

Kajian Penurunan Kadar BOD Limbah Cair Tahu Pada Berbagai Variasi Aliran

(Study on decreasing of BOD levels in the liquid waste of tofu with variations of the discharge)

RATNA SEPTI HENDRASARI

ABSTRACT

Tofu is a food that derived from soybeans that have been fermented and taken juice. Tofu has a high nutritious and cheap. Tofu is a favorite food of society. As a result, some industries make tofu where this activity will produce liquid waste. Tofu liquid waste contains some substances including BOD. High BOD levels should not be directly disposed into the river. Therefore before the waste disposed, the levels of BOD should be reduced in accordance with the quality standards of waste. Decreased levels of BOD can be done in several ways such as by the waste stream in a stream. This research was done on the sudden waterfall and the sudden expansion. Variations in flow analyzed using the equations of continuity and momentum. Waste samples were taken from Srandakan Bantul. From the results obtained in the laboratory testing, levels of BOD is 5571 mg/L. This research used a square-shaped channel. The width of channel is 0.2 m and the discharge is 1 m³/s. The results of this research showed that the big reduction of BOD occurred in $\Delta Z/h_1 = 0.8$, from 0.0134% to 0.0237% and $b/B = 0.4$, from 0.0589% to 0.0733%. The levels of waste that has sudden waterfall is 5569.916693 mg/L to 5569.779468 mg/L and the expansion of a sudden is 5566.916554 mg/L until 5570.999943 mg/L.

Keywords: BOD, flow, liquid waste

PENDAHULUAN

Tahu merupakan salah satu makanan yang berasal dari kacang kedelai yang telah difermentasikan dan diambil sarinya. Makanan ini merupakan salah satu jenis makanan yang digemari masyarakat karena bergizi tinggi dan murah. Akibatnya banyak bermunculan industri pembuatan tahu dimana kegiatan ini akan menghasilkan limbah. Limbah tahu mengandung beberapa zat antara lain adalah BOD.

BOD (*Biological Oxygen Demand*) adalah jumlah kebutuhan oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi senyawa organik yang ada dalam limbah. Kadar BOD yang tinggi tidak diperbolehkan untuk langsung dibuang ke sungai. Limbah tahu mempunyai kadar BOD yang berkisar antara 5000 – 10000 mg/l. Oleh karena itu sebelum limbah tersebut dibuang, kadar BOD harus diturunkan sesuai dengan baku mutu limbah.

Kadar BOD dapat diturunkan dengan mengalirkan limbah tersebut pada berbagai variasi aliran. Variasi aliran tersebut antara lain adalah loncatan pada terjunan yang tiba-tiba dan loncatan pada ekspansi yang tiba-tiba. Adanya variasi aliran yang berbeda akan menimbulkan karakteristik aliran yang berbeda. Kondisi tersebut berpengaruh pada proses penurunan kadar BOD, sehingga perlu adanya kajian lebih lanjut. Sebagai sampel limbah tahu diambil dari limbah tahu hasil industri masyarakat di Kecamatan Srandakan Kabupaten Bantul.

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi aliran terhadap penurunan kadar BOD dalam limbah cair tahu, dan berapa prosentase serta penurunan kadar BOD tersebut.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi aliran terhadap penurunan kadar BOD dalam limbah cair tahu dan

mengetahui prosentase serta penurunan kadar BOD limbah cair tahu tersebut.

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam membuat suatu instalasi pengaliran air limbah sebelum limbah tersebut dibuang ke badan air.

TINJAUAN PUSTAKA

Limbah pabrik tahu mempunyai kandungan *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*, *Chemical Oxygen Demand (COD)*, dan *Total Suspended Solid (TSS)* yang tinggi, serta pH yang relatif rendah. Untuk menurunkan kandungan limbah yang polutif tersebut digunakan metode aerasi bertingkat dengan mempelajari lama waktu aerasi terhadap penurunan kadar BOD, COD, TSS dan pH limbah. Prinsip kerjanya adalah memperbanyak oksigen terlarut dalam air agar kondisi air limbahnya aman untuk dibuang ke lingkungan. Kondisi air limbah pabrik tahu yang digunakan sebagai sampel dilakukan pengujian untuk mengetahui kadar awal BOD, COD, TSS dan pH. Selanjutnya sampel air limbahnya dimasukkan ke dalam kolom yang terdiri dari 5 bagian atau kompartemen. Setiap kompartemen dialirkan udara menggunakan aerator dengan variasi lama waktu sebesar 40, 50, 60, dan 120 menit. Setelah proses aerasi berakhir dilakukan kembali pengujian dengan parameter yang sama. (Fajrin Anwari, dkk, 2011).

Air limbah tahu yang dibuang langsung tanpa pengolahan dapat mencemari badan air. Sesuai dengan hasil laboratorium, air limbah tahu yang dibuang memiliki kandungan nutrisi yang tinggi dan tidak memenuhi baku mutu. Dengan adanya permasalahan tersebut maka diperlukan adanya pengolahan air limbah tahu. Salah satu alternatif pengolahan adalah menggunakan arang tempurung kelapa dan eceng gondok. Kontaminan pada air limbah tahu diharapkan dapat berkurang dengan adanya proses adsorpsi yang dilakukan arang tempurung kelapa dan fitoremediasi yang dilakukan oleh eceng gondok. Identifikasi pengaruh konsentrasi air limbah tahu terhadap penurunan NH_4 , TSS, dan COD yang dilakukan dengan arang tempurung kelapa dan tumbuhan eceng gondok. Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah konsentrasi air limbah 60% dan 50% serta Parameter yang digunakan adalah NH_4 , TSS,

dan COD. (Angelica Alimsyah dan Alia Damayanti, 2013).

