

PENGARUH VARIASI LAJU ALIR GAS CO₂ TERHADAP PENYISIHAN COD DAN PENYERAPAN CO₂ OLEH *Chlorella* sp. MENGGUNAKAN *FLAT-PHOTOBIOREACTOR* PADA POME

Shinta Elystia¹⁾, Meisy Dhyta Amelia¹⁾, Sri Rezeki Muria²⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾ Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau

E-mail: shintaelystia@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh laju alir gas CO₂ terhadap efisiensi penyisihan COD dan penyerapan CO₂ oleh *Chlorella* sp sebagai upaya memperbaiki kualitas limbah cair kelapa sawit. Penelitian dilakukan secara *batch* menggunakan *flat-photobioreactor* dengan variasi laju alir gas CO₂ yaitu 0,4 Lpm; 0,6 Lpm; dan 0,8 Lpm. Penelitian berlangsung selama 7 hari dengan memanfaatkan matahari sebagai sumber cahaya. Berdasarkan hasil penelitian, jumlah sel mikroalga tertinggi terdapat pada laju alir gas CO₂ 0,6 Lpm sebesar $7,22 \times 10^6$ sel/ml. Efisiensi penyisihan COD dan penyerapan CO₂ tertinggi terdapat pada *flat-photobioreactor* dengan laju alir gas CO₂ 0,6 Lpm pada hari ketujuh. Efisiensi penyisihan COD sebesar 88,9% dan penyerapan CO₂ tertinggi sebesar 7,78572 mg/l.

Kata kunci-*Chlorella* sp.; laju alir gas CO₂; COD; POME

PENDAHULUAN

Konsumsi minyak sawit dunia dari tahun ke tahun terus menunjukkan peningkatan. Dua pulau utama sentra perkebunan kelapa sawit di Indonesia adalah Sumatera dan Kalimantan. Wilayah terluas terdapat di Sumatera, tepatnya Provinsi Riau dengan luas sebesar 2,5 juta hektar dengan produksi CPO sebesar 8,7 juta ton. Selain CPO sebagai produk utama pabrik sawit juga menghasilkan hasil samping (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2018). Pertambahan dan peningkatan areal perkebunan kelapa sawit akan berbanding lurus dengan pertambahan jumlah industri pengolahannya menyebabkan jumlah limbah yang dihasilkan semakin banyak pula. Limbah berupa POME (*Palm Oil Mill Effluent*) yang dihasilkan dari proses pengolahan kelapa sawit akan menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan. Proses pengolahan kelapa sawit menjadi minyak sawit mentah atau *Crude Palm Oil* (CPO) menghasilkan limbah cair sawit sebanyak 2.500 l/ton CPO (Ariadi, dkk., 2013) yang mengandung COD sebesar 50.000 mg/l (Hadiyanto, 2013).

Penggunaan mikroalga untuk pengolahan limbah cair menawarkan beberapa keuntungan lebih dari pada pengolahan limbah secara tradisional, diantaranya dalam hal efektifitas biaya untuk mendegradasi bahan-bahan organik dan menghilangkan patogen, dibandingkan sistem lumpur aktif. Proses pengolahan limbah cair tradisional melibatkan pemakaian energi berbiaya tinggi bagi bakteri aerobik yang mengkonsumsi senyawa organik di dalam limbah cair. Sementara mikroalga menyediakan cara yang efektif untuk mengkonsumsi nutrisi limbah cair dan menyediakan oksigen yang cukup bagi bakteri aerobik melalui proses fotosintesis. Melalui proses pengolahan limbah cair dengan mikroalga dapat menghasilkan biomassa dan reduksi nutrient dalam jumlah besar (Woertz, 2007). Menurut Liu, dkk (2012) salah satu mikroalga yang berpotensi sebagai agen pengolahan air limbah terbaik adalah mikroalga *Chlorella* sp. Dalam penelitian Ahmad, dkk (2016) mikroalga *Chlorella* sp. dapat menyisihkan parameter COD dan Nitrogen Total yang terkandung dalam POME berturut-turut 98% dan 78% setelah 7 hari. *Chlorella* sp adalah salah satu jenis alga hijau bersel satu. Selnya berdiri sendiri berbentuk bulat atau bulat telur dengan ukuran diameter 3 – 8 mikron, memiliki kloroplas berbentuk seperti cawan dan dindingnya keras (Afandi, 2003).

Di Indonesia umumnya untuk proses pengolahan POME menggunakan sistem kolam terbuka atau konvensional. Proses yang terjadi berupa proses fisik seperti sedimentasi dan proses biologi secara anaerob maupun aerob. Kelemahan dari sistem pengolahan konvensional adalah waktu pengolahan yang lama dan membutuhkan lahan yang sangat luas. Kolam terbuka ini menghasilkan gas CO₂ dan metana yang terlepas ke udara dan menjadi penyumbang gas rumah kaca (Rahardjo, 2009). Peningkatan konsentrasi gas efek rumah kaca (GRK) menyebabkan terjadi pemanasan global

yang mengubah kondisi udara normal pada lingkungan (Vashumathi, dkk., 2012). Kondisi ini dapat diatasi dengan menggunakan mikroalga. CO₂ merupakan faktor yang penting yang mempengaruhi pertumbuhan dan metabolisme mikroalga (Hoshida, dkk., 2005).

Pengurangan gas CO₂ karena kemampuan mikroalga dalam mengabsorpsi CO₂ dalam proses fotosintesisnya (Cheng, dkk., 2006). Proses penyerapan CO₂ oleh mikroalga terjadi pada saat fotosintesis, dimana CO₂ digunakan untuk reproduksi sel-sel tubuhnya. Pada proses fotosintesis tersebut selain memfiksasi gas CO₂, juga memanfaatkan nutrisi yang ada dalam limbah cair (POME) intensif sebagai sumber metabolismenya (Hua, dkk., 2006). Efisiensi dari penyerapan CO₂ oleh mikroalga dipengaruhi oleh perbedaan laju alir dan konsentrasi gas CO₂ (Olaizola, dkk., 2004)

Dalam penelitian ini akan diteliti pengaruh laju alir gas CO₂ terhadap produksi biomassa oleh mikroalga *Chlorella* sp, reduksi COD pada POME, serta penentuan CO₂ terserap oleh mikroalga dalam *flat-photobioreactor*, dengan variasi laju alir gas CO₂ sebesar 0,4Lpm; 0,6Lpm; dan 0,8Lpm; pada waktu kontak yaitu 0, 1, 3, 5, dan 7 hari sehingga kandungan zat organik dalam limbah cair akan menurun dan memperbaiki kualitas limbah cair dalam suatu areal industri, serta dapat berperan sebagai penangkap (fixation) gas rumah kaca atau CO₂ di udara.

METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di Universitas Riau pada Laboratorium Pengendalian dan Pencegahan Pencemaran Lingkungan Fakultas Teknik dan Pusat Penelitian Alga Fakultas Perikanan dan Kelautan. Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan Oktober hingga Desember 2019.

B. Bahan dan Alat

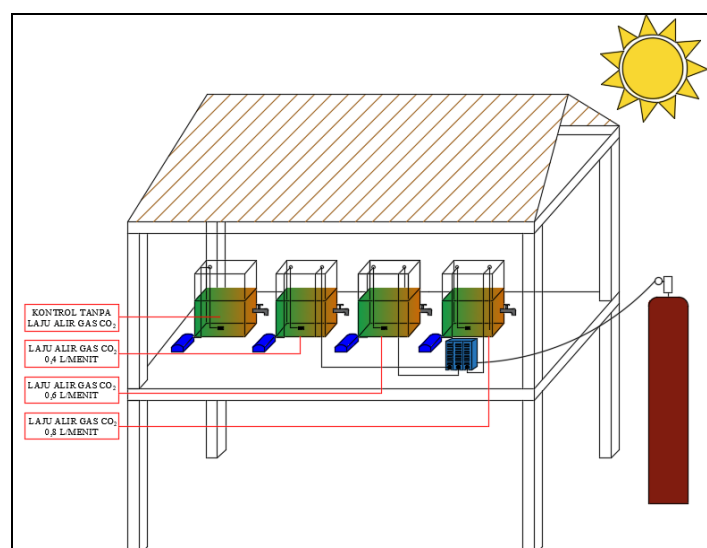
Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *flat-photobioreactor* yang terbuat dari kaca dengan ukuran 20 cm x 7 cm x 25 cm, bak penampung *influent* berupa ember plastik dengan kapasitas 20 liter, selang plastik untuk mengalirkan gas CO₂ dari tabung ke *flat-photobioreactor*, *flow meter*, tabung gas CO₂, regulator gas CO₂, botol cleo, aerator, batu aerator, jarum suntik, *cover glass*, *thermometer*, pH meter, mikroskop cahaya, spektrofotometer ultraviolet, *heating block*, sentrifus, *hand counter*, *thomacytometer*, corong, botol sampel, erlenmeyer, tabung reaksi, gelas kimia, gelas ukur, pipet tetes, buret, dan statif.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah POME yang diperoleh dari kolam IV PT.X Riau sebagai medium pertumbuhan mikroalga dalam *flat-photobioreactor*. Mikroalga *Chlorella* sp. yang diperoleh dari Pusat Penelitian Alga Fakultas Perikanan dan kelautan Universitas Riau yang dikultur menggunakan *Dahril solution* sebagai sumber nutrisi. Bahan kimia yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah larutan K₂Cr₂O₇ 0,1 N, larutan ferro ammonium sulfat 0,25 M, katalis H₂SO₄-AgSO₄, indikator ferroin, aseton 90%, HCL 0,1 N dan kertas saring.

C. Prosedur Penelitian

1. Instalasi dan Pemasangan Alat *Flat-Photobioreactor*

Penelitian ini menggunakan empat buah *flat-photobioreactor* yang terbuat dari kaca dengan dimensi yang sama yaitu (P x L x T) 20 cm x 7 cm x 25 cm dengan volume efektif air limbah 3,5 liter. Satu *flat-photobioreactor* berfungsi sebagai kontrol tanpa injeksi laju alir gas CO₂ dan tiga *flat-photobioreactor* diisi suspensi mikroalga *Chlorella* sp. dengan variasi laju alir gas CO₂ berturut-turut sebesar 0,4 Lpm; 0,6 Lpm; dan 0,8 Lpm. Keempat *flat-photobioreactor* diaerasi secara kontiniu menggunakan aerator. *Flat-photobioreactor* memiliki dua saluran di bagian atas dan satu saluran di bagian samping. Saluran atas berfungsi sebagai saluran gas CO₂ dan sebagai aerasi yang pada ujung saluran terdapat batu aerator. Saluran dibagian samping berfungsi untuk mengeluarkan sampel air limbah yang telah diolah di dalam *flat-photobioreactor* untuk dilakukan pengujian parameter. Desain penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain Penelitian

2. Preparasi sampel POME

POME diambil dari kolam IV PT.X Riau. Metode pengambilan sampel ini dilakukan secara grab sampel sebanyak satu kali pada saluran effluent. POME disaring untuk menyisihkan partikel dan pasir yang berukuran besar. Pada POME yang telah disaring dilakukan pengujian pH, suhu, dan uji karakteristik awal COD.

3. Kultivasi Stock Alga *Chlorella* sp.

Bibit alga *Chlorella* sp. diperoleh dari Pusat Penelitian Alga Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Riau. Alga dikultivasi di dalam medium Dahril Solution selama sepuluh hari menggunakan sumber cahaya matahari. Selama kultivasi, kelimpahan sel alga dihitung setiap 24 jam menggunakan *thomacytometer*.

4. Aklimatisasi mikroalga *Chlorella* sp.

Aklimatisasi pada penelitian ini mengacu pada penelitian Anggreani (2011). Aklimatisasi dilakukan selama 2 minggu dengan cara mencampurkan alga hasil kultivasi dengan POME secara bertahap hingga diperoleh kepadatan alga minimal sebesar 10^6 sel/ml. Tahap awal dilakukan dengan mencampurkan 50 % alga hasil kultivasi dan 50 % POME. Kemudian tahap berikutnya dilakukan dengan cara mencampurkan alga dari tahap pertama dan POME dengan rasio alga: POME sebesar 75% : 25%.

5. Penelitian Utama

Keempat flat-photobioreactor diaerasi secara kontinu menggunakan aerator dengan debit aerasi sebesar 3 Lpm (Singh, dkk., 2012). Konsentrasi POME terhadap mikroalga dengan perbandingan 1:4 (Yonas, dkk., 2012). Flat-photobioreactor dioperasikan secara batch pada suhu ruang dengan menggunakan sumber cahaya matahari. Penelitian utama dilakukan untuk mendapatkan laju alir gas CO_2 dan waktu kontak terbaik yang dapat menyisihkan COD serta CO_2 terserap oleh mikroalga pada *flat-photobioreactor*.

