

# PENYISIHAN COD PADA LIMBAH CAIR SAWIT MENGGUNAKAN *Chlorella* sp. YANG DIIMMOBILISASI DALAM FLAT-FOTOBIOREAKTOR DENGAN SISTEM SEMIKONTINU

Denada Curie<sup>1)</sup>, Shinta Elystia<sup>2)</sup>, Said Zul Amraini<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan, <sup>2)</sup>Dosen Teknik Lingkungan, <sup>3)</sup> Teknik Kimia  
Laboratorium Pengendalian dan Pencegahan Pencemaran Lingkungan  
Program Studi Teknik Lingkungan S1, Fakultas Teknik Universitas Riau  
Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas Km 12,5 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru 28293  
E-mail : [curiedenada@gmail.com](mailto:curiedenada@gmail.com)

## ABSTRACT

*Palm oil mill effluent is one of the by-products of palm oil producing which contains high organic matter, so it needs a treatment before discarded into the water. One of the treatment method that can be done is by utilizing the organic matter into a source of nutrition for the growth of microalgae Chlorella sp. This study is conducted to determine the ability of microalgae Chlorella sp. in removing COD of palm mill effluent and knowing the specific growth rate of cells Chlorella sp. during the allowance process. Chlorella sp. has a small size, smooth, low density and easily carried by the flow of wastewater, so the cells Chlorella sp. immobilized with calcium alginate to make the cells are more stable and protected from the pressure of wastewater. In this study, the continuous system is carried out by replacing wastewater with fresh wastewater at variations of the wastewater volume replacements 0, 25, 50, 75 (% v/v) at 24 hours contact time. The removing process is carried out for 7 days with irradiation on the light intensity  $5000 \pm 300$  lux and the lighting period (L:D) 12:12. The stirring process uses an aerator with 3 L/minute aeration discharge. The results showed that the 25% wastewater volume replacement was able to put aside the best COD with removal efficiency 85.71% at the best removing process detention time 7 days.*

**Keywords:** *Chlorella* sp., Semicontinuous systems, Palm Oil Mill Effluent, COD, Contact Time.

## 1. PENDAHULUAN

Produksi minyak sawit Indonesia telah menyumbang sekitar 30% dari produksi minyak nabati dunia dan ekspor minyak sawit Indonesia mencapai 60% dari permintaan pasar global (Sudrajad, dkk., 2014). Menurut data Direktorat Jenderal Perkebunan (2016), jumlah total luas areal perkebunan sawit di Indonesia tahun 2017 mencapai 12.307.677 Ha dan diperkirakan akan meningkat hingga tahun 2020. Peningkatan produksi sawit sejalan dengan jumlah limbah yang dihasilkan.

Limbah cair sawit atau yang dikenal dengan istilah *Palm Oil Mill Effluent* (POME) merupakan salah satu produk samping pengolahan pabrik sawit yang mengandung bahan organik dan anorganik

yang cukup tinggi dengan nilai COD lebih dari 40 g/L (Hadiyanto, 2013). Apabila POME langsung dibuang ke perairan, sebagian akan mengendap, mengkonsumsi oksigen terlarut, menimbulkan kekeruhan, berbau, dan merusak ekosistem perairan (Deublein dan Steinhauer, 2008).

Industri telah banyak melakukan pengolahan limbah cair sawit, beberapa diantaranya yaitu secara kimia dengan proses koagulasi-flokulasi, sedimentasi, dan flotasi, serta pengolahan limbah cair secara biologi yaitu proses aerob dan anaerob. Pengolahan secara biologi paling umum dilakukan, namun pengolahan ini memerlukan lahan yang cukup luas dan waktu retensi yang lama (Rahardjo, 2006) serta gas-gas rumah kaca seperti CH<sub>4</sub> dan

CO<sub>2</sub> yang berbahaya bagi lingkungan akan terlepas ke udara (Hadiyanto, 2013).

Salah satu cara alternatif pengolahan POME yang dapat dilakukan yaitu dengan menggunakan mikroalga *Chlorella* sp. dikarenakan biaya operasional yang murah, tidak menghasilkan produk samping yang berbahaya, dan mudah didapat. *Chlorella* sp. mampu berfotosintesis untuk mereduksi CO<sub>2</sub> dan menghasilkan O<sub>2</sub> (Hadiyanto, 2013). Selain itu, biomassa ini juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber pangan dan energi di masa mendatang serta tidak menghasilkan gas-gas rumah kaca yang berbahaya (Hadiyanto dan Azim, 2012). Oleh karena itu dalam penelitian ini menggunakan *Chlorella* sp. untuk menyisihkan COD dalam POME.

