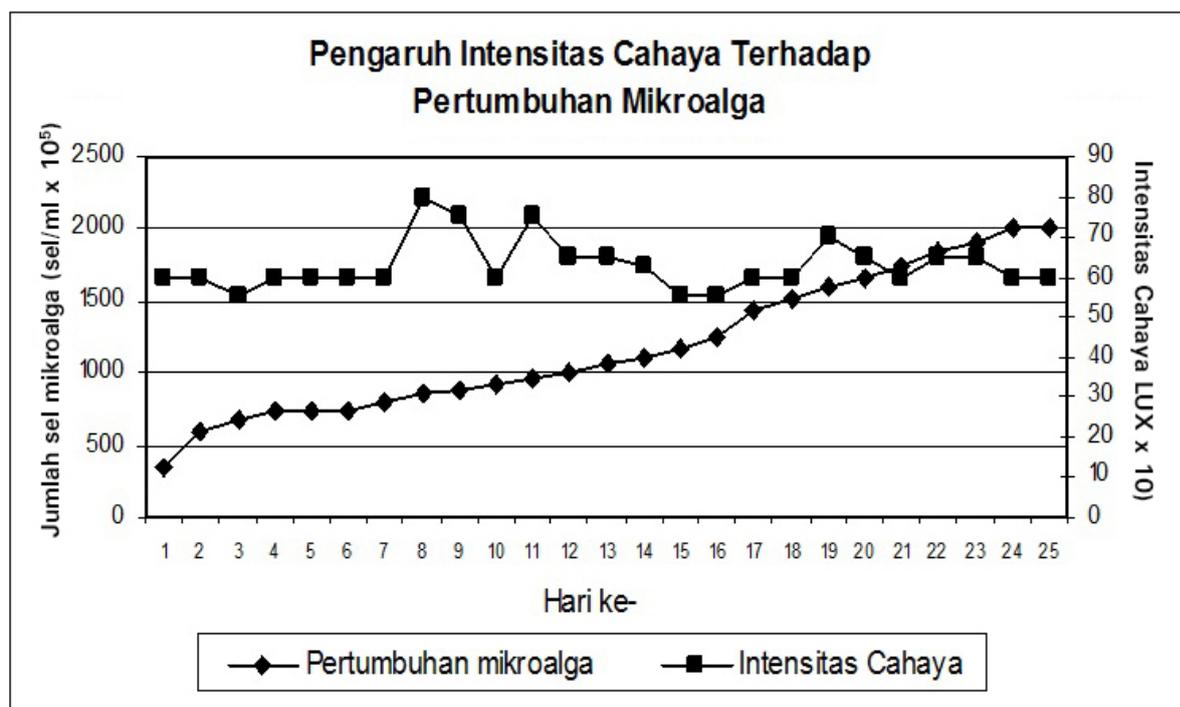
membutuhkan pengetahuan tentang jenis-jenis yang cocok dan kondisi lingkungan yang optimum untuk mendorong pertumbuhan yang maksimum. [8, 9]

Tabel 1. Kapasitas rata-rata penyerapan CO₂

No	Periode	Input CO ₂		Output CO ₂		Serapan CO ₂		Biomasa x 10 ⁵ (sel/ml)
		Konsentrasi CO ₂ (% vol)	Liter/hr	g/L/hari				
1	Hari ke 1- 16	6,2	0,09	6,11	117,31	211,54/1000 L = 0,2111	96,90	1060,2
2	Hari ke 1- 25	6,8	0,12	6,68	160,32	289,1/1000 L = 0,29	98,87	1840,2



Gambar 4. Pengaruh suhu (°C) terhadap pertumbuhan mikroalga (x 10⁵ sel/ml).

