

Reduksi Gas CO₂ oleh Mikroalga *Scenedesmus* sp. pada Fotobioreaktor Tertutup dengan Variasi Konsentrasi Gas CO₂

The Reduction of CO₂ Gas by *Scendemus* sp. Microalgae in Closed Photobioreactor using Variation of CO₂ Gas Concentration

Rino Nirwawan, Yanni Kussuryani dan Dhiti Adiya Hanupurti

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"

Jl. Ciledug Raya Kav. 109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan

Telepon: 62-21-7394422, Fax: 62-21-7246150

E-mail: rino_n@lemigas.esdm.go.id; yannik@lemigas.esdm.go.id; dhiti@lemigas.esdm.go.id

Teregistrasi I tanggal 11 Maret 2014; Diterima setelah perbaikan tanggal 16 April 2014

Disetujui terbit tanggal: 30 April 2014

ABSTRAK

Salah satu metode potensial yang dapat digunakan untuk reduksi CO₂ adalah memanfaatkan aktivitas mikroalga melalui proses fotosintesis. Mikroalga adalah bioagen yang mampu menangkap CO₂ dan mengubahnya menjadi karbohidrat untuk menambah pertumbuhan populasinya. Banyaknya CO₂ yang digunakan dapat mencapai hampir dua kali lipat dari berat kering biomassa yang dihasilkan. Tujuan kegiatan ini adalah mengkaji kemampuan mikroalga *Scenedesmus* sp dalam mereduksi gas CO₂ pada suatu fotobioreaktor skala pilot dengan memvariasikan konsentrasi gas CO₂ yang diinjeksikan ke dalam sistem. Penelitian dilakukan di Lapangan Gas Subang selama tujuh hari. Komposisi gas CO₂ yang digunakan adalah ±98%. Sistem operasi adalah sistem *batch* dan media pertumbuhan yang digunakan adalah media "Sederhana 2". Pada penelitian ini digunakan empat rangkaian fotobioreaktor dengan volume operasi masing-masing adalah 60 Liter. Masing-masing fotobioreaktor divariasikan perbandingan jumlah gas CO₂ dan udara yang diinjeksikan, yaitu 0:100% (fotobioreaktor 1) yang berfungsi sebagai kontrol, 10:90% (fotobioreaktor 2), 30:70% (fotobioreaktor 3) dan 50:50% (fotobioreaktor 4). Kepadatan sel, *optical density* (OD), pH, dan berat kering digunakan sebagai parameter pengujian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa reduksi gas CO₂ tertinggi terdapat pada fotobioreaktor 2 yang terjadi pada hari ke-3 operasi, yaitu sebesar 8,09x10⁻⁵ gram dengan nilai kepadatan sel 23,87 x 10⁶ sel/mL. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan 10% gas CO₂ ke dalam fotobioreaktor dapat meningkatkan pertumbuhan mikroalga *Scenedesmus* sp.

Kata kunci: fotobioreaktor, mikroalga, gas CO₂, *Scenedesmus* sp.

ABSTRACT

One potential method that can be used for the reduction of CO₂ is utilizing the microalgae activity through the process of photosynthesis. Microalgae is a bioagen that is able to capture the CO₂ and convert it into carbohydrates for the growth of the population. The number of CO₂ used can achieve almost double of the dry weight biomass produced. The purpose of this study is to assess the ability of Scenedesmus sp. microalgae in the reduction of CO₂ gas at a pilot scale photobioreactor by varying the concentration of CO₂ to be injected into the system. The research was done in Subang gas field for seven days. The composition

of the CO₂ gas was ±98%. The operating system was a batch system and used "Sederhana 2" as a growth media. In this study we were using four sets of photobioreactor with their respective operating volume of 60 liters. Each photobioreactor has a different ratio of CO₂ gas and air to be injected, that is 0: 100% (1st photobioreactor) that serves as the control, 10:90% (2nd photobioreactor), 30:70% (3rd photobioreactor) and 50:50% (4th photobioreactor). Cell density, optical density (OD), pH, and dry weight were used as test parameters. The result showed that the reduction of the highest CO₂ gas contained on 2nd photobioreactor which occurs on the 3rd day of the operation, i.e. by 8.09x10⁻⁵ gram with cell density of 23.87 x 10⁶ cell/mL. From these results it can be concluded that the addition of CO₂ into the photobioreactor can increase the growth of microalgae *Scenedesmus* sp.

Keywords: photobioreaktor, microalgae, CO₂ gas, *Scenedesmus* sp.

I. PENDAHULUAN

Penggunaan energi biomassa diketahui dapat menurunkan emisi gas CO₂. Menurut Zumaritha (2011), karbondioksida adalah hasil akhir dari organisme yang mendapatkan energi dari penguraian gula, lemak dan asam amino dengan oksigen sebagai bagian dari metabolisme dalam proses yang dikenal sebagai respirasi sel. Pada tumbuh-tumbuhan, karbondioksida diserap dari atmosfer pada proses fotosintesis, dalam proses ini tumbuh-tumbuhan dapat mengurangi kadar karbondioksida di atmosfer dengan melakukan proses fotosintesis yang disebut juga dengan asimilasi karbon dengan menggunakan energi cahaya untuk memproduksi materi organik dengan mengkombinasi karbondioksida dengan air.

Ada beberapa sumber energi biomassa yang sedang dikembangkan di beberapa negara untuk mengurangi emisi gas CO₂, salah satunya adalah mikroalga. Mikroalga merupakan alga kecil (ukuran 2-20 µm) berupa tanaman talus yang memiliki klorofil sehingga mampu melakukan fotosintesis. Mikroalga bereproduksi secara aseksual melalui pembelahan sel. Mikroalga terdiri dari banyak spesies yang hampir semuanya merupakan organisme akuatik (Sasmita et al. 2004). Selama proses fotosintesis, mikroalga hanya menggunakan cahaya dan nutrisi serta menghasilkan lipid, protein, dan karbohidrat. Hasil metabolik tersebut tergantung pada kondisi lingkungan dan nutrisi. Faktor lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan mikroalga diantaranya adalah intensitas cahaya, jumlah CO₂, pH, temperatur, dan ada atau tidak adanya organisme lain (Juneja et al. 2013).

Beberapa jenis mikroalga telah diketahui memiliki kandungan minyak yang cukup bervariasi di antaranya *Botryococcus braunii* 25%-75%, *Chlorella*

sp 28%-32%, *Spirulina platensis* 4%-16,6%, *Scenedesmus obliquus* 11%-55%, *Scenedesmus* sp. 19,6%-21,1% (Chisti Yusuf, 2007; Mata et al., 2010). *Scenedesmus* spp. mengandung 8-56% protein, 10%-52% karbohidrat, 2%-40% lemak serta 3%-6% nucleic acid (Kawaroe, et al., 2010).

