

Penyisihan TSS pada Air Limbah Sawit di dalam *Flat-Fotobioreaktor* Menggunakan *Chlorella* sp. yang Diimmobilisasi

Oleh:

Lidya Anggraini¹⁾, Shinta Elystia²⁾, Sri Rezeki Muria²⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan, ²⁾Dosen Teknik Lingkungan, ³⁾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 : anggrainilidya90@gmail.com

ABSTRACT

*High production of palm oil contributes to the high waste water produced. This is because the high water consumption during the production process is about 5 m³ per processing of one ton of fruit palm. The palm oil mill is an important concern because it contains organic materials, tannin compounds and high soluble solids. So it takes an environmentally friendly processing to eliminate pollutants so as not to cause environmental damage. Therefore, in this research, the effluent treatment using *Chlorella* sp. which is immobilized to exclude TSS parameters. Cell immobilization process is done by using calcium alginate as a polymer to form beads. In order to obtain stable and high efficiency beads, variations of Na-alginate concentration (4%, 6%, 8%) and contact time (1, 3, 5, 7 days) are obtained. Based on the result of the research, it is found that the most stable bead is made of 8% Na-alginate with a removal efficiency of 35.3-76% within seven days.*

Keywords: *Chlorella* sp, COD, Contact Time, Na-alginate, Palm Oil Mill Effluent, Total Nitrogen, Total Suspended Solid.

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara penghasil produk minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*) terbesar di dunia. Indonesia berkontribusi terhadap produksi CPO dunia sebesar 44% diikuti dengan Malaysia sebesar 42%. Produksi minyak kelapa sawit yang tinggi ini menghasilkan air limbah (*palm oil mill effluent*) yang tinggi. Tingginya limbah yang dihasilkan karena penggunaan air saat proses yaitu sekitar 5 m³ setiap satu ton buah kelapa sawit (Hadiyanto, 2013).

Limbah POME mengandung karbon organik tinggi dengan nilai COD lebih dari 40 g/l, kandungan nitrogen sekitar 0,2-0,5

g/l sebagai nitrogen ammonia dan total nitrogen, TSS sebesar 40.500 mg/l (Hadiyanto, 2013). Selain itu, POME berwarna hitam keruh karena mengandung senyawa tanin dan padatan terlarut yang tinggi (Tam dan Wong, 2000).

Pengolahan limbah POME sebagian besar dilakukan dengan sistem pengolahan kolam terbuka untuk mengurangi kadar COD, BOD dan polutan lainnya seperti TSS. Namun pengolahan sistem tersebut dapat melepaskan gas-gas rumah kaca yang berbahaya bagi lingkungan seperti CH₄ dan CO₂ (Hadiyanto, 2013). Hal ini menjadi perhatian serius dalam pengolahan limbah sawit.

Salah satu cara pengolahan air limbah yang mengandung bahan organik adalah *phycoremediation*. *Phycoremediation* merupakan pengolahan limbah dengan menggunakan alga untuk menyisihkan bahan organik dalam air limbah. Kandungan nutrisi yang tinggi di dalam limbah sawit berpotensi sebagai sumber nutrisi bagi mikroalga, hasilnya biomassa dapat dimanfaatkan sebagai sumber pangan maupun minyak (Hadiyanto, 2013).

Alga adalah organisme fotosintetik yang dapat tumbuh pada lingkungan perairan dan mampu mengubah energi cahaya dan sumber karbon, karbondioksida (CO₂) menjadi material organik atau biomassa (Wen dan Johnson, 2009). Oleh karena itu dalam penelitian ini menggunakan *Chlorella* sp. untuk menyisihkan TSS dalam air limbah POME. *Chlorella* sp. merupakan mikroorganisme yang memiliki efisiensi fotosintetik yang tinggi (Zelith, 1971 dalam Liu *et al*, 2012). *Chlorella* sp. mampu hidup dengan baik pada lingkungan yang mengandung unsur hara tinggi dan memanfaatkannya untuk kelangsungan fotosintesis, berkembang biak dan melakukan aktivitas hidup lainnya (Hadiyanto dan Azim, 2012).