Namun *Chlorella* sp. memiliki beberapa kelemahan seperti ukuran kecil, berat jenis rendah, dan mudah rusak karena degradasi beberapa faktor (Lau dan Tam, 1997). Sehingga perlu dilakukan immobilisasi sel. Immobilisasi sel merupakan metode untuk mengikat sel ke dalam suatu matriks pendukung untuk meningkatkan stabilitas sel dengan syarat aktivitas dari sel tersebut masih tetap ada dan dapat digunakan secara kontinu. Pada penelitian ini, Natrium Alginat (Na-alginat) digunakan sebagai matriks polimer untuk immobilisasi karena lebih efisien, harganya murah, bersifat transparan dan proses immobilisasi yang lebih sederhana (Singh, dkk., 2012).

Pengolahan limbah dengan mikroalga umumnya dilakukan secara *batch*, dimana dengan sistem ini, ketersediaan nutrisi dalam reaktor semakin lama semakin berkurang dan habis. Sehingga perlu dilakukan sistem semikontinu yang dilakukan dengan cara pemanenan mikroalga secara berkala dan menambah medium sebagai penggantinya. Pires, dkk (2013) mengatakan bahwa pada pemanenan sistem semikontinu yang penting untuk diketahui adalah rasio yang dipanen dan periode (selang waktu) panen. Rasio panen yang digunakan biasanya

berkisar 20%-33% hingga 50% (Lee, dkk., 2011).

Dalam penelitian ini, sistem semikontinu dilakukan dengan mengganti limbah pada variasi volume pergantian limbah 0, 25, 50, 75 (% v/v) dengan waktu kontak masing-masing tiap 24 jam. Proses pengolahan limbah cair POME dilakukan di dalam *flat*-fotobioreaktor yang diberi penyinaran dengan lampu LED *white-fluorescent* pada intensitas 5000 ± 300 lux, kemudian dilakukan uji kandungan COD tiap hari selama 7 hari. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui volume pergantian limbah dan waktu detensi terbaik dalam menyisihkan parameter COD pada sampel limbah cair POME.

## 2. ALAT, BAHAN, DAN PROSEDUR

### 2.1 ALAT DAN BAHAN

Pada penelitian ini, medium yang digunakan yaitu limbah cair POME yang berasal dari pabrik sawit PTPN V Sei Pagar tepatnya pada kolam IV. Mikroalga *Chlorella* sp. dikultivasi di Pusat Penelitian Alga, Fakultas Perikanan, Universitas Riau. Bahan lain yang digunakan diantaranya, Na-Alginat 4% (w/v), CaCl<sub>2</sub> 0,5 M, NaCl 0,85%, Sodium Sitrat 0,2 M, dan Dahril *Solution*.

Pengolahan dilakukan di dalam *flat*-fotobioreaktor berbahan kaca dengan dimensi 20 cm x 7 cm x 25 cm yang dilengkapi dengan selang untuk mengalirkan limbah POME ke *flat*-fotobioreaktor dan kran untuk mengalirkan limbah POME ke penampung *effluen*. *Flat*-fotobioreaktor diletakkan dalam *chamber* yang sudah dilapisi dengan aluminium foil, *chamber* dilengkapi dengan cahaya lampu LED *white-flourescent* intensitas 5000±300 lux. Proses pengadukan limbah POME menggunakan aerator dengan debit aerasi 3 L/menit. Alat lain yang digunakan diantaranya, pompa peristaltik, timbangan analitik, jar test, lux meter, pH meter,

selang ukuran 3-4 mm, mikroskop, dan *haemocytometer* tipe *thoma*.

## 2.2 PROSEDUR PENELITIAN

### 2.2.1 SAMPEL LIMBAH CAIR

Pengambilan sampel POME dilakukan di kolam IV PTPN V Sei Pagar dengan menggunakan metode *grab sample*. Kemudian dilakukan pengujian karakteristik awal untuk mengetahui konsentrasi COD pada limbah POME berdasarkan SNI 6989.73:2009 dengan metode refluks tertutup secara titrimetri.

