



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

© Hak Cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University

JRL	Vol.8	No.2	Hal. 99 - 283	Jakarta, Juli 2012	ISSN : 2085.3866 No.376/AU1/P2MBI/07/2011
-----	-------	------	---------------	-----------------------	--

JURNAL REKAYASA LINGKUNGAN

Journal of Environmental Engineering

- Pengamatan Gas pada Tempat Pemrosesan Akhir (TPA)
Sampah pada Sistem Basah (Kasus TPA di Bangli, Bali)
Samsuhadi
- Analisa Biaya Pengolahan Limbah Medis (B3) Rumah Sakit dengan Insinerator
Wahyu Widayat dan Satmoko Yudo
- Dampak dan Prospek Pengembangan Industri Minyak Kayu Putih
sebagai Produk Unggulan di Pulau Buru, Provinsi Maluku
Sudaryono
- Seleksi Daya Hambat Isolat *Lactobacillus* Terhadap *S. aureus* dan *Vibrio sp.* Serta Aplikasinya pada Roti Udang
Titin Yulinery
- Kajian Keekonomian Pembangkit Minihidro Cicaso sebagai Upaya Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca
Irhan Febijanto
- Upaya Mengurangi Dampak Kerusakan Lingkungan Akibat Eksplotasi Tambang Pasair di Kec. Paseh
Kabupaten Sumedang Propinsi Jawa Barat
Wahyu Garinas
- Faktor Perkotaan yang Berpengaruh untuk Mendukung Pengembangan Industri di Kota Cilegon
CB. Herman Edyanto
- Pengembangan Konsorsium Mikroba untuk Mendegradasi Senyawa Organik
pada Sungai Tercemar dan Air Limbah Peternakan
Bambang Priadie
- Analisis Karakteristik Fisik, Kimia dan Biologi Gambut Tropika
dalam Pemanfaatannya sebagai Media *BiTumMen*
E. Hanggari Sittadewi
- Serapan Emisi CO₂ dari Cerobong Industri Susu Melalui beberapa
Jenis Fitoplankton pada Sistem Airlift Fotobioreaktor
Agung Riyadi, Ety Riani, Setyo Budi Susilo, Ario Damar
- Dekomposisi Karbon Dioksida dan Reformasi Karbon Dioksida Teknologi Plasma Non-Termal
Widiatmini Sih Winanti, Setijo Bismo dan Wahyu Purwanto
- Penerapan Analisis MDS (Multi-Dimensional Scaling) Pada Pengembangan Energi Panas Bumi
Berkelanjutan (Studi Kasus Di Pltp Darajat Garut, Indonesia)
Arief Yunan, Bambang Pramudya, Surjono H. Sutjahjo, Armansyah H. Tambunan, Zulkifli Rangkuti
- Memperkuat Ketahanan Pangan melalui Pengembangan Industri Mocaf (*Modified Cassava Flour*)
Maryadi
- Penggunaan Data Satelit Cuaca Trmm untuk Menduga Curah Hujan di Perkebunan Lampung Tengah
Dwi Rustam Kendarto, Asep Sapei, Yuli Suharnoto, Hidayat Pawitan
- Keberlanjutan Pembangunan Perikanan Tangkap di Sulawesi Selatan
Andi Zainal, Etti Riani, Setyo Budi Susilo, Ferdinan Yulianda
- Penerapan Produksi Bersih Sebagai Upaya Peningkatan Efisiensi Di Pabrik Gula
(Studi Kasus Pabrik Gula Kedawoeng Jawa Timur)
Lestario Widodo
- Prospek Rumput Laut Sebagai Bahan Baku Industri *Biofuel* yang Ramah Lingkungan
Anny Kustantiny

**PUSAT TEKNOLOGI LINGKUNGAN
BADAN PENGKAJIAN DAN PENERAPAN TEKNOLOGI**



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University

JRL	Vol.8	No.2	Hal. 99 - 283	Jakarta, Juli 2012	ISSN : 2085.3866 No.376/AU1/P2MBI/07/2011
-----	-------	------	---------------	-----------------------	--

JURNAL REKAYASA LINGKUNGAN
Journal of Environmental Engineering
Volume 8 no 2, Juli 2012

Pembina

Deputi Ketua Teknologi Pengkajian Sumberdaya Alam
Direktur Pusat Teknologi Lingkungan

Pemimpin Redaksi

Dra Rosita Shochib
(Perekayasa Madya bidang Pengelolaan Sampah)

Mitra Bestari

Prof. Dr. Ir. Yudhi Sutrisno Garno, MSc.
(Bidang Ekologi)
Prof. Dr. Ir. Kardono, MSc.
(Bidang Kualitas Udara dan Perubahan Iklim)
Ir. Sudaryono Sumantri, Msi. APU.
(Bidang Konservasi Lahan dan Tata Air)

Dewan Redaksi

Ir. Wahyu Purwanta, MT.
(Teknik Lingkungan)
Ir. Nugro Raharjo, MSc
(Pengolahan Air dan Limbah Cair)
Rahmania Admirasari, MSc
(Biologi)
Ir. Hendra Tjahjono, Msi.
(Teknik Mesin/Material)
Dr. Ir. Joko Prayitno Susanto
(M Eng/Produksi Bersih)

Redaksi Teknis

Andri Gunawan

Penerbit

Pusat Teknologi Lingkungan
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

Pencetak

NUANSA CYAN MANDIRI

Alamat Redaksi

Jurnal Rekayasa Lingkungan, Pusat Teknologi Lingkungan
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
BPPT Gd II Lt 19, jln. MH Thamrin no 8, Jakarta 10340
Telp. 021.316-9725, 021. 316-9726
Fax. 021.3169760
Email : andri.gunawan@bppt.go.id
<http://enviro.bppt.go.id>

Jurnal Rekayasa Lingkungan (JRL) diterbitkan sejak tahun tahun 2005, 3 (tiga) kali setahun. Redaksi menerima naskah ilmiah hasil penelitian, ulasan dll yang erat hubungannya dengan teknologi dan rekayasa lingkungan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT, Tuhan Yang Maha Kuasa atas perkenan-Nya kami dapat menerbitkan Jurnal Rekayasa Lingkungan (JRL) Volume 8 Nomor 2, Juli 2012.

Dalam edisi ini disajikan 17 (Tujuhbelas) makalah yang berkaitan dengan teknologi dan rekayasa lingkungan meliputi :

Pengamatan Gas pada tempat pemrosesan akhir, analisa biaya pengolahan limbah medis, dampak dan pengembangan minyak kayu putih, seleksi daya hambat isolat, kajian keekonomian pembangkit minihidro, upaya mengurangi dampak kerusakan lingkungan, faktor perkotaan yang berpengaruh untuk mendukung pengembangan industri, pengembangan konsorsium mikroba, analisis karakteristik fisik, serapan emisi CO₂, dekomposisi karbon dioksida, penerapan analisis mds, memperkuat ketahanan pangan, penggunaan data satelit, pembangunan perikanan tangkap, penerapan produksi bersih dan prospek rumput laut.

