PENGOLAHAN AIR LIMBAH TAHU MENGGUNAKAN BIOREAKTOR ANAEROB-AEROB BERMEDIA KARBON AKTIF DENGAN VARIASI WAKTU TUNGGAL

Ariani Dwi Astuti, Wahyudi Wisaksono, Anggreini Ratri Nurwini

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Arsitektur Lansekap dan Teknologi Lingkungan, Universitas Trisakti
Jl. Kyai Tapa No.1, Jakarta Barat, 11440, Indonesia.

E-mail: ariani_da@trisakti.ac.id

Abstrak

Air limbah tahu mengandung bahan organik tinggi, yang bila tidak diolah dapat mencemari lingkungan. Pada umumnya industri tahu merupakan industri skala rumah tangga sehingga untuk pengolahan air limbahnya diperlukan pengolahan yang murah dan mudah dioperasikan. Suatu alternatif pengolahan limbah yang cukup sederhana adalah pengolahan secara biologis, yakni dengan bioreaktor lekat diam terendam bermedia, dimana mikroorganisme pengurai menempel pada media untuk berkontak langsung dengan air buangan secara anaerob maupun aerob. Pengolahan bioreaktor gabungan anaerob-aerob dengan media karbon aktif yang dilakukan menghasilkan hasil yang lebih baik dari penelitian sebelumnya. Pada penelitian ini dilakukan variasi waktu tinggal dan diperoleh hasil efisiensi COD sebesar 93,54 % dengan waktu tinggal 24 jam yang merupakan efisiensi tertinggi. Konsentrasi COD yang didapat belum memenuhi baku mutu yang ditetapkan yaitu Kep-51/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair di wilayah DKI Jakarta tetapi untuk konsentrasi TSS telah memenuhi baku mutu yang ditetapkan. Limbah tahu merupakan limbah yang berbau, hasil akhir setelah pengolahan dilakukan dengan menggunakan media karbon aktif hasil akhirnya tidak terlalu berbau sehingga bisa dijadikan alternatif pengolahan limbah tahu. Kinetika penyisihan COD dengan menggunakan rumus Eckenfelder diperoleh nilai regresi sebesar 0,969 mendekati 1 dengan niali n = 0,4721 dan K sebesar 12,42 mg/l.

Abstract

Tofu Industry's wastewater treatment using bioreactor anaerobe–aerobe with detention time variation. Tofu Industry's wastewater contains high organic compound, the wastewater should be treated to reduce the impact to the watercourse. For these small industries, the best alternative of wastewater treatment is one which has the following criteria: low cost operation and easy in operation. One of the simple wastewater treatment is biological treatment using attached growth system in anaerobe and aerobe condition. The combined-biofilter of anaerobic filter and aerobic filter used carbon active as medium result better effluent concentration compared the previous research. The combined-biofilter are operated with detention time variation of 24, 18, 12 hours, and the highest COD removal reach 93,53% in 24 hours detention time. COD concentration in effluent of the combined bioflter has not matched yet to Effluent Standard of Kep-51/MENLH/10/1995 but TSS concentration is below of this standard. Tofu industry's wastewater has strong odor and the advantage using carbon active is the odor is reduced a lot. Kinetics of COD removal using Eckenfelder's results n = 0,4712 dan K= 12,42 mg/L with R^2 = 0,969

Keywords : anaerobe, combined-biofilter, carbon active, wastewater, treatment.

1. Pendahuluan

Tahu adalah salah satu makanan yang terbuat dari kedelai. Pada umumnya tahu diproses pada skala industri kecil. Hasil akhir dari industri tahu adalah tahu, ampas tahu, dan air tahu (*whey*) yang biasanya tidak dimanfaatkan dan dibuang. Komposisi tahu mengandung unsur air, protein, lemak dan karbohidrat dengan kadar air 84-90 %, protein 5-8 %, lemak 3-4 % dan karbohidrat 2-4 %.

Limbah yang dihasilkan dari industri tahu berupa limbah padat dan limbah cair. Pemanfaatan limbah padat pada saat ini adalah untuk makanan ternak dan

untuk pembuatan tempe. Limbah cair yang dihasilkan cukup mengganggu lingkungan karena mengandung sisa air dari susu tahu yang tidak menggumpal dan limbah ini masih mengandung bahan organik, seperti protein, karbohidrat, dan lemak. Karakteristik air limbah tahu meliputi temperatur, warna, bau, kekeruhan, BOD, COD, dan pH.