### 2.2.2 KULTIVASI MIKROALGA

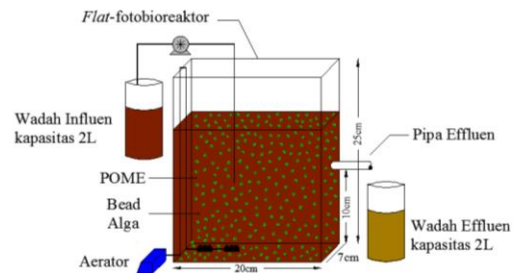
Kultivasi dilakukan dengan tujuan untuk memperbanyak jumlah sel *Chlorella* sp. Kultivasi mikroalga *Chlorella* sp. dilakukan di Pusat Penelitian Alga, Fakultas Perikanan, Universitas Riau selama sepuluh hari. Setiap hari densitas sel dihitung menggunakan *thomasitometer* dan mikroskop, untuk memastikan bahwa sel sudah memasuki fase eksponensial, yaitu fase dimana sel mencapai pertumbuhan puncak. Kemudian sel dilakukan pemanenan dengan cara sentrifugasi pada 4000 g *force* selama 10 menit (Singh, dkk., 2012).

### 2.2.3 IMMOBILISASI MIKROALGA *Chlorella* sp.

Setelah sel *Chlorella* sp. disentrifus, sel disuspensikan kedalam aquades sehingga terbentuk suspensi alga dengan densitas  $3,4 \times 10^8$  sel/mL. Selanjutnya, suspensi sel alga dicampurkan dengan Na-alginat 4% dengan perbandingan 1:1 sehingga konsentrasi campuran alga-alginat yang terbentuk yaitu 2%. Campuran Alga-alginat yang terbentuk diteteskan ke dalam larutan  $\text{CaCl}_2$  0,5 M menggunakan pompa peristaltik sehingga terbentuk *bead*. *Bead* didiamkan dalam larutan  $\text{CaCl}$  selama 12 jam pada suhu 4°C. Selanjutnya *bead* dicuci dengan larutan steril NaCl 0,85% dan aquades.

### 2.2.4 PEMASANGAN INSTALASI FLAT-FOTOBIOREAKTOR

Proses pengolahan limbah POME dilakukan di dalam *flat*-fotobioreaktor dengan dimensi 20 x 7 x 25 cm. Berikut perspektif instalasi *flat*-fotobioreaktor dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Perspektif Instalasi *Flat*-Fotobioreaktor

Terdapat empat *Flat*-fotobioreaktor untuk masing-masing variasi. Satu *flat*-fotobioreaktor sebagai kontrol tanpa pergantian limbah dan tiga lainnya dengan pergantian limbah 25%, 50%, dan 75%. Keempat *flat*-fotobioreaktor ini diletakkan dalam *chamber* berukuran 130 x 50 x 50 cm yang dilengkapi cahaya lampu LED *white-flourescent* dengan intensitas  $5000 \pm 300$  lux (Choochote, 2010).

### 2.2.5 PENELITIAN UTAMA

Masing-masing *flat*-fotobioreaktor diisi dengan limbah POME sebanyak 1,8 L kemudian diisi dengan jumlah *bead* masing-masing 10 *bead*/mL. Dilakukan pengadukan dengan aerasi pada debit 3 L/menit serta diberi pencahayaan dari lampu LED *white-fluorescent* dengan intensitas cahaya  $5000 \pm 300$  lux. Periode pencahayaan yang diberikan yaitu (T:G) 12:12 jam.

Densitas sel dalam *bead* dihitung setiap hari dengan cara, sebanyak 10 *bead* dikeluarkan dari *flat*-fotobioreaktor. Lalu 10 *bead* tersebut dilarutkan dalam 1 mL sodium sitrat 0,2 M. Setelah larut, dilakukan perhitungan densitas sel pada *thomasitometer* dan mikroskop. Tingkat pertumbuhan sel alga dalam *bead* dapat dihitung melalui persamaan berikut (Fontoura, dkk., 2017):

$$\text{Tingkat pertumbuhan } (\mu) = \frac{(\ln X_n - \ln X_{(n-1)})}{\Delta t}$$