Jurnal ini telah mendapatkan akreditasi dengan nomor akreditasi 376/AU1/P2MBI/07/2011

Terima kasih kami sampaikan kepada para peneliti, perekayasa dan para fungsional lain yang telah ikut berpartisipasi mengirimkan makalah untuk kelangsungan jurnal ini. Tak lupa kami ucapkan terima kasih kepada para Mitra Bestari yang telah membantu, sehingga jurnal ini dapat diterbitkan

Kami mengharapkan masukan saran dan kritik demi penyempurnaan terbitan selanjutnya, serta semoga kerjasama yang telah bejalan dapat ditingkatkan.

Jakarta, Juli 2012

Salam
Dewan Redaksi



JRL	Vol.8	No.2	Hal. 99 - 283	Jakarta, Juli 2012	ISSN : 2085.3866 No.376/AU1/P2MBI/07/2011
-----	-------	------	---------------	-----------------------	--

JURNAL REKAYASA LINGKUNGAN
Vol. 8 No. 2, Juli 2012 ISSN : 2085-3866

Daftar Isi

	Halaman
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	iv
Pengamatan Gas pada Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah pada Sistem Basah (Kasus TPA di Bangli, Bali) Samsudin	99 - 107
Analisa Biaya Pengolahan Limbah Medis (B3) Rumah Sakit dengan Insinerator Wahyu Widayat dan Satmoko Yudo	109 - 118
Dampak dan Prospek Pengembangan Industri Minyak Kayu Putih sebagai Produk Unggulan di Pulau Buru, Provinsi Maluku Sudaryono	119 - 128
Seleksi Daya Hambat Isolat <i>Lactobacillus</i> Terhadap <i>S. aureus</i> dan <i>Vibrio sp.</i> Serta Aplikasinya pada Roti Udang Titin Yulinery	129 - 142
Kajian Keekonomian Pembangkit Minihidro Cicaso sebagai Upaya Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca Irhan Febijanto	143 - 156
Upaya Mengurangi Dampak Kerusakan Lingkungan Akibat Eksplosi Tambang Pasair di Kec. Paseh Kabupaten Sumedang Propinsi Jawa Barat Wahyu Garinas	157 - 166
Faktor Perkolaan yang Berpengaruh untuk Mendukung Pengembangan Industri di Kota Cilegon CB. Herman Edyanto	167 - 176
Pengembangan Konsorsium Mikroba untuk Mendegradasi Senyawa Organik pada Sungai Tercemar dan Air Limbah Peternakan Bambang Priadie	177 - 188
Analisis Karakteristik Fisik, Kimia dan Biologi Gambut Tropika dalam Pemanfaatannya sebagai Media <i>BiTumMen</i> E. Hanggari Sittadewi	189 - 197
Serapan Emisi CO ₂ dari Cerobong Industri Susu Melalui beberapa Jenis Fitoplankton pada Sistem Airlift Fotobioreaktor Agung Riyadi, Ety Riani, Setyo Budi Susilo, Ario Damar	199 - 210
Dekomposisi Karbon Dioksida dan Reformasi Karbon Dioksida Teknologi Plasma Non-Termal Widiatmini Sih Winanti, Setijo Bismo dan Wahyu Purwanto	211 - 218
Penerapan Analisis MDS (Multi-Dimensional Scaling) Pada Pengembangan Energi Panas Bumi Berkelanjutan (Studi Kasus Di Pltp Darajat Garut, Indonesia) Arief Yunan, Bambang Pramudya, Surjono H. Sutjahjo, Armansyah H. Tambunan, Zulkifli Rangkuti	219 - 231
Memperkuat Ketahanan Pangan melalui Pengembangan Industri Mocaf (<i>Modified Cassava Flour</i>) Maryadi	233 - 240
Penggunaan Data Satelit Cuaca Trmm untuk Menduga Curah Hujan di Perkebunan Lampung Tengah Dwi Rustam Kendarto, Asep Sapei, Yuli Suharnoto, Hidayat Pawitan	241 - 247
Keberlanjutan Pembangunan Perikanan Tangkap di Sulawesi Selatan Andi Zainal, Etti Riani, Setyo Budi Susilo, Ferdinan Yulianda	249 - 258
Penerapan Produksi Bersih Sebagai Upaya Peningkatan Efisiensi Di Pabrik Gula (Studi Kasus Pabrik Gula Kedawoeng Jawa Timur) Lestario Widodo	259 - 272
Prospek Rumput Laut Sebagai Bahan Baku Industri <i>Biofuel</i> yang Ramah Lingkungan Anny Kustantiny	273 - 283

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



JRL	Vol.8	No.2	Hal. 199 - 210	Jakarta, Juli 2012	ISSN : 2085.3866 No.376/AU1/P2MBI/07/2011
-----	-------	------	----------------	-----------------------	--

SERAPAN EMISI CO₂ DARI CEROBONG INDUSTRI SUSU MELALUI BEBERAPA JENIS FITOPLANKTON PADA SISTEM AIRLIFT FOTOBIOREAKTOR

Agung Riyadi¹⁾, Ety Riani²⁾, Setyo Budi Susilo³⁾, Ario Damar⁴⁾

Mahasiswa S3 Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan IPB¹⁾

Dosen Pengelolaan Sumberdaya Perairan IPB Bogor^{2,4)}

Dosen Teknologi Kelautan IPB Bogor³⁾

Abstrak

Penelitian ini mempunyai tujuan untuk melihat tingkat serapan karbondioksida dari berbagai jenis mikroalga melalui fotobioreaktor dengan sistem airlift. Input udara yang dipakai berasal dari cerobong susu dari PT. INDOLAKTO di Jakarta. Jenis jenis mikroalga yang dipakai berasal dari strain murni meliputi chlorella, scenedesmus dan nannokloropsis, dan 1 jenis dari mikroalga alam yang berasal dari Waduk Cirata dan 1 fotobioreaktor tanpa mikroalga (control). Jenis nannokloropsis sp merupakan mikroalga yang berasal dari air laut. Pengukuran penyerapan karbondioksida dilakukan selama 1 siklus mikroalga. Dari beberapa jenis fitoplankton yang diujicoba, jenis chlorella sp mempunyai tingkat serapan CO₂ yang paling tinggi, yaitu sebesar 1.406 gr/ltr/hari, kemudian diikuti jenis Scenedesmus sp sebesar 1.304 gr/ltr/hr, nanokloropsis sp sebesar 1.078 gr/ltr/hr, mikroalga alam sebesar 1.035 gr/ltr/hr dan tanpa alga 0.213 gr/ltr/hr. Tingkat pertumbuhan biomassa yang paling besar adalah jenis chlorella sp hingga mendekati 32.1 juta sel/ml dan yang paling kecil adalah berasal dari mikroalga alam (Waduk Cirata), dimana pada pertumbuhan maksimalnya tercatat 12.2 juta sel/ml. Secara keseluruhan tidak terdapat perbedaan yang nyata antara berbagai jenis mikroalga tersebut. Pemanfaatan fotobioreaktor mikroalga sebagai penyerap karbondioksida di industri masih terkendala kepada regulasi yang ada saat ini. Regulasi mengenai pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK) khususnya karbondioksida belum ditetapkan, sehingga pihak industri belum menerapkan teknologi tersebut. Pemanfaatan biomassa mikroalga dapat dipakai sebagai pakan ikan dan biofuel sebagai bahan bakar alternative selain fosil.