Pengolahan air buangan secara biologis adalah suatu cara pengolahan yang diarahkan untuk menurunkan atau menyisihkan substrat tertentu yang terkandung dalam air buangan dengan memanfaatkan aktivitas mikroorganisme untuk melakukan perombakan substrat tertentu. Proses pengolahan air buangan secara biologis dapat berlangsung dalam 2 (dua) lingkungan utama, yaitu aerob dan anaerob.

Penguraian zat organik oleh mikroorganisme dalam lingkungan anaerob bisa berlangsung bila mikroorganisme tersebut menggunakan molekul selain oksigen (O_2) sebagai akseptor elektron akhirnya. Penguraian secara anaerob ini dapat menghasilkan biogas yang terdiri dari metana (50–70 %) , CO_2 (25–45%) dan sebagian kecil sisanya terdiri dari hidrogen, nitrogen dan hidrogen sulfida. Reaksi kimia yang terjadi dapat disederhanakan sebagai berikut [1]

$$\text{Zat organik} \rightarrow CH_4 + CO_2$$

Keunggulan proses anaerobik dibandingkan proses aerobik diantaranya adalah sebagai berikut:

- Proses tersebut tidak membutuhkan oksigen dan pemakaian oksigen dalam proses penguraian limbah akan menambah biaya pengoperasian.
- Penguraian anaerobik menghasilkan lebih sedikit lumpur (3-20 kali lebih sedikit dari pada proses aerobik), energi yang dihasilkan bakteri anaerobik relatif rendah.
- Proses anaerobik menghasilkan gas yang bermanfaat, metan.
- Energi untuk penguraian limbah kecil.
- Penguraian anaerobik cocok untuk limbah industri dengan konsentrasi polutan organik yang tinggi.

Selain keuntungan-keuntungan diatas, proses anaerobik juga mempunyai beberapa kelemahan atau kekurangan, diantaranya adalah [1]

- Lebih lambat dari proses aerobik.
- Sensitif oleh senyawa toksik.
- Kecepatan pertumbuhan bakteri penghasil methan lambat,sehingga membutuhkan proses *start-up* yang cukup lama.

Pada beberapa penelitian telah ditemukan adanya sejumlah besar bakteri dalam sistem karbon aktif bubuk yang digunakan untuk mengolah air buangan. Hal ini disebabkan oleh tingginya konsentrasi sel dan substrat yang terkandung didalam influen system. Bakteri pada mulanya menempati permukaan luar dari karbon, dan terus berkembang sampai setiap partikel karbon tertutupi oleh lapisan bakteri. Keuntungan dengan adanya pertumbuhan biologi pada karbon aktif adalah adanya penyisihan bahan-bahan organik yang melebihi kapasitas sistem terpisah dan biasanya zat-zat toksik bagi pertumbuhan biologi dapat turut dihilangkan. Persamaan kecepatan spesifik penyisihan substrat untuk reaksi orde satu [2] yaitu :

$$\left(\frac{1.\,\partial S}{x\,.\,\partial t}\right) = K\,.\,S \quad \text{.....(1)}$$

Dimana :

$\frac{1\,.\partial S}{X\,.\partial t}$ = Spesifik rata dari penggunaan substra

$\frac{\partial S}{\partial t}$ = kecepatan penggunaan substrat, (massa/ (volume.waktu)

K = konstanta, volume / (massa mikroba.waktu)

S = konsentrasi substrat, massa / volume

Integrasi dari persamaan 1 menghasilkan :

$$\frac{St}{So} = e^{-k\,x\,t} \quad \text{..... (2)}$$

Dimana :

St = konsentrasi substrat setelah waktu tertentu, massa / volume

So = konsentrasi substrat yang masuk, massa / volume

X = rata-rata konsentrasi massa sel, massa / volume

Rata-rata konsentrasi massa sel X sebanding dengan luas permukaan media (As)

$$X \approx As \quad \text{.....(3)}$$

Karena kekebalan biofilm adalah merata maka :