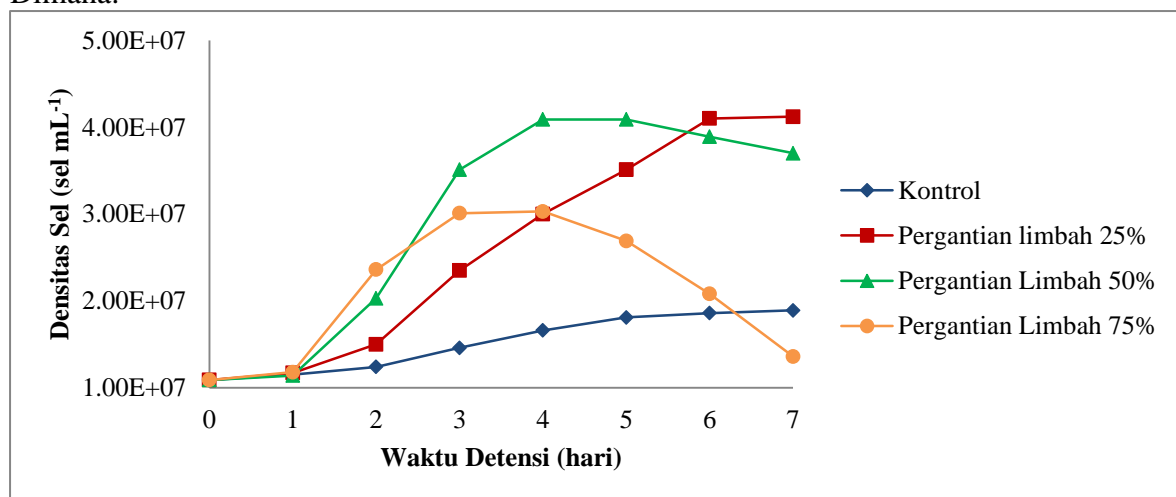
Dimana :

$X_n$  = densitas sel alga pada hari ke n  
 $X_{(n-1)}$  = densitas sel alga pada hari ke (n-1)  
 $\Delta t$  = hari ke n - hari ke (n-1)

Untuk mendapatkan volume pergantian limbah terbaik dalam menyisihkan kandungan COD pada limbah POME, maka dilakukan pengujian COD setiap hari. Pengujian COD dilakukan berdasarkan SNI 6989.73:2009 dengan metode refluks tertutup secara titrimetri. Untuk menentukan efisiensi penyisihan COD pada masing-masing variasi maka digunakan persamaan berikut:

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

Dimana:



Gambar 3. Grafik Densitas Sel *Chlorella* sp. selama Proses Pengolahan

Pada fase eksponensial, sel membelah dengan laju konstan sehingga terjadi pertumbuhan sel maksimum. Pada fase ini, densitas sel tertinggi yaitu pada pergantian limbah 75% sedangkan terendah yaitu pada kontrol tanpa penambahan limbah (*batch*). Hal ini dikarenakan, pada reaktor sistem *batch* nutrisi dalam medium terus dikonsumsi hingga habis, sedangkan pada reaktor semikontinu adanya medium baru sehingga nutrisi dalam reaktor tidak akan pernah habis (Pratama, 2011).

Fase berikutnya adalah fase penurunan laju pertumbuhan dimana

$C_{in}$  = Konsentrasi influen (mg/L)

$C_{ef}$  = konsentrasi efluen (mg/L)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 PERTUMBUHAN SEL ALGA *Chlorella* sp. SELAMA PROSES PENGOLAHAN LIMBAH

Selama proses pengolahan limbah, sel *Chlorella* sp. dalam *bead* mengalami peningkatan. Peningkatan jumlah sel ini mengindikasikan bahwa sel *Chlorella* sp. setelah diimmobilisasi mampu bertahan hidup dan melakukan pembelahan sel selama didalam *bead*. Berikut grafik densitas sel alga selama proses pengolahan dapat dilihat pada Gambar 3.

populasi alga telah mencapai tahap maksimum. Penurunan laju pertumbuhan tercepat terjadi pada pergantian limbah 75% yaitu di hari ke-3. Hal itu dikarenakan pada pergantian limbah 75%, ketersediaan nutrisi dalam air limbah terlalu berlebih.

