



# KAJIAN KINERJA BIOFILTER AEROBIK DALAM PENURUNAN KANDUNGAN ORGANIK LIMBAH TINJA

Sa'adah Meilufi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No. 1, Tangerang Selatan, Indonesia

Email : dosen01760@unpam.ac.id

Masuk : 28 Februari 2018    Direvisi : 21 Maret 2018    Disetujui : 28 Maret 2018

**Abstrak:** Dalam kajian ini akan dipaparkan bagaimana pengolahan biologis dengan sistem *attached growth* dilakukan pada lumpur tinja. Model yang dilakukan dalam penelitian sebelumnya terdiri dari bak penyaringan, bak pengendapan sementara sebagai pengolahan pendahuluan dan reaktor biofilter aerobik aliran *down flow*. Proses operasional dilakukan dengan mengalirkan limbah tinja ke dalam tiga reaktor biofilter. Untuk mencari % removal  $BOD_5^{20}$ , dilakukan variasi waktu detensi (td), variasi debit limbah yang masuk ke reaktor (Q), variasi beban organik (OL) dan variasi diameter media tempat pelekatan. Dari hasil penelitan sebelumnya diperoleh bahwa pada  $td = 2$  jam efisiensi removal  $BOD_5^{20}$  mencapai nilai tertinggi (78,12%). Sementara itu pada variasi beban organik, efisiensi removal  $BOD_5^{20}$  tertinggi terjadi pada  $OL = 2,05$  kg  $BOD/m^3.hr$  (85,1%). Hasil lain menunjukkan bahwa efisiensi removal  $BOD_5^{20}$  tertinggi sering terjadi pada reaktor yang berisi media dengan diameter terkecil (1/2 inchi). Dengan formula Eckenfelder, diperoleh nilai koefisien biokinetika yakni koefisien karakteristik media (n) dan koefisien factor pengolahan ( $Ko'$ ), masing-masing sebesar 0,0544 – 0,558 dan 0,118 – 0,686/menit.

**Kata kunci:** lumpur tinja, *attached growth*, biofilter aerobik, waktu detensi, beban organik, koefisien biokinetik

**Abstract:** This study will be described how the biological treatment with *attached growth* system is done on septage. The model performed in the previous study consisted of a filtering basin, a temporary sediment bath as a preliminary processing and aerobic *down flow* biofilter reactor. The operational process is carried out by passing stool waste into three biofilter reactors. To find the  $BOD_5^{20}$ % removal, variations of detention time (td), variation of waste discharge entering reactor (Q), organic loading variation (OL) and variation of sticking media diameter. From the previous research results obtained that at  $td = 2$  hours  $BOD_5^{20}$  removal efficiency reached the highest value (78.12%). Meanwhile, in the organic loading variation, the highest  $BOD_5^{20}$  removal efficiency occurred in  $OL = 2.05$  kg  $BOD / m^3.hr$  (85.1%). Other results indicate that high  $BOD_5^{20}$  removal efficiency often occurs in reactors containing media with the smallest diameter (1/2 inch). With Eckenfelder formula, obtained coefficient value of biokinetic media coefficient (n) and coefficient of processing factor ( $Ko'$ ), respectively 0,0544 - 0,558 and 0,118 - 0,686 / minute.

**Keywords :** septage, *attached growth*, aerobic biofilter, detention time, organic loading, biocinetic coefficient.

## PENDAHULUAN

Keberadaan air limbah dalam kehidupan manusia tidak dapat diabaikan begitu saja, karena selain dapat mempengaruhi tingkat kesehatan manusia juga akan menyebabkan turunnya kualitas lingkungan. Meningkatnya kualitas dan kuantitas pencemaran yang timbul menyebabkan sungai sebagai badan air penerima tidak mampu menetralsir air buangan yang ada dengan pengolahan secara alami (*self purification*). Untuk mengatasi permasalahan tersebut perlu dilakukan usaha-usaha untuk melestarikan alam dan memelihara keseimbangan lingkungan hidup.

Air limbah adalah air buangan dari suatu lingkungan masyarakat yang dapat seluruhnya berasal dari rumah tangga atau dapat juga mengandung air buangan dari industri atau pertanian. Fraksi organik terdiri dari protein, karbohidrat dan lemak. Senyawa ini merupakan makanan yang sangat baik bagi bakteri, yaitu organisme mikroskopik, yang karena sifat rakusnya akan makanan dimanfaatkan oleh para ahli teknik lingkungan dalam

pengolahan biologis air limbah [5]. Sedangkan *septage* adalah lumpur yang dihasilkan dalam sistem pembuangan limbah secara *on site* individual, misalnya pada septik tank [6].

Berdasarkan cara tumbuh mikroba terhadap air limbah yang diolah, maka sistem pengolahan limbah secara biologis dibedakan menjadi 2 yaitu *suspended growth* dan *attached growth* [3]. Proses biologis digunakan untuk mengubah bahan organik yang terlarut dalam air limbah menjadi inorganik, yang kadarnya dapat diturunkan dalam tangki sedimentasi. Sedimentasi primer merupakan pengolahan yang paling efisien dalam menurunkan kadar padatan yang terendapkan (*seatable solid*), sedangkan proses biologis adalah paling efisien dalam menurunkan substansi organik baik dalam kisaran ukuran koloid sampai pada larutan [3]. Ada 2 metoda pengolahan biologis yang ada yaitu pengolahan biologis dengan lumpur aktif / *Activated Sludge* dan pengolahan biologis dengan prinsip pertumbuhan melekat / *Attached Growth*. Penjelasan 2 pengolahan biologis ini akan dijelaskan seperti berikut ini.

- *Activated Sludge* / Pengolahan Lumpur aktif

Pengolahan dengan lumpur aktif adalah pengolahan dengan menggunakan bakteri aerobik yang dibiakkan dalam tangki aerasi yang bertujuan untuk menurunkan organik karbon atau organik nitrogen. Bahan organik dalam air buangan akan diuraikan oleh mikroorganisme menjadi karbon dioksida, ammonia dan untuk pembentukan sel baru serta hasil lain yang berupa lumpur (*sludge*).

- *Attached Growth* / Pertumbuhan Melekat

Bahan-bahan organik dalam limbah diuraikan oleh mikroorganisme yang menempel pada media filter. Bahan organik sebagai substrat diuraikan oleh mikroorganisme, namun tidak mencapai mikroorganisme yang berada pada permukaan media. Bahan organik yang terlarut dalam air limbah diadsorpsi ke dalam biofilm / lapisan berlendir. Pada bagian luar lapisan biofilm, bahan organik diuraikan oleh bakteri aerobik. Faktor-faktor yang berpengaruh pada reaktor dengan prinsip dasar *attached growth* adalah beban organik, beban hidrolik, dan diameter media.