D. Parameter Pengamatan

Parameter pengamatan pada penelitian ini meliputi jumlah sel, pH, suhu, COD dan CO_2 terserap oleh *Chlorella* sp.

1. Perhitungan jumlah sel *Chlorella* sp. dilakukan dengan meneteskan air yang mengandung *Chlorella* sp. pada *thomacytometer* lalu ditutup dengan *cover glass*, kemudian diamati dengan mikroskop dengan pembesaran 100-400 kali (Sehabudin, 2011). Perhitungan jumlah sel alga menggunakan persamaan (Bastidas, 2008):

$$N = n \times 10^4 \dots\dots\dots (1)$$

keterangan: N = Kelimpahan Sel (sel/ml)
 n = Jumlah sel dihitung
 10^4 = Volume Kotakan *Thomacytometer*

2. Analisis parameter COD mengacu pada SNI 6989.73:2009 dengan metode refluks terbuka secara titrimetri. Efisiensi penyisihan parameter COD menggunakan persamaan:

$$\text{Efisiensi (\%)} = \frac{C_{in} - C_{ef}}{C_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

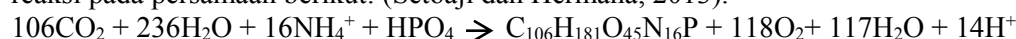
keterangan: C_{in} = Konsentrasi *influen* (mg/l)
 C_{ef} = konsentrasi *effluen* (mg/l)

3. Pengujian klorofil-a mengacu pada SNI 06-4157-1996 tentang pengujian kadar klorofil-a fitoplankton dalam air dengan spektrofotometer. Setelah didapatkan hasil absorbansi, rumus untuk menghitung kadar klorofil-a fitoplankton adalah sebagai berikut (Waizh, 2018):

$$\text{Klorofil-a} = \frac{(26,7 (A-B) \times V_e)}{(V_s \times L) \text{ mg/m}^3} \dots\dots\dots (3)$$

keterangan: Angka 26,7 = Konstanta (koreksi) serapan masuk
 A = Selisih kerapatan optik sebelum pengasaman
 B = Selisih kerapatan optik setelah pengasaman
 V_e = Volume benda uji (Liter)
 V_s = Volume contoh uji (m^3)
 L = Bagian transparan atau lebar kuvet (cm)

Selama proses fotosintesis alga memanfaatkan CO_2 , nutrisi, dan cahaya matahari berdasarkan reaksi pada persamaan berikut: (Setoaji dan Hermana, 2013).



Perhitungan jumlah karbondioksida yang terserap didapatkan dari perbandingan stoikiometri pada reaksi fotosintesis. Analisa laboratorium yang dilakukan adalah mengukur nilai klorofil-ayang mana nilai ini merupakan jumlah biomassa yang terbentuk sebagai ($C_{106}H_{181}O_{45}N_{16}P$) pada reaksi stoikiometri di atas. Dengan menggunakan perbandingan stoikiometri pada reaksi diatas dapat diketahui bahwa 1 gram senyawa organik (sel alga yang terbentuk) sebanding dengan 1,8 gram CO_2 yang diserap, didapatkan dari persamaan berikut (Prapta, dkk., 2012):

$$\rho = \frac{\text{berat } CO_2 \text{ yang terserap}}{\text{Berat alga yang terbentuk}} \dots\dots\dots (4)$$

keterangan: ρ = massa jenis

Dari hasil pengukuran klorofil-adidapat mg biomassa alga dan CO_2 yang dimanfaatkan dengan persamaan:

$$\text{Gram } CO_2 = \text{gram biomassa} \times 1,8 \dots\dots\dots (5)$$

keterangan: klorofil-a = gram biomassa

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik POME

Sebelum melakukan penelitian utama, POME yang berasal dari PT.X dilakukan penyaringan yang bertujuan untuk menyisihkan partikel-partikel kasar dan besar serta dilakukan analisa karakteristik sampel POME. Karakteristik sampel POME meliputi pH, suhu dan COD. Data karakteristik awal POME dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Sampel POME

Parameter	Hasil Uji
pH	7,9
Suhu	33°C
COD	3.228 mg/L

Sumber: PT.X, 2019

Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa POME yang terdapat pada kolam IV PT.X masih mengandung bahan organik yang tinggi. Hal ini menyebabkan banyaknya kolam yang dibutuhkan untuk pengolahan POME. Kondisi ini dapat diatasi dengan menggunakan mikroalga *Chlorella* sp.,

bahan organik sebagai sumber nutrisi untuk pertumbuhan sehingga dapat mengurangi beban kolam pengolahan POME dan mengurangi kandungan bahan pencemar pada POME. pH POME kolam ke-VI adalah 7,9. Menurut Hadiyanto dkk, (2012) pH optimum pertumbuhan mikroalga yaitu 6-8. Pada pH tersebut *Chlorella* sp. dapat tumbuh dengan baik. Suhu medium POME adalah 33°C, suhu ini merupakan suhu untuk pertumbuhan *Chlorella* sp, menurut prabowo (2009) rentang suhu optimal untuk pertumbuhan alga berada pada rentang 25-35°C.

B. Kultivasi Stock Alga *Chlorella* sp.

Pada penelitian ini, mikroalga *Chlorella* sp. dikultivasi di dalam sebuah botol plastik kemasan 6 Liter dengan menggunakan medium *Dahril Solution* dan memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber cahaya. Mikroalga memiliki massa jenis yang lebih besar dari pada air. Hal ini terbukti ketika didiamkan sel-sel *Chlorella* sp. mengendap di dasar media kultivasi. Oleh karena itu selama kultivasi diberikan aerasi secara kontinu untuk menghindari pengendapan sel alga *Chlorella* sp. dan memaksimalkan kontak sel alga *Chlorella* sp. dengan mediumnya serta mendapatkan cahaya yang merata. Kepadatan alga minimal adalah sebesar 10^6 sel/mL (Lestari, 2014). Dalam penelitian ini, sel alga yang telah dikultivasi selama 7 hari kemudian dihitung dengan menggunakan *thomacytometer* dan didapatkan jumlahsel sebesar $1,34 \times 10^7$ sel/mL. Sel *Chlorella* sp. dapat dilihat pada Gambar 2.



