

**PENGUNAAN TANAMAN AIR *Azolla pinnata* SEBAGAI BIOFILTER
PADA PERANCANGAN PENGOLAHAN LIMBAH CAIR TAHU PADA
SKALA UKM**

Waste Water Processing Planning Unit of Tofu Using Azolla pinnata as A Biofilter

M.Hindun Pulungan, Wignyanto, Ety Inggriani

Jurusan Teknologi Industri pertanian, FTB, FTP
Universitas Brawijaya, Malang

ABSTRACT

The aim of this research is to find out degradation contamination level of tofu waste water usage effect of Azolla pinnata as a biofilter, is later than planning unit processing of waste for middle industry, planning operating and levying cost of waste water processing unit. Research method which used is quantitative and qualitative method. Besides to determine criterion of design for facility for the unit of processing tofu waste water, like filtration, precipitation, and oxidation ditch, and channel between basin. The next is calculation levying and operation cost of tofu waste water processing unit.

Planning of unit processing of waste water from calculation result got channel 10 m length, 0,5 m width, and 0,65 m depth, for sedimentation basin 1 m length, 1 m width and 2 m depth. Need 6 oxidation ditch for the one which 8 m length, 3 m width, and 1 m depth. Azolla pinnata needs 6 days for tofu waste water degradation optimally which detention time for each ditch is 2 days.

The result of calculation with density of Azolla pinnata oxidation ditch counted 20 g/cm², can degrade rate of BOD from 2120 mg/l become 75,69 mg/l (96,42%), value of COD 1012,8 mg/l become 192,81 mg/l (80,96%), value of N-Total alight from 24,93 mg/l become 4,9 mg/l (80,34%), P-Total of value 17,9 mg/l become 3,97 mg/l (77,82%), and pH of value 4,28 experiencing of improvement become 8,06 (88,31%), and also DO from 1,4 mg/l become 2,56 mg/l (82,85%). Base on cost analysis got result that the development unit processing of tofu waste water, factory owner is encumbered expense for fixed capital equal to Rp 14.777.750,50. the biggest expenditure of fixed capital is the expense of making oxidation pool, that is equal to Rp 11.315.520,00. At operational expenses processing of tofu waste, factory owner also will encumbered the expense of equal to Rp 17.567.000,00 / year. The biggest expenditure of operating expenses is labor cost that is Rp 13.560.000,00 / year.

Keywords : *Planning processing unit of waste, waste water of tofu, Azolla pinnata.*

PENDAHULUAN

Limbah cair tahu mengandung bahan organik yang tidak bisa mengendap secara alami. Bahan organik dalam air limbah tahu apabila terurai akan menimbulkan bau dan mengambil oksigen dari badan air penerima. Limbah cair tahu disamping mengandung bahan organik juga tercemar asam asetat (asam cuka) yang terlarut dalam air sehingga menyebabkan air limbah bersifat asam. Dijelaskan juga bahwa air limbah tahu berwarna putih keruh kekuningan dengan pH 3-4, BOD 6000-8000 mg/L, dan TSS 688-703 mg/L (Moertinah, 1994). Salah satu cara yang digunakan untuk menurunkan kadar pencemar pada limbah cair tahu adalah menggunakan tanaman air, dalam hal ini *Azolla pinnata* sebagai biofilter.

Azolla pinnata dapat tumbuh secara efektif dengan menggunakan nutrisi penting yaitu nitrogen (dalam nitrat) dan fosfor (dalam fosfat), yang terkandung cukup banyak dalam limbah cair tahu. Nitrogen dan fosfor merupakan produk akhir dari metabolisme bakteri yang selanjutnya akan digunakan oleh *Azolla pinnata* untuk pertumbuhannya. Adanya aktivitas fotosintesis *Azolla pinnata*, akan dihasilkan oksigen yang kemudian digunakan bakteri aerob untuk melakukan metabolisme.

Dari hasil penelitian Setyani (1999), diketahui bahwa dengan menggunakan tanaman air *Azolla pinnata* sebagai biofilter pada proses pengolahan limbah tahu dengan waktu tinggal atau *detention time* 2 hari dalam reaktor atau media berbentuk silinder berdiameter 17 cm dapat menurunkan nilai BOD, COD, N-total, P-total, dan meningkatkan nilai pH. Penurunan nilai dari parameter-parameter tersebut optimal pada kedalaman 6 cm dan kepadatan *Azolla pinnata* pada media tanam 20 g/cm². Kondisi tersebut dapat menurunkan kadar BOD dari 2120 mg/l menjadi 75,69 mg/l, nilai COD 1012,8mg/l mengalami penurunan menjadi 192,81 mg/l, nilai N-total turun dari 24,93 mg/l menjadi 4,9 mg/l, P-total dari nilai 17,9 mg/l mengalami penurunan menjadi 3,97 mg/l, dan pH dari nilai 4,28 mengalami peningkatan menjadi 8,06, serta DO dari 1,4 mg/l menjadi 2,56 mg/l.