Sampai saat ini, penanganan limbah tinja di Surabaya dilakukan di Instalasi Pengolahan Limbah Tinja (IPLT) Sukolilo. Adapun unit pengolahan yang dilakukan di sana berlangsung secara aerobik, yaitu dengan mengolah setiap limbah dalam kolam *oxidation ditch*. Alternatif pengolahan yang bisa dilakukan adalah dengan metoda *attached growth*, yang tentunya tanpa mengabaikan pengolahan pendahuluan yang memang tetap harus dilakukan. Kelebihan lain dari biofilter adalah karena sifatnya yang lebih tahan terhadap kejutan beban organik dan kehadiran sesaat senyawa toksik dalam limbah.

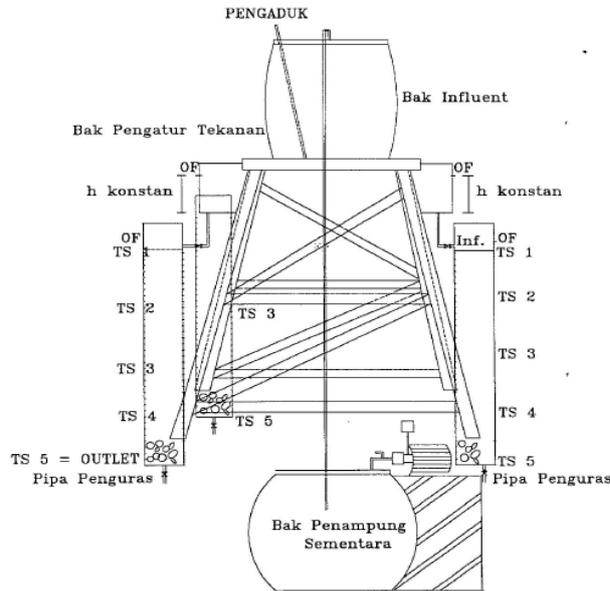
Karena kompleksnya hubungan antara variable-variabel proses, tidak ada model yang secara akurat dapat memprediksi kinerja reaktor ini. Namun demikian, hasil-hasil studi pilot dapat digunakan untuk desain perencanaan. Model-model yang dikembangkan oleh Eckenfelder adalah satu-satunya yang memperhitungkan variasi dalam karakteristik media dan sering dijadikan pendekatan dalam mengevaluasi kinerja biofilter. Eckenfelder mengasumsikan bahwa biofilter dapat dinyatakan dalam tipe reaktor plug flow (aliran sumbat) yang mengikuti kinetika reaksi orde pertama. Dengan persamaan Eckenfelder, nantinya akan diperoleh nilai  $K_0$ .  $K_0$  adalah konstanta treatability yang menunjukkan laju pemakaian substrat.  $K_0$  juga dapat menunjukkan seberapa kinerja reaktor biofilter [6].

## METODOLOGI

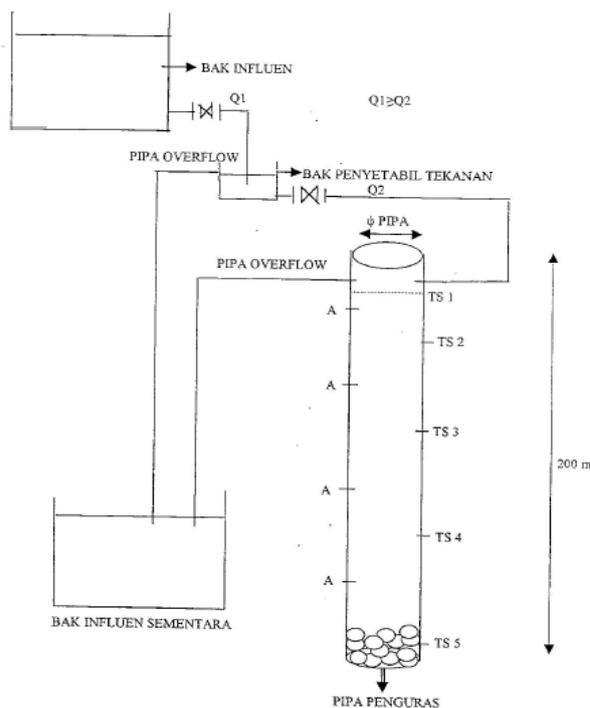
Reaktor yang digunakan dalam penelitian sebelumnya terdiri atas 3 reaktor yang nantinya diisi dengan media pelekatan yaitu batu kali dengan diameter batu yang berbeda-beda yaitu : 1/2 inci pada reaktor 1 (R1), 1 inci pada reaktor kedua (R2) dan 2 inci pada reaktor ketiga (R3). Media batu kali digunakan sebagai tempat pelekatan/penempelan biofilm. Pada bagian depan dari masing-masing reaktor diberikan mika agar pertumbuhan biofilm dapat diamati. Pada bagian atas terdapat ruang inlet yang dibatasi oleh perforated-baffle untuk meratakan aliran yang masuk ke dalam biofilter. Untuk menciptakan kondisi aerobik kebutuhan oksigen dipenuhi dari aerator yang ditempatkan pada tiap interval titik sampling yang ada. Ada 5 titik sampling pada masing-masing reaktor dan juga pipa overflow serta pipa penguras pada tiap reaktor. Pipa overflow berfungsi untuk mengantisipasi terjadinya limpahan air, sedangkan pipa penguras berfungsi untuk menampung aliran air jika dilakukan pengurasan. Gambaran tentang reaktor biofilter ini dapat dilihat dari Gambar 1a), Gambar 1b) dan Gambar 1c) [4]. Pada tiap titik sampling masing-masing reaktor (R1, R2 dan R3) dilakukan pengukuran-pengukuran terhadap konsentrasi  $BOD_5^{20}$  dengan variasi terhadap waktu detensi ( $t_d$  / *detention time*) dan variasi terhadap beban organik (OL/ *organic loading*). Untuk penentuan  $t_d$  sebesar 1 jam, 1,5 jam dan 2 jam dilakukan berdasarkan penelitian-penelitian sejenis yang sudah ada dengan inlet jenis limbah yang berbeda. Ketiga reaktor yang ada dijalankan secara simultan, agar bisa dibandingkan pengaruh diameter media pelekatan yang ada pada masing-masing reaktor terhadap penurunan kandungan organik limbah tinja.