Setelah digunakan untuk pengolahan limbah *Chlorella* dapat dimanfaatkan untuk kembali. Namun, karena memiliki ukuran yang mikroskopis dan halus maka sulit dilakukan pemisahan sel alga dari medium air limbah. Oleh karena itu, dilakukan immobilisasi agar diperoleh ukuran lebih besar, bentuk agregat stabil serta biomassa terlindungi (Hadiyanto, 2013). Dalam penelitian ini sel diimmobilisasi dengan kalsium alginat yang divariasikan konsentrasi Na-alginat (4%, 6% dan 8%) sehingga membentuk

bead dengan ukuran seragam 4-5 mm. Proses pengolahan air limbah dilakukan di dalam *flat*-fotobioreaktor, dan selanjutnya akan dilakukan uji kandungan TSS pada air limbah setiap 1, 3, 5, 7 hari. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui konsentrasi Na-alginat dan waktu detensi terbaik dalam menyisihkan parameter TSS pada sampel air limbah POME.

2. ALAT, BAHAN DAN PROSEDUR

2.1 ALAT DAN BAHAN

Pada penelitian ini pengolahan dilakukan di dalam *flat*-fotobioreaktor kaca dengan dimensi 30 cm x 20 cm x 20 cm. Energi cahaya untuk pertumbuhan alga digunakan lampu LED white-flourescent dengan intensitas 5000±300 lux. Proses pengadukan air limbah di dalam *flat*-fotobioreaktor dengan menggunakan aerator pada debit udara 3 liter/menit.

Bahan yang digunakan untuk immobilisasi yaitu Na-alginat dan larutan CaCl₂ 0,5 M. Nutrien yang digunakan selama kultur alga yaitu Dahril solution. Untuk pelarutan *bead* digunakan sodium sitrat 0,2 M.

2.2 PROSEDUR PENELITIAN

2.2.1 SAMPEL AIR LIMBAH

Sampel air limbah kelapa sawit berasal dari kolam IV PTPN V Sei Pagar. Pengambilan sampel dilakukan dengan metode *grab sample*. Sampel air limbah disaring untuk menyisihkan partikel besar seperti kerikil. Selanjutnya dilakukan uji untuk mengetahui kandungan TSS pada air limbah dengan standar uji SNI 06-989.3:2004.

2.2.2 KULTIVASI ALGA

Chlorella sp. di kultur untuk memperbanyak jumlah sel. Sumber nutrisi yang digunakan selama kultur yaitu Dahrl solution. Proses kultur selama sepuluh hari dilakukan di Pusat Penelitian Alga Universitas Riau. Jumlah sel akan dihitung setiap 24 jam menggunakan *thomastometer* dan mikroskop. Saat pertumbuhan sel memasuki fase eksponensial, dilakukan pemanenan dengan cara sentrifugasi.

2.2.3 IMMOBILISASI SEL ALGA

Chlorella sp.

Proses immobilisasi dalam penelitian ini berdasarkan metode yang dilakukan oleh Singh *et al* (2012). *Chlorella* sp. yang dipisahkan dari medium kultur dengan cara disentrifugas pada 4000 g *force* selama 10 menit. Residu sel akan dicuci menggunakan akuades tiga kali. Selanjutnya sel alga disuspensikan sehingga densitas sel 1×10^{14} sel ml^{-1} . Suspensi alga yang telah homogen dicampurkan dengan natrium alginat yang konsentrasinya telah ditetapkan 4%, 6%, 8% (w/v) dengan perbandingan volume masing-masing 1:1. Campuran larutan alga-alginat yang terbentuk konsentrasinya menjadi 2%, 3% dan 4%.