$X = S$

$X = k'\,.\,As$

Dimana : K' = konstanta

Untuk waktu kontak t, menggunakan rumus sebagai berikut [3] :

$$t = C.\left(\frac{D}{Ql^{\,n}}\right) \quad \text{.....(4)}$$

Dimana :

t = waktu kontak

D = kedalaman filter

Ql = beban hidrolik / hidrolik permukaan (m^3/m^2.hari)

C, n = konstanta eksperimen

Substitusi persamaan 1, 2 dan 3 dapat disederhanakan menjadi :

$$\ln \frac{St}{So} = \frac{-K.\,D}{Ql^n}$$

$$\ln\left(\ln \frac{So}{St}\right) = \ln K.\ D - n.\ \ln Ql$$

Nilai n ini dapat diketahui dari grafik perbandingan antara :

$$\ln\left(\ln \frac{So}{St}\right) \quad \text{dan} \quad \ln Ql$$

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kinerja bioreaktor bermedia karbon aktif untuk menurunkan kandungan bahan organik limbah tahu secara aerob dan anaerob.
2. Mengamati penyisihan parameter TSS dan COD dengan variasi waktu tinggal (Td) 12, 18 dan 24 jam.
3. Mengkaji efisiensi dan efektifitas pemakaian media karbon aktif pada pengolahan limbah organik sistem kombinasi anaerob-aerob, khususnya pada limbah tahu.

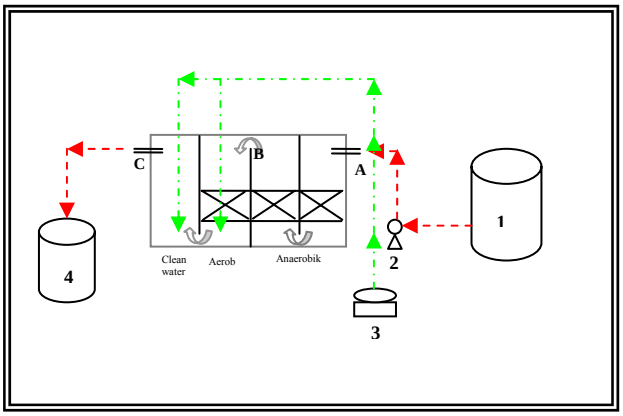
2. Metode Penelitian

Model bireaktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah reactor berbentuk *baffle channel* yang terdiri dari 4 ruang (2 ruang anaerob, 1 ruang aerob, dan 1 ruang sedimentasi) dan menggunakan media karbon aktif yang berbentuk granular yang disusun dalam ruang anaerob dan aerob.

Tahapan penelitian meliputi pembibitan (*seeding),* aklimatisasi dan pengoperasian secara kontinu. *Seeding* yang dilakukan adalah *seeding* alami secara kontinyu dalam reaktor menggunakan limbah cair tahu dari hasil penampungan pabrik-pabrik tahu di sekitar lokasi, untuk mendapatkan mikroorganisme indigenous pengurai air limbah tahu. Waktu tinggal yang digunakan adalah 1 hari (24 jam). Selama seeding dilakukan penambahan glukosa sebagai sumber karbon sehingga pertumbuhan mikroorganisme dapat berlangsung cepat.

Aklimatisasi merupakan proses pengadaptasian mikroorganisme yang telah dikembangbiakkan terhadap lingkungan yang baru. Proses aklimatisasi dilakukan dalam reaktor dengan cara mengganti air limbah dengan air limbah tahu yang baru secara bertahap dengan waktu tinggal 24 jam. Pada proses aklimatisasi lapisan biofilm yang terbentuk akan semakin tebal. Proses ini berakhir ketika limbah penampungan telah tergantikan seluruhnya dengan limbah tahu asli dan konsentrasi COD telah stabil dengan efisiensi penurunan yang cukup tinggi (≥80%) dan fluktuasi ± 5%, kondisi seperti ini disebut kondisi tunak (*steady state*).

Kondisi operasional pada penelitian ini adalah dengan mensimulasikan bioreaktor dalam sistem kontinyu dengan media karbon aktif. Kapasitas reaktor sebesar 210 liter menggunakan variasi waktu tinggal yaitu 24 jam, 18 jam, 12 jam.