Limbah yang akan masuk reaktor memerlukan pengolahan pendahuluan yaitu penyaringan dan pengendapan sementara. Untuk melakukannya maka dibuat bak penyaringan (filtrasi) dan bak pengendapan

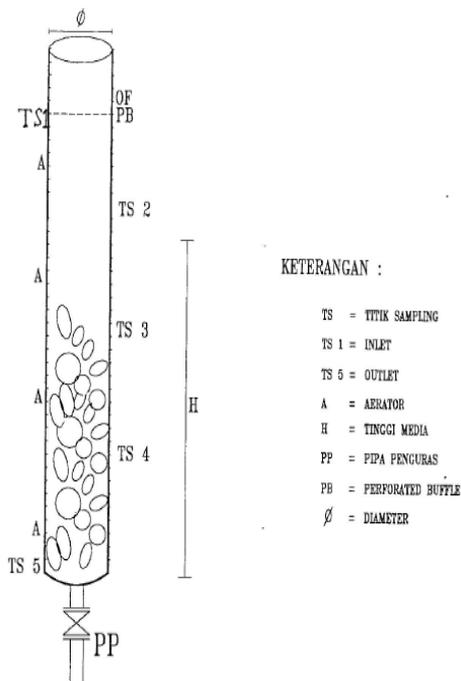
sementara. Bak Filtrasi, dengan dimensi panjang = 50 cm, lebar = 50 cm dan tinggi 65 cm. Komposisi filter : batu bata, ijuk dan batu kerikil dengan dengan berbagai ukuran yang disusun dari bawah ke atas. Sedang Bak pengendapan sementara, terdiri atas bak dengan ukuran diameter 65 cm dan tinggi 30 cm. Unit pengolahan pendahuluan ini dapat dilihat pada Gambar 2. Proses pengolahan pendahuluan dilakukan karena biofilter mempunyai kapasitas tertentu terhadap konsentrasi influen limbah yang masuk. Konsentrasi yang terlalu tinggi akan menyebabkan media filter yang tempat pelekatan lebih cepat mengalami penyumbatan yang menyebabkan kurang maksimalnya kinerja biofilter. Karena itu kadar air pada limbah tinja diupayakan pada kisaran tertentu. Dengan proses pengolahan pendahuluan yang ada pada unit pengolahan pendahuluan, diharapkan konsentrasi limbah tinja yang masuk berada pada kisaran yang diharapkan.



(a)



(b)

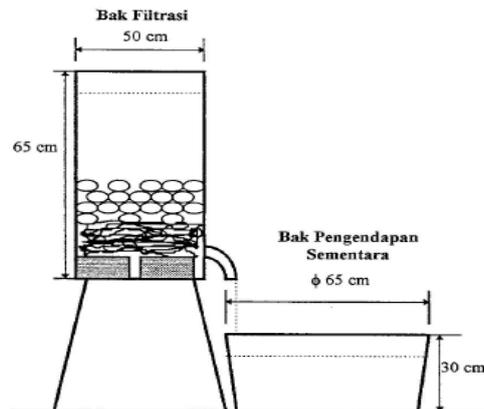


KETERANGAN :

- TS = TITIK SAMPLING
- TS 1 = INLET
- TS 5 = OUTLET
- A = AERATOR
- H = TINGGI MEDIA
- PP = PIPA PENGURAS
- PB = PERFORATED BUFFLE
- φ = DIAMETER

(c)

Gambar 1.a). Reaktor biofilter tampak dari depan, b). Operasional reaktor biofilter. c). Tipikal reaktor biofilter

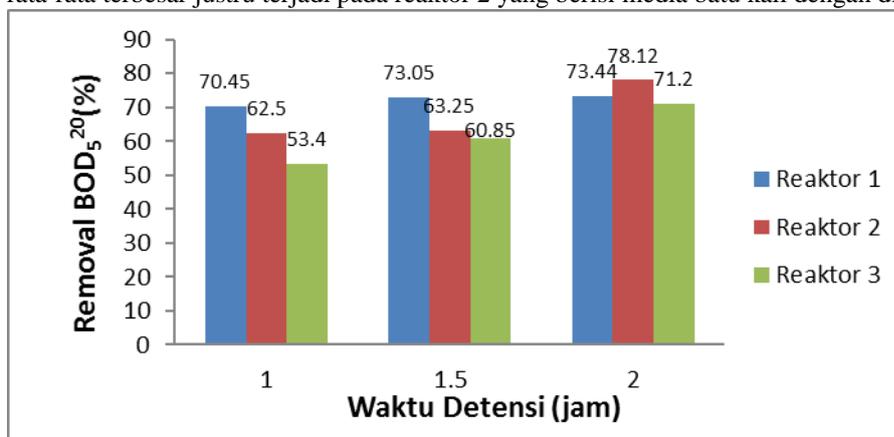


Gambar 2. Unit pengolahan pendahuluan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengaruh waktu detensi terhadap Prosentase Removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup>

Variasi terhadap waktu detensi (td) akan berpengaruh terhadap prosentase removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup>. Nilai BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> adalah nilai kandungan oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan bahan organik yang ada dalam limbah secara biologis, pada kisaran waktu 5 hari dan suhu 20°C. Semakin lama waktu yang dibutuhkan air buangan untuk berada dalam biofilter, akan semakin banyak pula kesempatan mikroorganisme untuk mendegradasi bahan organik yang ada dalam air limbah. Dalam penelitian ini, variasi td ditetapkan sebesar 1 jam, 1.5 jam dan 2 jam. Dari hasil penelitian didapatkan hubungan yang linier antara waktu detensi dan prosentase removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup>. Semakin lama waktu detensi, semakin besar pula prosentasi removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup>, begitu juga sebaliknya. Hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 3. Dari Gambar 3 terlihat bahwa semakin lama waktu tinggal air limbah dalam reaktor akan semakin besar pula % removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> rata-rata. Dari Gambar 3 juga didapat bahwa % removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> rata-rata terbesar terjadi pada reaktor 1 dengan diameter rata-rata batu kali 0.5 inci Namun hal ini tidak berlaku pada semua variasi waktu detensi. Pada variasi waktu detensi td = 2 jam, % removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> rata-rata terbesar justru terjadi pada reaktor 2 yang berisi media batu kali dengan diameter rata-rata 1 inci.

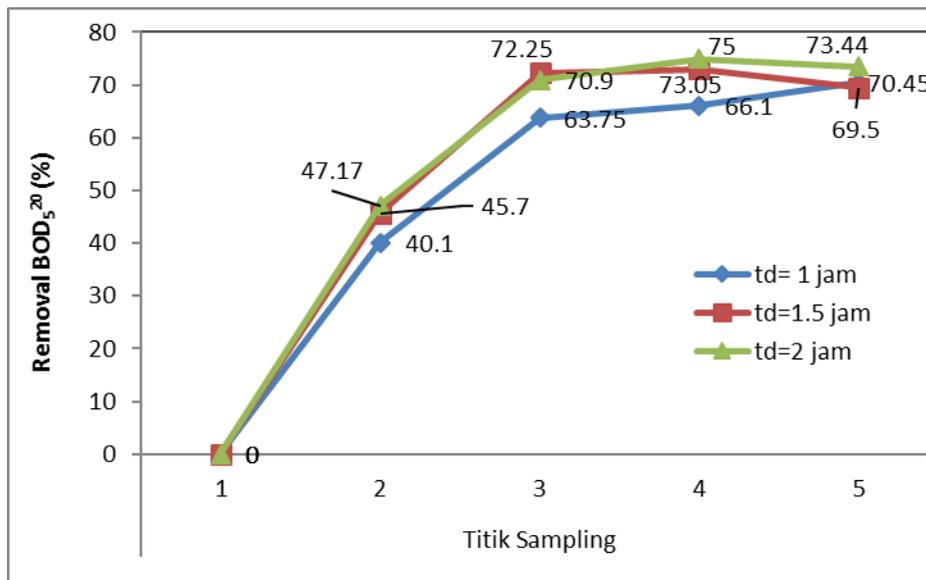


Gambar 3. Removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> terbesar yang dicapai reaktor untuk variasi waktu detensi