Keuntungan yang didapatkan dengan penggunaan tumbuhan air sebagai biofilter adalah instalasi yang dibutuhkan relatif sederhana, sehingga pengadaan dan pengoperasiannya mudah. Penggunaan tumbuhan air juga tidak memerlukan biaya operasional yang relatif tinggi, sehingga diharapkan industri kecil pembuatan tahu skala menengah dapat memanfaatkannya sebagai pengganti sistem konvensional.

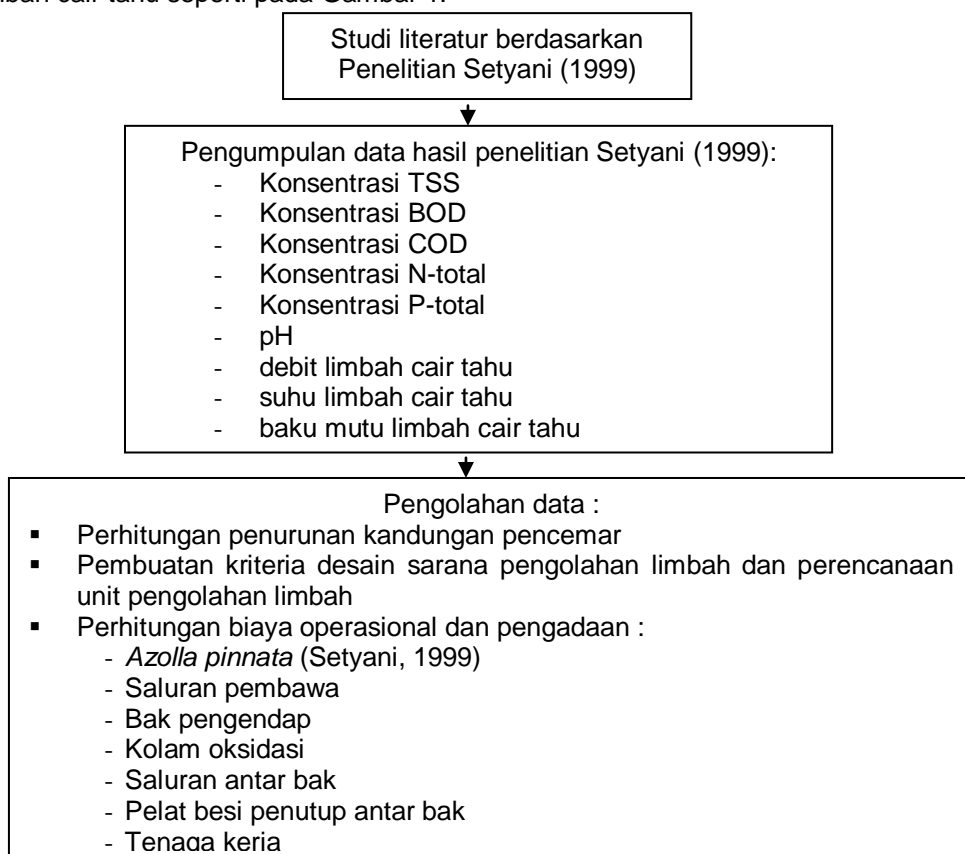
Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui tingkat penurunan pencemaran limbah cair tahu akibat penggunaan *Azolla pinnata* sebagai biofilter untuk kemudian direncanakan unit pengolahan limbah untuk industri menengah, serta merencanakan kebutuhan biaya operasional pengadaan unit pengolahan tersebut.

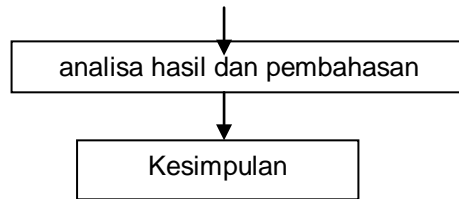
Diharapkan dari penelitian yang dilakukan memberikan beberapa manfaat, yaitu sebagai salah satu alternatif pengolahan limbah tahu sebelum dibuang ke badan air penerima, sehingga mengurangi pencemaran lingkungan terutama air, dan membantu pemecahan permasalahan pengolahan limbah cair, terutama limbah cair tahu yang selama ini langsung dibuang ke badan air tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu.

METODOLOGI PENELITIAN

Prosedur Penelitian

Prosedur atau tahapan penelitian yang dilakukan pada perencanaan unit pengolahan limbah cair tahu seperti pada Gambar 1.