Salah satu metode yang dapat diaplikasikan adalah mengolah limbah cair dengan memanfaatkan mikroorganisme (bioremediasi). Pengolahan limbah menggunakan mikroorganisme ini sudah banyak dilakukan, dan proses pengolahan limbah dengan menggunakan mikroorganisme ini juga termasuk pengolahan limbah sangat sederhana serta mudah dilakukan. Di samping peralatan yang dipakai dalam proses pengolahan limbah relatif murah serta bahan baku mikroorganisme yang digunakan juga mudah diperoleh di tempat-tempat penjualan yang berhubungan dengan bahan pertanian. Pengolahan limbah tahu dengan menggunakan Efektif Mikroorganisme (EM4) bertujuan untuk mengetahui efektifitas mikroorganisme (EM4) dalam mengurai limbah organik industri pembuatan tahu. (Jasmianti, dkk., 2010).

LANDASAN TEORI

Aliran Steady Non Uniform

Aliran Steady Non uniform terjadi karena vektor kecepatan berubah sepanjang saluran yang dapat diakibatkan oleh karena perubahan tampang saluran, perubahan kemiringan dasar saluran ataupun karena adanya bangunan pengatur. Ketidakberaturan aliran dapat diklasifikasikan sebagai *gradually varied flow* dan *rapidly varied flow*.

Pada *gradually varied flow* aliran berubah berangsur-angsur sehingga lengkung garis aliran dapat dianggap merupakan garis lurus. Pada kondisi itu distribusi tekanannya dapat dianggap sebagai tekanan hidrostatis. Juga aliran dapat dianggap tidak mempunyai komponen kecepatan vertikal sehingga energi kinetis per satuan berat dapat dinyatakan dengan $u^2/2g$. Selanjutnya karena kedalaman berubah secara berangsur-angsur maka kehilangan tinggi tenaga hanya disebabkan oleh geseran dasar.

Pada *rapidly varied flow* kedalaman aliran berubah secara cepat sehingga geseran dasar merupakan sebagian dari kehilangan tinggi tenaga. Loncat air adalah salah satu contoh tipe aliran ini.

Walaupun u tidak tetap (karena *non uniform*) dianggap kecepatan berubah berangsur-angsur sehingga tidak ada kerugian tenaga akibat perubahan kecepatan mendadak. Serat aliran dianggap paralel. (Ven Te Chow, 1997)

Persamaan Kontinuitas

Menurut Wignyosukarto B, (1988), persamaan kontinuitas disajikan pada Gambar 1.

Ditinjau suatu pias 1 – 2 – 2 – 1 sepanjang Δx dari suatu aliran muka air terbuka (Gambar 1). Apabila debit yang lewat di tampang c – c besarnya sama dengan Q dan mempunyai kedalaman aliran sebesar h pada saat t, maka besarnya aliran netto yang lewat pada pias tersebut selama waktu Δt disajikan dalam persamaan 1.

$$\left[\left(Q - \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right) - \left(Q + \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right) \right] \Delta t = - \frac{\partial Q}{\partial x} \Delta x \Delta t \tag{1}$$

dengan:

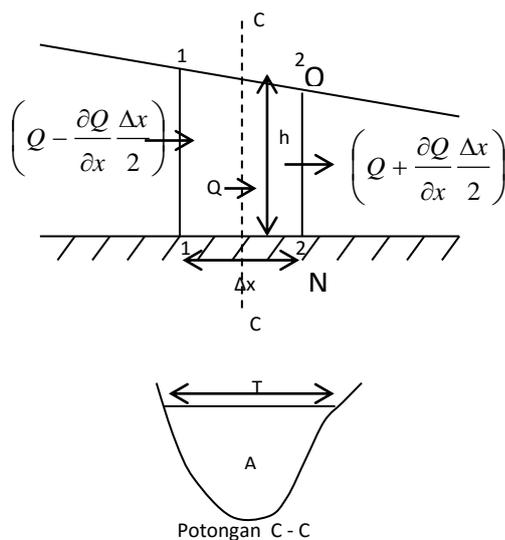
Q = debit aliran (m³/dt)

Δx = panjang pias (m)

Δt = selang waktu (dt)

Dan apabila luas penampang di potongan c – c adalah A dengan lebar muka air T, maka jumlah pertambahan volume pada pias tersebut selama waktu t disajikan dalam persamaan 2.

$$\frac{\partial}{\partial t} (A \Delta x) \Delta t \tag{2}$$



GAMBAR 1. Kontinuitas Aliran Dalam Suatu Pias

dengan:

A = luas penampang aliran (m²)

Δt = selang waktu (dt)

Prinsip kontinuitas menyatakan bahwa jumlah pertambahan volume sama dengan besarnya aliran netto yang lewat pada pias tersebut, sehingga dengan menyamakan kedua persamaan tersebut di atas dan dengan membaginya dengan Δx Δt, maka di dapat persamaan kontinuitas yang disajikan dalam persamaan 3.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \tag{3}$$

dengan:

Q = debit aliran (m³/dt)

A = luas penampang aliran (m²)

Persamaan Momentum

Hukum Newton kedua menyatakan bahwa besarnya perubahan momentum pada suatu pias aliran adalah sama dengan besarnya resultante gaya-gaya yang bekerja pada pias tersebut.