Penggunaan mikroalga sebagai salah satu bahan baku mempunyai prospek cerah karena mikroalga mudah dibudidayakan dan dapat memproduksi lebih banyak dibanding bahan baku lainnya. *Biofuel* yang diproduksi dari mikroalga termasuk ramah lingkungan. Selain itu, mikroalga dalam masa pertumbuhannya dapat memanfaatkan kelebihan karbondioksida di udara sehingga mempunyai dampak positif menurunkan efek rumah kaca akibat *global warming* dan *climate change* (Chisti 2007).

Mikroalga adalah bioagen yang mampu menangkap CO₂ dan mengubahnya menjadi karbohidrat untuk pertumbuhan populasinya. Untuk organisme seperti mikroalga, karbondioksida merupakan faktor yang penting yang mempengaruhi pertumbuhan dan metabolisme mikroalga (Hoshida, et al. 2005). Penggunaan karbondioksida pada kultivasi mikroalga juga dilakukan oleh Olaizola et al. (2004), dalam jurnalnya dikatakan bahwa mikroalga dapat menyerap karbondioksida pada kisaran pH dan konsentrasi gas karbondioksida yang berbeda. Efisiensi dari penyerapan karbondioksida oleh mikroalga tergantung dari pH kultivasi tetapi tidak dipengaruhi oleh perbedaan konsentrasi gas. Banyaknya CO₂ yang digunakan dapat mencapai hampir dua kali lipat dari berat kering biomassa yang dihasilkan. Kemampuan penyerapan gas CO₂ oleh mikroalga tergantung pada jenis mikroalga yang digunakan. Ono dan Cuello (2010), lebih spesifik menjelaskan jenis-jenis mikroalga yang mempunyai

toleransi terhadap gas CO₂ seperti terlihat pada Tabel 1.

Hasil riset Laboratorium Energi Terbarukan di Amerika dan Jerman menunjukkan bahwa mikroalga merupakan tanaman yang paling efisien dalam menangkap dan memanfaatkan energi matahari dan CO₂ untuk keperluan fotosintesis. Hal ini menyebabkan mikroalga memiliki waktu pertumbuhan yang cepat dibandingkan dengan tanaman darat, yaitu mulai dari hitungan hari sampai beberapa minggu (Uju & Wahyuni 2007 dalam Istiyani 2011).

Dari penelitian ini diharapkan gas CO₂ yang berasal dari cerobong industri tertentu mampu dimanfaatkan untuk pertumbuhan dan direduksi oleh mikroalga, sehingga kandungan gas CO₂ yang dibuang ke lingkungan dapat diminimalisasi.

II. METODOLOGI

A. Persiapan Kultur Mikroalga dan Media Pertumbuhan

Spesies mikroalga yang digunakan merupakan mikroalga *mixed-culture* yang berasal dari koleksi spesies mikroalga Kelompok Bioteknologi “Lemigas”. Jenis spesies tersebut didominasi oleh mikroalga *Scenedesmus sp.* Media pertumbuhan yang digunakan adalah media “Sederhana 2” yang terdiri dari Urea, TSP, ZA, Na₂EDTA, FeCl₃.6H₂O, H₃BO₃, ZnCl₂, Na₂MoO₄.2H₂O, CoCl₂.6H₂O, MnCl₂.4H₂O, CuSO₄.5H₂O, dan akuades. Sebelum digunakan, media disterilkan terlebih dahulu menggunakan autoklaf.

B. Sumber dan Karakteristik Gas CO₂

Gas CO₂ yang digunakan di Lapangan gas Subang berasal dari gas *sampling port* dengan tekanan 1,11 Psig. Komposisi gas CO₂ dapat dilihat pada Tabel 2.

C. Proses Pengujian dan Analisis

Proses pengujian menggunakan fotobioreaktor yang dioperasikan dengan sistem batch. Empat buah reaktor yang digunakan terbuat dari kaca dengan volume operasi masing-masing 60 Liter. Gas CO₂ dan udara dimasukkan ke dalam fotobioreaktor 2, 3 dan 4

Tabel 1
Jenis Mikroalga yang memiliki toleransi terhadap gas CO₂

No	Spesies	Konsentrasi maksimum gas CO ₂
1.	<i>Cyanidium caldarium</i>	100%
2.	<i>Scenedesmus sp.</i>	80%
3.	<i>Chlorococcum littorale</i>	60%
4.	<i>Synechococcus elongatus</i>	60%
5.	<i>Euglena gracilis</i>	45%
6.	<i>Chlorella sp.</i>	40%
7.	<i>Eudorina spp.</i>	20%
8.	<i>Dunaliella tertiolecta</i>	15%
9.	<i>Nannochloropsis sp.</i>	15%
10.	<i>Chlamydomonas sp.</i>	15%
11.	<i>Tetraselmis sp</i>	14%

Tabel 2
Karakteristik Gas CO₂ yang digunakan

Komposisi	Kandungan (%)
CO ₂ (Karbondioksida)	98,07
O ₂ (Oksigen)	0
CH ₄ (Methan)	1,41
N ₂ (Nitrogen)	0,52
Ar (Argon)	-
H ₂ (Hidrogen)	-
CO (Karbon monoksida)	-
Hidrokarbon	-
Moisture	-

pada awal operasi melalui perbandingan yang tertera pada Tabel 3, sedangkan fotobioreaktor 1 hanya diberikan udara sebagai kontrol. Selama percobaan, seluruh fotobioreaktor diberi aerasi dengan kekuatan yang sama. Aerasi menggunakan pompa celup dimana pemberian aerasi berguna untuk menstabilkan pH dan menghomogenisasikan unsur hara yang terdapat dalam media pertumbuhan. Parameter yang diamati adalah pH, OD, kepadatan sel dan temperatur (Tabel 3) dimana proses pengamatan dilakukan setiap hari. OD diukur dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 680 nm (data OD tidak ditampilkan) dan kepadatan sel menggunakan *Haemocytometer* dengan jenis *Neubeur*. Pengukuran pH dan temperatur kultur menggunakan pH meter.

Rangkaian fotobioreaktor yang digunakan ditampilkan pada Gambar 1.