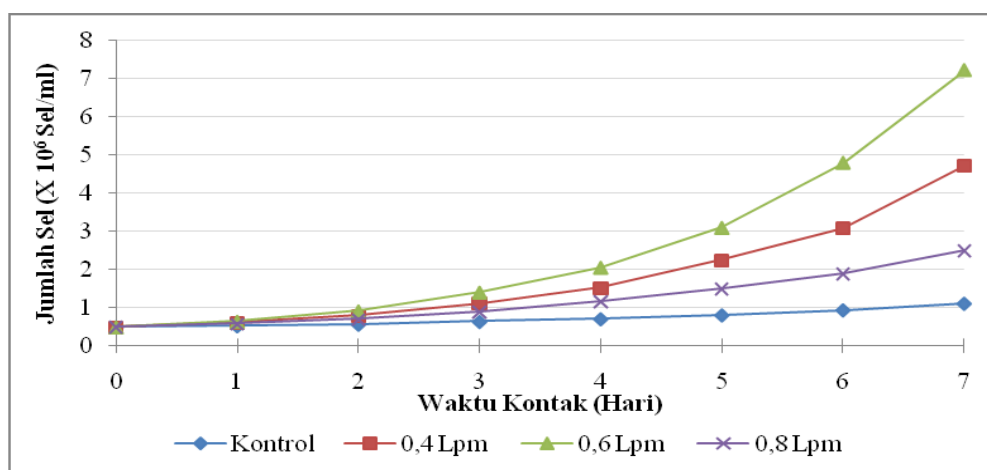
Gambar 2. Sel Alga *Chlorella* sp.

C. Aklimatisasi Kultur Alga dengan Medium POME

Aklimatisasi dilakukan selama dua minggu dengan cara mencampurkan alga hasil kultivasi dengan medium POME melalui dua tahap. Pada penelitian ini densitas yang digunakan saat aklimatisasi tahap 1 adalah $1,34 \times 10^7$ sel/mL. Tahap 1 dilakukan dengan mencampurkan 50 % alga hasil kultivasi dan 50 % POME selama 7 hari didapatkan densitas sel sebesar $1,10 \times 10^6$ sel/mL. Pada aklimatisasi tahap 1 ini, mikroalga melakukan adaptasi terhadap lingkungannya sesaat setelah ditambahkan ke dalam medium kultur baru. Meskipun mengalami metabolisme, pertumbuhan pada fase ini belum terlalu terlihat yang ditandai dengan jumlah sel yang masih rendah, sebanding dengan laju pertumbuhan sel yang juga rendah (Prihantini, dkk., 2005). Mikroalga belum dapat tumbuh secara maksimal sehingga jumlah selnya jauh berada dibawah inokulum awal. Kondisi ini sesuai dengan pernyataan Prihantini (2007) yang menyatakan bahwa fase adaptasi biasanya terjadi ketika inokulum diinokulasikan ke dalam media baru yang berbeda komponen kimiawinya. Sel-sel yang diinokulasi mula-mula melakukan perubahan kimiawi dan fisiologis untuk menyesuaikan kembali aktivitas metabolismenya agar dapat tumbuh dalam media baru. Menurut Irianto (2011) kondisi ini dimulai setelah penambahan inokulan ke dalam media kultivasi hingga beberapa saat setelahnya. Metabolisme berjalan tetapi pembelahan sel belum terjadi sehingga kepadatan sel belum meningkat karena mikroalga masih beradaptasi dengan lingkungan barunya. Setelah 7 hari dilanjutkan dengan tahap 2 yaitu dengan cara mencampurkan alga dari tahap 1 dan POME dengan rasio sebesar 75% : 25%. Densitas yang didapatkan pada tahap 2 adalah $2,31 \times 10^6$ sel/mL. Peningkatan jumlah sel yang terjadi menandakan bahwa mikroalga *Chlorella* sp. mampu memanfaatkan nutrisi yang terkandung pada POME.

D. Pengaruh laju alir gas CO₂ terhadap Jumlah Sel Mikroalga *Chlorella* sp.

Jumlah sel *Chlorella* sp. di awal kultivasi (hari 0) pada setiap *flat-photobioreactor* dengan variasi laju alir gas CO₂ sebesar 0,4 Lpm; 0,6 Lpm dan 0,8 Lpm serta kontrol adalah $5,0 \times 10^5$ sel/ml. Grafik hubungan variasi gas CO₂ dan variasi waktu kontak terhadap jumlah sel mikroalga *Chlorella* sp dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan Variasi Gas CO₂ dan Variasi Waktu Kontak Terhadap Jumlah Sel Mikroalga *Chlorella* sp.

Berdasarkan Gambar 3 fase lag pada penelitian ini hanya berlangsung hingga hari ke-1. Pada fase ini *Chlorella* sp. mampu beradaptasi dengan baik pada medium POME. Hal ini dipengaruhi oleh adanya proses aklimatisasi yang bertujuan untuk mengadaptasikan mikroalga *Chlorella* sp. dengan medium POME sehingga kondisi lingkungan yang sama menyebabkan fase lag singkat dan sel akan cepat memasuki fase eksponensial (Wang dkk., 2010). Fase eksponensial diawali dengan pembelahan sel dan ditandai dengan naiknya laju pertumbuhan sehingga jumlah sel meningkat (kawaroe, dkk., 2010). Pada penelitian ini waktu dan jumlah sel fase eksponensial dari berbagai variasi laju alir gas CO₂ berbeda-beda. Pada hari ke-2 mikroalga dengan perlakuan injeksi laju alir gas CO₂ 0,6 Lpm memasuki fase eksponensial lebih cepat dengan jumlah sel $0,92 \times 10^6$ sel/ml dibandingkan laju alir 0,4 Lpm; 0,8 Lpm dan kontrol dengan jumlah sel masing-masing $0,79 \times 10^6$ sel/ml; $0,7 \times 10^5$ sel/ml dan $0,57 \times 10^6$ sel/ml. Pertumbuhan jumlah sel masih terus berada pada fase ekponensial hingga hari ke-7.