Gambar 1. Prosedur Penelitian

Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada permasalahan sebagai berikut :

1. Jenis limbah yang dikaji adalah limbah cair tahu
2. Dilakukan pembahasan tentang perencanaan unit pengolahan secara teoritis.
3. Kebutuhan lahan untuk unit pengolahan limbah cair tahu dengan menggunakan tanaman *Azolla pinnata* sebagai biofilter minimal adalah 250 m².
4. Tidak membahas pemanfaatan tanaman air *Azolla pinnata* setelah digunakan sebagai biofilter.
5. Tidak membahas tentang AMDAL.
6. Kondisi kolam oksidasi diasumsikan sama.

Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dibutuhkan diperoleh dari pihak – pihak yang terkait atau berwenang, sehingga data yang didapat dapat dijadikan acuan dalam perencanaan fasilitas unit pengolahan limbah cair tahu. Data – data yang dibutuhkan meliputi :

- a. Debit limbah cair tahu yang dihasilkan oleh pabrik setiap harinya
Banyaknya air limbah yang keluar dari proses pengolahan yang dinyatakan dalam m³ per detik.
- b. Parameter pencemar limbah cair tahu
Meliputi COD, BOD₅, TSS, DO, N - total, P - total, pH, dan suhu air limbah. Data mengenai parameter TSS, BOD, COD, N-total, P-total, pH, dan DO diperoleh dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Setyani (1999).
- c. Suhu udara
Sebagai data penunjang pelaksanaan pekerjaan perhitungan pada sarana pengolahan limbah cair tahu yang memanfaatkan aktivitas bakteri dalam menetralkan senyawa organik. Suhu rata-rata disekitar lokasi didapatkan dari Badan Meteorologi dan Geofisika Kota/ Kabupaten Malang, yaitu sebesar 23,6⁰C.

Metode Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan dua cara, yaitu :

- a. Secara kualitatif, yaitu terhadap kualitas limbah cair tahu pada masing–masing unit pengolahan limbah, *influent*, dan *effluent* yang dihasilkan berdasarkan parameter TSS, BOD, COD, N-total, P-total, DO, serta pH hingga didapatkan hasil yang sesuai dengan standar baku mutu limbah cair tahu yang telah ditetapkan oleh pemerintah, yaitu berdasarkan Surat Keputusan Gubernur Tingkat I Jawa Timur No. 136 tahun 1994.
 - b. Secara kuantitatif, yaitu penentuan persentase (efektivitas) penurunan konsentrasi BOD, COD, N-total, P-total, serta penentuan peningkatan konsentrasi pH dan DO.
- Persentase penurunan BOD, COD, N-total, dan P-total dihitung dengan cara :

$$\% \text{ penurunan} = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

Keterangan :

C_o : hasil analisis kandungan pencemar awal (mg/l)

C_e : hasil analisis kandungan pencemar akhir (mg/l)

- Efektivitas keseluruhan untuk penurunan BOD, COD, N-total, dan P-total (Ritmann and Mc. Carty, 2001).

$$\text{Removal Effectiveness} = \frac{S_o - S_e}{S_o} \times 100\%$$

Keterangan :

Removal Effectiveness : efektivitas penurunan konsentrasi kandungan pencemar (%)

S_o : konsentrasi pencemar pada masukan (*inffluent*)

S_e : konsentrasi pencemar pada keluaran (*Effluent*)

- Efektivitas peningkatan konsentrasi pH dan DO

$$\text{Efektivitas peningkatan pH} = \left| \frac{S_o - S_e}{S_o} \right| \times 100\%$$

Keterangan :

S_o : kandungan (konsentrasi) pH yang masuk

S_e : kandungan (konsentrasi) pH yang keluar

$$\text{Efektivitas peningkatan DO} = \left| \frac{S_o - S_e}{S_o} \right| \times 100\%$$

Keterangan :

S_o : kandungan (konsentrasi) DO yang masuk

S_e : kandungan (konsentrasi) DO yang keluar

Kapasitas Saluran

Kapasitas saluran diukur dengan menggunakan rumus kontinuitas dan rumus Manning, karena aliran dalam saluran bukan merupakan aliran tekan sehingga rumus aliran seragam tetap berlaku. Perhitungan kapasitas saluran juga tidak memperhitungkan adanya endapan sedimen dan kotoran atau sampah. Adapun rumus kontinuitas dan Manning (Chow, 1992) adalah sebagai berikut :

Kontinuitas : $Q = A \cdot V$

Manning : $v = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$

$$R = \frac{A}{P}$$

Keterangan :

Q : debit (m^3/dt)

v : kecepatan aliran didalam saluran (m/dt)

A : luas penampang basah (m^2)

P : keliling basah saluran (m)

R : jari – jari hidrolis (m)

n : koefisien kekasaran manning

S : kemiringan dasar saluran

Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran minimum yang diijinkan yaitu kotoran padat harus hanyut, untuk menghindari pengendapan dari kotoran padat dan tumbuhnya tanaman akuatik. Kecepatan minimum adalah 5 cm/dt (0,05 m/dt) (Suhardjono, 1994). Kecepatan maksimum adalah kecepatan rata – rata terbesar yang tidak boleh mengakibatkan pengikisan terhadap saluran.