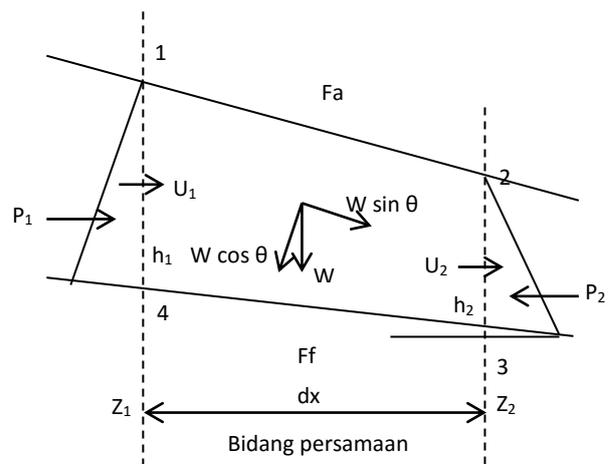
$$\sum F = \rho Q \, du \tag{4}$$

dengan:

F = gaya (N)

ρ = massa jenis (kg/m³)

Q = debit (m³/dt)



GAMBAR 2. Gaya-gaya yang bekerja pada pias.

Dengan melihat suatu pias 1-2-3-4 maka persamaan konservasi momentum disajikan dalam persamaan 5.

$$W \sin \theta + P_1 - P_2 - F_f + F_a = \rho Q (u_2 - u_1) \quad (5)$$

dengan:

P = tekanan hidrostatik potongan 1-4 dan 2-3.

W = berat volume pias 1-2-3-4

θ = kemiringan dasar saluran

F_a = tekanan udara pada muka air bebas

F_f = gaya geser yang terjadi akibat kekasaran dasar. (Wignjosukarto B, 1988)

Bilangan Froude

Bilangan Froude merupakan perbandingan gaya-gaya inersia dengan gaya-gaya gravitasi (per satuan volume) yang dinyatakan dalam persamaan 6.

$$F = \frac{u}{\sqrt{gD}} \quad (6)$$

dengan:

u = kecepatan aliran (m/dt)

g = percepatan gravitasi 9,81 m/dt²

D = kedalaman hidraulik.

Aliran dikatakan kritis apabila bilangan Froude sama dengan satu, aliran disebut subkritis apabila $F < 1,0$ dan superkritis apabila $F > 1,0$. (Ranga Raju, K.G., 1986)

BOD (Biochemical Oxygen Demand)

BOD merupakan ukuran dari sejumlah material organik yang dapat terurai secara biologi di dalam air. Hal itu ditunjukkan dengan miligram oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi material organik tersebut dalam satu liter air. (Thomann, R.V & Mueller, J.A., 1987).

Koefisien Deoksikasi

Menurut Thomann, R.V & Mueller, J.A., 1987, keseimbangan massa untuk kondisi aliran dan geometri yang konstan disajikan dalam persamaan 7.

$$\frac{dL}{dt} = -u \frac{dL}{dx} - k_f \cdot L \quad (7)$$

dengan:

L = CBOD (mg/L)

u = kecepatan rerata aliran (m/dt)

k_f = koefisien deoksikasi CBOD (/hari)

Koefisien deoksikasi (k_f) merupakan koefisien degradasi CBOD yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan berkaitan dengan efek dasar dan kecepatan endap dari partikel disajikan dalam persamaan 8.

$$k_f = k_d + k_s \quad (8)$$

dengan:

k_d = koefisien deoksikasi akibat efek dasar (/hari)

k_s = koefisien deoksikasi akibat pengendapan partikel (/hari)

$$k_s = \frac{v_s}{H} \quad (9)$$

dengan:

v_s = terminal settling velocity (kecepatan endap partikel, m/hari)

Berdasarkan hukum Stokes kecepatan endap partikel dapat dihitung dengan persamaan 10.

$$v_s = \frac{g}{18 \cdot \mu} (\rho_s - \rho_w) d_s^2 \quad (10)$$

dengan:

g = percepatan gravitasi bumi (= 981 cm/dt²)

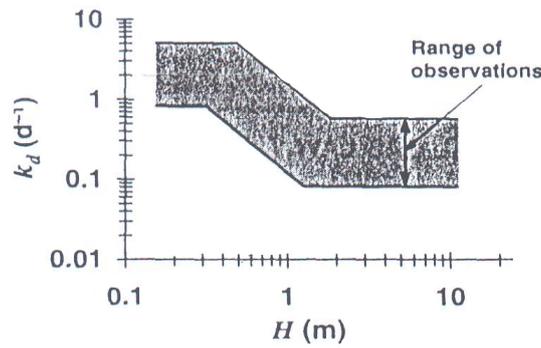
μ = kekentalan dinamis (g/cm dt)

ρ_s = massa jenis partikel (g/cm³)

ρ_w = massa jenis air (g/cm³)

d_s = ukuran efektif butiran partikel (cm)

Nilai k_d dapat ditentukan dengan menggunakan diagram yang terdapat pada Gambar 3. (Thomann, R.V & Mueller, J.A., 1987).