Kata kunci : fotobioreaktor, mikroalga, karbondioksida, industry .

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Abstract

This study has objective to see the level of uptake of carbon dioxide from various types of microalgae follow with airlift photobioreactor system. Input air (karbondioksida) from the chimney from PT. Indolakto Jakarta. Types of microalgae used include pure strains like chlorella sp, scenedesmus sp and nannokloropsis so, and 1 type of natural microalgae from Reservoir Cirata and 1 photobioreactor without microalgae (control). Type nannokloropsis sp microalgae is derived from seawater. Measurements of carbon dioxide absorption performed for 1 cycle of microalgae. Of the several types phytoplankton are tested, the type of chlorella sp has the highest CO₂ uptake, amounting to 1.406 gr/ltr/day, followed by 1.304 gr/ltr/day kind of Scenedesmus sp and nanokloropsis sp of 1.078 gr/ltr/day, microalgae from Cirata Reservoir is about 1.035 gr/ltr/day and without algae 0.213 gr/ltr/day. Biomass growth rate is the greatest type of chlorella sp to nearly 32.1 million cells/ml and the least of which is derived from natural microalgae (Cirata Reservoir), where the maximum growth recorded 12.2 million cells/ml. Overall there is not a significant difference between the types of microalgae. Fotobireaktor utilization of microalgae as an absorber of carbon dioxide in the industri are still constrained to the existing regulations. Regulations regarding the reduction of greenhouse gas emissions (GHG), particularly carbon dioxide has not been established, so that the industri has not implemented the technology. Utilization of microalgae biomass can be used as fish feed and biofuels as alternative than fossil fuels.

Key words : fotobioreaktor, mikroalga, karbondioksida, industry .

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya konsentrasi emisi gas gas seperti karbondioksida (CO_2), dinitrooksida (N_2O), metana (CH_4) dan CFC di atmosfer mengakibatkan berbagai dampak negatif bagi lingkungan, diantaranya adalah meningkatnya temperatur global. Berbagai aktivitas manusia adalah salah satu penyebab utama perubahan iklim dan pemanasan global. Misalnya saja CO_2 yang banyak dikeluarkan oleh aktifitas industri dan kendaraan bermotor. Hal ini akan menjadi masalah tersendiri karena berdampak buruk bagi seluruh kehidupan di bumi, sebagai contoh terjadi perubahan iklim yang signifikan sehingga banyak terjadi bencana seperti kekeringan, kenaikan muka air laut ataupun banjir.

Sektor energi dan industri merupakan salah satu penyumbang emisi GHG terbesar di Indonesia, demikian juga dengan kehutanan. Pada tahun 2004, emisi GHG akibat pemanfaatan energi mencapai 22,5% terhadap total emisi GHG nasional sebesar 1.711.443 Gg CO_2e . Total emisi CO_2e termasuk LULUCF (UNDP, 2009) Mengingat pentingnya peranan sektor energi dan industri dalam produksi GHG Indonesia, maka berbagai analisis teknologi mitigasi pengurangan emisi GHG telah dilakukan sejak tahun 2000, bahkan upaya nyata dalam penurunan emisi GHG sedang dilaksanakan sehubungan dengan rencana pemerintah Indonesia mengurangi emisi GHG sebesar 26% pada tahun 2020 (dengan biaya sendiri) dan dapat ditingkatkan menjadi 41% dengan bantuan dana asing (Bappenas, 2010).

Gas-gas rumah kaca (GRK) akibat aktivitas manusia dengan dominasi gas CO_2 telah memicu berbagai negara di dunia untuk melakukan berbagai upaya pengurangan konsentrasi CO_2 melalui pengembangan teknologi di masing masing negara. Salah satu pengembangan teknologi tersebut adalah dengan Carbon Capture

Storage (CCS). Teknologi CCS dapat dilakukan secara fisik (melalui injeksi CO_2 ke sumur-sumur geologi atau bekas tambang minyak) maupun melalui serapan CO_2 oleh fitoplankton. Pengembangan teknologi menggunakan fitoplankton lebih dikenal sebagai *biologically carbon capture and storage*. Oleh karena itu dibutuhkan langkah-langkah untuk mengurangi emisi karbondioksida di atmosfer (CO_2) atau emisi lain, antara lain melalui teknologi *Carbon Capture and Storage* (CCS) (Anonim, 2008).

Kultur fitoplankton dalam fotobioreaktor untuk mengurangi konsentrasi karbondioksida (CO_2) telah dilakukan sejak sepuluh tahun terakhir (Sobczuk, T.M. at all. 1999) Menurut (Chio, at all. 2007) fitoplankton dapat digunakan secara efisien dalam penyerapan CO_2 karena dapat tumbuh dengan cepat serta siap untuk digunakan pada suatu sistem enjiniring seperti fotobioreaktor. Dengan teknologi fotobioreaktor ini, tingkat produktifitas alga dapat ditingkatkan menjadi 2 hingga 5 kali lebih tinggi dari kondisinya. Teknologi fotobioreaktor baru dikembangkan di berbagai negara seperti Amerika, Belanda dan Jerman yang merupakan negara-negara yang mempunyai komitmen untuk mengembangkan teknologi ini.

Fotobioreaktor yang berisi fitoplankton ini berperan untuk menangkap CO_2 dari cerobong industri, apabila gas yang mengandung CO_2 dialirkan ke dalam tabung fotobioreaktor. Sebagaimana dalam proses fotosintesis yang membutuhkan CO_2 , maka CO_2 yang dimasukkan ke dalam tabung fotobioreaktor akan diserap dan selanjutnya digunakan untuk pertumbuhan fitoplankton tersebut. Apabila biomasa fitoplankton dapat ditingkatkan (*scale up*), maka dapat diasumsikan bahwa jumlah CO_2 yang dapat diserap juga akan meningkat. Berdasarkan karakteristik tersebut fitoplankton lebih efisien dibandingkan dengan berbagai tumbuhan terrestrial dan disarankan menjadi salah satu alternatif upaya pengurangan emisi karbon ke atmosfer (Chrismandha., T. dkk., 2005)

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Penelitian menggunakan fotobioreaktor sistem *batch* dan skala laboratorium menggunakan botol duran juga sudah pernah dilakukan di Indonesia dengan beberapa jenis fitoplankton, sedangkan penelitian yang menggunakan fotobioreaktor sistem *airlift* secara kontinyu pada industri belum pernah dilakukan. Beberapa jurnal menyebutkan kalau sistem *airlift* fotobioreaktor lebih efektif tingkat pencampurannya dibandingkan dengan tubular biasa.