Perhitungan konsumsi CO₂ dilakukan dengan menentukan kadar glukosa dan karbohidrat mikroalga. Kadar karbohidrat dihitung melalui persamaan (1) (AOAC 1999), sedangkan kadar glukosa melalui persamaan (2) (Abdulgani 2010):

$$\text{kadar karbohidrat} = \text{berat kering mikroalga} \times 35,07\% \quad (1)$$

dimana 35,07% merupakan perlakuan pengeringan dengan menggunakan matahari (Analisis Proksimat menggunakan Metoda AOAC 1999).

$$\text{kadar glukosa (C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = \frac{\text{kadar karbohidrat} \times 9}{10} \quad (2)$$

Selanjutnya perhitungan dilanjutkan dengan rumus di bawah ini (cat : 98% adalah kadar CO₂ di lapangan gas Subang):

$$\text{Konsumsi CO}_2 = \text{mol CO}_2 \times \text{berat molekul CO}_2 \times 98\% \quad (3)$$

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Pertumbuhan Mikroalga

Mikroalga memperoleh nutrisi dari medium pertumbuhan dimana ia tumbuh dengan jalan mengabsorbsinya secara langsung melalui membran sel. Dalam pertumbuhannya, mikroalga membutuhkan karbon, hidrogen, dan oksigen sebagai nutrisi non-mineral. Makro nutrien yang dibutuhkan dalam pertumbuhannya terdiri dari nitrogen, fosfor, potasium dan magnesium. Selain unsur makro, mikroalga juga membutuhkan mikro nutrien, yang terdiri dari besi dan mangan dalam jumlah kecil, sedangkan unsur lain seperti Co, Zn, Bo, Cu, dan Mo yang berfungsi sebagai *trace element essential* (Juneja et al. 2013).

Pada Gambar 2 dan Tabel 4 terlihat pertumbuhan mikroalga pada tiap fotobioreaktor berdasarkan kepadatan sel. Pada kurva pertumbuhan tersebut, fasa adaptasi dari tiap-tiap fotobioreaktor tidak terlihat, dimungkinkan fasa adaptasi terjadi sangat singkat, yaitu sebelum 24 jam. Menurut Fogg & Thake (1987) dalam Prihantini et al. (2005), salah satu faktor yang menentukan lamanya fasa adaptasi adalah umur kultur yang digunakan sebagai inokulum. Fasa adaptasi akan menjadi lebih singkat atau bahkan tidak

Tabel 3
Parameter yang diamati

Fotobioreaktor	Variasi perbandingan kandungan (%)		Parameter
	CO ₂	Udara	
1	-	100	OD, pH, temperatur dan kepadatan sel
2	10	90	
3	30	70	
4	50	50	

terlihat apabila sel-sel yang diinokulasikan berasal dari kultur yang berada dalam fase eksponensial. Fase adaptasi tidak terlihat secara jelas pada semua media perlakuan kemungkinan juga disebabkan sel-sel yang diinokulasikan cepat beradaptasi terhadap media kultur yang baru, mampu tumbuh dan membelah dengan cepat.

Dapat terlihat jelas pada Gambar 2, bahwa pertumbuhan mikroalga pada fotobioreaktor 2 lebih baik dibandingkan fotobioreaktor lainnya. Hingga hari ke-3, fasa pertumbuhan yang terjadi pada fotobioreaktor 2 adalah fasa eksponensial, dimana pada fasa tersebut terjadi pertambahan kepadatan sel mikroalga dalam waktu dengan kecepatan tumbuh sesuai dengan rumus eksponensial. Kondisi eksponensial tersebut didukung pula oleh kondisi pH kultur pada fotobioreaktor 2 (Tabel 5), dimana hingga hari ke-3 rata-rata nilai pH nya netral. Pada lingkungan netral, CO₂ berada dalam bentuk bebas sehingga dapat berdifusi dengan mudah ke dalam sel mikroalga (Reynolds 1984 dalam Prihantini et al. 2005). Hal tersebut menyebabkan CO₂ sebagai sumber karbon utama bagi proses fotosintesis mikroalga cukup tersedia sehingga proses metabolisme dapat berlangsung cepat dan kerapatan sel meningkat. Kepadatan sel tertinggi pada fotobioreaktor 2 berada pada hari ke-3 operasi, yaitu 23,87 x 10⁶ sel/mL dan selanjutnya kepadatan sel mengalami penurunan yang menandakan bahwa kultur telah masuk ke dalam fasa kematian, dimana kualitas fisik dan kimia kultivasi berada pada titik dimana sel tidak mampu lagi mengalami pembelahan.

Pertumbuhan mikroalga yang baik setelah fotobioreaktor 2 adalah fotobioreaktor 3 dan selanjutnya adalah fotobioreaktor 4. Fotobioreaktor 4 memiliki pertumbuhan yang paling rendah. Hal tersebut dimungkinkan karena kadar CO₂ yang

diinjeksikan ke dalam fotobioreaktor 4 paling tinggi dibandingkan fotobioreaktor lainnya, yaitu 50%. Hal tersebut menyebabkan kondisi pH pada awal operasi menjadi lebih rendah dibandingkan fotobioreaktor lainnya. Kondisi pH kultur yang lebih asam tersebut dapat menyebabkan kemampuan sel mikroalga tidak optimal dalam menyerap nutrisi sehingga mempengaruhi proses pertumbuhannya.

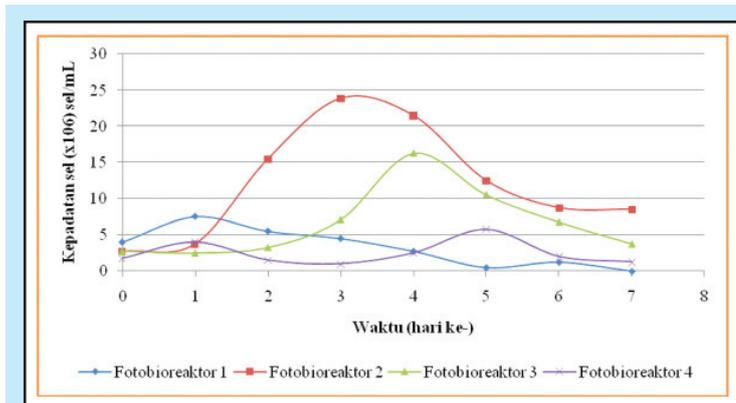
Pada fotobioreaktor 3, fasa pertumbuhan yang terjadi dari hari ke-0 hingga hari ke-4 adalah fasa eksponensial dengan nilai kepadatan sel tertinggi 16,25 x 10⁶ sel/mL (hari ke-4), dan selanjutnya kultur memasuki fasa kematian, dimana pada fasa kematian diindikasikan oleh kematian sel mikroalga yang terjadi secara konstan akibat dari keseimbangan katabolisme dan anabolisme di dalam sel. Fasa ini ditandai dengan rendahnya tingkat nutrisi dalam sel mikroalga. Pada akhir operasi, nilai kepadatan sel mikroalga pada fotobioreaktor 3 adalah 3,75 x 10⁶ sel/mL.