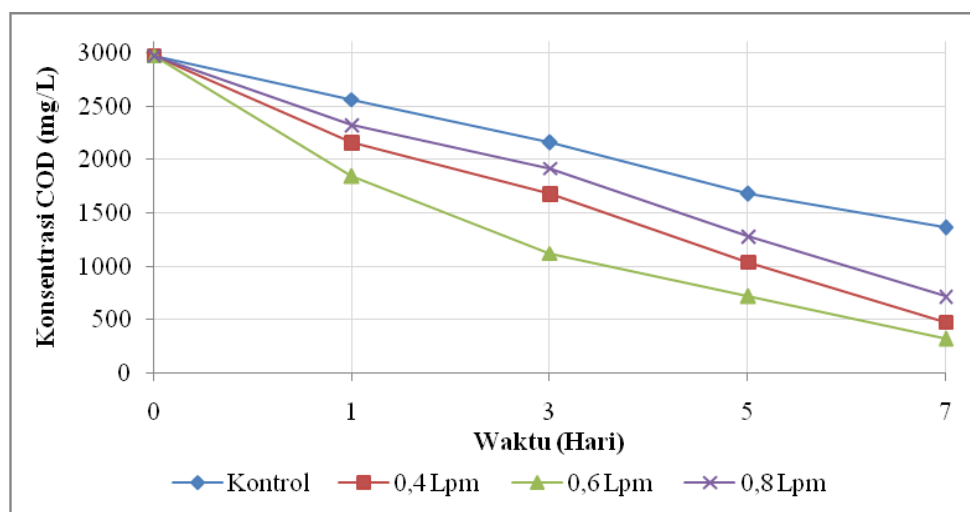
Perlakuan kontrol menunjukkan jumlah sel terendah dan cenderung datar. Hal ini disebabkan karena tidak adanya penambahan gas CO₂ yang merupakan tambahan makronutrien bagi pertumbuhan *Chlorella* sp, dimana karbon merupakan makronutrien dengan jumlah terbesar yang dibutuhkan mikroalga untuk pertumbuhannya. Hal ini dibuktikan dengan perlakuan variasi laju alir gas CO₂ yang jumlah selnya cenderung meningkat. Variasi laju alir gas CO₂ 0,6 Lpm merupakan variasi gas CO₂ optimum untuk pertumbuhan *Chlorella* sp. Sumber karbon yang digunakan mikroalga untuk berfotosintesis tidak secara langsung memanfaatkan gas CO₂, namun gas tersebut harus bereaksi terlebih dahulu dengan H₂O untuk membantuk ion HCO₃⁻ untuk kemudian dapat dimanfaatkan oleh mikrolaga sebagai sumber karbon dalam proses fotosintesis. Meskipun ion [HCO₃⁻] ini sangat bermanfaat untuk pertumbuhan, ketersediaannya yang semakin jenuh pada medium kultur akan mengurangi kelarutan CO₂ yang ditransfer ke dalam medium kultur dari waktu ke waktu. Hal ini diakibatkan karena mikroalga telah mendapatkan CO₂ yang cukup untuk proses fotosintesis, sehingga perlakuan laju alir yang lebih tinggi tidak meningkatkan proses fotosintesis karena perlakuan injeksi gas CO₂ yang tinggi dapat membuat mikroalga dalam kondisi jenuh dalam menerima konsentrasi gas CO₂ (Istiyane, 2011).

Variasi Laju alir gas CO₂ 0,8 Lpm menunjukkan jumlah sel yang lebih rendah. Hal ini disebabkan laju alir gas CO₂ 0,8 Lpm tidak mengalami difusi di dalam *flat-photobioreactor*, bahkan sebaliknya terjadi difusi dari CO₂ terlarut dalam *flat-photobioreactor* kembali menjadi gas CO₂ sehingga tidak dapat dimanfaatkan oleh *Chlorella* sp. (Idris, 2012). Hal yang sama menurut Aulia,

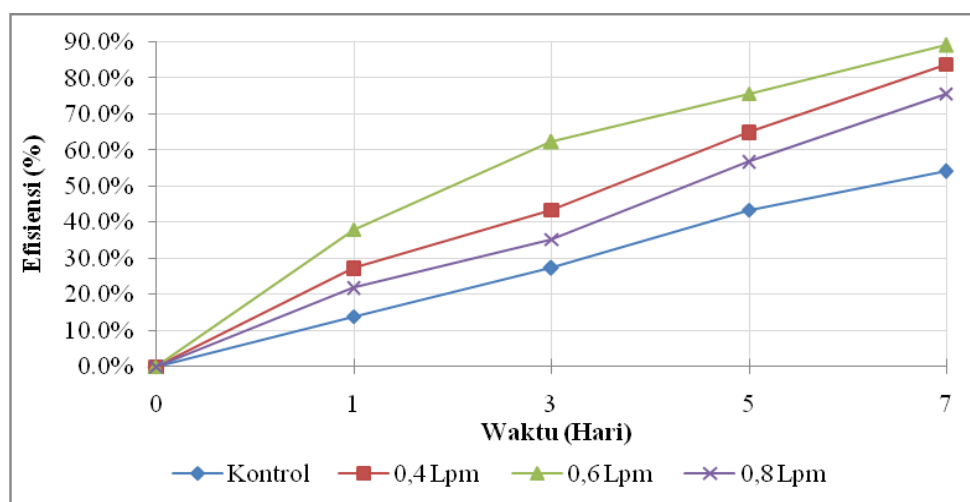
dkk (2017) jika nutrisi yang dibutuhkan untuk pertumbuhan mikroalga jumlahnya berlebihan dalam limbah, maka mengakibatkan pertumbuhan mikroalga menjadi terhambat.

E. Konsentrasi dan Efisiensi Penyisihan COD

Hasil uji konsentrasi dan efisiensi penyisihan COD pada POME selama proses pengolahan di dalam *flat-photobioreactor* menggunakan *Chlorella* sp. dengan variasi laju alir gas CO₂ dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Nilai Konsentrasi Penyisihan COD



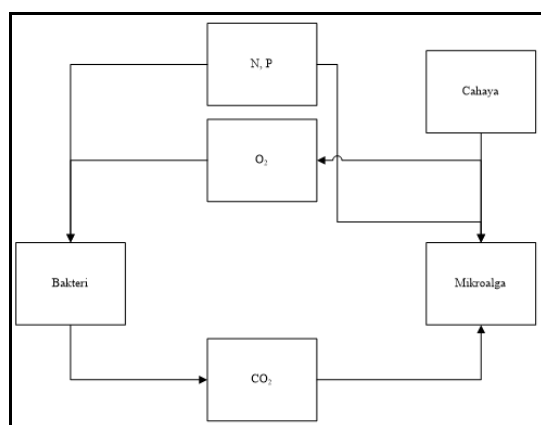
Gambar 6. Nilai Efisiensi Penyisihan COD