Gambar 1. Bioreaktor anaerob-aerob media karbon aktif

3. Pembahasan

Air limbah yang digunakan dalam penelitian ini adalah air limbah tahu yang berasal dari Perkampungan Industri Kecil, KOPTI Swakerta, Kelurahan Semanan, Jakarta Barat. Karakteristik awal limbah dapat dilihat pada Tabel 1.

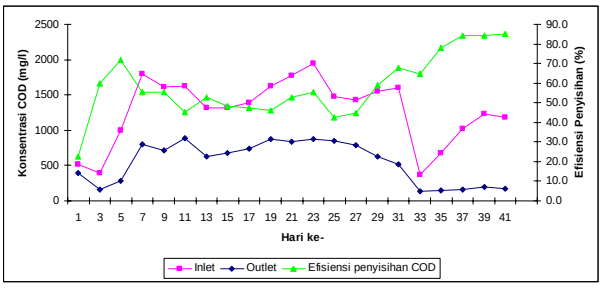
Tabel 1. Karakteristik air limbah tahu

Parameter	Konsentrasi (mg/L)	Baku Mutu *)	
		1	2
BOD	2150 - 2530	75	150
COD	5800 - 7000	100	300
TSS	850 - 350	1000	4000
TDS	6060	-	-
pH	4	6-9	6-9

Sumber : Hasil Analisa Laboratorium, 2005
*) Baku mutu 1 : SK.Gub DKI Jakarta./No.582/1995
2 : Kep-51/MENLH/10/1995

Pembibitan (*Seeding*). Pembibitan yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan jumlah mikroorganisme yang akan digunakan pada tahap penelitian selanjutnya. Bibit mikroorganisme diperoleh dari limbah penampungan yang berasal dari limbah tahu itu sendiri. Hal ini dilakukan karena mikroorganisme yang ada telah terbiasa mendegradasi limbah tahu. Pembibitan dilakukan secara alami yaitu

mikroorganisme langsung dibiakkan di dalam reactor dengan cara mengalirkan air limbah secara kontinyu ke dalam reactor. Pertumbuhan mikroorganisme pada media dapat dilihat dari peningkatan efisiensi penyisihan COD. Efisiensi penyisihan COD menunjukkan adanya aktivitas mikroorganisme yang telah tumbuh semakin banyak dan mendegradasi air limbah tersebut (Gambar 2)

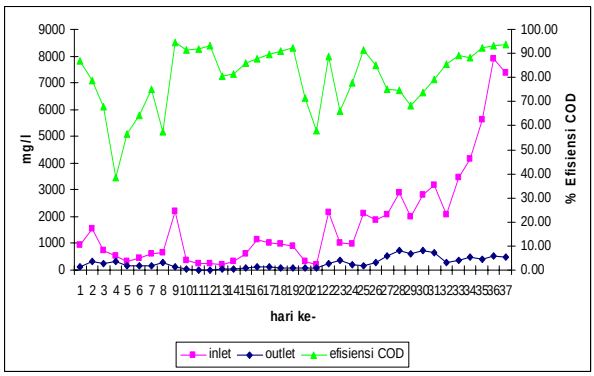


Gambar 2. Grafik efisiensi penyisihan COD pada saat *seeding*

Pada hari ke-7 efisiensi COD sempat mengalami penurunan hingga 55,56 % , tetapi pada hari ke -13 terjadi peningkatan lagi 52,73 %, pada hari berikutnya terjadi penurunan lagi 48,25 % terus menurun hingga hari ke 21 meningkat sampai angka 52,68%, hari berikutnya menurun 55,41% terus menurun hingga hari ke 29 dengan efisiensi 59,10 % dan itu titik awal terjadinya penaikan terus menanjak sampai pada akhir tahap *seeding* pada hari ke 41 didapat efisiensi COD sebesar 84,3% dan dapat dilanjutkan ke tahap aklimatisasi.