Untuk kecepatan aliran yang diijinkan berdasarkan jenis material maksimum adalah kecepatan rata – rata terbesar yang tidak boleh mengakibatkan pengikisan terhadap saluran. Bahan bangunan saluran ditentukan oleh besarnya kecepatan rencana aliran air yang akan melewati saluran.

Batas kondisi aliran ditentukan berdasarkan bilangan Reynold (Chow, 1992) yaitu

:

$Re < 2000$ (aliran laminar)

$Re > \sim$ (aliran turbulen)

Persamaan bilangan Reynold yang dipakai adalah :

$$Re = \frac{VR}{\nu}$$

Keterangan :

R : jari – jari hidrolis (m)

$$: \frac{A}{P}$$

A : luas penampang basah (m²)

P : keliling basah (m)

V : kecepatan aliran dalam saluran (m/dt)

ν : koefisien kekentalan kinematik (m²/dt)

Kemiringan Saluran

Kemiringan saluran menurut Yuwono (1994), adalah sebagai berikut :

$$S = \left(\frac{V \cdot n}{\left(\frac{b \cdot h}{b + b \cdot h} \right)^{2/3}} \right)^2$$

keterangan :

S : kemiringan saluran (m)

V : kecepatan aliran didalam saluran (m/ detik)

B : lebar saluran (m)

H : kedalaman (m)

➤ Kehilangan tekanan menurut Yuwono (1994), sebagai berikut :

$$H_f = P \times S \times \frac{V^2}{2g}$$

Keterangan :

H_f : kehilangan tekanan (m/dt)

P : panjang saluran dari keluaran perusahaan (m)

S : kemiringan saluran (m)

V : kecepatan aliran (m/dt)

g : ketetapan gravitasi

Bak Pengendapan

Pada penentuan bak pengendap dilakukan perhitungan terhadap kapasitas bak pengendap dengan memperhatikan beberapa hal seperti :

a. Besarnya kecepatan rata – rata mengendap partikel (v_s) ke arah bawah adalah persamaan (Eckenfelder, 1996) :

$$V_s = \frac{\rho_s - \rho_t}{18 \nu} g D^2$$

Keterangan :

V_s : kecepatan pengendapan (m/dt)

ρ_s : berat jenis partikel (g/ml)

ρ_t : berat jenis cairan (g/ml)

ν : koefisien kekentalan kinematik limbah cair pada T°C.

g : percepatan gravitasi = 9,8 m/dt²

D : diameter partikel (m)

b. Kecepatan maksimum (V_m) yang diijinkan untuk mencegah naiknya sedimen dan pengikisan pada bak pengendapan (Punmia, 1997) adalah menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V_m = V_s \left[\frac{\beta}{f} \right]^{1/2}$$

Keterangan :

V_m : kecepatan maksimum partikel mengendap (m/dt)

V_s : kecepatan partikel mengendap (m/dt)

f : faktor gesekan Weisbach – Darcy = 0,025 untuk bak pengendapan

- c. Besarnya kecepatan horizontal (V_d) adalah kecepatan aliran limbah yang memungkinkan partikel bergerak secara horizontal ke arah bawah sebagai akibat adanya gaya gravitasi. Persamaan yang digunakan adalah (Droste, 1997) :

$$V_d = \frac{Q}{B \cdot H}$$

Keterangan :

V_d : kecepatan aliran horizontal (m/dt)

Q : debit air limbah (m^3/dt)

B : lebar bak pengendapan (m)

H : tinggi bak pengendapan (m)

Agar partikel mendapat kesempatan mengendap pada daerah pengendapan, maka harus memenuhi syarat :

$$B L > \frac{Q}{V_s}$$

- d. Waktu tinggal

Untuk menghitung waktu tinggal air limbah dalam bak pengendapan pertama digunakan rumus (Droste, 1997) :

$$t_d = \frac{L B H}{Q}$$

keterangan :

t_d : waktu tinggal limbah dalam bak pengendap (dt)

L : panjang bak pengendap (m)

B : lebar bak pengendap (m)

H : tinggi bak pengendapan (m)

Q : debit limbah cair (m^3/dt)

Kolam Oksidasi

Air limbah yang telah melewati bak pengendap kemudian dialirkan ke kolam oksidasi untuk memulai proses pengolahan secara biologi selama 2 hari secara kontinyu. Kolam oksidasi dipengaruhi oleh suhu dari air limbah yang masuk kolam dan suhu udara bebas. Persamaan berikut dapat dipergunakan untuk mengestimasi dengan maksud mendimensi kolam oksidasi (Eckenfelder, 1996) :

$$T_i = \frac{D \cdot T_w + f \cdot t \cdot T_a}{f \cdot t + D}$$

Keterangan :

t : waktu penahanan (hari)

D : kedalaman kolam (m)

T_i : suhu air limbah ($^{\circ}C$)

T_a : suhu udara rata – rata ($^{\circ}C$)

T_w : suhu dalam kolam ($^{\circ}C$)

f : faktor angka penyesuaian karena pengaruh angin dan kelembapan (0,5)

Semua proses pengolahan secara biologi tergantung pada suhu. Laju reaksi dari proses biologi akan bertambah dengan suhu sekitar 4 sampai $39^{\circ}C$. pada suhu tersebut kebanyakan mikroorganisme bekerja dengan baik.