Berdasarkan Gambar 5 tiap *flat-photobioreactor* mengalami penurunan konsentrasi COD selama 7 hari kultivasi. Penurunan kadar COD ini menunjukkan bahwa kandungan yang dimiliki oleh POME dapat dimanfaatkan sebagai nutrisi dalam pertumbuhan mikroalga *Chlorella* sp. Mikroalga menggunakan cahaya matahari, CO₂, dan bahan-bahan organik seperti nitrogen dan fosfat untuk fotosintesis. Sehingga dengan adanya mikroalga di perairan, kadar nitrogen dan fosfat di air dapat berkurang. Hal ini sebanding menurut Mutjaba, dkk (2017) bahwa mikroalga *Chlorella* sp. dapat mengurangi kadar COD melalui metabolisme miksotrofik dengan menggunakan cahaya dan karbon organik yang terdapat pada air limbah.

Efisiensi penyisihan COD tertinggi terdapat pada variasi laju alir gas CO₂ 0,6 Lpm pada hari ke-7 sebesar 88,9% dengan konsentrasi COD setelah kuktivasi sebesar 320 mg/l. Hal ini dikarenakan pada variasi laju alir gas CO₂ 0,6 Lpm tersebut komposisi antara mikroalga dan kandungan nutrisi dalam keadaan yang optimum. Pada kondisi tersebut mikroalga dapat tumbuh dengan baik, sehingga penambahan jumlah sel akibat penambahan gas CO₂ akan tinggi dan dapat memanfaatkan nutrisi yang

terdapat pada medium POME. Efisiensi penyisihan COD terendah terdapat pada kontrol dan variasi laju alir gas CO₂ 0,8 Lpm pada hari ke-7 masing-masing sebesar 56,6% dan 78,1% dengan konsentrasi COD sebesar 1.360 mg/l dan 720 mg/l. Konsentrasi penyisihan terendah terjadi pada kontrol disebabkan karena jumlah sel mikroalga *Chlorella* sp. yang rendah akibat tidak adanya penambahan karbon sebagai makronutrien mikroalga *Chlorella* sp. sedangkan pada variasi terendah laju alir gas CO₂ 0,8 Lpm dikarenakan mikroalga mendapatkan CO₂ berlebih sehingga menyebabkan mikroalga dalam kondisi jenuh dan terhambatnya pertumbuhan mikroalga *Chlorella* sp

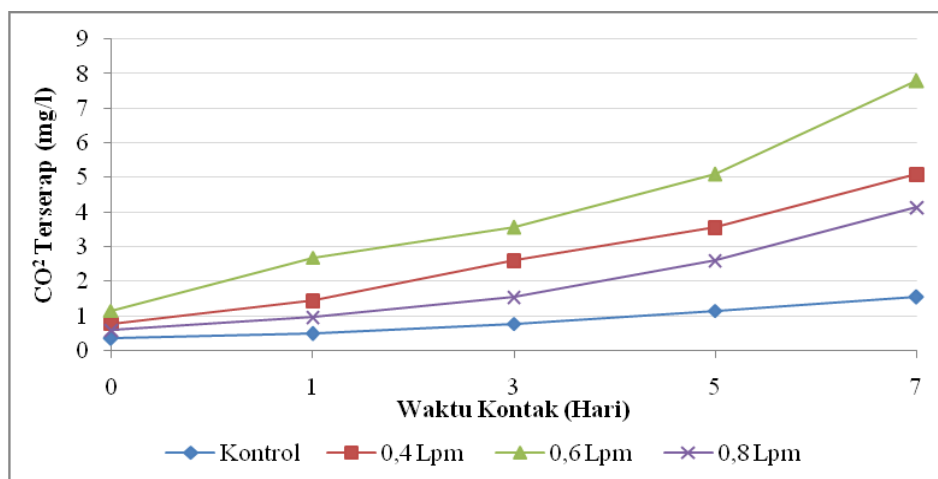
Menurut Simatupang (2017) terjadinya mekanisme penguraian limbah karena adanya simbiosis mutualisme yang terjadi secara sinergis antara mikroalga dan bakteri pengurai, karena mikroalga menggunakan hasil metabolisme dari bakteri berupa CO₂ hasil perombakan bahan organik yang terdapat pada limbah sebagai sumber karbon utama, sedangkan bakteri menggunakan O₂ dari proses fotosintesis mikroalga untuk dimanfaatkan dalam proses penguraian atau mengoksidasi senyawa kompleks pada air limbah. Simbiosis antara mikroalga dan bakteri dapat menurunkan konsentrasi COD dan meningkatkan penyisihan. Bakteri indigen menghidrolisis senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana dengan enzim yang dimilikinya (Syamsudin, dkk., 2008). Eksoenzim yaitu enzim yang bekerja di luar sel, umumnya berfungsi untuk mencernakan substrat secara hidrolisis, sehingga dapat mengubahnya menjadi molekul yang lebih sederhana dan dapat masuk melewati membran sel (Fidiastuti dan Endang, 2017). Senyawa sederhana inilah yang dimanfaatkan oleh mikroalga sebagai nutrisi untuk pertumbuhannya. Mekanisme simbiosis mikroalga dan bakteri dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Mekanisme simbiosis mikroalga dan bakteri
 Sumber: Siregar, dkk., (2012)

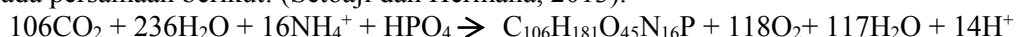
F. CO₂ Terserap Oleh *Chlorella* sp.

CO₂ terserap oleh *Chlorella* sp. diukur pada penelitian ini dengan mengukur klorofil-a menggunakan spektrofotometer. Grafik penyerapan CO₂ oleh *Chlorella* sp. dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik CO₂ terserap oleh *Chlorella* sp.

Selama proses fotosintesis alga memanfaatkan CO₂, nutrien, dan cahaya matahari berdasarkan reaksi pada persamaan berikut: (Setoaji dan Hermana, 2013).