Perbedaan sistem *batch* dan kontinyu antara lain terletak pada suplay gas CO₂ yang terus menerus. Diharapkan dari uji coba tersebut produktivitas dan efektivitas fotobioreaktor bisa ditingkatkan dalam hal produksi biomassa dan penyerapan gas CO₂. Jenis fitoplankton yang diujicoba pada sistem *batch* baru terbatas kepada 2 jenis (*Chlorella sp* dan *Chaetoceros sp*), maka disamping melihat efektifitas fotobioreaktor juga melihat jenis jenis fitoplankton yang efektif dan potensial dalam menyerap emisi karbondioksida, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan beberapa jenis fitoplankton pada sistem *airlift* fotobioreaktor”

1.2 Tujuan

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut :

- 1) Menemukanali tingkat serapan CO₂ fotobioreaktor sistem *airlift* dari beberapa jenis fitoplankton
- 2) Mengevaluasi tingkat keberhasilan dan kelayakan fotobioreaktor fitoplankton sistem *airlift* di industri susu.

II. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian di PT. INDOLAKTO (Susu Indomilk), Jl. Raya Bogor Km. 26.6 Gandaria, Jakarta 13710 untuk pemasangan sistem fotobioreaktornya dan Balai Teknologi Lingkungan – BPPT di PUSPIPTEK Serpong untuk perbanyak biomassa fitoplankton.

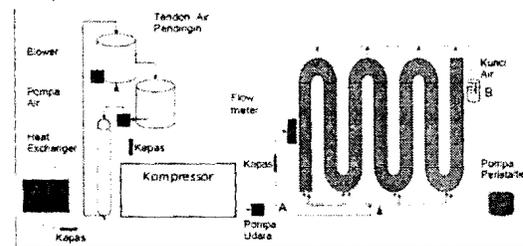
Penelitian dilakukan pada bulan Juli 2010 hingga bulan Februari 2011 yang meliputi pengumpulan data lapangan dan analisis laboratorium dan analisis data.

2.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data primer dilakukan dengan pengukuran langsung di industri PT. INDOLAKTO untuk memperoleh karakteristik tingkat serapan CO₂ dari masing masing jenis fitoplankton dan parameter kualitas air. Data sekunder berupa data analisis kualitas udara di PT. INDOLAKTO dan jurnal jurnal yang berkaitan dengan studi.

Rancangan eksperimen terdiri atas 3 kelompok besar sistem yaitu: cerobong (*stack*), heat exchanger (*cooler system*), kompresor beserta dengan sistem fotobioreaktor. Percobaan ini mengambil input gas yang berasal dari cerobong industri PT. INDOLAKTO. Gas CO₂ dan emisi lain yang berasal dari cerobong disalurkan dan ditampung di dalam kompresor. Udara yang panas dari cerobong dilewatkan *heat exchanger (cooler)* untuk mendinginkan suhu udara yang ada, sehingga udara di dalam tampungan kompresor temperaturnya relatif lebih dingin. Kemudian dari kompresor, udara disalurkan langsung ke fotobioreaktor. Sebelum masuk ke fotobioreaktor, udara yang masuk diatur kecepatan udaranya menggunakan *flow meter*. Kecepatan udara yang digunakan dalam penelitian ini adalah 2 liter/menit.

Gambar 1 di bawah ini memperlihatkan skema head exchanger dan fotobioreaktor fitoplankton.



Gambar 1. Disain *heat exchanger* dan fotobioreaktor fitoplankton sistem kontinyu

1. Dilarang menyalin sebagian atau seluruhnya tanpa mengemukakan sumber.
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruhnya tanpa izin IPB.

Spesifikasi dari 1 paket (sistem) fotobioreaktor terdiri atas: Volume 100 liter, tabung reaktor (*fine acrylic* 5 mm, diameter 100 mm dan tinggi 160 cm), *draught tube* (*fine acrylic* 3 mm, diameter 80 mm), flow meter 0-5 liter/menit, sistem perpipaan atas selang plastik dan terdapat 6 *U tube* yang berbahan PVC diameter 100 mm dengan volume masing masing 2 liter. *U tube* ini dipasang di bawah dan di atas tabung reaktor yang berfungsi sebagai penghubung antar tabung. Total terdapat 5 paket fotobioreaktor.

2.3 Analisis Data

Berdasarkan wawancara yang dilakukan dengan pihak PT. Indolakto, diketahui bahwa emisi dari boiler yang akan dijadikan sebagai sumber emisi pada kegiatan ini memiliki temperatur sekitar 200°C. Sedangkan informasi beberapa parameter hasil pengukuran pada cerobong dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Kadar beberapa Parameter dari Cerobong Boiler

No	Parameter	Kadar
1	Karbon dioksida (CO ₂)	8%-9%
2	Karbon monoksida (CO)	46 - 46 ppm
3	Burner Efficiency	95%
4	Steam Pressure	15-20 bar
5	Temperatur (Kisaran rata2)	116-207°C

2.4 Rancangan Experimen Fitoplankton

Perbedaan spesies/jenis fitoplankton berpengaruh terhadap tingkat serapan CO₂ dan emisi yang lain. Rancangan percobaan akan mencoba 3 jenis kultur murni fitoplankton yang terdiri atas 1 jenis dari air laut dan 2 jenis dari air tawar, 1 fitoplankton alam serta percobaan tanpa spesies fitoplankton (kontrol). Penelitian ini juga akan melihat tingkat serapan CO₂ oleh fitoplankton yang berasal dari Waduk Cirata (tidak kultur murni). Sumber injeksi CO₂ berasal dari cerobong industri. Dalam penelitian ini nutrient yang dipakai menggunakan pupuk

organik yaitu Growthmore. Rencana ujicoba jenis fitoplankton dan input perlakuan yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini. Perlakuan pemberian nutrient, input CO₂ dan lainnya sama. Pemberian nama R1 hingga R5 adalah untuk reaktor 1 hingga reaktor 5. Penggunaan reaktor 1 hingga reaktor 5 dapat dilihat pada Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Nama reaktor dan jenis fitoplankton. Pengamatan dan pengambilan

No	Jenis Fitoplankton (kultur murni)	Sumber air	Keterangan
R1	Scenedesmus sp	Air Laut	Berasal dari LON LIPI
R2	Nannocloropsis sp	Air Laut	Berasal dari LON LIPI
R3	Chlorella sp.	Air Tawar	Berasal dari BTL Serpong
R4	Alga Alam	Air Tawar	Berasal Waduk Cirata
R5	Kontrol (tanpa spesises)	Air Tawar	-

sampel yang dilakukan pada percobaan ini adalah mengambil data kualitas udara setiap 2 jam (input dan output) yang meliputi CO₂, O₂, CH₄, CO serta intensitas cahaya, sampel kualitas air (pH dan temp) dari jam 07.00 hingga 18.00 dan biomassa fitoplankton diambil setiap hari, sedangkan sampel proximate dilakukan setiap 1 minggu.