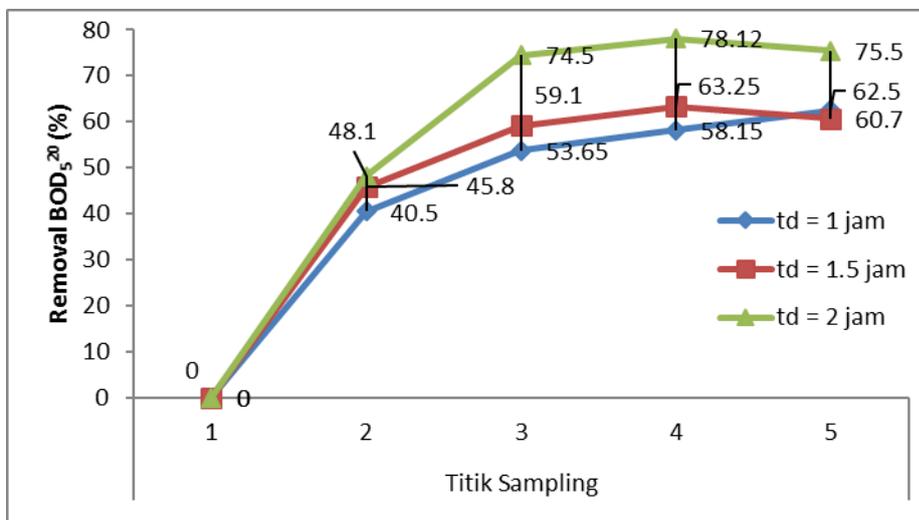
Dari hasil penelitian didapatkan bahwa semakin kecil diameter media, luas permukaan akan semakin besar. Semakin besar luas permukaan media pelekatan biofilter akan memberikan ruang yang lebih besar kepada mikroorganisme untuk melekat sehingga kemungkinan untuk proses konsumsi, absorpsi dan oksidasi bahan organik akan semakin besar pula. Akibatnya bahan organik yang terremoveal juga akan semakin banyak pula. "Penyimpangan" pada reaktor 2 terjadi karena pada variasi td = 2 jam, pertumbuhan mikroorganisme pada reaktor berada pada kondisi puncak untuk melakukan degradasi mikroorganisme. Kondisi ini dalam kurva pertumbuhan mikroorganisme, berada pada fase logaritmik. Sebaliknya pada reaktor 1 (dan kemungkinan juga

terjadi pada reaktor 3), mikroorganismenya telah akan mulai jenuh dan berada pada fase *endogeneous* sehingga tidak optimal lagi dalam melakukan degradasi bahan organik. Dalam fase endogenous, mikroorganismenya menggunakan bahan sitoplasmanya sendiri untuk mempertahankan fungsi hidupnya. Dalam fase ini, mikroorganismenya akan kehilangan kemampuan untuk melekat pada media sehingga akan terbawa oleh aliran filter (terjadi *wash out*). Kondisi semacam ini disebut *sloughing* [5].

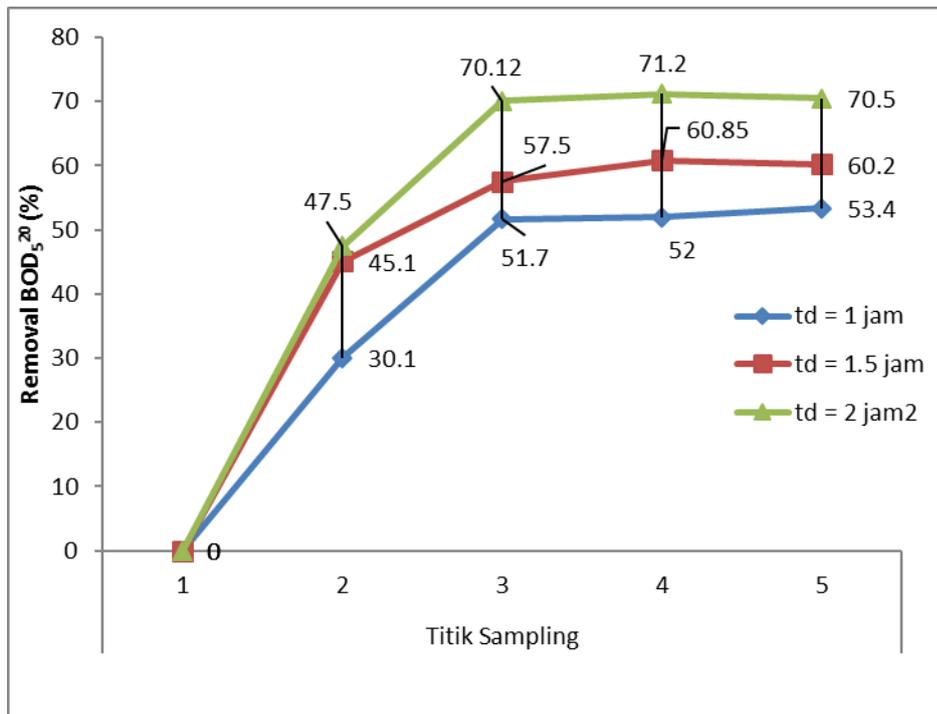
Ada 5 titik sampling (termasuk inlet dan outlet). Tujuan dibuatnya % titik sampling tersebut adalah untuk mencari nilai konstanta biokinetika yang akan dijelaskan lebih lanjut. Dari hasil penelitian, hubungan antara % removal  $BOD_{5^{20}}$  pada titik sampling masing-masing reaktor untuk variasi waktu detensi dapat dilihat pada Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6. Secara umum didapatkan hasil bahwa semakin mendekati titik outlet (TS ke-5), % removal  $BOD_{5^{20}}$  akan semakin besar. Semakin tinggi media filter, waktu kontak antara limbah dan media filter sebagai tempat tumbuh mikroorganismenya akan semakin besar. Hal ini berarti bahwa akan semakin besar kemampuan mikroorganismenya dalam mendegradasi bahan organik yang ada dalam air limbah. Pada operasional dengan variasi  $t_d = 1$  jam, hasil yang ditunjukkan pada semua reaktor adalah hubungan yang signifikan antara titik sampling dengan % removal  $BOD_{5^{20}}$ . Namun untuk variasi  $t_d = 1.5$  jam dan  $t_d = 2$  jam, % removal  $BOD_{5^{20}}$  terbesar justru berada pada titik sampling ke-4 (TS 4). TS 4 adalah titik sampling sebelum outlet. Hal ini bisa disebabkan karena ketinggian tersebut merupakan batas akhir sebelum biofilm mencapai ketebalan maksimum. Jika lapisan biofilm telah mencapai ketebalan maksimum, penetrasi  $BOD_{5^{20}}$  tidak dapat mencapai seluruh kedalaman biofilm. Akibatnya mikroorganismenya tidak dapat mengabsorbir bahan organik secara optimal [4].