Proses immobilisasi dilakukan dengan cara meneteskan campuran alga-alginat ke dalam larutan CaCl_2 0,5 M menggunakan pompa peristaltik. Secara cepat akan terjadi ikatan antara ion kalsium dengan α -guluronat yang terdapat di dalam rantai alginat, proses ini merupakan pembentukan gel (Susanti, 2009). Tetesan yang telah menjadi gel ini disebut *bead*. Gel didiamkan didalam larutan kalsium klorida selama 12 jam pada suhu 4 °C agar *bead* mengeras. Selanjutnya *bead* dicuci dengan larutan

steril NaCl 85% dan diikuti dengan akuades.

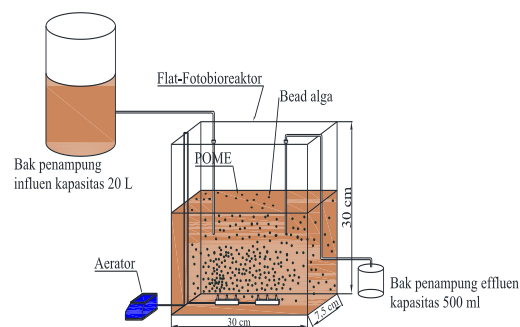
Sebagai kontrol dalam penelitian ini yaitu alga tanpa diimmobilisasi dan *bead* alginat tanpa alga (*blank bead*). Prosedur pembuatan *bead* kosong dilakukan sama seperti *bead* alga., namun pada *bead* kosong tidak digunakan suspensi alga tapi diganti dengan akuades. Pada kontrol alga tanpa diimmobilisasi, alga dengan konsentrasi yang sama dengan alga yang tidak diimmobilisasi dimasukan langsung ke dalam medium air limbah.

2.2.4 INSTALASI

FLAT-

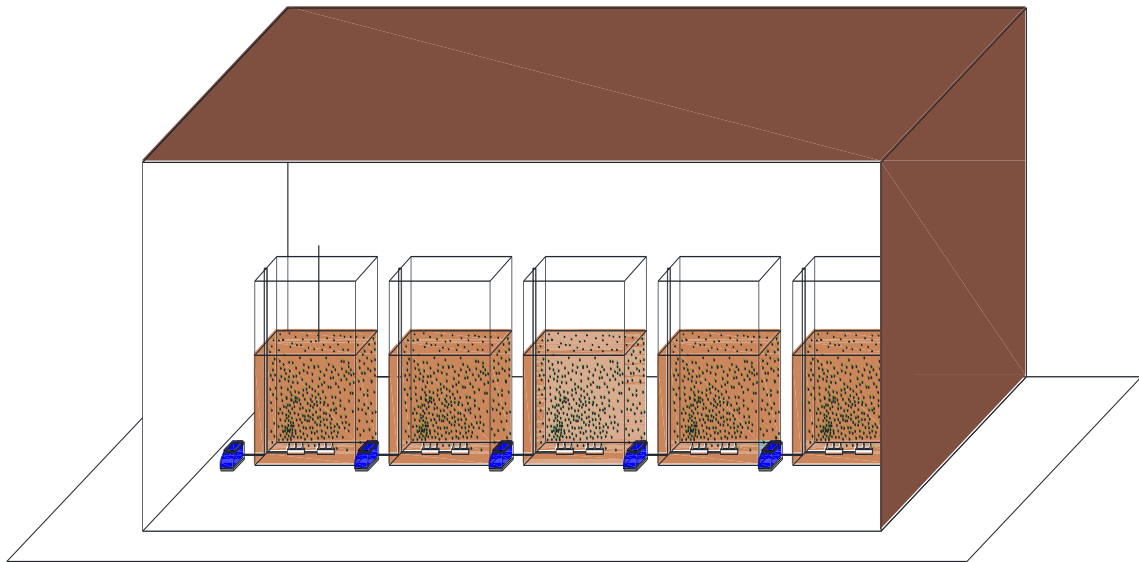
FOTOBIOREAKTOR

Proses pengolahan air limbah sawit pada penelitian ini dilakukan di dalam flat-fotobioreaktor. Volume efektif air limbah 3 liter. Gambar perspektif flat-fotobioreaktor dapat dilihat pada Gambar 1. Berikut.