2.5 Airlift Fotobioreaktor

Reaktor dengan tipe airlift ini diketahui memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan sistem kolom gelembung (*bubble columns*), dimana pola sirkulasi fluida ditentukan oleh desain reaktor yang memiliki saluran untuk aliran air-udara ke atas (*riser*) dan saluran terpisah untuk aliran ke bawah (*downcomer*) (Vunjak-Novakovic, G. at all., 2005) Model *airlift* ini dipilih untuk menjadikan PBR akan lebih produktif dan mudah pengoperasiannya.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengaminikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

2.6 Perhitungan Massa Gas CO₂

Prinsip perhitungan massa gas CO₂ dapat dilakukan dengan berdasarkan pada berat kering biomassa dan perhitungan persamaan gas ideal. Prinsip perhitungan berdasarkan berat kering biomassa adalah dengan mengasumsikan bahwa setiap gas CO₂ yang digunakan untuk proses fotosintesis akan menghasilkan biomassa fitoplankton. Jadi berat kering biomassa fitoplankton tersebut dianggap sama dengan berat gas CO₂ yang terserap selama pertumbuhan fitoplankton tersebut.

Cara kedua adalah dengan cara menghitung massa molekul CO₂ yang diinjeksikan dalam FBR. Menurut hukum persamaan gas ideal yang diturunkan dari hukum Boyle, hukum Charles dan hukum Gay-Lussac menyatakan bahwa massa suatu zat setara dengan massa molekul zat tersebut yang dinyatakan dalam 1 (satu) mol. Dengan asumsi hukum-hukum di atas, maka massa gas CO₂ dapat dihitung dari jumlah mol dan volume gas CO₂ yang masuk dalam FBR.

Rincian penurunan rumus perhitungan gas CO₂ adalah sebagai berikut :

Hukum Boyle : menyatakan bahwa apabila suhu gas konstan, maka ketika tekanan gas bertambah, volume gas semakin berkurang. Dengan demikian volume gas berbanding terbalik dengan tekanannya.

- $V \sim 1/P \longrightarrow T \text{ konstan}$ Hubungan 1
 dimana :
- ~ : sebanding
 - V : volume (meter kubik = m³)
 - P : tekanan (Newton per meter kuadrat (N/m²) = Pascal (pa))
 - T : suhu (Kelvin = K)

Hukum Charles : menyatakan hubungan antara suhu dan volume gas. Apabila tekanan gas konstan, maka ketika suhu mutlak gas bertambah, volume gas akan bertambah, sebaliknya ketika suhu mutlak gas berkurang, volume gas juga ikut

berkurang. Secara matematis ditulis sebagai berikut :

$$V \sim T \longrightarrow P \text{ konstan} \dots \text{Hubungan 2}$$

Hukum Gay-Lussac menyatakan bahwa pada volume gas konstan, tekanan gas bertambah, maka suhu mutlak gas akan bertambah, demikian juga sebaliknya. Jadi volume konstan, tekanan gas berbanding lurus dengan suhu mutlaknya.

$$P \sim T \longrightarrow V \text{ konstan} \dots \text{Hubungan 3}$$

Hukum Boyle, hukum Charles dan hukum Gay-Lussac diatas menghasilkan hubungan antara suhu, volume dan tekanan gas secara terpisah. Ketiga hukum tersebut memiliki keterkaitan erat dan saling mempengaruhi, sehingga bila diturunkan akan menghasilkan hukum persamaan gas ideal.

Jika hubungan 1, hubungan 2 dan hubungan 3 digabung menjadi satu, maka akan dihasilkan seperti ini :

$$P V \sim T \longrightarrow \dots \text{Hubungan 4}$$

Hubungan ini menyatakan bahwa perkalian antara tekanan (P) dan volume (V) gas dalam suatu tempat akan sebanding dengan suhu mutlak (T)nya.

Hubungan 4 dapat ditulis menjadi 2 persamaan :

$$\frac{PV}{T} = \text{Konstan}$$

$$\frac{PV_1}{T_1} = \frac{PV_2}{T_2}$$

Keterangan :

- P₁ = tekanan kondisi 1
- P₂ = tekanan kondisi 2
- V₁ = volume kondisi 1
- V₂ = volume kondisi 2
- T₁ = suhu mutlak kondisi 1
- T₂ = suhu mutlak kondisi 2



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Setelah mengetahui hubungan antara suhu, volume dan tekanan gas, maka massa gas akan dengan mudah dapat dihitung, karena setiap zat atau materi, termasuk zat gas terdiri dari atom-atom atau molekul-molekul mempunyai massa.

Massa gas (m) berbanding lurus dengan volume gas (V). Secara matematis ditulis seperti ini :

$$V \sim m \text{ -----} \rightarrow \dots\dots\dots \text{Hubungan 5}$$

Jika perbandingan 4 digabung dengan perbandingan 5 maka akan menjadi seperti ini :

$$PV \sim mT \text{ -----} \rightarrow \dots\dots\dots \text{Hubungan 6}$$

Pada perbandingan 6 di atas, apabila kita menggunakan jumlah mol (n) untuk menyatakan ukuran suatu zat maka diperlukan konstanta perbandingan yang besarnya sama untuk setiap gas. Konstanta perbandingan yang dimaksud adalah konstanta gas universal (R) yang nilainya adalah 8,315 (J/mol.K) atau 0,0821 (L.atm / mol.K).

(J = Joule, K = Kelvin, L = liter, atm = atmosfer, kal = kalori)

Sehingga persamaan gas ideal menjadi **PV = nRT**

dimana :

P = tekanan gas

V = volume gas

n = jumlah mol

R = konstanta gas universal

T = suhu mutlak gas

Persamaan ini dikenal dengan julukan hukum gas ideal atau persamaan keadaan gas ideal.

2.7 Perhitungan Kelimpahan Sel Fitoplankton

Untuk menghitung kepadatan sel, haemositometer dapat digunakan sebagai alat untuk menghitung. Selain itu, ada berbagai macam cara untuk menghitung

jumlah sel antara lain, perhitungan dalam cawan (*plate count*), perhitungan langsung dibawah mikroskop (*direct microscopic count*), atau perhitungan dengan bantuan alat yang disebut penghitung Coulter (*Coulter counter*). Pada metode perhitungan langsung dibawah mikroskop, sampel diletakkan di dalam suatu ruang hitung (seperti haemositometer) dan jumlah sel dapat ditentukan langsung dengan bantuan mikroskop.