GAMBAR 3. Diagram kedalaman aliran (H) vs k_d

METODE PENELITIAN

Tahapan Penelitian

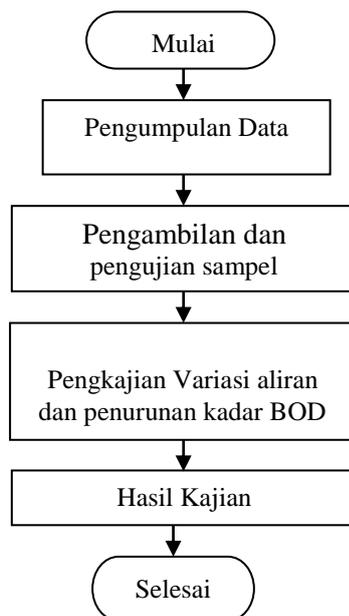
Tahapan penelitian meliputi persiapan, pengumpulan data, pengambilan dan pengujian sampel, dan kajian berbagai variasi aliran.

- a. Persiapan.
Persiapan dilakukan dengan mencari dan memahami literatur yang berkaitan dengan tema penelitian.
- b. Pengumpulan data.
Pengumpulan data yang dilakukan adalah menentukan industri tahu yang akan diambil sampelnya.
- c. Pengambilan dan pengujian sampel.

Sampel diambil dari salah satu industri pembuatan tahu yang berada di kecamatan Srandakan. Pengujian sampel limbah yang dilakukan adalah pengujian kadar BOD yang akan dilakukan di Laboratorium Penguji Balai Laboratorium Kesehatan Yogyakarta.

- d. Kajian pengaruh berbagai variasi aliran terhadap kadar BOD limbah tahu.
Kajian variasi aliran dilakukan pada aliran yang mengalami loncatan pada terjunan yang tiba-tiba dan loncatan pada ekspansi yang tiba-tiba. Selanjutnya akan dikaji lebih lanjut tentang pengaruhnya terhadap penurunan kadar BOD.

Bagan alir penelitian disajikan pada Gambar 4.



GAMBAR 4. Bagan alir penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Loncatan pada Terjunan yang tiba-tiba.

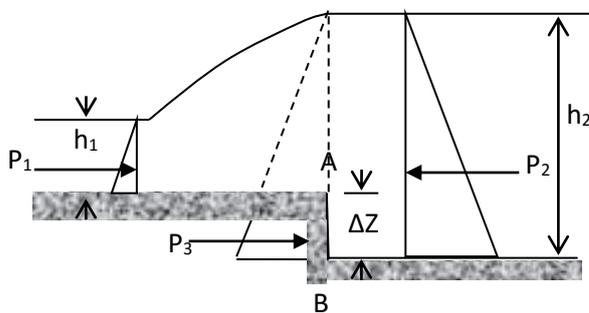
Loncatan pada terjunan yang tiba-tiba, mengkaji tentang loncatan yang berakhir pada terjunan. Jenis loncatan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5. (Ranga Raju, K.G., 1986)

Gambar 5 menggambarkan bahwa aliran dari hulu sedalam h_1 mengalami loncatan yang tiba-tiba karena adanya terjunan sebesar ΔZ . Kondisi tersebut menyebabkan kedalaman aliran di hilir menjadi h_2 . Kondisi aliran yang terjadi dianalisa dengan menggunakan persamaan kontinuitas dan momentum.

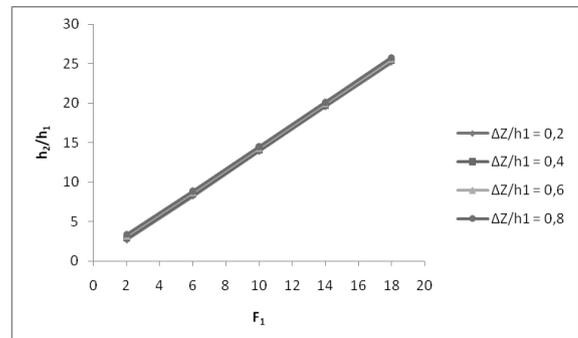
Analisa aliran dilakukan dengan mengasumsikan debit aliran sebesar $1 \text{ m}^3/\text{s}$ dan lebar saluran adalah $0,2 \text{ m}$. Bentuk saluran adalah persegi. Dari hasil analisa dibuat grafik hubungan antara bilangan Froude pada aliran di hulu (F_1) dan perbandingan antara kedalaman air di hilir dan hulu (h_2/h_1) yang dapat dilihat pada Gambar 6.