Gambar 4. Removal  $BOD_{5^{20}}$  reaktor 1 pada tiap titik sampling untuk variasi waktu detensi



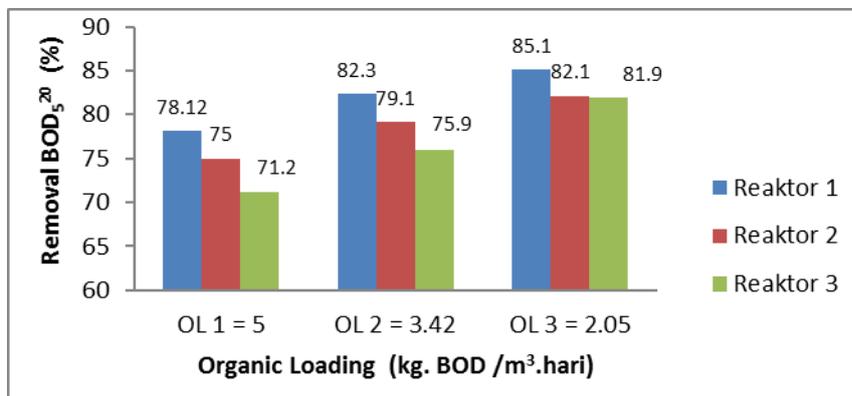
Gambar 5. Removal  $BOD_{5^{20}}$  reaktor 2 pada tiap titik sampling untuk variasi waktu detensi



Gambar 6. Removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> reaktor 3 pada tiap titik sampling untuk variasi waktu detensi

### Hubungan Antara Beban Organik Dan Prosentase Removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup>

Hasil penelitian untuk variasi waktu detensi menunjukkan bahwa pada td = 2 jam memberikan kinerja reaktor terbaik. Variasi waktu detensi td = 2 jam ini selanjutnya dipakai sebagai patokan untuk variasi beban organik. Dengan demikian variasi beban organik dengan td = 2 jam ini akan mampu memberikan kinerja seperti yang diharapkan. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa semakin kecil beban organik yang masuk (semakin 'lemah' kekuatan limbah), maka prosentase removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> semakin besar. Hal ini terjadi karena penguraian bahan organik dalam suatu substrat (air limbah yang masuk), akan sebanding dengan jumlah mikroorganisme pengurai yang melekat pada media batu. Jika jumlah mikroorganisme pengurai yang ada tidak sebesar jumlah substrat, maka mekanisme removal tidak akan tercapai pada kondisi optimum. Begitu juga sebaliknya [5]. Hubungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> terbesar yang dicapai reaktor untuk variasi beban organik

Dari Gambar 7 terlihat bahwa beban organik akan berbanding terbalik dengan % removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup>. Semakin besar beban organik, semakin kecil % removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> rata-rata. Dari grafik tersebut juga didapat bahwa % removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> rata-rata terbesar terjadi pada reaktor 1 (yang berisi media lekat dengan diameter rata-rata 1/2 inci) untuk variasi beban organik ke-3 dengan beban organik sebesar 2,05 kg BOD/m<sup>3</sup>.hr.

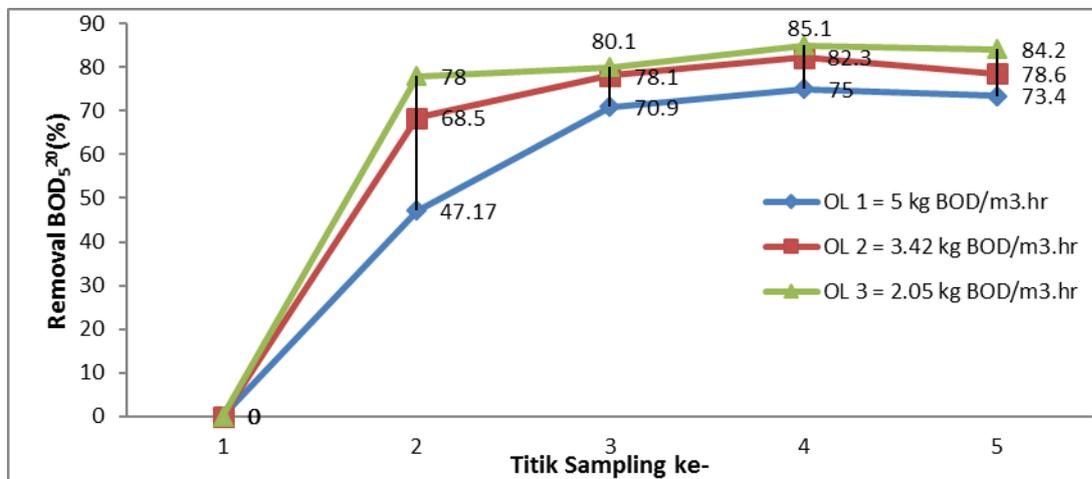
Kandungan bahan organik yang dinyatakan dalam kg BOD yang terremove mungkin bisa menjelaskan fenomena tersebut. Besarnya BOD yang terremove (dalam kg) didapatkan dari perkalian antara prosentase removal BOD dengan debit dan konsentrasi BOD limbah. Dari hasil perhitungan dapat dikehui bahwa kg BOD

yang terremove dalam satu reaktor adalah relatif sama. Pada Reaktor 1 berkisar 4 – 4.54 kg ; reaktor 2 = 4.25 – 4.46 kg ; dan pada reaktor 3 = 6.88 – 7.94 kg. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