Gambar 1 Perspektif instalasi *Flat-Fotobioreaktor*

Flat-fotobioreaktor digunakan sebanyak lima buah. Dua fotobioreaktor sebagai kontrol. Tiga lainnya berisi alga yang diimmobilisasi. *Flat-fotobioreaktor* ini diletakkan di dalam chamber cahaya berukuran 1,5 m x 0,5 m x 0,6 m. Sumber cahaya berasal dari LED *white-flourescent* dengan intensitas 5000 ± 300 lux. Gambar chamber dapat dilihat pada Gambar 2. berikut.



Gambar 2 Desain *Flat*-fotobioreaktor

2.2.5 PENELITIAN UTAMA

Air limbah sebanyak tiga liter dimasukan kedalam flat-fotobioreaktor yang berisi bead pada konsentrasi 10 *bead* ml⁻¹. Seleuruh air limbah di aerasi dengan aerator pada debit udara 3 l/menit. Energi cahaya berasal dari lampu dengan intensitas cahaya 5000±300 lux dengan periode penerangan 12:12 jam.

Densitas sel di dalam *bead* dihitung setiap hari dengan thomasitometer dan mikroskop. Untuk menghitung densitas sel di dalam bead, maka sepuluh bead akan dikeluarkan dari flat-fotobioreaktor. Bead tersebut dilarutkan di dalam 1 mL steril sodium sitrat 0,2 M selama 30 menit pada suhu ruangan. *Bead* alga yang telah larut diencerkan dengan akuades. Selanjutnya dilakukan perhitungan densitas sel pada *thomasitometer* dibawah mikroskop. Pertumbuhan sel alga di dalam *bead* dihitung dengan persamaan :

$$\text{Tingkat pertumbuhan } (\mu) = \frac{(\log_{10} X_2 - \log_{10} X_1)}{\Delta t}$$

Dimana :

X_t = densitas sel alga pada waktu ke 2

X_0 = densitas sel alga pada waktu ke 1

Δt = waktu ke 2- waktu ke 1

Untuk mendapatkan konsentrasi Na-alginat terbaik dalam penyisihan TSS, maka setiap 1, 3, 5, 7 hari dilakukan uji TSS berdasarkan standar pengujian SNI 06-989.3:2004. Untuk menentukan efisiensi penyisihan tertinggi digunakan persamaa berikut.

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

Dimana:

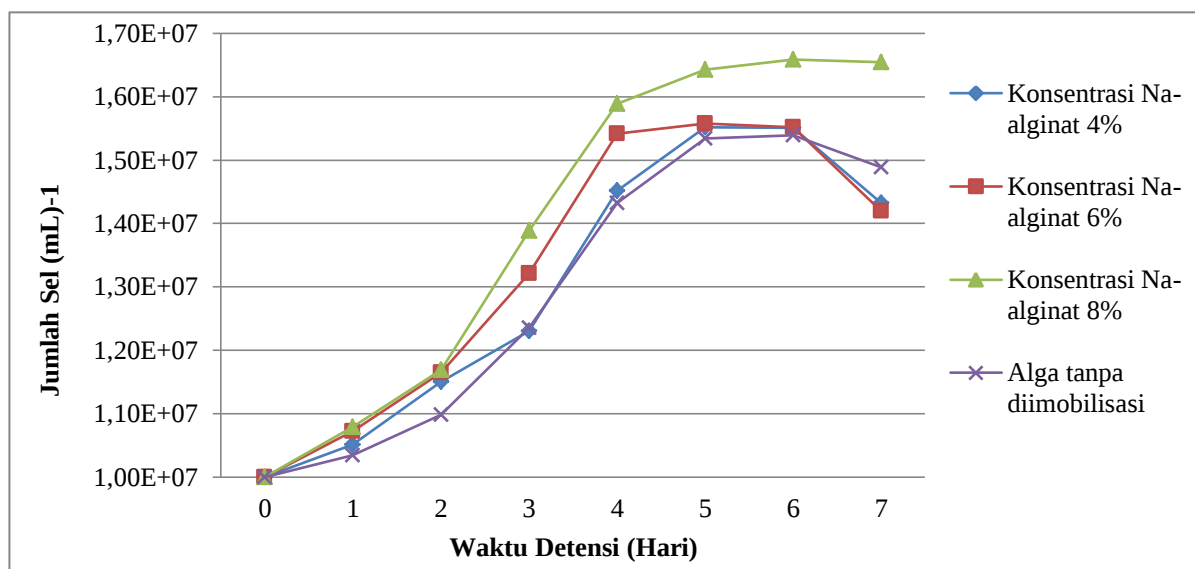
C_{in} = Konsentrasi influen (mg/L)