Dari Gambar 6, dapat dilihat bahwa aliran yang terjadi adalah superkritis dimana nilai bilangan Froude lebih dari satu. Dengan naiknya bilangan Froude di bagian hulu (F_1) akan diikuti juga dengan naiknya perbandingan antara kedalaman aliran di hilir dengan kedalaman aliran di hulu (h_2/h_1) untuk berbagai nilai perbandingan antara penurunan dasar saluran dan kedalaman aliran di hulu ($\Delta Z/h_1$). Kenaikan tersebut menunjukkan tren yang sama yaitu membentuk garis linier. Kondisi tersebut disebabkan karena dengan naiknya bilangan Froude untuk debit yang sama pada aliran bagian hulu (F_1) menyebabkan nilai kecepatan di hulu (u_1) meningkat sehingga kedalaman aliran di bagian hulu (h_1) menurun. Sementara di bagian hilir terjadi penurunan dasar aliran sebesar ΔZ menyebabkan aliran berubah menjadi subkritis sehingga kedalaman aliran di bagian hilir (h_2) meningkat.

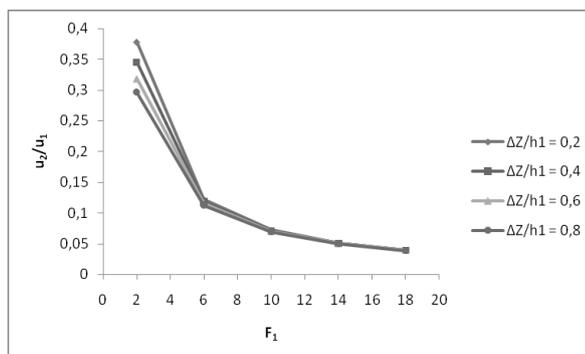
Selain itu juga dibuat grafik hubungan antara bilangan Froude pada aliran di hulu (F_1) dan perbandingan antara kecepatan aliran di hilir dan hulu (u_2/u_1) yang dapat dilihat pada Gambar 7.



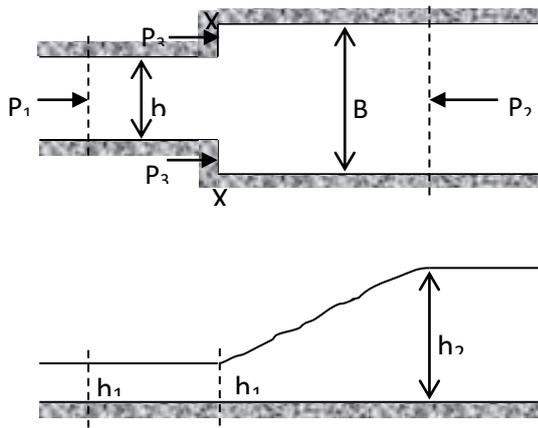
GAMBAR 5. Loncatan pada terjunan tiba-tiba



GAMBAR 6. Hubungan F_1 dan h_2/h_1 pada terjunan yang tiba-tiba



GAMBAR 7. Hubungan antara F_1 dan u_2/u_1 pada terjunan yang tiba-tiba



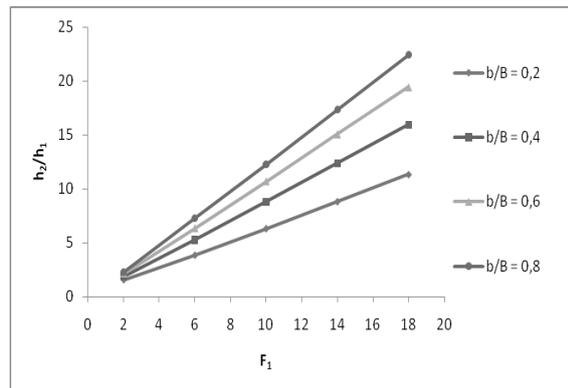
GAMBAR 8. Loncatan hidraulik pada ekspansi yang tiba-tiba

Dari Gambar 7, dapat dilihat bahwa aliran yang terjadi pada bagian hulu adalah superkritis dimana nilai bilangan Froude lebih dari satu. Dengan naiknya bilangan Froude di bagian hulu (F_1) akan diikuti juga dengan turunnya perbandingan antara kecepatan aliran di hilir dengan kecepatan aliran di hulu (u_2/u_1) untuk berbagai nilai perbandingan antara penurunan dasar saluran dan kedalaman aliran di hulu ($\Delta Z/h_1$). Penurunan tersebut disebabkan karena dengan naiknya bilangan Froude untuk debit yang sama pada aliran bagian hulu (F_1) menyebabkan nilai kecepatan di hulu (u_1) meningkat. Sementara di bagian hilir terjadi penurunan dasar aliran sebesar ΔZ menyebabkan aliran berubah menjadi subkritis dimana kedalaman aliran di bagian hilir (h_2) meningkat sehingga nilai kecepatan di bagian hilir (u_2) menurun.

Loncatan pada Ekspansi yang Tiba-tiba.

Loncatan pada ekspansi yang tiba-tiba menggambarkan kondisi saluran yang mengalami pelebaran pada bagian hilir. Loncatan tersebut merupakan loncatan bebas. Kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 8

Dari Gambar 8, dapat dilihat bahwa suatu ekspansi yang tiba-tiba dari lebar b menjadi B . Loncatan bebas dengan kaki loncatan sepanjang XX akan terjadi pada kedalaman aliran di hilir, h_2 . Kedalaman ini dianalisa dengan menggunakan persamaan momentum dan kontinuitas.