Dapat dilihat bahwa mikroalga membutuhkan CO₂ dalam jumlah yang besar yaitu sebesar 106. Penyerapan CO₂ tertinggi terdapat pada laju alir gas CO₂ 0,6 Lpm sebesar 7,78572 mg/l sebanding dengan jumlah sel tertinggi terdapat pada laju alir gas CO₂ 0,6 Lpm. Penyerapan CO₂ 0,8 Lpm sebesar 4,133316 mg/l lebih rendah dibandingkan dengan laju alir gas CO₂ 0,4 Lpm sebesar 5,09436 mg/l pada hari ke-7. Hal ini sesuai dengan jumlah sel *Chlorella* sp. 0,8 Lpm lebih rendah dibandingkan 0,4 Lpm. Hal ini sesuai menurut Iqbal (2013) bahwa semakin banyak jumlah sel di dalam kultur tersebut maka kandungan klorofil akan semakin meningkat. Hal ini juga sesuai menurut Cohen (2011) dalam Rochimah, dkk (2013) dalam bahwa seiring dengan kenaikan jumlah sel maka akan meningkatkan aktivitas fotosintesis sehingga menyebabkan meningkatnya kandungan klorofil dalam sel. Laju alir gas CO₂ yang berlebihan dapat menjadi penghambat atau inhibitor bagi pertumbuhan mikroalga *Chlorella* sp. Gambar menunjukkan bahwa laju alir gas CO₂ 0,8 Lpm lebih rendah dibandingkan 0,6 Lpm. Dengan laju alir CO₂ diatas 0,6 Lpm maka karbon bukan menjadi *limiting factor* pada proses fotosintesis alga, dan justru menjadi *substrate inhibition factor* (Hadiyanto dan Widayat. 2014). Laju pertumbuhan berbanding lurus dengan produktivitas karena dengan laju pertumbuhan yang optimal akan menghasilkan produktivitas yang optimal pula. Mikroalga yang mempunyai pertumbuhan baik akan lebih aktif mengkonversi CO₂ menjadi biomassa sehingga produktivitas biomassa menjadi tinggi (Setiawan dkk, 2008). Hal ini menguatkan pendapat bahwa gas CO₂ merupakan faktor yang penting yang mempengaruhi pertumbuhan dan metabolisme mikroalga (Hoshida dkk., 2005). Pada setiap *flat-photobioreactor* ditambahkan aerator yang berfungsi untuk menggerakkan air di dalam *flat-photobioreactor* yang berisi alga sehingga akan menambah luas permukaan gas CO₂ dengan medium POME dan agar tidak terjadinya pengendapan pada kontrol. Dengan cara ini diharapkan semakin banyak gas CO₂ yang akan terserap oleh air sehingga pertumbuhan mikroalga di dalamnya akan lebih maksimal.

KESIMPULAN

Kultivasi medium POME dengan variasi laju alir gas CO₂ dapat meningkatkan jumlah sel mikroalga *Chlorella* sp. Jumlah sel tertinggi yaitu 7,22 x 10⁶ sel/ml pada laju alir gas CO₂ 0,6 Lpm. Efisiensi dan konsentrasi penyisihan COD tertinggi terjadi pada hari ke-7 laju alir gas CO₂ 0,6 Lpm masing-masing sebesar 88,9% dan 320 mg/l. Semakin lama waktu kontak pada penelitian ini maka akan semakin besarefisiensi penyisihan. Konsentrasi CO₂ terserap oleh *Chlorella* sp. tertinggi terdapat pada laju alir gas CO₂ 0,6 Lpm sebesar 7,78572 mg/l.

UCAPAN TERIMAKASIH

Laboratorium Pengendalian dan Pencegahan Pencemaran Lingkungan Fakultas Teknik dan Pusat Penelitian Alga Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Riau.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Ashfaq., Buang, Azizul., dan Bhat, A.H. 2016. Renewable and Sustainable Bioenergy Production from Microalgal Co-Cultivation with Palm Oil Mill Effluent (POME). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 65: 214-234.
- Afandi, Y.V. 2003. Uji Penurunan Kandungan Nitrat dan Fosfat oleh Alga Hijau (*Chlorella* sp) secara Kontinyu Jurusan Teknik Lingkungan ITS, Surabaya.
- Anggreani, B. 2011. Efek Aerasi terhadap Dominasi Mikroba dalam Sistem High Rate Algae Pond (HRAP) untuk Pengolahan Air Boezem Morokrengan. Skripsi. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Ariadi H, D.Reni, Yulastri. 2013. Aplikasi Plasma Dengan Metoda Dielectric Barrier Discharge (DBD) untuk Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit. *Jurnal Ilmiah Online*, Vol: 2 No .2.
- Bastidas, Oscar. 2008. Thoma Chamber Formulae Calculation with Thoma Chamber Made Easy. *Celeromics*.