Aklimatisasi. Setelah mikroorganisme yang tumbuh cukup banyak (VSS ± 3000mg/L) dan penyisihan COD telah tinggi, maka dapat dilakukan proses pengadaptasian atau disebut juga aklimatisasi. Aklimatisasi dilakukan dengan cara mengganti secara bertahap air limbah penampungan hasil seeding dengan limbah tahu asli hasil pemasakan. Penggantian dilakukan dimulai dengan perbandingan 10 % limbah tahu asli : 90 % limbah penampungan. Penggantian dilakukan secara bertahap sampai penggantian 100 % limbah tahu asli. Proses aklimatisasi diberhentikan pada saat efisiensi penyisihan COD telah stabil (fluktuasi ± 5 %) dan limbah yang tergantikan telah 100% limbah tahu asli. Hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.

Fluktuasi penyisihan terjadi sampai pada hari ke 30 dengan penambahan 80 % : 20 % dengan efisiensi 68,74 % yang terus meningkat hingga pada akhir aklimatisasi yaitu pada hari ke 37 dengan pergantian 100% dengan efisiensi yang didapat sebesar 94,34 %. Setelah mencapai angka kestabilan (fluktuasi ± 5 %) dan pergantian limbah penampungan dengan limbah tahu asli telah mencapai 100 % maka proses pengoperasian kontinyu dapat dilakukan.
Penurunan konsentrasi COD yang sering terjadi pada awal penambahan nutrient disebabkan mikroorganisme perlu menyesuaikan diri dengan penambahan tersebut, tetapi setelah mikroorganisme tersebut telah menyesuaikan diri efisiensi penyisihan pun akan stabil.



Gambar 3. Grafik efisiensi penyisihan COD pada saat aklimatisasi

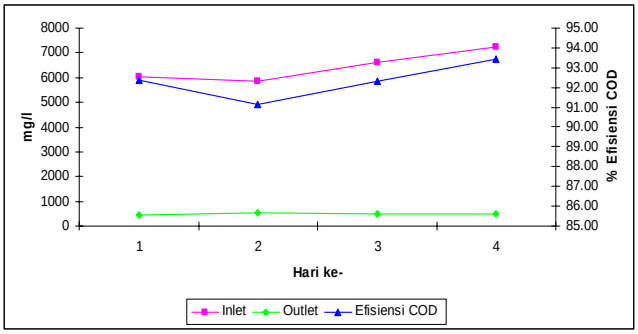
Pengoperasian Kontinyu dengan Variasi Waktu Tinggal. Setelah proses aklimatisasi telah selesai yang diindikasikan dengan pergantian limbah penampungan dengan limbah tahu asli telah mencapai 100 % dan efisiensi penyisihan COD pada saat aklimatisasi relatif stabil (fluktuasi ± 5 %), maka pengoperasian secara kontinyu dapat dilakukan. Variasi waktu tinggal yang digunakan adalah 24 jam, 18 jam, dan 12 jam. Pemilihan variasi waktu tinggal didasarkan pada penelitian sebelumnya, dengan menggunakan reaktor bioreaktor bermedia tali rafia dengan variasi waktu tinggal 24 jam, 12 jam, dan 6 jam. Influen yang diolah sebesar 8338 mg/l dan effluent 798,4 mg/l dengan efisiensi tertinggi yang didapat Winky adalah 90,4 % dengan waktu tinggal 24 jam.

Pada Gambar 4. dapat dilihat bahwa penyisihan konsentrasi COD pada awal mencapai 92.4 %, pada hari berikutnya terjadi penurunan hingga 91.2 % dan hari berikutnya mengalami kenaikan hingga pada hari ke-4 efisiensi penyisihan telah mencapai 93.5 %. Fluktuasi penurunan yang terjadi tidak mencapai > 5%.

Pada Gambar 5. dengan waktu tinggal 18 jam, dapat dilihat bahwa penyisihan konsentrasi COD menurun dibandingkan pada waktu tinggal 24 jam. Pada hari ke-1 angka penyisihan COD 91,3 %, pada hari ke-3 mengalami penurunan hingga pada hari ke-6 mencapai angka 88.5 %. Sedangkan pada waktu tinggal 12 jam, terjadi penurunan hingga efisiensi 80,4 %.