B. Kondisi pH dan Temperatur

pH merupakan salah satu parameter penting dalam pertumbuhan mikroalga. Menurut Lavens & Sorgeloos (1996), rentang pH untuk sebagian besar alga adalah 7-9 dengan rentang optimumnya 8,2-8,7. Pada Gambar 3 terlihat kondisi pH pada tiap fotobioreaktor. Fotobioreaktor 1 yang merupakan fotobioreaktor kontrol dan terdiri dari 100% udara berada pada rentang yang paling tinggi dan cenderung mengalami keadaan pH yang konstan sejak hari ke-0 yaitu 8,8 - 10. Kondisi tersebut dikarenakan pada fotobioreaktor 1 tidak dilakukan penambahan CO₂ yang bersumber dari lapangan gas Subang. Sumber CO₂ hanya berasal dari proses aerasi yang berlangsung di dalam fotobioreaktor. Lain halnya dengan fotobioreaktor lainnya, dimana pada hari ke-1, nilai pH mengalami penurunan akibat injeksi CO₂ ke dalam fotobioreaktor pada awal operasi. Pada saat gas CO₂ masuk ke dalam kultur, proses yang terjadi adalah pembentukan senyawa bikarbonat (pada



Gambar 1
Rangkaian Fotobioreaktor yang digunakan



Gambar 2
Kurva Kepadatan Sel Mikroalga *Scenedesmus sp*

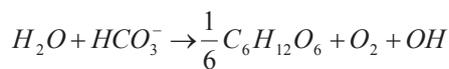
Tabel 4
Kepadatan Sel Mikroalga *Scenedesmus sp*

Hari ke-	Kepadatan sel (x 106) sel/mL			
	Fotobioreaktor 1	Fotobioreaktor 2	Fotobioreaktor 3	Fotobioreaktor 4
0	4	2,75	1,75	4
1	7,5	3,75	2,5	4
2	5,5	15,5	3,25	1,5
3	4,5	23,87	7,08	1
4	2,75	21,5	16,25	2,5
5	0,5	12,5	10,5	5,75
6	1,25	8,75	6,75	2
7	0	8,5	3,75	1,25

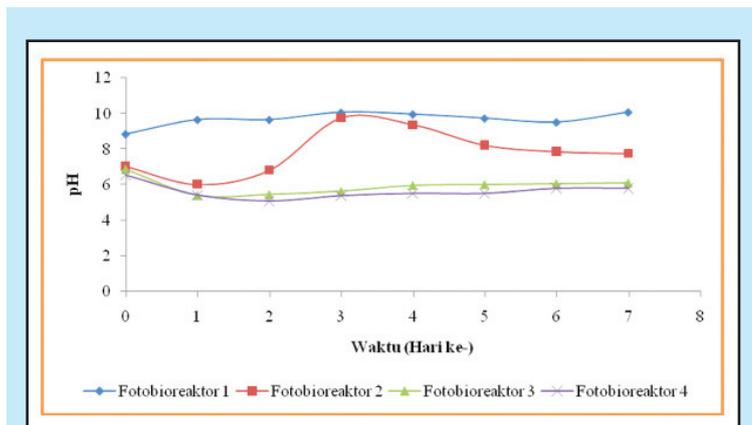
ekstraselular). Pembentukan tersebut tergambar pada persamaan reaksi berikut (Wijanarko et al. 2007):



Senyawa bikarbonat inilah yang kemudian diserap oleh sel melalui dinding sel yang cenderung *permeable* terhadap senyawaan ionik. Proses metabolisme yang terjadi dalam sel selanjutnya adalah reaksi antara bikarbonat tersebut dan air yang terdapat dalam sel membentuk senyawa organik seperti glukosa dan ion OH⁻ menggunakan energi ATP dan NADPH dari konversi cahaya pada reaksi terang (Wijanarko et al. 2006), sebagaimana tergambar pada persamaan reaksi berikut :



Pada Tabel 5 terlihat bahwa nilai pH pada fotobioreaktor 2 cenderung berfluktuasi. Nilai pH di awal operasi adalah 7,04 dan mengalami penurunan di hari pertama menjadi 6,03, selanjutnya mengalami kenaikan hingga hari ke-3 (pH 9,75) dan akhirnya kembali mengalami penurunan hingga akhir operasi menjadi 7,76. Kondisi pH pada fotobioreaktor 3 dan 4 cenderung memiliki trend yang sama, dimana pada 2 hari pertama operasi, pH mengalami penurunan dan selanjutnya naik hingga pada akhirnya cenderung konstan sampai akhir operasi. Rentang nilai pH pada fotobioreaktor 3 adalah 5,4 - 6,86, sedangkan pada fotobioreaktor 4 adalah 5 - 6,5. Kondisi fotobioreaktor 3 dan 4 yang lebih asam dibandingkan fotobioreaktor 2 dimungkinkan akibat jumlah CO₂ yang diinjeksikan ke dalam fotobioreaktor 3 dan 4 lebih besar dibandingkan fotobioreaktor 2, dimana CO₂ yang diinjeksikan pada fotobioreaktor 3 adalah 30% dan fotobioreaktor 4 adalah 50%. Menurut Boyd (1990) dalam Kawaroe et al. (2010), kesetimbangan karbonat akan bertindak sebagai pH *buffer* (penyangga). Dalam keadaan basa, ion bikarbonat akan membentuk ion karbonat dan melepaskan ion hidrogen yang bersifat asam, sehingga keadaan menjadi netral. Sebaliknya dalam keadaan terlalu asam, ion karbonat akan mengalami hidrolisis menjadi ion bikarbonat dan melepaskan ion hidrogen oksida yang bersifat basa, sehingga keadaan kembali menjadi netral.