Handajani (2006) mengatakan bahwa kemampuan mikroalga untuk tumbuh dalam media air limbah dipengaruhi oleh konsentrasi nutrisi, jika nutrisi yang dibutuhkan untuk pertumbuhan mikroalga tidak terpenuhi atau jika jumlahnya berlebih dalam limbah, maka akan mengakibatkan

pertumbuhan mikroalga menjadi terhambat bahkan menjadi bahan toksik atau mematikan bagi mikroalga. Selain itu, penambahan volume *fresh* limbah sebanyak 75% (v/v) setiap hari meningkatkan kekeruhan pada *flat*-fotobioreaktor yang menyebabkan penetrasi cahaya sulit menembus hingga mencapai dinding sel *Chlorella* sp. Menurut Gunawan (2012), intensitas cahaya sangat diperlukan dalam proses fotosintesis karena cahaya sangat berhubungan dengan jumlah energi yang diterima oleh mikroalga untuk melakukan fotosintesis.

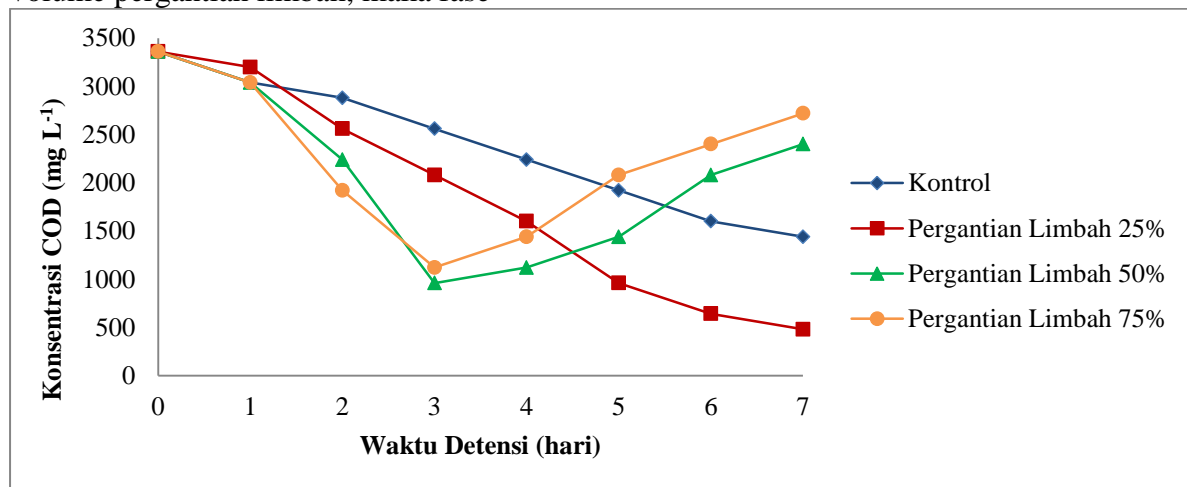
Hingga hari terakhir pengolahan yaitu pada hari ke-7, densitas sel tertinggi terjadi pada pergantian limbah 25% sebesar  $4,12 \times 10^7$  sel/mL sementara densitas sel terendah yaitu pada pergantian limbah 75% sebesar  $1,36 \times 10^7$  sel/mL. Dilihat dari grafik bahwa semakin tinggi volume pergantian limbah, maka fase

penurunan laju pertumbuhan akan semakin cepat terjadi, hal ini dikarenakan konsentrasi limbah yang tinggi dengan

tekanan kimia yang tinggi dapat menyebabkan *stress* terhadap sel *Chlorella* sp. sehingga sel sulit melakukan pembelahan dan pertumbuhan (Tam dan Wong, 2000).

### 3.2 EFISIENSI PENYISIHAN COD

Pada penelitian ini medium yang digunakan yaitu limbah cair sawit yang diduga mengandung bakteri pengurai yang hidup secara alami. Simbiosis antara bakteri pengurai dan mikroalga meningkatkan penyisihan bahan organik dalam air limbah sehingga konsentrasi COD akan turun. Hasil uji konsentrasi COD pada limbah cair sawit selama proses pengolahan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Konsentrasi COD selama Proses Pengolahan

Terjadi penurunan efisiensi penyisihan COD pada perlakuan pergantian limbah 50% dan 75% dihari ke-4, hal ini disebabkan ketersediaan nutrisi yang terlalu banyak pada pergantian limbah 50% dan 75% sehingga menghambat pertumbuhan *Chlorella* p. yang berdampak pada kemampuan sel dalam menyisihkan bahan organik. Selain itu kepadatan sel yang tinggi dalam *bead* pada pergantian limbah 50% dan 75%

menyebabkan sel alga sulit untuk melakukan metabolisme dengan baik. Tam, dkk (1994) mengatakan bahwa bukan hanya jumlah *bead* ataupun kepadatan sel tiap *bead* yang mempengaruhi penyisihan nutrisi tetapi juga jumlah sel aktif dalam *bead* berperan penting untuk menyisihkan nutrisi dalam medium. Kepadatan sel dalam *bead* juga dapat mengurangi penetrasi cahaya dalam *flat*-fotobioreaktor dan berpotensi

mengakibatkan efek *self-shading* sehingga berpotensi terjadinya pembatasan pertumbuhan dan aktivitas metabolisme sel.