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

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 PERTUMBUHAN SEL ALGA SELAMA PROSES PENGOLAHAN

Berdasarkan hasil penelitan menunjukan bahwa dengan diimmobilisasi jumlah sel lebih banyak dibandingkan tanpa diimmobilisasi. Hal ini karena sel didalam *bead* (diimmobilisasi) terjadi pemisahan fisik antara sel dan air limbah. *Bead* alginat memiliki pori lebih kecil dari pada sel alga, namun larutan air limbah dapat tetap masuk seingga sel akan



Gambar 3 Jumlah Sel Selama Proses Pengolahan

menyerap bahan organik (de-Bashan dan Bashan, 2010). Sedangkan pada sel yang tidak diimmobilisasi, sel yang kontak langsung dengan air limbah akan mengalami tekanan secara fisika dan kimia yang menyebabkan proses adaptasi lebih lama menghambat pertumbuhan sel (Singh *et al.*, 2012). Berikut Gambar 3. grafik jumlah sel alga selama proses pengolahan.

Pada fase eksponensial terjadi kenaikan pertumbuhan sel maksimum sehingga densitas sel meningkat. *Bead* alga dengan konsentrasi Na-alginat 8% mencapai densitas sel maksimum pada hari keempat dengan konsentrasi sel di dalam *bead* yaitu $1,59 \times 10^7$ sel mL^{-1} . *Bead* alga dengan konsentrasi 4% dan 6% mencapai densitas sel maksimum pada hari keempat dengan jumlah sel di dalam *bead* berturut-turut adalah $1,45 \times 10^7$ sel mL^{-1} , $1,54 \times 10^7$ sel mL^{-1} . Pada *flat*-fotobioreaktor kontrol yang berisi alga tanpa immobilisasi (suspensi) densitas sel maksimum terjadi pada hari keempat dengan konsentrasi sel $1,43 \times 10^7$ sel mL^{-1} .

Berdasarkan pada grafik bahwa sel yang memiliki densitas tertinggi berada pada *bead* dengan konsentrasi 8%.

Semakin tinggi jumlah sel maka efisiensi penyisihan bahan organik akan semakin tinggi, karena jumlah sel yang rendah dapat menurunkan efisiensi penyisihan bahan organik (Zhang *et al.*, 2008).