Dan berdasarkan pada hasil analisis konsentrasi COD terhadap variasi waktu tinggal diketahui bahwa efisiensi penurunan terbesar pada waktu tinggal 24 jam

yaitu sebesar 93,5 %, terus diikuti dengan waktu tinggal 18 jam sebesar 88,5 % dan pada waktu tinggal 12 jam sebesar 80,4 %.

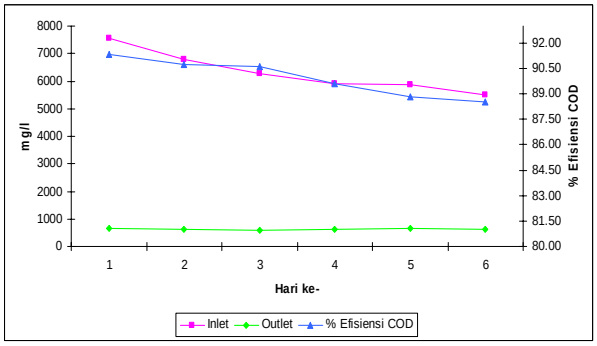


Gambar 4. Grafik penyisihan konsentrasi COD dengan waktu tinggal 24 Jam

Hasil penelitian membuktikan bahwa semakin besar waktu tinggal, maka akan semakin besar pula tingkat efisiensi penyisihan organiknya. Hal ini disebabkan karena semakin lama waktu kontak antara bahan organik dengan mikroba pada lapisan biofilm akan memperbanyak kesempatan mikroba dalam memanfaatkan bahan organik tersebut untuk metabolisme tubuhnya, dan akan menyisihkan kandungan bahan organik dalam air buangan tersebut.

Efisiensi terbesar terhadap pada zona effluent, tetapi dapat dilihat bahwa pada zona anoksik penyisihan COD yang dihasilkan juga sudah tinggi. Bisa disebabkan oleh daya serap karbon aktif yang baik sehingga pada zona anoksik penyisihan COD yang di hasilkan sudah cukup baik. Dapat dikatakan bahwa pada zona aerob, fungsi media karbon aktif hanya sekedar untuk menyempurnakan hasil yang telah diolah pada zona anoksik. Sehingga effluent yang dihasilkan bisa lebih baik lagi. Terbukti dengan hasil akhirnya yang tidak berbau. Dan berdasarkan hasil pengukuran pH, pada zona anoksik didapat rentang pH antara 6-7. Kebanyakan mikroorganisme tumbuh paling baik pada nilai pH mendekati netral [4], mikroorganisme dapat tumbuh dengan baik pada pH yang normal sehingga penyisihan substrat dapat berlangsung dengan baik dan efisiensi penyisihan COD yang di dapat juga tinggi . Pada zona aerob, pH yang dihasilkan juga dalam rentang 6-7.

Pengukuran alkalinitas dengan variasi waktu tinggal 24 jam, 18 jam, 12 jam didapat nilai alkalinitas di zona anaerob berturut-turut sebagai berikut 1874 mg/l $CaCO_3$, 1847 mg/l $CaCO_3$ dan 1888 mg/l $CaCO_3$. Alkalinitas yang cukup adalah esensial untuk pengendalian pH karena alkalinitas bertindak sebagai buffer dalam sistem.

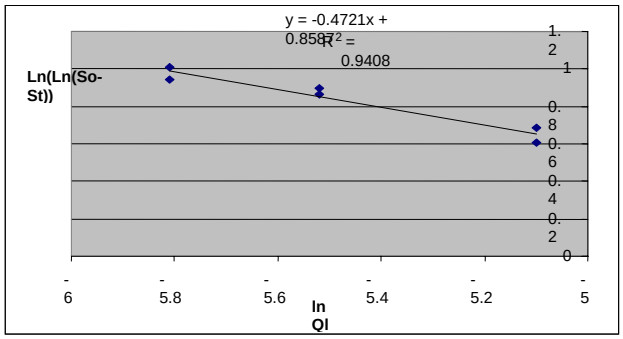


Gambar 5. Grafik penyisihan konsentrasi COD dengan waktu tinggal 18 Jam

Pengukuran DO di zona anoksik dilakukan untuk kontrol dan diperoleh sebesar 0 mg/l, angka tersebut membuktikan bahwa keadaan reactor di zona aneraob memang tanpa kandungan oksigen, sedangkan pada zona aerob didapat sebesar 3,2– 3,9 mg/l membuktikan bahwa keadaan reaktor mengandung oksigen yang dapat membantu proses penguraian bahan organik.