Gambar 3
Kondisi pH Kultur

Tabel 5
Data pH Kultur

Hari ke-	Nilai pH			
	Fotobioreaktor 1	Fotobioreaktor 2	Fotobioreaktor 3	Fotobioreaktor 4
0	8,83	7,04	6,86	6,55
1	9,65	6,03	5,39	5,43
2	9,65	6,83	5,45	5,09
3	10,07	9,75	5,63	5,39
4	9,96	9,37	5,96	5,52
5	9,73	8,22	6,01	5,52
6	9,51	7,86	6,06	5,8
7	10,08	7,76	6,1	5,81

Tabel 6
Data Konsumsi CO₂
oleh Mikroalga *Scenedesmus sp*

Hari ke-	Konsumsi CO ₂ (g)			
	Fotobioreaktor 1	Fotobioreaktor 2	Fotobioreaktor 3	Fotobioreaktor 4
0	4,926 x 10 ⁻⁰⁶	3,049 x 10 ⁻⁰⁶	1,740 x 10 ⁻⁰⁷	1,088 x 10 ⁻⁰⁷
1	1,407 x 10 ⁻⁰⁵	1,149 x 10 ⁻⁰⁵	3,046 x 10 ⁻⁰⁷	3,318 x 10 ⁻⁰⁷
2	2,275 x 10 ⁻⁰⁵	2,251 x 10 ⁻⁰⁵	4,352 x 10 ⁻⁰⁷	2,284 x 10 ⁻⁰⁷
3	2,439 x 10 ⁻⁰⁵	8,092 x 10 ⁻⁰⁵	5,276 x 10 ⁻⁰⁷	2,230 x 10 ⁻⁰⁷
4	8,914 x 10 ⁻⁰⁶	6,005 x 10 ⁻⁰⁵	6,365 x 10 ⁻⁰⁷	2,502 x 10 ⁻⁰⁷
5	6,099 x 10 ⁻⁰⁶	2,275 x 10 ⁻⁰⁵	4,678 x 10 ⁻⁰⁷	4,352 x 10 ⁻⁰⁷
6	3,284 x 10 ⁻⁰⁶	1,290 x 10 ⁻⁰⁵	4,243 x 10 ⁻⁰⁷	2,230 x 10 ⁻⁰⁷
7	7,741 x 10 ⁻⁰⁶	9,852 x 10 ⁻⁰⁶	3,754 x 10 ⁻⁰⁷	4,189 x 10 ⁻⁰⁷

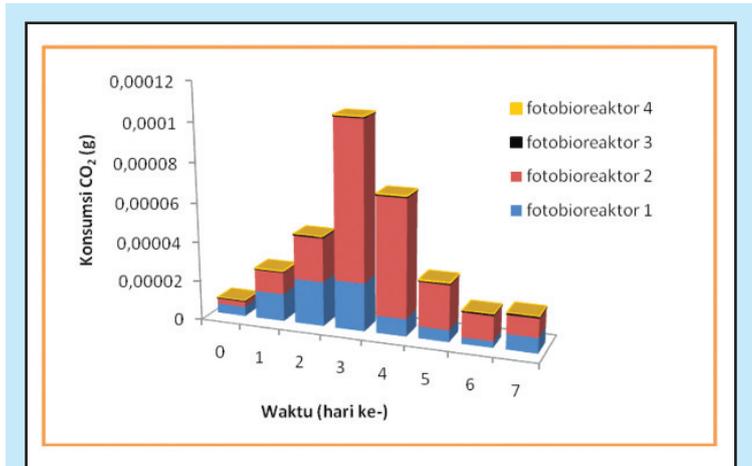
Temperatur optimal untuk kultivasi mikroalga antara 24-30°C dan bisa berbeda-beda bergantung lokasi, komposisi media yang digunakan serta jenis mikroalga yang dikultivasi (Kawaroe et al. 2010). Sebagian besar spesies mikroalga mampu melakukan fotosintesis pada rentang temperatur yang luas, namun pada umumnya berkisar antara 15-30°C, dengan temperatur optimal

antara 20-25°C (Ras et al. 2013). Pada penelitian ini, kondisi temperatur kultur pada tiap fotobioreaktor cenderung memiliki data yang sama. Pada pagi hari (pukul 09.00 WIB) rentang suhunya adalah 32-34°C, siang hari (pukul 11.30 WIB) 38-40°C dan pada sore hari (pukul 16.00) rentang suhunya adalah 39-45°C. Menurut Reynold (1990) dalam Kawaroe et al. (2010), suhu optimal bagi pertumbuhan mikroalga adalah 25-40°C. Berdasarkan referensi tersebut, kondisi suhu yang rawan bagi pertumbuhan mikroalga adalah pada sore hari.

C. Reduksi Gas CO₂

Produktivitas pertumbuhan alga dapat dihitung dengan tepat dengan mengukur baik O₂ dan CO₂ yang digunakan dalam proses fotosintesa karena jumlah atom C dalam CO₂ berbanding lurus dengan jumlah atom C yang terikat dalam gula (karbohidrat) selama fotosintesa. Sebaliknya persentase karbohidrat yang dihasilkan selama proses fotosintesa dapat digunakan untuk menentukan kandungan karbondioksida yang diserap oleh alga (Haryadi 1979).

Dari Gambar 4 dan Tabel 6 terlihat bahwa fotobioreaktor 2 mengkonsumsi CO₂ lebih banyak dibandingkan dengan fotobioreaktor lainnya terutama setelah 3-4 hari masa inkubasi yaitu sebesar 6×10^5 - $8,09 \times 10^5$ g. Sementara suplai CO₂ hanya sebesar 10%, lebih rendah dari fotobioreaktor 3 dan 4 yaitu sebesar 30% dan 50%. Padahal menurut Mooney (1977), gas CO₂ merupakan bahan utama untuk proses fotosintesa, dimana kecepatan fotosintesa dan konsumsi CO₂ meningkat dengan meningkatkannya konsentrasi CO₂ yang tersedia. Salah satu faktor penting yang mempengaruhi fenomena ini adalah pH media pertumbuhan dari mikroalga. Menurut Lavens & Sorgeloos (1996), rentang pH untuk sebagian besar alga adalah 7-9 dengan rentang optimumnya 8,2-8,7. Pada Tabel 6, apabila dicermati, kondisi pH yang mendekati pH pertumbuhan optimum mikroalga terjadi pada fotobioreaktor 2, yaitu 6,03-9,75, sementara fotobioreaktor lainnya berada pada kondisi asam dan basa. Kondisi ini akan mempengaruhi pertumbuhan mikroalga terutama dalam hal aktivitas stomata sebagai pintu masuknya CO₂. Apabila ini terganggu maka proses fotosintesa tidak bisa berlangsung optimal (Gardener 1991). Disamping



Gambar 4
Kurva Konsumsi CO₂
oleh Mikroalga *Scenedesmus sp.*

itu, kelarutan CO₂ juga bisa mempengaruhi tinggi rendahnya konsumsi CO₂ oleh mikroalga. Semakin tinggi kelarutan CO₂ dalam suatu media maka semakin tinggi juga daya serap mikroalga terhadap CO₂. Kelarutan CO₂ optimal berada pada pH 6,5-9,5. Rentang pH ini sangat sesuai dengan kondisi pH di lingkungan fotobioreaktor 2.

IV. KESIMPULAN

Secara kuantitas, penambahan gas CO₂ ke dalam fotobioreaktor dapat meningkatkan pertumbuhan mikroalga.