Dimensi atau ukuran kolam oksidasi sendiri ditentukan berdasarkan volume limbah yang keluar dari bak pengendapan. Rumus yang digunakan adalah (Eckenfelder,1996):

$$V = Q \times t_d$$

Keterangan :

V : volume limbah (m^3)

Q : debit limbah (m^3/dt)

t_d : waktu tinggal air limbah pada bak pengendapan (dt)

Analisa Biaya

Analisa biaya yang dilakukan meliputi modal tetap, yaitu biaya-biaya yang harus dikeluarkan untuk membiayai pendirian fasilitas pengolahan limbah cair, dan biaya operasional yaitu biaya-biaya yang harus dikeluarkan agar fasilitas dapat beroperasi selama periode waktu tertentu. Berdasarkan analisa biaya tersebut, dapat diketahui seberapa besar biaya yang akan membebani perusahaan dengan adanya fasilitas pengolahan limbah cair tahu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Limbah Cair Tahu

Limbah cair tahu mengandung protein, karbohidrat, lemak, dan zat-zat mineral seperti kalium, fosfor, magnesium, dan sebagainya yang berasal dari sisa-sisa bubur kedelai. Limbah ini berwarna putih keruh kekuningan, berbuih, dan berbau rebusan kedelai jika masih segar.

Dari analisis yang dilakukan oleh Setyani (1999) pada air limbah tahu, didapatkan data – data seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Limbah Cair Tahu

Materi	Karakteristik Awal	Keluaran (<i>Effluent</i>)
Warna	Putih keruh kekuningan	-
Bau	Berbau rebusan kedelai	-
Suhu	32°C	21,97°C
pH	4,28	8,06
DO	1,4 (mg/l)	2,56 mg/l
TSS	480 (mg/l)	-
BOD	2120 (mg/l)	75,69 mg/l
COD	1012,8 (mg/l)	192,81 mg/l
N-total	24,93 mg/l	4,9 mg/l
P-total	17,9 mg/l	3,97 mg/l

Sumber : Setyani (1999)

Kualitas limbah cair tahu masukan merupakan kualitas limbah cair tahu dari proses pembuatan tahu yang masuk ke dalam unit pengolahan limbah. Kualitas masukan dari limbah cair tahu masih belum memenuhi standar baku mutu limbah cair tahu, sehingga perlu diolah lebih lanjut agar aman jika di buang ke lingkungan atau badan air penerima.

Perencanaan Unit Pengolahan Limbah Cair Tahu Saluran Pembawa (Selokan)

Ukuran untuk saluran pembawa dari hasil perhitungan pada rencana adalah panjang saluran 10 m, lebar saluran 0,5 m, kedalaman saluran 0,65 m dengan kedalaman awal 0,4 m ditambah *free board* 0,25 m. Penambahan *free board* adalah untuk mengantisipasi kelebihan debit air yang lewat saluran pembawa akibat adanya air hujan.

Dari hasil perhitungan kapasitas saluran pembawa, debit yang keluar dari saluran adalah sebesar $0,058 m^3/dt$, sehingga kapasitas saluran yang dibuat dipandang cukup untuk menampung aliran air limbah yang melewati saluran.

Kehilangan tekanan yang dialami oleh saluran pembawa adalah $2,66 \cdot 10^{-5} m$. Kehilangan tekanan diakibatkan oleh adanya gesekan antara limbah cair tahu yang memiliki nilai kekentalan kinematik (ν) sebesar $7,72 \cdot 10^{-7}$ pada suhu 32°C bergesekan

dengan dinding saluran pembawa. Sesuai dengan pernyataan Yuwono (1994), bahwa kehilangan tenaga terjadi karena tiap zat cair biasa (memiliki kekentalan) terjadi gesekan antara zat cair dengan dinding pipa dan atau antara zat cair dengan zat cair itu sendiri.