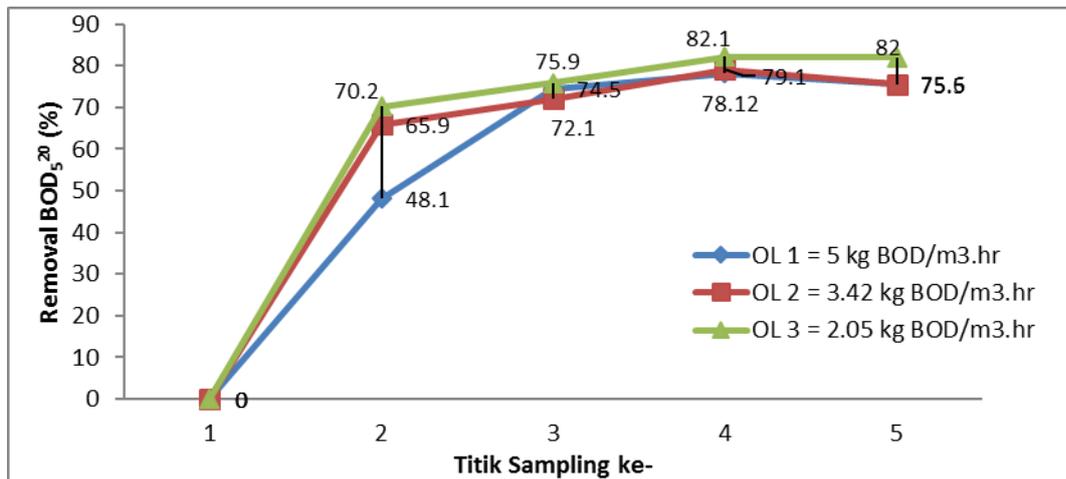
- Nilai kg BOD yang terremove dalam *satu reaktor yang sama adalah relatif sama*. Hal ini menunjukkan bahwa perbandingan substrat dan mikroorganisme untuk tiap operasional adalah sama [6].
- Nilai kg BOD yang terremove antara reaktor 1 dan reaktor 2 relatif sama. Hal ini menunjukkan bahwa perbandingan substrat dan mikroorganisme untuk reaktor 1 dan reaktor 2 adalah sama.
- Nilai kg BOD yang terremove di reaktor 3 paling tinggi. Ini berarti bahwa perbandingan substrat dan mikroorganisme di reaktor 3 lebih besar dari pada yang ada di reaktor 1 dan 2.

Akhirnya dapat ditarik kesimpulan bahwa removal  $BOD_5^{20}$  pada reaktor biofilter tidak tergantung konsentrasi limbah yang dimasukkan. Besarnya kenaikan removal  $BOD_5^{20}$  dengan semakin lemahnya kekuatan limbah, bukan menjadi ukuran dari kemampuan biofilter. Biofilter mempunyai kapasitas pengolahan bahan organik yang spesifik. Bagaimanapun kondisi limbah (yang ditunjukkan dengan konsentrasi limbah), biofilter “hanya” akan mampu meremove bahan organik (dalam kg  $BOD_5^{20}$ ) sesuai dengan kemampuannya tersebut [5]. Dari hasil penelitian didapatkan hubungan antara % removal  $BOD_5^{20}$  pada titik-titik sampling masing-masing reaktor untuk variasi beban organik ini.

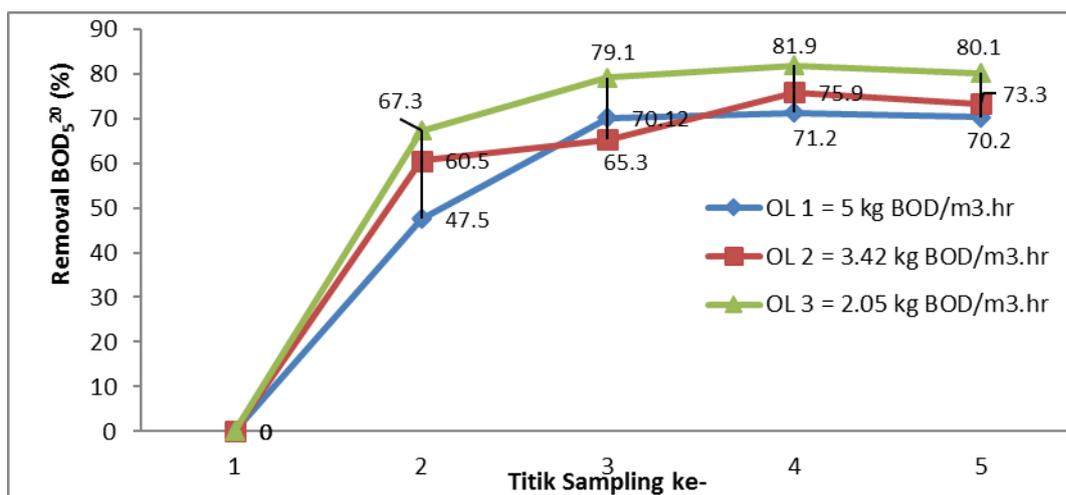
Hubungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10. Dari grafik-grafik yang ditampilkan, secara umum didapatkan hasil bahwa semakin mendekati titik outlet (TS ke-4), % removal  $BOD_5^{20}$  akan semakin besar. Semakin ke titik outlet artinya bahwa akan semakin besar kemampuan mikroorganisme dalam mendegradasi bahan organik yang ada pada air limbah. TS ke-4 adalah titik sampling sebelum outlet. Hal ini bisa disebabkan karena ketinggian tersebut merupakan batas akhir sebelum biofilm mencapai ketebalan maksimum. Jika lapisan biofilm telah mencapai ketebalan maksimum, penetrasi  $BOD_5^{20}$  tidak dapat mencapai seluruh kedalaman biofilm. Akibatnya mikroorganisme tidak dapat mengabsorb bahan organik secara optimal [2].



Gambar 8. Nilai removal  $BOD_5^{20}$  reaktor 1 pada tiap titik sampling untuk variasi beban organik / organic loading



Gambar 9. Nilai removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> reaktor 2 pada tiap titik sampling untuk variasi beban organik / organic loading



Gambar 10. Nilai removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> reaktor 3 pada tiap titik sampling untuk variasi beban organik / organic loading

### Koefisien Biokinetika Pada Removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup>

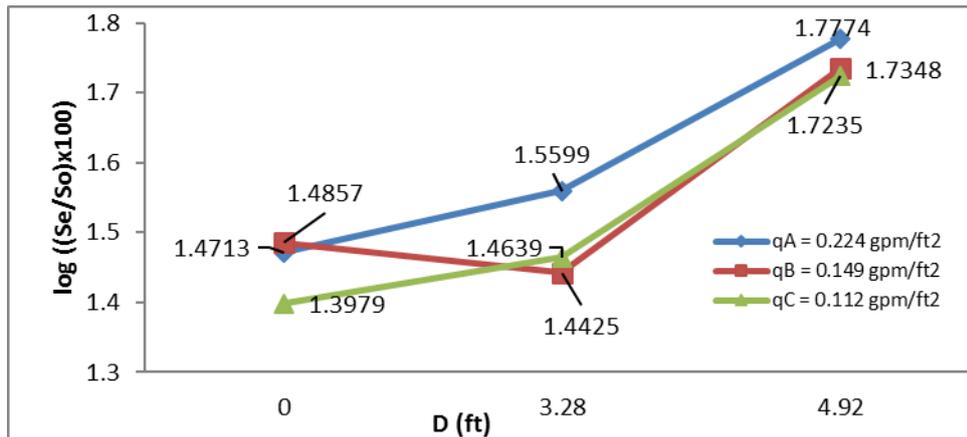
Analisa terhadap laju penurunan substrat dalam biofilm ini dilakukan untuk mengetahui tingkat penurunan substrat dalam air limbah yang diolah. Dengan model Eckenfelder dapat dicari koefisien biokinetika pada removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup>. Dalam rumusannya Eckenfelder mengasumsikan bahwa penurunan substrat dalam biofilter proses adalah sebanding dengan waktu kontak antara air limbah dengan lapisan biofilm dan massa mikroba yang ada dalam lapisan tersebut.