Kinetika Penyisihan Konsentrasi COD. Perhitungan kinetika laju penyisihan COD (substrat) bertujuan untuk mengetahui tingkat penurunan substrat dalam pengolahan air buangan pada reaktor lekat diam terendam bermedia karbon aktif [2]. Kinetika penyisihan pada bioreaktor lekat diam terendam adalah dengan menentukan eksperimen n dan k. Harga konstanta n dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 4.

Dari Gambar 6. diperoleh persamaan linier y = -0,4721x – 1,7514 dengan nilai R^2 = 0,9408 dan r = 0,969 selain itu diperoleh nilai **n = 0,4721.** Nilai n tergantung dari karakteristik aliran yang terjadi dan biasanya harga n berkisar antara 0,5 – 0,67. Semakin kecil harga n, maka nilai St akan semakin kecil juga yang ditandai dengan besarnya nilai (So/St), sehingga efisiensi penyisihan substrat yang dihasilkan akan semakin besar juga [5].



Gambar 6. Grafik perhitungan nilai n untuk penyisihan COD

Setelah konstanta n diperoleh, untuk mendapatkan harga K dapat dicari dari perhitungan berikut :
Ln K D = 0.8587

Karena kedalaman media (D) telah diketahui = 1/3 x 0.57 m = 0,19 m, maka nilai K dapat diketahui melalui persamaan diatas yaitu :

$$\ln(0{,}19\,K) = 0{,}8587$$

$$0{,}19\,K = e^{0{,}8587}$$

$$K = \frac{2{,}360}{0{,}19}$$

$$\mathbf{K = 12{,}42\ mg/l}$$

Nilai K yang diperoleh dari hasil perhitungan adalah 12,42. semakin besar nilai K yang diperoleh akan semakin baik karena nilai St akan semakin kecil sehingga penyisihan substrat akan semakin besar.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian uji kinerja bioreaktor bermedia karbon aktif dalam upaya menurunkan kandungan bahan organic dari air limbah pabrik tahu menggunakan variasi waktu tinggal 24 jam, 18 jam, dan 12 jam, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengolahan bioreaktor gabungan anaerob-aerob yang telah dilakukan menghasilkan hasil yang lebih baik dari penelitian sebelumnya. Pada penelitian ini didapat efisiensi COD sebesar 93,54 % dengan waktu tinggal 24 jam yang merupakan efisiensi tertinggi. Konsentrasi COD yang didapat belum memenuhi baku mutu yang ditetapkan yaitu Kep-51/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair di wilayah DKI Jakarta tetapi untuk konsentrasi TSS telah memenuhi baku mutu yang ditetapkan.
2. Limbah tahu merupakan limbah yang berbau, hasil akhir setelah pengolahan dilakukan dengan menggunakan media karbon aktif hasil akhirnya tidak terlalu berbau dibandingkan dengan pemakaian media bioball. Dapat dikatakan bahwa media karbon aktif bisa dijadikan alternatif pengolahan karena hasil akhirnya yang tidak terlalu mengganggu lingkungan.
3. Kinetika penyisihan COD dengan menggunakan rumus Eckenfelder diperoleh nilai regresi sebesar 0,969 mendekati 1 dengan niali n = 0,4721 dan K sebesar 12,42 mg/l.

Daftar Acuan

[1] Benefield, Larry D., Randall, Clifford W., Biological Processes Design for Wastewater Treatment, Prentice Hall, New York, 1980

[2] Reynolds, Tom D. Unit Operation and Processes in Environmental Engineering. Boston: B/C Engineering Division, 1982.

[3] Grady, C. P. L. and Lim, H. C., Biological Wastewater Treatment, Marcel Decker Inc., New York, 1980

[4] Speece, R. E. Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater, Archae Press, Tennesse, 1996

[5] Malina, J. F. & Frederick G. Pohland, Design of Anaerobic Process for Treatment of Industrial and Municipal Wastes, Technomic Publishing Company Inc., Pensylvania, 1992