Kondisi aliran pada saluran dengan bilangan Reynold, didapatkan hasil (Re) sebesar 69.948,18, dimana nilai tersebut > 2000 , sehingga dikatakan bahwa jenis aliran yang ada pada saluran adalah aliran turbulen. Maksud dari aliran turbulen adalah aliran yang setiap partikel dari zat cair yang melewati saluran (mengalir) saling bercampur atau bertumbukan (Yuwono, 1994). Kondisi aliran turbulen juga menunjukkan bahwa saluran tersebut aman terhadap bahaya pengendapan didasar saluran. Hal ini sesuai dengan pernyataan Chow (1992), bahwa aliran turbulen adalah gaya kekentalan relatif lemah dibandingkan dengan gaya kelebamannya, sehingga butir-butir air bergerak menurut lintasan yang tak teratur dan tak tetap, tetapi masih tetap menunjukkan gerak maju dalam aliran secara keseluruhan. Dari perhitungan kondisi aliran dengan menggunakan bilangan Froude, didapatkan nilai Fr 0,11. Karena mempunyai nilai Fr kurang dari 1, maka aliran dalam saluran termasuk aliran sub-kritis. Dikatakan aliran sub-kritis karena peranan gaya gravitasi yang lebih besar, sehingga aliran mempunyai kecepatan rendah dan sering dikatakan tenang.

Penyaringan

Penyaringan bahan padat dapat menggunakan bahan saringan kasar dengan lubang sebesar 50 mm atau lebih, saringan menengah dengan lubang antara 12 – 40 mm, dan saringan halus dengan lubang antara 1,6 sampai 3 mm. Salah satu komponen saringan kasar yang dapat digunakan adalah jeruji besi (Franzini, 1991).

Jeruji dalam pengolahan unit pengolahan limbah adalah berfungsi selain untuk menyaring atau untuk memisahkan benda-benda terapung yang besar dari air limbah, juga untuk mencegah penyumbatan pada pompa, kerusakan pada klep, saluran, dan peralatan lain dalam unit pengolahan limbah (Metcalf and Eddy, 1991).

Berdasarkan hasil perhitungan, dibutuhkan jeruji sebanyak 62 buah, lebar bukaan total sebesar 0,15 m/dt, $H_v = 0,028$ m, dan kehilangan tekanan adalah sebesar $3,9 \cdot 10^{-3}$ m. Sesuai dengan pernyataan Linsley dan Franzini (1991) bahwa untuk saringan kasar (jarak antar batang 0,005 m) dan menengah (0,0012 – 0,004 m) kecepatan aliran melalui lubang tidak boleh lebih dari 1 m/dt, sehingga kehilangan tekanan dan kehilangan percepatan tidak terlalu besar yang dapat mengurangi terdorongnya bahan yang harus disaring.

Bak Pengendapan

Sebelum menentukan ukuran dari bak pengendapan, terlebih dahulu dilakukan perhitungan terhadap kecepatan aliran pemasukan dari saluran pembawa ke bak pengendapan. Dari hasil perhitungan, didapatkan kecepatan aliran yang melewati lubang adalah = 0,136 m/dt dengan segi empat dan ketinggian = 0,057 m. Berdasarkan kecepatan aliran yang diijinkan sesuai dengan jenis material yaitu untuk jenis bahan pasangan beton sebesar 1,5 m/dt (Suhardjono, 1994), maka kecepatan aliran melewati lubang yang direncanakan sesuai dengan literatur yaitu $0,136 \text{ m/dt} < 1,5 \text{ m/dt}$.

Ukuran bak pengendapan yang direncanakan berdasarkan proses perhitungan didapatkan ukuran panjang = 1 m, lebar = 1 m, dan tinggi = 2 m dan kemiringan dasar bak pengendapan adalah 5° .

Kecepatan pengendapan terdiri dari kecepatan aliran horizontal, kecepatan pengendapan, dan kecepatan maksimum. Kecepatan aliran horizontal (V_d) yaitu $6,75 \cdot 10^{-4}$ m/dt, kecepatan pengendapan (V_s) = $1,58 \cdot 10^{-3}$ m/dt, dan kecepatan pengendapan maksimum (V_m) = 0,028 m/dt. Data tersebut menunjukkan nilai V_s lebih besar dari V_d , tetapi lebih kecil dari V_m yang mengakibatkan partikel mengendap secara keseluruhan. Sesuai dengan pernyataan Ginting (1995), bahwa partikel akan mengendap secara keseluruhan pada zona pengendapan jika (V_s) lebih besar dari kecepatan horizontal dan lebih kecil dari kecepatan maksimum (V_m).

Kecepatan pengendapan partikel limbah cair tahu juga dipengaruhi oleh kondisi aliran. Dari hasil perhitungan kondisi aliran dengan menggunakan bilangan didapatkan nilai bilangan Froude atau Fr sebesar $3,67 \cdot 10^{-3} < 1$, berarti bahwa kondisi aliran cenderung tenang. Hal ini sesuai dengan pernyataan Muslikha (2005), bahwa jika aliran

limbah cair tahu yang melewati bak pengendapan lambat, maka padatan tersuspensi akan lebih cepat mengendap karena kondisi air yang lebih tenang. Jika kondisi aliran dilihat dari bilangan Reynold, maka aliran termasuk dalam aliran laminar, karena mempunyai nilai $Re\ 1023,31 < 2000$. Dikatakan aliran laminar karena gaya kekentalan relatif sangat besar dibandingkan gaya kelembaman, sehingga kekentalan berpengaruh terhadap sifat aliran (Chow, 1992).