- Cheng, L.H., Zhang, L., Chen, H. & Gao, C. 2006. Carbon dioxide removal from air by microalgae cultured in a membrane-photobioreactor. *Separation and Purification Technology Journal*. Volume 50, Issue 3, 324-329
- Chalid, S.Y., Amini, S. dan Lestari. S. D. 2010. Kultivasi *Chlorella* sp. pada Media Tumbuh yang Diperkaya dengan Pupuk Anorganik dan Soil Extract. *Jurnal Valensi*. 1(6): 298-304.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2018. *Statistik Perkebunan Indonesia Kelapa Sawit 2015-2017*. Direktorat Jenderal Perkebunan: Jakarta.
- Fidiastuti, Hasminar Rachman dan Endang Suarsini. 2017. Potensi Bakteri Indigen dalam Mendegradasi Limbah Cair Pabrik Kulit Secara in Vitro. *Bioeksperimen*. Vol 3(1): 8.
- Hadiyanto. 2013. Valorisasi Mikroalga untuk Pengolahan Limbah Cair Sawit dan Sebagai Sumber Energi dan Pangan Alternatif. *Prosiding Rekayasa Kimia & Proses*. 1-11.
- Hadiyanto dan Widayat. 2014. Biofiksasi CO₂ Oleh Mikroalga *Chlamydomonas* Sp dalam Photobioreaktor Tubular. *Reaktor Chemical Engineering Journal*. Vol 15 (1): 39.
- Hoshida, H, T. Ohira, A. Minematsu, R. Akada dan Y. Nishizawa. 2005. Accumulation of Eicosapentaenoic Acid in *Nannochloropsis* sp. in Response to Elevated CO₂ Concentrations. *Applied Phycology*. 17: 29-34.
- Idris, Muhammad Kemal. 2012. Efektivitas Penyerapan Karbondioksida (CO₂) oleh Fitoplankton (*Chaetoceros* sp.) pada Fotobioreaktor. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan. IPB. Bogor.
- Iqbal, Muhammad Rifki. 2013. Menghitung Jumlah dan Kadar Klorofil Mikroalga Jenis *Chlosterium* sp. Laporan Praktikum Cryptogame. Fakultas Sains dan Teknologi. Jurusan Biologi. Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati. Bandung.
- Istiyanie, Dewi. 2011. Pemanfaatan Emisi CO₂ Dari PLTU Batubara Dalam Pengolahan Limbah Cair Domestik Berbasis Mikroalga. Tesis. Program Pasca Sarjana. Program Studi Kajian Ilmu Lingkungan. Universitas Indonesia: Jakarta.
- Liu, Kai., Li, Jian., Qiao, Hongjin., Lin, Apeng., Wang, Guangce. 2012. Immobilization *Chlorella sorokiana* GXNN 01 in Alginate for Removal of N and P from synthetic wastewater. *Bioresource Technology Journal*. 114: 26-32.
- li Hua, Cheng, Lin Zhang, Huan, Lin Chen, Cong Jie, Gao, 2006. Carbon dioxide removal from air by microalgae in a membrane-photobioreactor. *Separation and Purification Technology Journal*. Vol 50, Issue 3 Pages 324-329
- Merizawati. 2008. Analisis Sinar Merah, Hijau, dan Biru (RGB) untuk Mengukur Kelimpahan Fitoplankton (*Chlorella* sp.). Skripsi. Program Studi Ilmu dan Teknologi Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor, IPB, Bogor.
- Mutjaba, G., M. Rizwan., K. Lee. 2017. Removal of Nutrient and COD from Wastewater Using Symbiotic Co-Cultur of Bacterium *Pseudomonas putida* and Immobilized Microalga *Chlorella vulgaris*. *Journal of Industrial and Engineering*. 49. 145-151.
- Olaizola, M, Bridges, T., Flores, S., Griswold, L., Morency, J., dan Nakamura, T. 2004. Microalga Removal of CO₂ from Flue Gases: CO₂ Capture from a Coal Combuster. *Biotechnology Bioengineering*. 8: 360-367.
- Prabowo, D. A. 2009. Optimasi Pengembangan Media Untuk Pertumbuhan *Chlorella* sp. pada Skala Laboratorium. Skripsi. Program Studi Ilmu dan Teknologi Kelautan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. IPB. Bogor.
- Prapta, Sadya Chandra., Agus Slamet dan Joni Hermana. 2012. Studi Kemampuan Alga dalam Menyerap Karbon (Carbonsink) sebagai Upaya Alternatif dalam Mengurangi Emisi Karbon (CO₂). *Scientific Conference Of Environmental Technology IX*.
- Prihantini, N. B., Putri, dan Yuniati. 2005. Pertumbuhan *Chlorella* sp. dalam medium Ekstrak Tauge (MET) dengan Variasi pH Awal. Skripsi. Departemen Biologi Fakultas MIPA Universitas Indonesia Jakarta.
- Rahardjo, P. Nugroho. 2009. Studi Banding Teknologi Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi: Jakarta
- Rochimah, Rissa., Hasby, Rizal Maulana dan Ferbi Fajar Ramadhan. 2013. Menghitung Jumlah Sel Mikrolaga Jenis *Botryococcus Braumii* dan Pengukuran Kadar Klorofil Mikroalga. Laporan Praktikum Cryptogame. Fakultas Sains dan Teknologi. Jurusan Biologi. Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati. Bandung.

- Sehabudin, Sindi. 2011. Penambatan Karbon Dioksida dan Pengaruh Densitas Alga Air Tawar (*Chlorella* sp.) terhadap Pengurangan Emisi Karbon Dioksida. Skripsi. Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta.
- Setiawan, S., Sari, M., dan Yuliusman. 2008. Mekanisme Absorpsi CO₂ dengan Menggunakan Fitoplankton. *Jurnal Ilmiah Bioteknologi*. (19): 115-119.
- Setoaji dan Hermana. 2013. Pengaruh Aerasi dan Sumber Nutrien terhadap Kemampuan Alga Filum Chlorophyta untuk Mengurangi Emisi CO₂ di Kawasan Perkotaan. *Jurnal Teknik POMITS*. 2(2): 71-72.
- Singh, S, K., Bansal, A., Jha, M. K., Dey, Apurba. 2012. An Integrated Approach to Remove Cr(VI) using Immobilized *Chlorellaminutissima* Grown in Nutrient Rich Sewage Wastewater. *Journal of Bioresource Technology*. 10: 257-265
- Syamsudin, Purwati. S, Taufiek. A. 2008. Efektifitas Aplikasi Enzim dalam Sistem Lumpur Aktif pada Pengolahan Air Limbah Pulp dan Kertas. *Jurnal Selulosa*. Vol. 43(2).
- Vashumathi, K.K., M. Premalatha., dan P.Subramanian. 2012. Parameters Influencing the Design of Photobioreactor For The Growth Of Microalgae. India: Centre for energy and environmental science and technology (CEESAT) *National OF Technology*. 16(7): 5443-5450
- Waizh, Nada Tsusayya. 2018. Pengaruh Densitas Alga Dan Kedalaman Reaktor Terhadap Penurunan BOD & COD Limbah Cair Domestik. Skripsi. Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Wang, L., Li, Y., Chen, P., Min, M., Chen, Y., Zhu, J. dan Ruan, R. R. 2010. Anaerobic Digested Dairy Manure as a Nutrient Supplement for Cultivation of Oil-Rich Green Microalgae *Chlorella* sp. *Bioresourch Technology*. 101:2623-2628.
- Woertz. 2007. Lipid Productivity of Algae Grown on Dairy Wastewater as a Possible Feedstock for Biodiesel, Civil and Environmental Engineering, California Polytechnic University, San Luis Obispo
- Wigajatri R.P, Handojo, A., Kurniawan, H., & Prihantini, N. B. 2003. Studi Karakteristik Fluoresensi *Chlorella* Sp: Pengaruh pH Terhadap Pengkulturan. *Jurnal MAKARA, TEKNOLOGI, VOL. 7, NO. 2, Agustus 2003 STUDI*, 7(2), 83-88
- Yonas, R., Irzandi, U., dan Satriadi, H. 2012. Pengolahan Limbah POME (Palm Oil Mill Effluent) dengan Menggunakan Mikroalga. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. 1(1): 7-13.