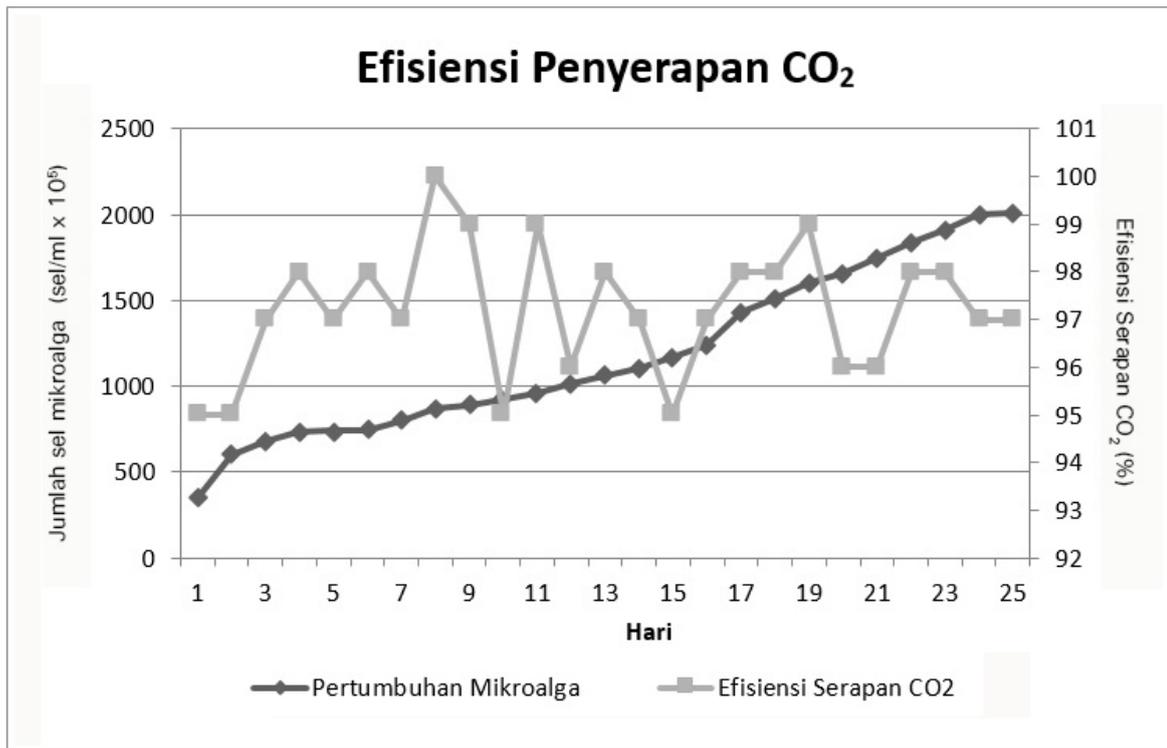


Gambar 5. Pengaruh intensitas cahaya (lux) terhadap pertumbuhan mikroalga (x 10⁵ sel/ml).

Hubungan kondisi lingkungan dan Penyerapan CO₂

Hasil pencatatan suhu di sekitar kolam kultur pada adalah 27°C pada pengukuran sekitar pukul 09.00 dan 34°C pada pengukuran sekitar pukul 15.00. Jika suhu meningkat

maka kelembaban menurun, hingga tercatat kelembaban minimum adalah 45% sedangkan maximum adalah 70%. Pertumbuhan mikroalga tidak tampak terpengaruh terhadap fluktuasi suhu di sekitar kolam, karena masih dalam kisaran yang sesuai untuk aktivitas metabolismenya (Gambar 4).



Gambar 6. Efisiensi penyerapan CO₂ oleh mikroalga.

Pengukuran intensitas cahaya menunjukkan bahwa pada pukul 09.00 menunjukkan sekitar 50.000 lux dan sekitar pukul 15.00 dapat mencapai 80.000 lux jika keadaan cuaca cerah. Kisaran intensitas cahaya tersebut sangat baik untuk pertumbuhan mikroalga (Gambar 5).

Penyerapan CO₂ oleh mikroalga menunjukkan kisaran 89% sampai 100%. Penyerapan tinggi terjadi terutama pada kondisi cuaca cerah dan penyerapan rendah terjadi pada cuaca mendung. Dengan demikian mikroalga *Euglena* sp. mampu menyerap CO₂ hingga 98,87%. Dinamika penyerapan CO₂ tidak menunjukkan penurunan dengan meningkatnya pemberian CO₂ dan pertumbuhan mikroalga cenderung meningkat (Gambar 6).