Rumus yang digunakan untuk perhitungan kelimpahan sel fitoplankton adalah sebagai berikut (Guillard, R. R. L., 1973)

1) Untuk kepadatan rendah

Penghitungan menggunakan kotak besar (A, B, C, dan D). Fitoplankton yang dihitung adalah fitoplankton yang berada di dalam kotak besar (A, B, C, dan D) dan yang menyentuh garis batas kotak besar tersebut. Kepadatan fitoplakton per mL kemudian dihitung menggunakan rumus berikut. Kepadatan fitoplankton per mL = ((kepadatan kotak A + B + C + D) / 4) x 10⁴

2) Untuk kepadatan tinggi

Penghitungan menggunakan kotak kecil (a, b, c, d, dan e). Fitoplankton yang dihitung adalah fitoplankton yang berada di dalam kotak kecil (a, b, c, d, dan e) dan yang menyentuh garis batas kotak kecil tersebut. Kepadatan fitoplakton per mL kemudian dihitung menggunakan rumus berikut.

Kepadatan fitoplankton per mL = (kepadatan kotak a, b, c, d, dan e) x 5 x 10⁴

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tujuan dari penelitian ini salah satunya adalah melihat tingkat serapan CO₂ dari masing masing jenis fitoplankton, disamping itu juga melihat kapabilitas reactor dan nilai social ekonomi dari fotobioreaktor.

Pengukuran reduksi karbondioksida dilakukan 3 kali ulangan dan diukur setiap 3 jam sekali, dari jam 07.00 pagi hingga jam

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengutamakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

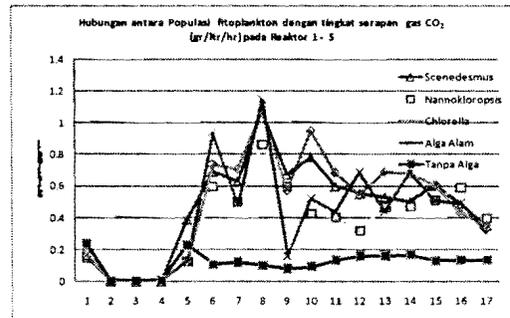
18.00. Pada grafik terlihat pada siang hari penyerapan CO₂ lebih efektif dibandingkan dengan pagi atau sore hari. Terlihat pada Grafik 1 tingkat penyerapan pada hari ke-1 hingga hari ke-3 sangat rendah karena input CO₂ dari cerobong. Flow rate yang dipakai berkisar 2 liter/menit. Pasokan CO₂ bervariasi dari 8% - 10% tergantung dari kapasitas boiler yang digunakan. Fluktuasi nilai CO₂ tersebut berpengaruh terhadap delta CO₂ yang diserap. Penelitian dilakukan dalam 1 (satu) periode eksperimen dengan 3 x ulangan yang dilakukan bersamaan. Tiap tiap ulangan memakai strain yang sama tetapi terdapat perbedaan flow rate yang diinjeksikan.

Dari grafik di bawah ini terlihat hubungan antara populasi beberapa jenis fitoplankton dengan tingkat serapan gas CO₂ (gr/ltr/hari). Beberapa jenis fitoplankton yang diujicoba, jenis chlorella mempunyai tingkat serapan CO₂ yang cukup tinggi, yaitu sebesar 1.406 gr/ltr/hari, kemudian jenis Scenedesmus sebesar 1.304 gr/ltr/hr, nannokloropsis sebesar 1.078 gr/ltr/hr, mikroalga alam sebesar 1.035 gr/ltr/hr dan tanpa alga 0.213 gr/ltr/hr. Nilai ini merupakan nilai rerata dari 17 hari penelitian menggunakan 4 jenis alga yang berbeda dan 1 tanpa alga. Terlihat dari Gambar 2 di bawah ini untuk yang media tanpa alga terjadi fluktuasi penyerapan CO₂ hingga hari ke-5, setelah itu tingkat penyerapan CO₂ relatif konstan, berkisar 0.1 gr/ltr/hari.

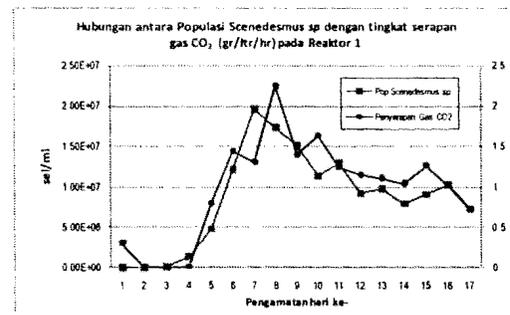
Secara keseluruhan, tidak terdapat perbedaan nilai yang cukup tinggi diantara keempat jenis mikroalga tersebut dari tingkat serapan CO₂nya.

Gambar 3 di bawah ini memperlihatkan hubungan antara populasi mikroalga jenis scenedesmus sp dengan tingkat serapan gas CO₂, terlihat terdapat hubungan positif antara tingkat pertumbuhan mikroalga dengan tingkat serapan CO₂, semakin tinggi tingkat pertumbuhan, semakin besar pula tingkat serapan CO₂nya. Pada hari pertama, jumlah populasi mikroalga berkisar 12 ribu, dan maksimal pertumbuhan terjadi hingga hari ke-7 yang mendekati nilai 19.6 juta

sel/ml, kemudian turun sampai hari ke-14 sebesar 9 juta sel/ml.



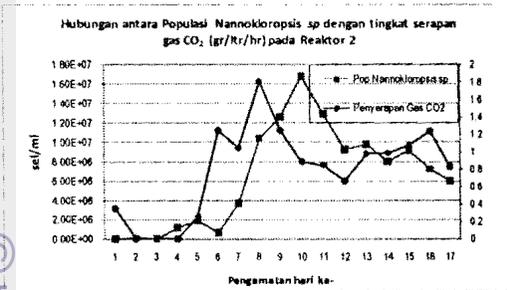
Gambar 2. Hubungan antara populasi fitoplankton dengan tingkat serapan CO₂.



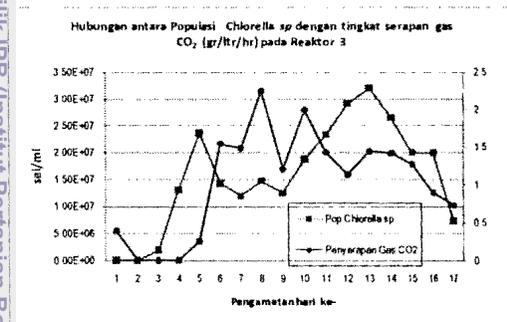
Gambar 3. Hubungan antara populasi scenedesmus sp dengan tingkat serapan gas CO₂.

Pola pertumbuhan mikroalga ini tidak jauh berbeda dengan pola pertumbuhan mikroalga dari jenis yang lain. Gambar di bawah ini memperlihatkan pola pertumbuhan dari jenis mikroalga dari air laut, yaitu nannokloropsis. Maksimal pertumbuhannya hingga hari ke-10.