Pada perlakuan pergantian limbah 75% hari ke-5 dan perlakuan pergantian limbah 50% hari ke-6 terjadi peningkatan konsentrasi COD yang signifikan. Hal ini dikarenakan adanya kelarutan matriks alginat, sehingga menyebabkan terjadinya kebocoran sel yang menjadi penyumbang karbon pada air limbah (Elystia, dkk., 2018). Untuk mengetahui terjadinya kebocoran pada *bead* alga, dilakukan pengamatan sel *Chlorella* sp. setiap 24 jam pada air limbah dengan menggunakan mikroskop. Kandungan bahan organik yang bervariasi di dalam air limbah cair sawit yang memungkinkan di dalamnya terdapat agen pengkelat yang dapat merusak struktur *bead* alga. *Bead* alga sangat rentan terhadap *chelating cation agent* (posfat dan sitrat) dan *anti gelling cation* (sodium dan magnesium), karena dapat memutuskan ikatan pada matriks *bead* alga yang mengakibatkan kebocoran sel alga (Moreira, dkk., 2004).

Selain agen pengkelat di dalam air limbah, peningkatan densitas sel yang tinggi dalam *bead* juga dapat melemahkan ikatan polimer pada matriks *bead*. Sel alga di dalam *bead* memiliki volume ruang yang terbatas dan memiliki kapasitas maksimum untuk menahan sel alga. Semakin banyak terjadi pembelahan sel, maka ruang di dalam *bead* akan terisi oleh sel sehingga kapasitas penyimpanan sel maksimum tercapai. Jika pertumbuhan sel terus terjadi, maka terjadi pelemahan ikatan polimer matriks *bead* yang menyebabkan kebocoran *bead* (Lau, dkk., 1998). Tidak ditemukan sel alga pada *flat*-fotobioreaktor berisi perlakuan kontrol dan pergantian limbah 25% hingga hari terakhir penyisihan, sehingga dapat disimpulkan *bead* pada kedua perlakuan ini tidak mengalami kebocoran.

Pada hari terakhir penyisihan yaitu pada hari ke-7, efisiensi penyisihan COD pada pergantian limbah 25% lebih tinggi

daripada kontrol tanpa penambahan limbah. Hal ini mungkin terjadi dikarenakan pada kontrol tanpa pergantian limbah, sel mensekresi zat ekstra seluler selama proses pengolahan yang menyebabkan sulitnya alga untuk mendegradasi bahan organik dalam limbah, sementara pada perlakuan dengan penambahan limbah, zat ekstra seluler dihilangkan dengan adanya pergantian limbah (Babel, dkk., 2002).

Konsentrasi COD awal pada limbah yaitu 3360 mg/L. Pada periode akhir pengolahan konsentrasi COD pada air limbah yang berasal dari *flat*-fotobioreaktor pergantian limbah 25% yaitu 480 mg/L. Hasil ini belum memenuhi baku mutu mutu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 yaitu 350 mg/L.

#### 4. KESIMPULAN

Densitas sel tertinggi dan penyisihan COD terbaik terjadi pada *flat*-fotobioreaktor berisi pergantian limbah 25% pada hari ke-7 dengan konsentrasi COD yaitu 480 mg/L dan densitas sel sebesar  $4,12 \times 10^7$  sel mL<sup>-1</sup>.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Babel, S., Takizawa, S., Ozaki, H. 2002. Factors Affecting Seasonal Variation of Membrane Filtration Resistance Caused by *Chlorella* algae. *Water research*. 36. 1193-1202.
- Deublein, D. dan Steinhauser, A. 2008. *Biogas from Waste and Renewable Resource, An Introduction*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2016. *Statistik Perkebunan Indonesia Kelapa Sawit Indonesia 2015-2017*. Direktorat Jenderal Perkebunan. Jakarta.
- Elystia, S., Muria, R.S., Anggraini, L. 2018. Removal of COD and Total Nitrogen of Palm Oil Mill Effluent in Flat-fotobioreaktor Using