Mikroalga *Euglena* sp. mampu menyerap CO₂ dengan konsentrasi 15-20%. [8,9] Dalam penelitian ini, konsentrasi CO₂ yang digunakan 6,71%. Dengan demikian, masih

ada kemungkinan pemberian konsentrasi CO₂ ditingkatkan hingga 20%. Dalam komposisi gas yang diberikan terkandung gas CO dengan konsentrasi lebih dari 1000 ppm, akan tetapi pertumbuhan mikroalga tidak menunjukkan adanya gangguan. Penelitian ini menggunakan mikroalga untuk penyerapan emisi CO₂ industri merupakan langkah penanggulangan dampak pencemaran udara. [10] Sistem kolam kultur yang dilengkapi dengan alat penukar panas menunjukkan kemampuan dalam menurunkan suhu gas buang hingga mencapai suhu yang dapat diadaptasi oleh mikroalga. [11]

SIMPULAN

1. Penambahan nutrisi untuk pertumbuhan mikroalga dibutuhkan setiap 7 hari dan penambahan unsur P dibutuhkan setiap 14 hari.

2. Berdasarkan data pertumbuhan mikroalga dan grafik kandungan unsur anion pada media kolam kultur tampak bahwa pertumbuhan mikroalga sangat dipengaruhi ketersediaannya nutrisi pada media kolam kultur.
3. Mikroalga *Euglena* sp mampu menyerap gas CO₂ dengan konsentrasi 20% (kemampuan alat Gas Analyzer hanya mendeteksi konsentrasi maksimum 20%).
4. Efisiensi penyerapan CO₂ oleh mikroalga *Euglena* sp. dapat mencapai 98,87% dengan pemberian CO₂ rata-rata sebesar 167,26 gram/hari.

DAFTAR PUSTAKA

- (1) Meiviana. 2004 Faktor Lingkungan. <http://aatunhalu.wordpress.com>. Diakses tanggal 24 November 2010.
- (2) Borowitzkz, M A. 1999. Pharmaceuticals and agrochemicals from microalgae. In: Cohen, Z (ed) Chemicals from microalgae. Taylor & Francis. London. Pp.313-352.
- (3) Sanchez Miron A, Contreras Gomez A, Garcia Camacho F, Molina Grima E, Chisti Y. 1999. Comparative evaluation of compact photobioreactors for large-scale monoculture of microalgae. J Biotechnol 70:231-247.
- (4) Technology. 2010. CO₂-Adsorbing Microalgae Cultivated Using Power Plant Exhaust Gas. <http://www.japanfs.org/en/pages/029515.html>. 15 Nov 2010
- (5) Steenblok. 2000. Heterotrophic Carbon Dioxide Fixation Products of *Euglena*. Plant Physiol. (1980) 65:566-568.
- (6) Sachlan, M. 1982. Planktonologi. Fakultas Peternakan dan Perikanan Universitas Diponegoro. Semarang.
- (7) Dianursanti, Nuzulliany R, Wijanarko A dan Nasikin M. 2009. Peningkatan Produksi Biomassa *Chlorella vulgaris* melalui perlakuan teknik pemerangkapan sel dalam aliran sirkulasi media kultur. Pros. Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia – SNTKI. Bandung, 19-20 Oktober 2009.
- (8) Jennifer, G.P and Meyrick, J.P.1979. Heterotrophic Carbon Dioxide Fixation Products of *Euglena*. Plant Physiol. (1980) 65:566-568.
- (9) Anonim. 2010. CO₂-Absorbing Microalga Cultivated Using Power Plant Exhaust Gas. <http://japans.org/en/pages/029515>. Diakses 15 November 2010.
- (10) Kastiyowati, Indah. Dampak dan Upaya Penanggulangan Pencemaran Udara . <http://buletinlitbang.dephan.go.id>. Diakses tanggal 24 November 2010.
- (11) Kraus, and Bejan. 2003. Heat Transfer Handbook. USA: John Wiley and Sons.