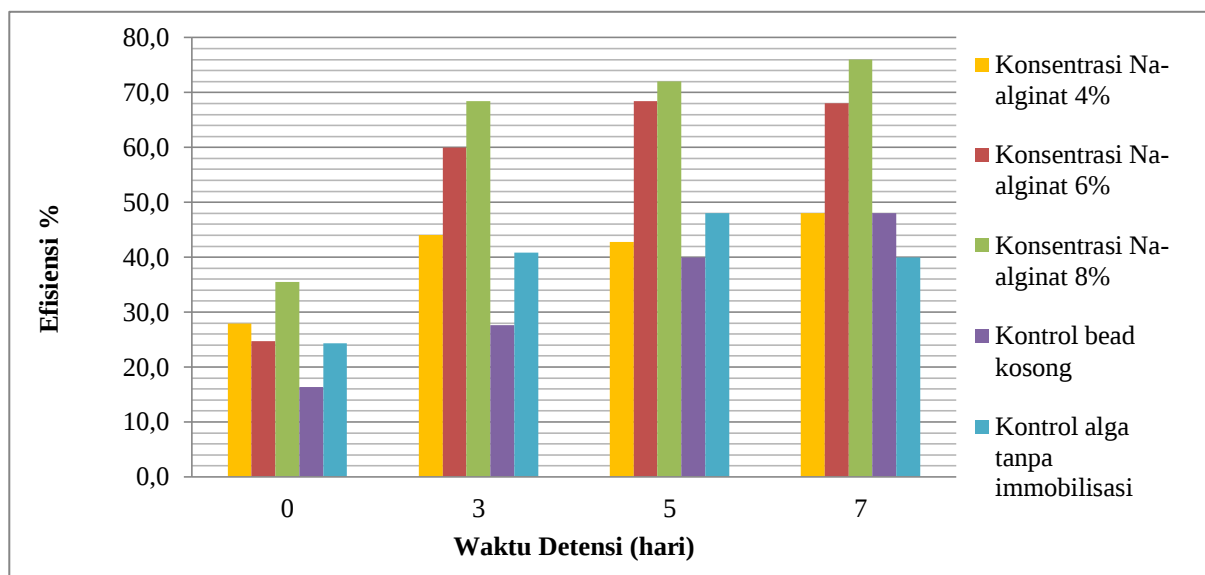
Kebocoran *bead* dilihat dengan cara mengamati air limbah apakah mengandung sel alga. Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan setiap 24 jam terhadap air limbah ditemukan sel *Chlorella* sp. dari air limbah yang berasal dari *flat*-fotobioreaktor berisi *bead* dengan konsentrasi 4% dan 6% pada hari kelima. Sedangkan pada air limbah berasal dari *flat*-fotobioreaktor yang berisi *bead* dengan konsentrasi 8% ditemukan sel *Chlorella* sp. pada hari ketujuh. Dapat dilihat bahwa Na-alginat dengan konsentrasi lebih tinggi membentuk *bead* yang lebih stabil dan tahan terhadap tekanan mekanis lebih lama di dalam air limbah. Hal ini sesuai yang dikemukakan oleh Martinsen (1989) bahwa tekanan mekanik *bead* meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi alginat dan kandungan monomer guluronik dalam rantai alginat.

3.2 Efisiensi Penyisihan TSS

Total suspended solid (TSS) adalah residu dari padatan total yang tertahan oleh saringan dengan ukuran partikel maksimal 2 μm atau lebih besar dari ukuran partikel koloid. Partikel yang termasuk dalam TSS adalah lumpur, tanah liat, logam oksida dan sulfida, ganggang, bakteri dan jamur. TSS memberikan kontribusi terhadap kekeruhan (*turbidity*) berkontribusi dalam membatasi penetrasi cahaya untuk fotosintesis *flat*-fotobioreaktor.

penyisihan tertinggi terjadi pada *flat*-fotobioreaktor yang berisi *bead* dengan konsentrasi Na-alginat 8%, kemudian diikuti oleh *bead* dengan konsentrasi Na-alginat 6%. Konsentrasi akhir TSS pada *bead* konsentrasi 4% sama dengan konsentrasi pada *bead* kosong. Efisiensi penyisihan TSS terendah terjadi pada *flat*-fotobioreaktor yang berisi alga tanpa diimmobilisasi yaitu 40%.