Nilai Ko' dan n merupakan indikator yang mempunyai peranan penting dalam removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup>. Nilai Ko' merupakan konstanta treatability yang menunjukkan laju pemakaian substrat. Semakin tinggi nilai Ko' menunjukkan semakin tingginya laju pemakaian substrat oleh mikroorganisme, yang berarti pula menunjukkan semakin tingginya efisiensi removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup>. Dengan demikian nilai Ko' juga dapat menunjukkan seberapa besar kinerja dari suatu biofilter. Sedangkan nilai n akan menunjukkan kemampuan mikroba dalam menempel pada media. Semakin tinggi nilai n dari suatu media, akan semakin rendah kemampuan mikroba dalam menempel pada media. Akibatnya akan semakin sedikit pula kandungan BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> yang mampu didegradasi oleh mikroba, sehingga efisiensi removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> akan semakin berkurang. Secara matematis hubungan ini dapat dinyatakan dalam formula berikut [1] :

$$\frac{Se}{So} = e^{-Ko'D/q^n}$$

Dimana : Se = BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> dari efluen filter (mg/L) ; So = BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> dari influen filter (mg/L) ; Ko' = treatability factor (min<sup>-1</sup>) ; D = kedalaman filter (ft) ; q = beban permukaan (gpm/ft<sup>2</sup>) dan n = konstanta karakteristik dari media filter. Untuk menentukan koefisien biokinetika, perlu dicari nilai logaritma dari rasio prosentase antara BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> yang tersisa (Se) dengan BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> mula-mula (So). Perhitungan untuk mencari nilai logaritma ini

dilakukan untuk tiap kedalaman D (ft) serta untuk tiap beban hidrolis atau q (gpm/ft<sup>2</sup>). Setelah itu dilakukan plot antara D pada sumbu x dan log ((Se/So) x 100) pada sumbu y, seperti yang terlihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Nilai slope untuk removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> reaktor 2

Dengan formula regresi linier didapatkan nilai slope dan nilai korelasinya, yaitu :

Slope A = 0,0368 ; nilai korelasi qA (r qA) = 0.9645

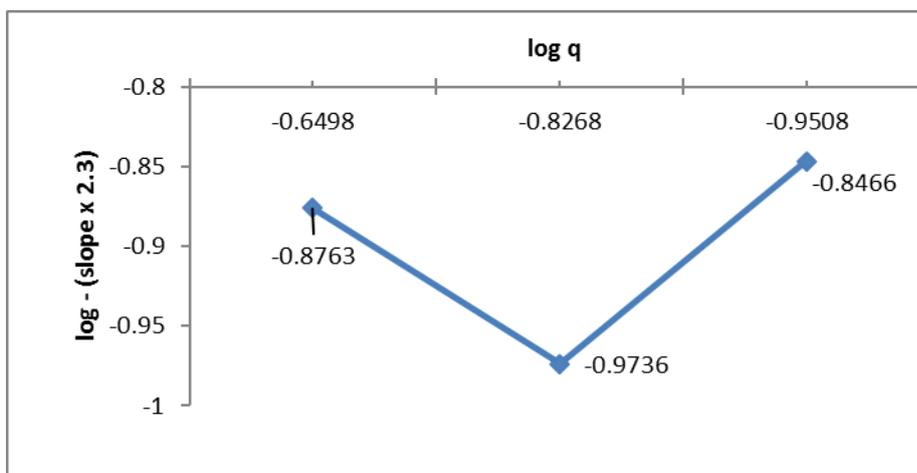
Slope B = 0,0258 ; nilai korelasi qB (r qB) = 0.7834

Slope C = 0,0581 ; nilai korelasi qC (r qC) = 0.7656

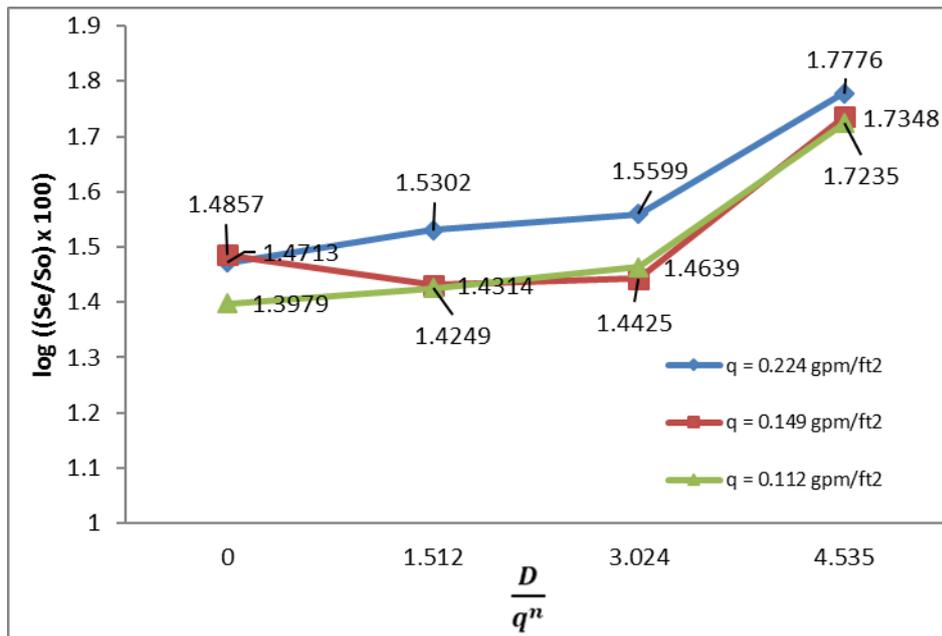
Dari hasil di atas terlihat bahwa pada nilai korelasi (r) pada qA = 0.224 gpm/ft<sup>2</sup> paling mendekati 1. Ini berarti bahwa pada q = 0.224 gpm/ft<sup>2</sup> nilai kedalaman (D) berpengaruh terhadap keberadaan BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> dalam reaktor. Jika demikian berarti efisiensi removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> akan semakin meningkat untuk setiap pertambahan nilai. Kemudian ditentukan nilai logaritma dari q dan - (slope x 2.3). Dengan formula regresi linier didapatkan nilai slope dan r n, yaitu :

$$n = -0.558 \text{ dan } r n = -0.447$$

Ternyata, nilai r n semakin mendekati nol (dibandingkan dengan nilai r semula). Ini berarti bahwa nilai konstanta n tidak berpengaruh banyak dalam removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup>. Lebih lanjut dapat dikatakan bahwa mikro organisme semakin mudah menempel pada reaktor. Dengan nilai n dapat ditentukan nilai D / q<sup>n</sup> di sumbu x dan nilai log ((Se/So) x 100) pada sumbu y dapatlah dicari nilai Ko' seperti terlihat pada Gambar 13. Sedangkan untuk Gambar 14 disajikan grafik D/q<sup>n</sup> vs log (Se/So) x 100 untuk removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> reaktor.