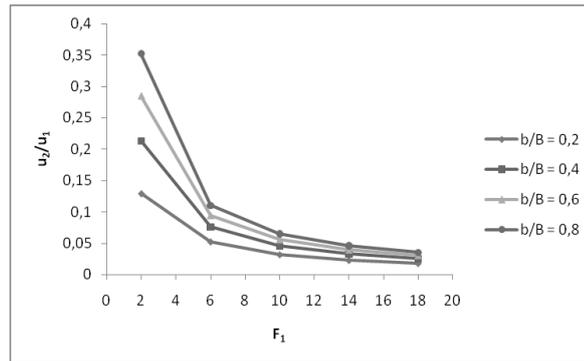


GAMBAR 9. Hubungan antara F_1 dan h_2/h_1 pada ekspansi tiba-tiba

Analisa aliran dilakukan dengan mengasumsikan debit aliran sebesar $1 \text{ m}^3/\text{s}$ dan lebar saluran adalah $0,2 \text{ m}$. Bentuk saluran adalah persegi. Dari hasil analisa dibuat grafik hubungan antara bilangan Froude pada aliran di hulu (F_1) dan perbandingan antara kedalaman air di hilir dan hulu (h_2/h_1) yang dapat dilihat pada Gambar 9.

Dari Gambar 9, dapat dilihat bahwa aliran yang terjadi adalah superkritis dimana nilai bilangan Froude lebih dari satu. Dengan naiknya bilangan Froude di bagian hulu (F_1) akan diikuti juga dengan naiknya perbandingan antara kedalaman aliran di hilir dengan kedalaman aliran di hulu (h_2/h_1) untuk berbagai nilai perbandingan antara lebar saluran bagian hulu dan lebar saluran di bagian hilir (b/B). Kenaikan tersebut menunjukkan tren yang sama yaitu membentuk garis linier. Kondisi tersebut disebabkan karena dengan naiknya bilangan Froude untuk debit yang sama pada aliran bagian hulu (F_1) menyebabkan nilai kecepatan di hulu (u_1) meningkat sehingga kedalaman aliran di bagian hulu (h_1) menurun. Sementara di bagian hilir terjadi pelebaran saluran menjadi B menyebabkan aliran berubah menjadi subkritis sehingga kedalaman aliran di bagian hilir (h_2) meningkat.

Selain itu juga dibuat grafik hubungan antara bilangan Froude pada aliran di hulu (F_1) dan perbandingan antara kecepatan aliran di hilir dan hulu (u_2/u_1) yang dapat dilihat pada Gambar 10.



GAMBAR 10. Hubungan antara F_1 dan u_2/u_1 pada ekspansi yang tiba-tiba

Dari Gambar 10, dapat dilihat bahwa aliran yang terjadi pada bagian hulu adalah superkritis dimana nilai bilangan Froude lebih dari satu. Dengan naiknya bilangan Froude di bagian hulu (F_1) akan diikuti juga dengan turunnya perbandingan antara kecepatan aliran di hilir dengan kecepatan aliran di hulu (u_2/u_1) untuk berbagai nilai perbandingan antara lebar saluran bagian hulu dan lebar saluran bagian hilir (b/B). Penurunan tersebut disebabkan karena dengan naiknya bilangan Froude untuk debit yang sama pada aliran bagian hulu (F_1) menyebabkan nilai kecepatan di hulu (u_1) meningkat. Sementara di bagian hilir terjadi pelebaran saluran menjadi B menyebabkan aliran berubah menjadi subkritis dimana kedalaman aliran di bagian hilir (h_2) meningkat sehingga nilai kecepatan di bagian hilir (u_2) menurun.

Kadar BOD pada limbah cair tahu.

Limbah cair tahu berasal dari salah satu pengrajin tahu yang berada di Kecamatan Srandakan Kabupaten Bantul. Limbah cair diambil pada tanggal 20 Oktober 2014 jam 09.00 WIB. Berdasarkan hasil pengujian sampel yang dilakukan oleh Laboratorium Penguji Balai Laboratorium Kesehatan

Yogyakarta, diperoleh nilai BOD limbah sebesar 5571 mg/L.

Penurunan nilai BOD

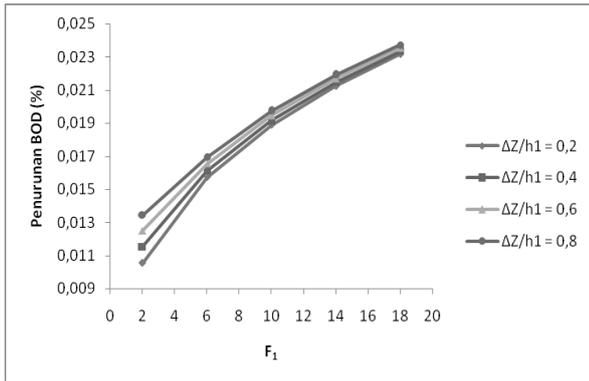
Penurunan nilai BOD dilakukan dengan menggunakan debit aliran sebesar 1 m³/s masing-masing untuk kasus loncatan hidraulik pada terjunan yang tiba-tiba dan loncatan hidraulik pada ekspansi yang tiba-tiba. Nilai koefisien degradasi (k_r) hanya mengasumsikan sama dengan koefisien degradasi dasar (k_d) dan tidak memperhitungkan koefisien degradasi akibat kecepatan endap partikel (k_s). Hal ini disebabkan bahwa partikel yang terdapat pada limbah cair tahu adalah berukuran sangat kecil sehingga kecepatan endapnya akan bernilai kecil. Panjang dasar aliran pada bagian hilir (x) diasumsikan sepanjang 100 m.