- Immobilised Microalgae *Chlorella* sp. *Food Research*. 3 (2). 126-130.
- Fontoura, Juliana T., dkk. 2017. Influence of Light Intensity and Tannery Wastewater Concentration on Biomass Production and Nutrient Removal by Microalgae *Scenedesmus* sp. *Brazil: Process Safety and Environmental Protection*.
- Gunawan. 2012. Microalgae Growth Response (*Tetraselmis* sp.) on Different Light Intensity. *Bioscientiae Journal*. 9 (1). 55-59.
- Hadiyanto dan M. M. A. Nur. 2012. Potential of Palm Oil Mill Effluent (POME) ad Medium Growth of *Chlorella* sp. for Bioenergy Production. *International Journal of Environmental Bioenergy*. 3 (2). 67-74.
- Hadiyanto. 2013. Valorisasi Mikroalga untuk Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit dan Sebagai Sumber Energi dan Pangan Altertanif. *Prosiding Rekayasa Kimia & Proses*.
- Handajani. 2006. Pemanfaatan Limbah Cair Tahu sebagai Pupuk Alternatif pada Kultur Mikroalga *Spirullina* sp. *Jurnal Protein*. 13 (2). 189-193.
- Lau, P.S., Tam, N.F.Y. 1997. Wastewater nutrient (N and P) removal by carrageenan and alginate immobilized *Chlorella vulgaris*. *Environmental Tecnology*. 18 (9). 945-951.
- Lau, P.S., Tam, N.F.Y. 1998. Carrageenan as a Matrix for Immobilizing Microalgal Cells for Wastewater Nutrients Removal. In: Wong, Y.S, Tam, N.F.Y. (Eds), *Wastewater Treatment With Algae*. Springer-Verlag and Landes Bioscience. Germany: Berlin. 145-163.
- Lee, C.M., M.J Kim, K. Sanjay, J.H. Kwag, dan C.S Ra. 2011. Biomass Production Potential of *Chlorella vulgaris* under Different CO<sub>2</sub> Concentration and Light Intensities. *Journal Animal Science Technology*. 53 (3). 261-268.
- Moreira, S.M., M. Moreira-Santos., L. Guilhermino. 2004. Immobilization of Ther Marine Mikroalga *Phaeodactylum tricorutum* in Alginate for In Situ Experiment: Bead Stability and Suitability. *Journal Enzyme and Microbial Technology*. 38. 135-141.
- Pires, J.C.M., A.L. Goncalves, F.G. Martins, M.C.M. Alvim-Ferraz and M. Simoes. 2013. Effect of Light Supply on CO<sub>2</sub> Capture from Atmosphere by *Chlorella vulgaris* and *Pseudokirchneriella subcapitata*. *Mitigation Adaptation. Strategies for Global Change*. 19 (7).
- Pratama, Irfan. 2011. *Pengaruh Metode Pemanenan Mikroalga Terhadap Biomassa dan Kandungan Esensial Chlorella vulvaris*. Skripsi. Universitas Indonesia.
- Rahardjo, Petrus Nugro. 2006. Teknologi Pengelolaan Limbah Cair yang Ideal untuk Pabrik Kelapa Sawit. *Jurnal Air Indonesia*. 2 (1). 66-72.
- Singh, S, K., Bansal, A., Jha, M. K., Dey, Purba. 2012. An Integrated Approach to Remove Cr(VI) using Immobilized *Chlorella minutissima* Grown in Nutrient Rich Sewage Wastewater. *Journal of Bioresource Technology*. 104. 257-265.
- Sudrajad, W, Ramadhani. 2014. Optimasi Dosis Pupuk Majemuk NPK dan Kalsium pada Bibit Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di Pembibitan Utama. *J. Agron. Indonesia*.
- Tam, N.F.Y., Lau, P.S., Y.S. Wong. 1994. Wastewater Inorganic N and P Removal by Immobilized *Chlorella vulgaris*. *Water Science and Technology*. 30. 369-374.
- Tam, N.F.Y. dan Y.S. Wong. 2000. Effect of Immobilixed Microalgal bead Concentration on Wastewater

Nutrient Removal. *Environmental  
Pollution*. 107 (1). 145-151.