Gambar 13. Grafik mencari nilai n untuk removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> reaktor 2



Gambar 14. Nilai slope untuk removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> reaktor 2

$$\frac{D}{q^n}$$

Dengan formula regresi linier, diperoleh slope dari grafik di atas yaitu :

$$Q = 0.224 \text{ gpm/ft}^2 \quad Ko' / 2.3 = 0.0839$$

$$Ko' = 0.1929$$

$$r Ko' = 0.9652$$

$$Q = 0.152 \text{ gpm/ft}^2 \quad Ko' / 2.3 = 0.0739$$

$$Ko' = 0.170$$

$$r Ko' = 0.7835$$

$$Q = 0.113 \text{ gpm/ft}^2 \quad Ko' / 2.3 = 0.1952$$

$$Ko' = 0.4489$$

$$r Ko' = 0.7656$$

Dengan cara yang sama dapat ditentukan nilai n dan Ko' dari removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> untuk reaktor 1 dan reaktor 3 dan akhirnya diperoleh hasil bahwa untuk variasi waktu detensi 1 jam, 1,5 jam dan 2 jam :

- Untuk Reaktor 1, nilai n = 0.0544 dan Ko' = 0.118/menit ; 0.144/menit dan 0.686/menit .
- Untuk Reaktor 2, nilai n = 0.558 dan Ko' = 0.17/menit ; 0.1929/menit dan 0.4489/menit
- Untuk Reaktor 3, nilai n = 0.544 dan Ko' = 0.1292/menit ; 0.1356/menit dan 0.256/menit

## KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian, maka dapat disimpulkan :

1. Waktu detensi memberikan pengaruh pada efisiensi removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> dalam reaktor biofilter aerobik aliran down flow. Semakin lama waktu detensi, prosentase removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> akan semakin besar. Pada variasi waktu detensi (td) 1 jam, 1,5 jam dan 2 jam ini, prosentase removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> tertinggi dicapai oleh reaktor 2 sebesar 78,12 % pada variasi waktu detensi td = 2 jam
2. Beban organik memberikan pengaruh pada efisiensi removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> dalam reaktor biofilter aliran down flow. Semakin tinggi beban organik yang diberikan, prosentase removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> akan semakin kecil. Pada variasi beban organik (OL) yang telah dilakukan, prosentase removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> tertinggi dicapai oleh reaktor 1 sebesar 85,1% pada variasi beban organik = 2.05 kg BOD/m<sup>3</sup>.hr. Namun demikian, biofilter mempunyai kapasitas pengolahan yang spesifik, yang tidak dipengaruhi oleh konsentrasi air limbah yang masuk ke dalam biofilter. Hal ini ditunjukkan dengan nilai % removal (dalam kg BOD/m<sup>3</sup>.hr) yang relatif sama untuk reaktor yang sama.
3. Diameter media lekat memberikan pengaruh pada efisiensi removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup>. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa efisiensi removal BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> terbaik ditunjukkan pada reaktor dengan diameter media lekat 1 inchi. Efisiensi removal pada diameter media 1 inchi berada dalam kisaran 40.5 % – 82.3%.

4. Hasil perhitungan konstanta biokinetika menunjukkan bahwa nilai treatability factor berada dalam kisaran  $Ko' = 0.118 - 0.686$  (/menit) dan  $n = 0.0544 - 0.558$

Adapun saran yang dapat diberikan adalah :

1. Dilakukan penelitian lanjutan dengan variasi terhadap waktu detensi yang lebih lama, lebih dari kisaran yang ditetapkan untuk biofilter tipe *high rate* untuk mendapatkan waktu detensi / td yang optimum.
2. Dilakukan penelitian lanjutan dengan variasi terhadap diameter media pelekatan yang lebih besar untuk memberi kemungkinan efisiensi removal  $BOD_5^{20}$  yang relatif masih baik.
3. Dilakukan penelitian lanjutan dengan variasi terhadap diameter yang lebih kecil untuk memberikan komparasi hasil terhadap efisiensi removal  $BOD_5^{20}$  yang lebih baik.
4. Dilakukan penelitian lebih lanjut dengan sistem aliran yang berbeda yaitu *up flow* biofilter untuk memberikan perbandingan hasil terbaik.
5. Dilakukan penelitian lanjutan terhadap kemungkinan terjadinya sistem lanjutan antara removal bahan organik dengan terjadinya proses nitrifikasi dalam suatu reaktor biofilter aerobik aliran *downflow*.
6. Dilakukan variasi pH limbah tinja yang masuk (pH influen) untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pH dalam proses degradasi bahan organik dalam limbah tinja.
7. Dilakukan penelitian lanjutan tentang penurunan kandungan bahan organik dengan parameter lainnya seperti kandungan nitrat, nitrit, phosphate dan lainnya dan juga proses lanjutan kemungkinan terjadinya proses nitrifikasi dan denitrifikasi dalam reaktor biofilter.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Eckenfelder W.W. 2000. *Industrial Water Pollution Control*, Mc Graw-Hill New York
- [2] Horan N. J. 1993. *Biological Wastewater Treatment System*, John Wiley & Sons New York
- [3] Marsono, Bowo. 1998. *Teknik Pengolahan Air Limbah Secara Biologis*, Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS Surabaya
- [4] Meilufi, Sa'adah. 1999. *Biofilter Aerobik Aliran Down Flow Untuk Penurunan  $BOD_5^{20}$  Limbah Tinja IPLT Keputih*, Jurusan Teknik Lingkungan ITS Surabaya
- [5] Metcalf and Eddy. 2015. *Wastewater Engineering : Treatment, Disposal, And Reuse*, McGraw Hill Book Company New York
- [6] Qasim. 2017. *Wastewater Treatment Plants : Planning, Design and Operation*, Halt Renehart and Winston New York
- [7] Sterritt and Lester. 2006. *Microbiology For Environmental And Public Health Engineers*, E&F.N Spon New York
- [8] Soeriaatmadja RE. 1997. *Ilmu Lingkungan*, ITB Bandung
- [9] Veenstra S, 2000. *Wastewater Treatment*, International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering Delft
- [10] Wang, Hua. 2000. *Pollution Charges, Community Pressure And Abatement Cost of Industrial Pollution in China*, The World Bank Washington DC
- [11] Winanto. 1998. *Studi Penurunan Kandungan Phosphat Dalam Limbah Tahu Dengan Sistem Attached Growth*, Jurusan Teknik Lingkungan ITS Surabaya