Kinerja pada fotobioreaktor 2 (perbandingan 10% CO₂ dan 90% udara) lebih baik dalam segi pertumbuhan mikroalganya maupun proses reduksi CO₂ dibandingkan fotobioreaktor lainnya.

Besarnya konsentrasi CO₂ untuk melihat reduksi CO₂ yg tinggi dan menghasilkan biomassa yang baik berada pada konsentrasi CO₂ 10% dan 30%, namun pada konsentrasi 10% CO₂, kepadatan sel mikroalga yang dihasilkan jauh lebih tinggi dibandingkan 30%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh pemerintah melalui Program Pembinaan Usaha Pertambangan Migas (Program No. 020.11.04.1913.04.23).

KEPUSTAKAAN

[AOAC] Association of Analytical Chemist Publisher, 1999, *Official Methods of Analysis. 3rd edition.* Washington DC: AOAC Publisher.

- Abdulgani, N., Zuhdi Aguk, M.F & Sukesu.,** 2010, "Potensi Mikroalga *Skeletoma costatum*, *Chlorella vulgaris*, dan *Spirulina platensis* sebagai Bahan Baku Biodiesel", Institut Teknologi Surabaya, Surabaya.
- Chisti, Y.,** 2007, "Biodiesel from microalgae", *Biotechnology Advances* 25:294-306.
- Gardener,** 1991, "Fisiologi Tanaman Budidaya", UI Press, Jakarta.
- Haryadi, M.M.S.** 1979, "Pengantar Agronomi", Gramedia, Jakarta.
- Hoshida, H., Ohira T., Minematsu A., Akada R. & Nishizawa Y.,** 2005, "Accumulation of Eicosapentaenoic Acid in *Nannochloropsis* sp. In Response to Elevated CO₂ Concentrations", *Applied Phycology*. 17: 29-34.
- Istiyani, D.,** 2011, "Pemanfaatan Emisi CO₂ dari PLTU Batubara dalam Pengolahan Limbah Cair Domestik Berbasis Mikroalga", Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Juneja, A., Ceballos, R.M., & Murthy, S.G.,** 2013, "Effects of Environmental Factors and Nutrient Availability on the Biochemical Composition of Algae for Biofuels Production: A Review", *Energies*. 6: 4607-4638.
- Kawaroe, M., Prartono, T., Sunuddin, A., Wulan, S. D., & Agustine, D.,** 2010, "Mikroalga Potensi dan Pemanfaatannya untuk Produksi Bio Bahan Bakar", IPB Press, Bogor.
- Lavens, P. & Sorgeloos P. (eds),** 1996, "Manual on the Production and Use of Live Food for Aquaculture", FAO Fisheries Technical Paper. No. 361, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Mata, T.M., Martins, A.A., & Caetano, S.N.,** 2010, "Microalgae for biodiesel production and other applications: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, p.217-232.
- Mooney,** 1977, "Photosynthesis Plant Ecology", Blackwell Science, London.
- Olaizola, M., Bridges, T., Flores, S., Griswold, L., Morency, J., & Nakamura, T.,** 2004, "Microalgal Removal of CO₂ from Flue Gases: CO₂ Capture from a Coal Combuster", *Biotech. Bioproc. Eng.*, 8: 360-367.
- Ono, E., & Cuello, J.L.,** 2010, "Selection of optimal microalgae species for CO₂ sequestration", The University of Arizona Department of Agricultural and Biosystems Engineering 403 Shantz Building Tucson, AZ 85721, U. S. A.
- Prihantini, B.N., Damayanti, D., & Yuniati, R.,** 2007, "Pengaruh Konsentrasi Medium Ekstrak Tauge (MET) Terhadap Pertumbuhan *Scenedesmus* Isolat Subang", *Makara Sains*, Vol 11, No.1:1-9.
- Ras, M., Steyer, J., & Bernard, O.,** 2013, "Temperature effect on microalgae: a crucial factor for outdoor production", *Environmental Science and and Bio/Technology* 12, 2: 153-154.
- Sasmita G.P, Wenten G.I., & Suantika G.,** 2004, "Pengembangan Teknologi Ultrafiltrasi Untuk Pemekatan Mikroalga", *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses*, F-23, p.1-5.
- Wijanarko, A., Dianursanti, Gozan, M., Andika, S.M.K., Widiastuti, P., Hermansyah, H., Witarto, A.B., Asami, K., Soemantojo, R.W., Ohtaguchi, K., & Song, S.K.,** 2006, "Enhancement of carbon dioxide fixation by alteration of illumination during *Chlorella vulgaris* Buitenzorg's growth", *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 11:484-488.
- Wijanarko, A., Dianursanti, Valentino, Hermansyah, H., Gozan, M., Witarto, A.B., & Soemantojo, R.W.,** 2007, "Pengaruh Pencahayaan Siklus Harian Terhadap Produksi Biomassa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg Dalam Fotobioreaktor Kolom Gelembung", *Jurnal Teknologi*, Edisi No.1:58 - 65.
- Zumaritha, F.,** 2011, "Pemanfaatan Karbondioksida (CO₂) Untuk Kultivasi Mikroalga *Nannochloropsis* sp. Sebagai Bahan Baku Biofuel", Departemen Ilmu Dan Teknologi Kelautan Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.

INDEKS SUBYEK

A

Area development 1, 2

B

Biaya 43, 44, 45, 46, 47, 53

Benefit 43, 44, 46, 52, 53

Bird's head 13

C

Cadangan strategis 43, 44, 45, 46, 47, 50, 52, 53

Cost 43, 44, 45, 46, 47, 52, 53

Correlation 23, 24

CO₂ gas 56

E

Eksplorasi 1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11

Exploration 1, 2

F

Fotobioreaktor 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62

G

GIS 1, 2, 11

Gas CO₂ 55, 56, 57, 59, 61

K

Korelasi 23, 24, 25, 29, 30, 32

Kilang migas 23

Kepala burung 13

M

Manfaat 43, 44

Mercury 33, 34, 35, 37, 38, 39, 40, 42

Migas 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11

Mikroalgae 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62

Microalgae 55, 56, 62

O

Optimalization 33

Optimalisasi 33, 34, 36, 37, 38, 42

Oil and gas refineries 23, 24

Optimasi 1, 2, 3, 5

Optimization 1, 2

Oil and gas 1, 2

P

Pilot Plant 33, 34, 37, 38, 42

Penyebaran emisi SO₂ 23, 24, 29, 32

Palinomorf pra-tercier 13, 22

Pre Tertiary palinomorf 13

Pengembangan wilayah 1, 2, 3, 10, 11

Photobioreaktor 56

S

Strategic reserves 43

Sistem informasi geografi 1, 2, 3, 10, 11

Scendesmus sp. 55, 56, 57, 59, 60, 61

T

The spread of SO₂ emission 23, 24

PERATURAN DAN PEDOMAN PENULISAN LEMBARAN PUBLIKASI MINYAK DAN GAS BUMI

Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi adalah majalah resmi Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS". Penulisan dalam bahasa Inggris diterima dari para penyelidik/peneliti di institusi-institusi seluruh Indonesia dan luar negeri.