Gambar 5 di bawah ini memperlihatkan pertumbuhan dari jenis chlorella, fluktuatif naik dan turun, tidak sesuai dengan fase pertumbuhan mikroalga secara umum. Pada hari kelima terlihat sudah mendekati nilai maksimum pertumbuhan sebesar 23.9 juta sel/ml, kemudian turun dan terjadi kenaikan lagi mulai hari ke-9 hingga hari ke-13. Setelah itu terjadi penurunan hingga hari ke-17 menjadi 7.4 juta sel/ml.



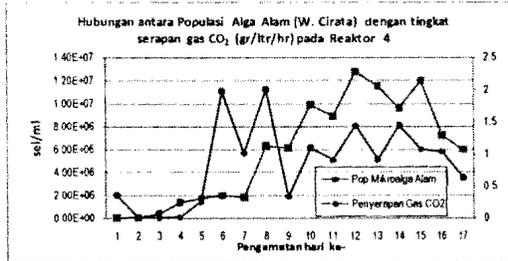
Gambar 4. Hubungan antara populasi nannokloropsis dengan tingkat serapan Gas CO₂.



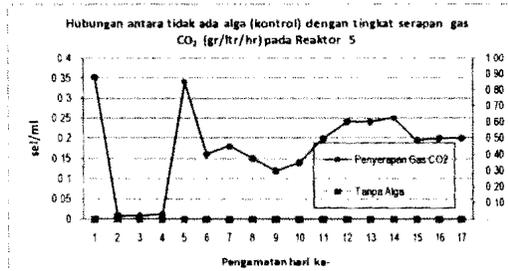
Gambar 5. Hubungan antara populasi chlorella sp dengan tingkat serapan gas CO₂

Gambar 6 di bawah ini memperlihatkan pola pertumbuhan dari mikroalga alam yang diambil dari Waduk Cirata. Tingkat pertumbuhannya cukup lama hingga maksimal mendekati nilai 12.7 juta sel/ml pada hari ke-12. Tingkat pertumbuhan yang relative lama tersebut kemungkinan besar disebabkan karena terdapat berbagai jenis mikroalga, sehingga kurang optimal di dalam pertumbuhannya dan dalam menyerap CO₂, dibandingkan dengan yang menggunakan kultur murni mikroalga.

Ujicoba penyerapan juga dilakukan tanpa menggunakan mikroalga (control). Terlihat pada hari ke-1 hingga hari ke-5 terdapat tingkat penyerapan mendekati nilai 0.25 dan setelah hari ke-6, tingkat penyerapannya tetap hingga hari ke-17 dengan rerata nilainya 0.14 gr/ltr/hr.

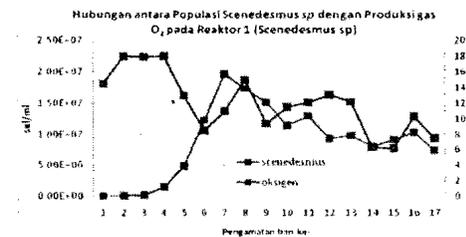


Gambar 6. Hubungan antara populasi alga alam (W. Cirata) dengan tingkat serapan CO₂



Gambar 7. Hubungan antara control (tidak ada alga) dengan tingkat serapan gas CO₂

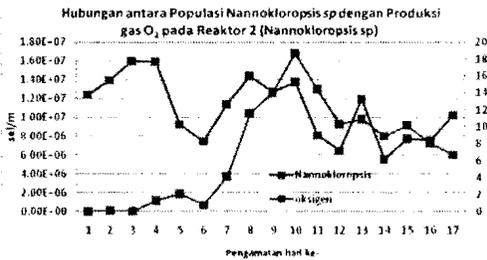
Selain menyerap CO₂, fitoplankton juga menghasilkan oksigen (O₂) seperti pada tumbuhan. Dari Gambar 8 dibawah ini terlihat hubungan antara mikroalga jenis scenedesmus sp dengan dengan oksigen yang dikeluarkan. Terlihat hubungan yang positif antara tingkat pertumbuhan dengan jumlah oksigen yang dikeluarkan. Jumlah oksigen berkisar antara 6 – 18 persen dan terjadi maksimal hingga hari ke-7



Gambar 8. Hubungan antara populasi scenedesmus sp dengan produksi oksigen (O₂).

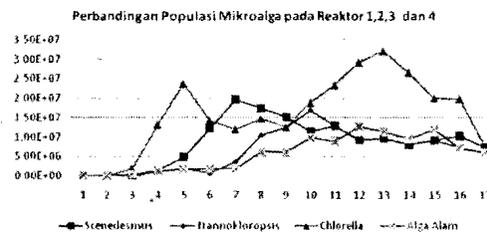
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Gambar 9 di bawah ini memperlihatkan pola pertumbuhan mikroalga jenis nannokloropsis sp dengan produksi gas oksigen yang dikeluarkan. Gas oksigen yang dihasilkan berkisar 7 – 16 persen.



Gambar 9. Hubungan antara populasi nannokloropsis sp dengan produksi oksigen

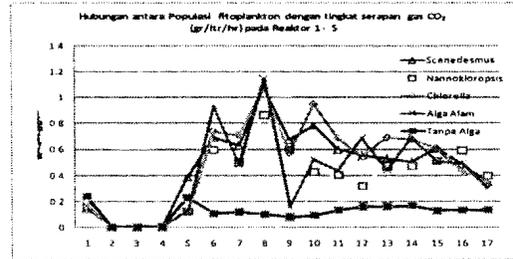
Sedangkan Gambar 10 di bawah ini memperlihatkan pola populasi mikroalga jenis scenedesmus sp, nannokloropsis sp, chlorella sp dan alga alam. Dari 4 jenis tersebut, jenis chlorella menduduki tingkat teratas populasi mikroalganya, yaitu 32.1 juta sel/ml yang terjadi pada hari ke-13. Mikroalga yang berasal dari alam relative rendah tingkat pertumbuhannya.



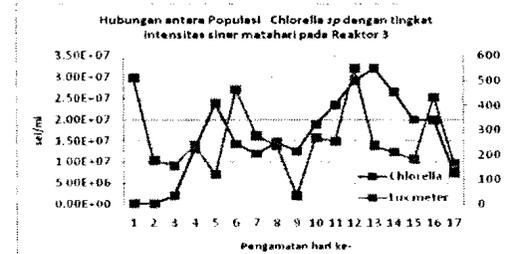
Gambar 10. Perbandingan populasi mikroalga

Sedangkan intensitas cahaya rata-rata pada fotobioreaktor adalah sekitar 25.600 lux. Percobaan di laboratorium untuk *Chlorella* sp dapat tumbuh baik pada intensitas cahaya 70-200 $\mu\text{Mol}/\text{m}^2/\text{det.}^9$. Sehingga seharusnya kebutuhan cahaya untuk pertumbuhan kultur mikroalga *Chlorella* sp. di luar ruangan seperti pada

fotobioreaktor sudah cukup. Gambar di bawah ini memperlihatkan korelasi antara intensitas cahaya dengan tingkat pertumbuhan mikroalga jenis chlorella sp.