Waktu tinggal yang dibutuhkan oleh partikel untuk mengendap secara sempurna pada bak pengendapan yang direncanakan adalah 0,41 jam. Waktu tinggal limbah cair tahu dalam bak pengendapan sangat dipengaruhi oleh volume bak pengendapan. Makin besar volume bak pengendapan, maka waktu yang diperlukan untuk mengendap sepanjang zona pengendap semakin lama.

Kandungan BOD pada bak pengendapan mengalami penurunan dari 2120 mg/l menjadi 1637,69 mg/l atau mengalami penurunan sebesar 22,75%. Kandungan BOD turun karena bahan organik yang ada dalam air limbah cair tahu berkurang. Penurunan bahan organik tersebut bisa diakibatkan adanya bahan organik yang didegradasikan oleh bakteri menjadi flok-flok dan akan mengendap. Menurunnya kandungan bahan organik dalam limbah cair tahu serta berkurangnya jumlah mikrobia yang ada pada limbah cair tahu, maka kebutuhan oksigen oleh mikroorganisme yang ada dalam limbah cair tahu untuk mendegradasikan bahan-bahan organik semakin kecil sehingga BOD dari limbah cair tahu menjadi turun.

Nilai COD pada bak pengendapan mengalami penurunan dari 1012,8 mg/l menjadi 543,58 mg/l atau 46,82%. Penurunan kandungan COD dalam limbah cair tahu dipengaruhi oleh penurunan bahan organik pada air limbah. Penurunan kandungan bahan organik terjadi karena didegradasikan oleh bakteri, sehingga membentuk flok yang ikut mengendap dengan partikel zat tercampur. Menurunnya bahan organik akan meningkatkan kandungan oksigen terlarut, sehingga menurunkan nilai COD.

Nilai N-total pada pengendapan mengalami penurunan dari 24,93 mg/l menjadi 19,59 mg/l atau mengalami penurunan sebesar 21,42%. Penurunan ini disebabkan adanya proses nitrifikasi denitrifikasi oleh bakteri. Pada proses tersebut bakteri membutuhkan karbon, sehingga mengambil dari air limbah (Fishdoc,2004). Adanya pengambilan unsur karbon, mengakibatkan nilai N- total pada limbah cair tahu akan turun. Disamping itu, adanya proses denitrifikasi oleh bakteri akan dihasilkan ion OH^- yang menyebabkan kenaikan nilai pH dari 4,28 menjadi 5,54 atau naik 29,43%.

Penurunan bahan organik dalam limbah cair tahu juga menaikkan nilai DO dari 1,4 mg/l menjadi 1,68 mg/l. Kenaikan nilai oksigen terlarut juga dapat menurunkan kandungan nilai BOD dan COD. Selain itu, kenaikan oksigen terlarut mengakibatkan kualitas limbah cair tahu menjadi lebih baik. Sugiharto (1987), mengemukakan semakin besar nilai oksigen terlarut menunjukkan derajat pengotoran yang relatif kecil. Peningkatan nilai DO pada bak pengendapan juga tidak terlepas dari berkurangnya jumlah total padatan tersuspensi (partikel zat tercampur) pada limbah cair tahu.

Nilai P-total 17,9 mg/l mengalami penurunan menjadi 14,1mg/l atau 29,43%. Penurunan nilai ini dipengaruhi oleh terdegradasinya bahan organik oleh bakteri. Selain itu juga dikarenakan P- organik yang terikat mengendap bersama partikel zat tercampur adanya presipitasi endapan menjadi sedimen, sehingga P-total menjadi turun.

Kolam Oksidasi

Dari hasil perhitungan volume limbah cair tahu didapatkan volume limbah $21\ m^3$, sehingga digunakan ukuran kolam oksidasi yang memiliki ukuran panjang 8 m, lebar 3 m, dan tinggi 1 m ($24\ m^2$). Kelebihan dari ukuran ini digunakan untuk mengantisipasi kelebihan air akibat adanya hujan.

Penurunan BOD dari kolam oksidasi I = 1160,47 mg/l (29,13%), COD 340,19 mg/l (37,41%), Nilai N = 11,58 mg/l (40,88%), Nilai P adalah 8,39 mg/l (40,49%), peningkatan nilai pH 6,61 (19,31%), dan peningkatan nilai DO = 1,68 mg/l (6,32%).