PERATURAN

KONDISI PENERIMAAN

Penulisan yang diterima oleh Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi dengan pemahaman bahwa:

1. Semua penulis telah menyetujui pengajuan
2. Hasil-hasil atau ide-ide yang terdapat dalam penulisan adalah yang asli
3. Penulisan belum pernah dipublikasikan sebelumnya
4. Penulisan tidak sedang dalam proses publikasi di tempat lain dan tidak akan diajukan ditempat lain, kecuali setelah ditolak oleh Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi atau diambil kembali dengan pemberitahuan tertulis kepada editor Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi
5. Jika diterima untuk dicetak dan dipublikasikan, artikel, atau sebagian darinya, tidak akan dipublikasikan ditempat lain kecuali telah mendapat persetujuan tertulis dari editor Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi
6. Reproduksi dan penggunaan artikel pada Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi diperbolehkan jika sesuai dengan ketentuan hukum hak cipta di Indonesia, asalkan tujuan penggunaannya untuk tujuan pendidikan nirlaba. Semua penggunaan mewajibkan persetujuan dan biaya mana yang sesuai.

PENGEMBALIAN BAHAN

Tulisan yang ditolak: Ketika telah diputuskan untuk tidak mempublikasikan sebuah tulisan, naskah dan ilustrasi asli dikembalikan kepada penulis dengan kopian review dan halaman depan surat.

Tulisan dikembalikan untuk perbaikan: Bahan diperlukan untuk referensi atau untuk diperbaiki dikembalikan kepada penulis pada saat perbaikan dibutuhkan. Jika perbaikan tidak dikembalikan dalam waktu 1 bulan atau jika tidak membuat janji dengan editor, maka naskah dinyatakan telah ditarik.

FORMULIR PUBLIKASI

Artikel: Jurnal mempublikasikan artikel laporan penelitian yang asli, di bidang teknologi minyak dan gas bumi.

Artikel Review: Hanya review ilmiah yang dipublikasikan. Review yang tidak berbobot sebaiknya tidak perlu dimasukkan, tapi topic dapat diusulkan oleh editor atau anggota dewan editor.

Komentar yang mengkritik: Komentar yang mengkritik adalah untuk memperbaiki kesalahan fakta yang dipublikasikan, menyediakan alternative pengartian dari data yang terpublikasikan, atau memberikan teori baru berdasarkan pada informasi yang terpublikasikan.

PENYERAHAN HARD COPY

Seluruh naskah harus disiapkan dan dimasukkan sesuai dengan pedoman pada seksi ini dan bagian berikutnya sesuai untuk kategori laporan.

Laporan: Naskah diketik pada satu sisi yang berkualitas saja, kertas putih, ukuran A4.

Pengetikan: Semua bagian dari naskah asli diketik satu setengah spasi. Diketik dengan ukuran 12 (Times New Roman). Pengurangan ukuran, walau hanya dalam table, tidak diperbolehkan. Spasi dan pemberian tanda yang proposional tidak perlu digunakan, i.e., jangan menyesuaikan margin tangan kanan. Tidak boleh meninggalkan spasi antara paragraph dalam tulisan. Hanya satu huruf yang boleh digunakan.

Penyerahan: Untuk sebuah naskah baru, masukan yang asli dan 3 kopi disiapkan sesuai dengan Peraturan dan Pedoman yang terkandung di dalamnya. Ketika naskah sudah diterima oleh editor untuk dipublikasikan, instruksi khusus untuk persiapan perbaikan akan diberikan. Ini akan menjadi tanggung jawab penulis untuk memberikan kopian dari naskah untuk referensi dan untuk melindungi dari kehilangan. Naskah sebaiknya dialamatkan kepada: Ketua Editor Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi.

ARTIKEL

Naskah akan diatur dalam format dan ketentuan sebagai berikut, dengan semua halaman, pembukaan dengan apa yang digunakan untuk judul utama.

Judul Utama: Menyebutkan nama penulis (gunakan et al., untuk lebih dari dua) dan gelar yang dipersingkat. Seluruh lembar judul utama tidak melebihi 60 karakter dan spasi.

Judul: Segera setelah *running head* berikan judul artikel, nama penulis dan alamat dari penulis pertama. Termasuk alamat email, dengan tulisan miring, hanya penulis yang menjawab. Judul dan nama penulis diketik dalam tulisan tebal, dengan ukuran huruf yang sama seperti naskah. Semua informasi lain diketik dengan Times New Roman. Judul sebaiknya singkat dan diskriptif.

Abstrak: Mengikuti langsung setelah alamat penulis dengan tidak ada penambahan spasi antara keduanya. Anda sebaiknya menyediakan abstrak dari tulisan yang tidak melebihi 200 kata. Abstrak berisikan fakta (memberikan indikasi) dan memberikan outline kepada tujuan, menggunakan metode, penutupan dan studi yang signifikan. Abstrak berjudul Abstrak, dan diketik dalam tulisan besar semua dan tebal, diakhiri dengan sebuah tanda kutip diketik tebal. Teks ditulis setelah tanda kutip, tidak bagibagi, dan tidak mengandung kutipan literatur.

Pengenalan: Pengenalan harus mengikuti abstrak dan tidak berjudul. Pengenalan akan menentukan konteks dari penulisan dengan mengungkapkan bidang umum dari kepentingan, memberikan penemuan dari yang lain yang akan ditantang atau dikembangkan, dan memspesifikasikan spesifik pertanyaan yang diberikan. Akun pekerjaan yang sebelumnya dibatasi minimal pada informasi penting untuk memberikan sebuah pandangan yang sesuai. Pengenalan tidak diperbolehkan pada sesi ini atau seluruh penulisan untuk dibagi dan memberikan spasi lebih antara dua paragraf.

Bahan dan Metode: Pada seksi ini memberikan informasi yang cukup untuk memperbolehkan melakukan pengulangan studi oleh orang lain. Penggunaan metode dan aparatur seharusnya mengindikasikan, tetapi nama merek khusus dan model perlu disebutkan jika signifikan. Sumber, e.g., kota dan negara, keduanya dieja secara penuh, dari peralatan atau kimia tertentu semestinya tertulis.