Penurunan BOD untuk loncatan hidraulik pada terjunan yang tiba-tiba.

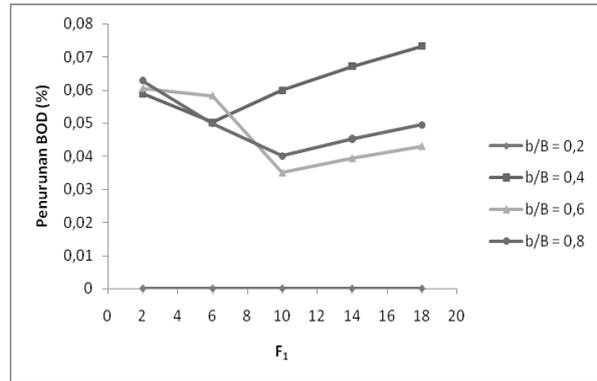
Kadar BOD pada limbah cair tahu yang telah mengalami loncatan hidraulik pada terjunan yang tiba-tiba dapat dilihat pada Tabel 1, sedangkan prosentase penurunan BOD dapat dilihat pada Gambar 11.

TABEL 1. Kadar BOD limbah cair tahu yang telah mengalami loncatan pada terjunan yang tiba-tiba.

F_1	Kadar BOD (mg/L)			
	$\Delta Z/h_1 = 0,2$	$\Delta Z/h_1 = 0,4$	$\Delta Z/h_1 = 0,6$	$\Delta Z/h_1 = 0,8$
2	5570,4132	5570,3569	5570,3032	5570,2510
6	5570,1236	5570,1008	5570,0780	5570,0554
10	5569,9482	5569,9324	5569,9167	5569,9009
14	5569,8168	5569,8044	5569,7919	5569,7795
18	5569,7094	5569,6989	5569,6885	5569,6780



GAMBAR 11. Penurunan BOD untuk loncatan pada terjunan yang tiba-tiba.



GAMBAR 12. Penurunan BOD untuk loncatan pada ekspansi yang tiba-tiba.

TABEL 2. Kadar BOD limbah cair tahu yang telah mengalami loncatan pada ekspansi yang tiba-tiba

F1	Kadar BOD (mg/L)			
	b/B = 0,2	b/B = 0,4	b/B = 0,6	b/B = 0,8
2	5570,9998	5567,7207	5567,6306	5567,5024
6	5570,9999	5568,1979	5567,7526	5568,2205
10	5570,9999	5567,6614	5569,0502	5568,7617
14	5570,9999	5567,2532	5568,8048	5568,4750
18	5570,9999	5566,9166	5568,6040	5568,2414

Dari Gambar 11, dapat dilihat bahwa prosentase penurunan nilai BOD untuk berbagai variasi perbandingan antara penurunan dasar saluran dan kedalaman aliran di bagian hulu ($\Delta Z/h_1$) meningkat, seiring dengan meningkatnya bilangan Froude. Peningkatan prosentase penurunan ini disebabkan karena aliran berubah menjadi subkritik dimana kedalaman aliran di bagian hilir mengalami peningkatan dan kecepatan aliran menurun. Selain itu, dengan meningkatnya nilai $\Delta Z/h_1$, menggambarkan bahwa terjadi peningkatan terjunan pada bagian hilir saluran. Hal ini akan mempengaruhi kondisi aliran di hulu dan di hilir. Jika kedalaman aliran meningkat, koefisien degradasi dasar menurun, kondisi demikian akan mempengaruhi proses degradasi nilai BOD.

Penurunan BOD untuk loncatan hidraulik pada ekspansi yang tiba-tiba.

Kadar BOD pada limbah cair tahu yang telah mengalami loncatan hidraulik pada ekspansi yang tiba-tiba dapat dilihat pada Tabel 2, sedangkan prosentase penurunan BOD dapat dilihat pada Gambar 12.

Dari Gambar 12, dapat dilihat bahwa prosentase penurunan nilai BOD untuk berbagai variasi perbandingan antara lebar saluran di hulu (b) dan lebar saluran di hilir (B) cenderung mengalami peningkatan (b/B) meningkat, seiring dengan meningkatnya bilangan Froude. Peningkatan prosentase penurunan ini disebabkan karena aliran berubah menjadi subkritik dimana kedalaman aliran di bagian hilir mengalami peningkatan dan kecepatan aliran menurun. Selain itu, dengan meningkatnya nilai b/B, menggambarkan bahwa terjadi peningkatan lebar saluran di bagian hilir. Hal ini akan mempengaruhi kondisi aliran di hulu dan di hilir. Jika kedalaman aliran meningkat,

koefisien degradasi dasar menurun, kondisi demikian akan mempengaruhi proses degradasi nilai BOD.