Berdasarkan hasil penelitian dapat dilihat bahwa semakin tinggi konsentrasi *bead* alga maka penyisihan TSS semakin



Gambar 4. Efisiensi penyisihan TSS

Berdasarkan grafik dari Gambar 4 diatas, terlihat bahwa semakin lama waktu detensi maka semakin tinggi efisiensi penyisihan TSS, kecuali pada *flat*-fotobioreaktor yang berisi alga yang tidak diimmobilisasi. Hal ini karena pada hari ketujuh di dalam *flat*-fotobioreaktor yang berisi alga tanpa immobilisasi terdapat sel *Chlorella* sp. yang telah mati dan tersuspensi di dalam air limbah. Hal ini meningkatkan kandungan TSS pada air limbah.

Efisiensi penyisihan TSS dapat dilihat pada Gambar 4.9. Berdasarkan pada gambar terlihat bahawa efisiensi

tinggi. Hal ini karena *bead* alga dapat mengikat partikel suspensi dalam air limbah. Sedangkan *bead* alga yang paling tahan dan stabil terhadap tekanan mekanik air limbah adalah *bead* dengan konsentrasi Na-alginat 8%. Hasil pengamatan pada penelitian ini terlihat bahwa pada permukaan *bead* banyak terdapat lumpur dan suspensi.

Efisiensi penyisihan TSS meningkat seiring dengan bertambahnya waktu detensi, hal ini dikarenakan semakin lama waktu kontak maka semakin tinggi banyak suspensi yang mengendap dan menempel pada permukaan *bead* alginat dan dasar

flat-fotobioreaktor. Hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Singh *et al* (2012) dimana pada akhir pengolahan, dimana suspensi menempel pada permukaan *bead* sehingga menambah massa yang menyebabkan terjadinya pengendapan.

Konsentrasi TSS awal pada air limbah yaitu 2510 mg/l. Pada periode akhir pengolahan konsentrasi TSS pada air limbah yang berasal dari *flat*-fotobioreaktor berisi *bead* 8% yaitu 600 mg/l. Hasil ini belum memenuhi baku mutu pada peraturan menteri lingkungan hidup No. 5 yaitu 250 mg/l.

4. KESIMPULAN

Efisiensi penyisihan TSS tertinggi terjadi pada pengolahan di dalam *flat*-fotobioreaktor yang berisi *bead* dengan konsentrasi Na-alginat 8% yaitu 35,3-76% pada hari ketujuh. Berdasarkan hal tersebut maka semakin tinggi konsentrasi Na-alginat dan semakin lama waktu detensi maka semakin tinggi efisiensi penyisihan TSS.

5. DAFTAR PUSTAKAN

- De-Bashan, L. E., Bashan, Y. 2010. Immobilized Microalgae for Removing Pollutants: Review of Practical Aspects. *Bioresource Technology*. 101. 1611-1627.
- Hadiyanto. 2013. Valorisasi Mikroalga untuk Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit dan Sebagai Sumber Energi dan Pangan Alternatif. *Prosiding Rekayasa Kimia & Proses*. ISSN 1411-4216. Halaman 1-11.
- Hadiyanto., Azim, M. 2012. *Mikroalga Sumber Pangan dan Energi Masa Depan*. Edisi pertama. Hal 100. Semarang: UPT UNIP Press.
- Liu, Kai., Li, Jian., Qiao, Hongjin., Lin, Apeng., Guange, Wang. 2012. Immobilization of *Chlorella sorokiniana* GXNN 01 in Alginate for Removal of N and P from Synthetic Wastewater. *Bioresource Technology*. 114. 26-32.
- Martinsen A, Skjåk-Bræk G, Smidsrød O. 1989. Alginate as Immobilization Material. I. Correlation Between Chemical and Physical Properties of Alginate Gel Beads. *Biotechnol Bioeng*. 33. 79-89.
- 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. Hal 257-265
- Wen, Z. & Johnson, M. B. (2009). Microalgae as a feedstock for biofuel production.
- Zhang E, Wang B, Wang Q, Zhang S, Zhao B. 2008. Ammonia-nitrogen and orthophosphate removal by immobilized *Scenedesmus* sp. isolated from municipal wastewater for potential use in tertiary treatment. *Bioresour Technol*. 99. 3787-3793