Judul utama dari seksi ini semestinya diketik dalam huruf cetak tebal dan dimulai pada margin sebelah kiri halaman. Judul tidak dinomor dan berakhir tanpa tanda baca. Judul pada barisan kedua diketik tebal pada barisan terpisah dimulai pada margin kiri. Huruf inisial dari kata pertama hanya huruf besar kecuali huruf besar diperlukan untuk kata benda yang tepat. Judul-judul ini tidak diberi nomor dan berakhir dengan tanpa tanda baca. Judul pada barisan ketiga diidentikan untuk sebuah paragraph, berhuruf miring, dan berakhir dengan sebuah tanda kutip juga dimiringkan. Huruf inisial kata pertama hanya ditulis dengan huruf cetak, kecuali untuk kata benda yang sesuai. Penulisan dibuat mengikuti judulnya. Selanjutnya, subdivisi tidak dibutuhkan. Jika seksi bahan dan metoda dibuat pendek, sebaiknya tidak dibuat subdivisi, tidak perlu disubdivisikan; tidak diperlukan untuk memberikan judul, melebihi judul utama, untuk sebuah seri pada subseksi yang terdiri dari satu paragraph.

Hasil: Bagian ini harus berisikan ringkasan informasi baru. Tabel dan gambar digunakan dengan sebaik-baiknya, tetapi informasi yang tersedia di dalamnya sebaiknya tidak mengulang yang terdapat pada teks. Menghindari perincian metode dan pengartian hasil pada bagian ini. Bagian hasil boleh dibagi dan diberi judul seperti bagian bahan dan metode.

Diskusi: Sebuah pengartian dan penjelasan hubungan dari hasil hingga ilmu yang telah ada harus ditampilkan dalam bagian diskusi. Penekanan harus ditempatkan pada penemuan baru yang penting, and hipotesa baru harus teridentifikasi secara jelas. Judul utama dan subdivisi, jika dibutuhkan, pada bagian ini seperti yang telah dideskripsikan untuk bagian bahan dan metode.

Penutupan: Harus didukung dengan fakta dan data. Penutupan menyajikan penjelasan singkat tentang topik artikel, tujuan dan objek. Harus disajikan pada bagian ini.

Pengakuan: Harus singkat. Etika-etika membutuhkan kolega-kolega dikonsultasikan sebelum diakui bantuannya dalam studi tersebut. Judul dari bagian ini adalah sebagai judul utama yang dideskripsikan untuk bagian bahan dan metode. Subdivisi tidak digunakan pada bagian ini.

Tabel: Tabel hanya digunakan untuk menyajikan data yang tidak dapat disampaikan melalui teks. Nilai dari pengujian statistik tidak dipublikasikan seperti table, pengujian yang dilakukan dan kemungkinan yang didapat untuk sebuah hubungan dapat diutarakan dalam bagian bahan dan metode dengan perbedaan yang signifikan diindikasikan dalam tabel dengan catatan di bawah atau dalam tulisan dengan sebuah pernyataan.

Tabel harus dirancang untuk muat dalam 1 atau 2 kolom. Jarang sekali tabel dirancang untuk disesuaikan dengan tinggi halaman yang dicetak. Pada umumnya, jika lebar tidak sesuai dengan tinggi halaman, maka tabel terlalu lebar. Tabel dapat dilanjutkan pada halaman berikut dengan mengakomodasikan panjang, tetapi halaman-halaman tersebut tidak dapat diketik secara bersama-sama, pengurangan ukuran, satu spasi melebihi ukuran atau dimodifikasi untuk memuat lebih banyak tulisan.

Tabel berupa nomor dengan angka roman dalam seri yang berkelanjutan dan sehingga direferensikan, dalam urutan, dalam tulisan. Keterangan diketik diatas data pada halaman yang sama. Semua kolom dalam satu table harus punya judul, dengan huruf pertama dari kata pertama dan kata benda yang tepat dikapitalisasi, e.g., Contoh angka, % Didapat.

Garis horizontal sebaiknya dihindarkan dalam badan tabel; garis vertical tidak diperbolehkan. Jika symbol dibutuhkan, table harus disiapkan seperti membuat garis dan diperlakukan sebagai gambar. Penggunaan huruf dan angka seperti yang ditulis diatas dan yang ditulis di bawah tidak diperbolehkan. Perancangan table harus digunakan dalam urutan wajib menarik.

Gambar: Semua gambar tampil dengan teratur, menarik, secara langsung setelah tulisan. Jangan menempatkan keterangan

gambar pada halaman yang sama dengan gambar. Setiap gambar atau piringan gambar harus punya keterangan. Keterangan ditulis dalam paragraf, awali dengan kata "FIGURE". Keterangan diketik dalam huruf roman. Untuk lembarannya, sebuah ringkasan pernyataan akan pra-menyerahkan penjelasan pesifikasi dari setiap angka. Hindari pengulangan informasi pada setiap gambar yang terpasang di pernyataan ringkasan. Nama-nama spesies dieja lengkap setiap digunakan pada keterangan. Keterangan harus berisikan penjelasan dari sebemua singkatan yang digunakan dalam gambar dan mengindikasikan nilai garis dan baru untuk menunjukan ukuran (paling tidak nilai yang ditunjukan secara langsung pada gambar). Ukuran sebaiknya tidak diindikasikan dengan pembesaran keterangan karena gambar mungkin tidak tercetak dengan ukuran yang perhitungkan.

Gambar diberi nomor urut dalam urutan yang disebutkan dalam teks. Referensi yang tidak dikurung untuk angka dalam teks tidak disingkat, i.e., Gambar 1: Gambar 1, 2; Gambar 1-3; referensi untuk gambar dalam kurung pada teks boleh disingkat, i.e., Fig. 1, Figs, 1,2; Fig, 1-3. Semua symbol yang digunakan pada gambar harus didefinisikan jika memungkinkan dengan kunci dalam badan gambar. Gaya, termasuk bentuk singkatan, harus digunakan dalam jurnal.

Gambar dapat digunakan sendiri atau dalam grup in lembaran. Pada kasus lain, aslinya harus dipasang dalam lembaran ilustrasi dengan marjin paling kecil 25 mm pada semua sisi. Foto dan gambar tidak boleh dikombinasi pada satu lembar. Jika dibutuhkan kombinasi, tambahan pengeluaran ditagihkan kepada penulis. Semua gambar diidentifikasi pada belakang nama penulis dan gambar nomor dengan bagian atas diindikasikan. Gambar-gambar satuan tidak diberi nomor di depan, tapi setian gambar pada sebuah lembaran harus memasukan nomor dan huruf, digunakan pada gambar, jika memungkinkan, tanpa tambahan latar belakang. Gambar diatur untuk membentuk lembaran menyatu tanpa spasi atau tengah-tengah diantaranya.