Pembahasan

Berdasarkan hasil analisa masing-masing untuk loncatan hidraulik pada terjunan yang tiba-tiba dan loncatan hidraulik pada ekspansi yang tiba-tiba dapat diketahui bahwa kondisi aliran di hulu dan di hilir akan mengalami perubahan. Analisa yang dilakukan yaitu dengan memperlakukan aliran di hulu sebagai aliran superkritik dimana bilangan Froude lebih besar dari 1. Dengan mengubah-ubah tampang saluran, yaitu dengan menurunkan dasar saluran sebesar ΔZ dan juga memperlebar saluran dari b menjadi B , akan mengakibatkan perubahan kedalaman dan kecepatan aliran di hilir saluran. Untuk kasus diatas, kedalaman aliran meningkat sedangkan kecepatan aliran menurun, kondisi tersebut akan mempengaruhi proses degradasi BOD.

Prosentase penurunan kadar BOD paling besar bagi limbah cair tahu yang telah mengalami loncatan hidraulik pada terjunan yang tiba-tiba untuk masing-masing bilangan Froude adalah untuk kondisi $\Delta Z/h_1 = 0,8$ yaitu dari 0,0134 % sampai 0,0237 %. Pada kondisi tersebut, nilai kecepatan aliran di hilir adalah paling kecil, sedangkan kedalaman aliran adalah paling besar. Sementara prosentase penurunan kadar BOD paling besar bagi limbah cair tahu yang telah mengalami loncatan hidraulik pada ekspansi yang tiba-tiba untuk masing-masing bilangan Froude adalah untuk kondisi $b/B = 0,4$ yaitu dari 0,0589 % sampai 0,0733 %.

Berdasarkan baku mutu air limbah, kadar BOD untuk limbah cair tahu yang telah mengalami loncatan hidraulik pada terjunan maupun ekspansi yang tiba-tiba masih belum memenuhi meskipun telah mengalami penurunan. BOD limbah cair tahu yang telah mengalami loncatan hidraulik pada terjunan maupun ekspansi yang tiba-tiba, untuk bilangan Froude dari 2 sampai 18 berturut-turut adalah 5569,916693 mg/L sampai 5569,779468 mg/L dan 5566,916554 mg/L sampai 5570,999943 mg/L.

KESIMPULAN

Dari hasil kajian dapat disimpulkan bahwa:

1. Loncatan hidraulik pada terjunan maupun ekspansi yang tiba-tiba menyebabkan perubahan kedalaman dan kecepatan aliran yang berpengaruh dalam proses penurunan kadar BOD limbah cair tahu.
2. Prosentase penurunan BOD pada limbah cair tahu yang mengalami penurunan paling besar untuk bilangan Froude dari 2 sampai 8 adalah pada $\Delta Z/h_1 = 0,8$ yaitu dari 0,0134 % sampai 0,0237 % dan pada $b/B = 0,4$ yaitu dari 0,0589 % sampai 0,0733 %.
3. Kadar BOD limbah cair tahu yang telah mengalami loncatan hidraulik pada terjunan maupun ekspansi yang tiba-tiba, untuk bilangan Froude dari 2 sampai 8 berturut-turut adalah 5569,916693 mg/L sampai 5569,779468 mg/L dan 5566,916554 mg/L sampai 5570,999943 mg/L.

DAFTAR PUSTAKA

- Angelica Alimsyah, Alia Damayanti, (2013), *Penggunaan Arang Tempurung Kelapa dan Eceng Gondok untuk Pengolahan Air Limbah Tahu dengan Variasi Konsentrasi*, JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 2, No. 1, (2013) ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print).
- Fajrin Anwari, dkk, (2011), *Studi Penurunan Kadar Bod, Cod, Tss Dan pH Limbah Pabrik Tahu Menggunakan Metode Aerasi Bertingkat*, Prestasi, Volume 1, Nomor 1, Desember 2011 ISSN 2089-9122.
- Jasmianti, dkk, (2010), *Bioremediasi Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Efektif Mikroorganisme (Em4)*, Journal of Environmental Science, ISSN 1978-5283.
- Ranga Raju, K.G., (1986), *Aliran Melalui Saluran Terbuka*, Terjemahan, Jakarta, Penerbit Erlangga.
- Thomann, R.V & Mueller, J.A., (1987), *Principles of Surface Water Quality Modelling And Control*, Manhattan College, Harper Collins Publishers.

Ven Te Chow, (1997), *Hidrolika Saluran Terbuka*, Terjemahan, Jakarta, Penerbit Erlangga.

Wignyosukarto, B., (1988), *Hidrolika Saluran Terbuka*, Kursus Singkat "Hidrodinamika Sungai dan Estuari", Yogyakarta, PAU Ilmu Teknik UGM.

PENULIS:

Ratna Septi Hendrasari

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains & Teknologi, Universitas Teknologi Yogyakarta, Jalan Ringroad Utara, Jombor, Sleman, 55285.

Email: ratnasepti.h@gmail.com