Gambar 11. Hubungan antara populasi fitoplankton dengan tingkat serapan gas CO₂.



Gambar 12. Hubungan antara populasi chlorella sp dengan tingkat intensitas sinar matahari.

Studi Kelayakan Sistem

Untuk mengoperasikan suatu sistem fotobioreaktor pada tipe MTAP ini, energi listrik digunakan untuk menggerakkan kompresor dan pompa air. Besarnya energi listrik yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Perhitungan KWH peralatan yang digunakan dalam pengoperasian fotobioreaktor.

No	Peralatan	Jam Penggunaan dalam sehari	Watt	KWH
1	Kompresor	24	350	8,4
2	Pompa air	24	75	1,8
Jumlah penggunaan listrik per hari				10,2



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Berdasarkan tabel diatas diketahui bahwa jumlah energi listrik yang digunakan dalam 1 bulan adalah : $(10,2 \times 30 \text{ hari}) = 306 \text{ KWh}$ per bulan. Untuk menghitung emisi karbondioksida, digunakan rumus sebagai berikut:

$$1 \text{ KWh} = 0,588 - 0,621 \text{ kg CO}_2$$

Dengan mengambil asumsi emisi terendah $(0,588 \text{ kg CO}_2)$ maka dapat dihitung bahwa:

Penggunaan energi listrik dalam sebulan adalah: $(306 \times 0,588) = 179,92 \text{ kg CO}_2$ per bulan. Kapabilitas penyerapan sistem Fotobioreaktor dengan jenis chlorella tertinggi: $2.254 \text{ gr CO}_2/\text{liter media/hari}$.

Dengan volume 100 liter maka 1 unit fotobioreaktor dapat menyerap: 225 gr CO_2 liter/hari. Dalam satu bulan, 1 unit fotobioreaktor dapat menyerap : $(225 \times 30 \text{ hari}) = 6.762 \text{ gr CO}_2$ atau $6,762 \text{ kg CO}_2$.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa :

Ujicoba dilakukan selama 17 hari untuk setiap jenis mikroalga dengan input CO_2 berasal dari cerobong industri berbahan bakar gas di PT. INDOLAKTO, dimana kandungan emisi karbondioksida berkisar 8 – 10%, bervariasi tergantung dari kapasitas boiler yang digunakan. Nutrient yang digunakan adalah pupuk organik Grow More dan kecepatan flow rate udaranya 2 ltr/menit. Jenis jenis mikroalga yang dipakai dalam percobaan ini beberapa strain murni berasal dari air tawar yaitu: *chlorella sp*, *scenedesmus sp*, dan mikroalga alam dari waduk cirata, sedangkan yang berasal dari air laut yaitu *nannokloropsis sp*. Ujicoba dilakukan juga tanpa nutrient dan tanpa mikroalga.

Pengukuran penyerapan karbondioksida dilakukan selama 1 siklus mikroalga. Dari beberapa jenis fitoplankton yang diujicoba, jenis chlorella mempunyai

tingkat serapan CO_2 yang cukup tinggi, yaitu sebesar $1.406 \text{ gr/ltr/hari}$, kemudian jenis *Scenedesmus* sebesar 1.304 gr/ltr/hr , nanokloropsis sebesar 1.078 gr/ltr/hr , mikroalga alam sebesar 1.035 gr/ltr/hr dan tanpa alga 0.213 gr/ltr/hr .

Faktor suhu dan intensitas matahari berpengaruh terdapat tingkat pertumbuhan mikroalga

4.2 Saran

Sampai saat ini, hasil biomassa belum dimanfaatkan secara baik, seperti untuk pakan ikan, minuman kesehatan ataupun diekstrak menjadi biofuel, sehingga terdapat nilai tambah hasil panen biomassa fitoplanktonnya.

Jenis *Scenedesmus sp* dan *Chlorella sp* disarankan dapat dipakai secara terus menerus, disamping serapan karbondioksida yang cukup tinggi, juga lebih tahan terhadap bakteri dan binatang lain yang mengganggu produktivitasnya.

Pihak pemerintah seyogyanya dapat menerbitkan aturan mengenai emisi udara di stau industri, sehingga ada upaya dari industri di dalam mengurangi emisi udara yang ada. Pihak industri yang lain diharapkan dapat melanjutkan kegiatan penyerapan karbondioksida (CO_2) menggunakan fotobioreaktor fitoplakton di dalam upaya mengurangi efek pemanasan global dan upaya peningkatan energi alternative melalui biofuel dari mikroalga..

Pengembangan dengan skala besar sangat memungkinkan, karena merupakan energi alternative di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

1. United Nations Development Programme, Handbook for Conducting Technology Needs Assessment (TNA) for Climate Change, June 2009.
2. Ministry of National Development Planning (Bappenas) (2010),



Indonesia Climate Change Setoral Roadmap, Jakarta.

3. Anonimus¹, 2008, *Program Manual Teknologi Biological Pumping Untuk Pengaktifan CO_2 sink*, BPPT Jakarta.
4. Sobczuk, T. M., F. G. Camacho, F.C. Rubio, F.G.A. Fernandez dan E.M. Grima. 1999. *Carbon Dioxide Uptake Efficiency by Outdoor Microalgal Cultures in Tubular Airlift Photobioreactors. Biotechnology and Bioengineering*, Vol.67 No.4, February 20, 2000. pp: 465-475.]
5. Chiu, Sheng-Yi, Chien-Ya Kao, Chiun-Hsun Chen, Tang-Ching Kuan, Seow-Chin Ong and Chih-Sheng Lin. 2007. *Reduction of CO_2 by high density culture of chlorella sp in a semicontinuous photobioreaktor*. www.sciencedirect.com
6. Chrismandha, T., Y. Mardiaty, Rosidah dan D. Hadiansyah. 2005. *Respon Fitoplankton Terhadap Peningkatan Konsentrasi Karbondioksida Udara. Jurnal LIMNOTEK*, Vol XII, No.1., p 40-47.
7. Vunjak-Novakovic, G., Y.Kim, X.Wu, I.Berzin, dan J.C. Merchuk. 2005. *Air-Lift Bioreaktor for Algal Growth on Flue Gas: Mathematical Modeling and Pilot-Plant Studies. Ind. Eng. Chem. Res.*, 44 (16), 6154-6163
8. Guillard, R.R.L., 1973. *Methods for microflagellates and Nanoplankton. Handbook of Phycological Methods*. Cambridge University Press, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 80-81.
9. Yun, Y-S., Park, J.M. 1997. *Development of Gas Recycling Photobioreactor System for Microalgal*