Kolam II nilai BOD = 454,45 mg/l (60,83%), COD = 263,21 mg/l (22,62%), Nilai N adalah 6,37 mg/l (45%), Nilai P = 4,98 mg/l (40,64%), peningkatan nilai pH =7,94 (20,12%), dan peningkatan DO = 2,30 mg/l (36,90%).

Kolam III nilai BOD = 75,69 mg/l (83,34%), COD = 192,81 mg/l (26,74%), nilai N adalah dan 4,9 mg/l (23,07%), nilai P = 3,97 mg/l (52,68%)., peningkatan pH = 8,06 (1,51%), peningkatan DO = 2,56 mg/l (11,30%).

Dari hasil perhitungan tersebut, ukuran untuk 6 kolam oksidasi adalah sama. Menunjukkan bahwa kolam oksidasi yang ada memiliki ukuran yang sama dan diasumsikan memiliki fungsi yang sama. Masing – masing kolam oksidasi berfungsi untuk mendegradasikan bahan organik limbah cair tahu dengan bantuan *Azolla pinnata* sebagai biofilter. Peningkatan pH dan DO disebabkan karena adanya proses nitrifikasi dan denitrifikasi oleh bakteri. Proses nitrifikasi dan denitrifikasi oleh bakteri dibutuhkan karbon dari bahan organik sebagai sumber karbon. Selama proses tersebut dihasilkan ion OH⁻ yang menyebabkan kenaikan pH. Pada penguraian N-organik oleh bakteri dihasilkan ion amonium dengan melepaskan OH⁻. Proses penguraian N-organik menjadi nitrat dan nitrit menjadi gas N₂ bebas yang dapat difiksasi oleh *Azolla pinnata*.

Selain itu juga karena adanya proses fotosintesis oleh *Azolla pinnata*, dirubahnya CO₂ menjadi C₆H₁₂O₆ memerlukan input energi dan hidrogen. Energi diperoleh dari cahaya matahari, sedangkan hidrogen (ion H⁺) diperoleh dari air limbah tahu. Pengambilan ion H⁺ dalam air limbah tersebut akan menaikkan pH (Sawyer, 1998).

Proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme dapat berlangsung karena adanya nutrisi dalam air limbah dan kandungan oksigen terlarut dari hasil fotosintesis *Azolla pinnata* selama berada dalam kolam oksidasi. Bahan organik tersebut diuraikan oleh mikroorganisme menjadi bentuk senyawa atau ion yang siap diserap oleh *Azolla pinnata*, seperti CH₃COO⁻, NO⁻, NH₄⁺, SO₄⁻, dan H₂PO₄⁻ (Fishdoc, 2004). Penurunan BOD, COD, N-total, dan P-total terjadi karena adanya proses penyerapan nutrisi maupun unsur hara (ion-ion) hasil penguraian oleh *Azolla pinnata*, sehingga proses penguraian bahan organik semakin terpacu.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Setyani (1999) pada kondisi optimal yaitu waktu tinggal selama 6 hari dan penggunaan *Azolla pinnata* sebagai biofilter sebanyak 20 g/cm² pada kolam oksidasi didapatkan penurunan tingkat pencemaran limbah cair tahu secara keseluruhan untuk COD sebesar 80,96%, demikian juga dengan kandungan padatan tersuspensi yang dapat diendapkan secara keseluruhan, karena nilai Vs lebih kecil dari Vm dan lebih besar dari Vd. Nilai N-total juga mengalami penurunan sebesar 80,34%, penurunan nilai P-total sebesar 77,82%. BOD juga mengalami penurunan sebesar 96,42%, meskipun nilai ini masih sedikit diatas ambang batas nilai BOD yang diijinkan aman untuk dibuang ke badan air penerima. Untuk nilai pH mengalami peningkatan sebesar 88,31%, juga untuk nilai DO yang meningkat sebesar 82,86%.

Pembuatan kolam oksidasi dengan menggunakan *Azolla pinnata* sebagai biofilter memberikan keuntungan lain, yaitu tidak memerlukan aerasi secara mekanis atau menggunakan aerator untuk meningkatkan oksigen terlarut, karena kebutuhan oksigen terlarut mampu dicukupi oleh *Azolla pinnata* dari hasil fotosintesis yang dilakukannya. Kolam oksidasi yang akan dibangun dirancang dengan sistem *continues* dengan masukan setiap 2 hari sekali sebanyak 21 m³ yang berasal dari proses pengolahan sekunder (bak pengendap) dan dengan volume keluaran yang sama untuk setiap 2 harinya. Keluaran dari kolam oksidasi langsung dibuang ke badan air penerima (sungai).

Kolam oksidasi dibangun dengan model segi empat dan berjumlah 6 buah dan aliran limbah diatur sesuai dengan waktu tinggal yaitu 2 hari (Lampiran 1). Pada kolam oksidasi terdapat dua lubang berbentuk segi empat dengan panjang 0,5 m dan lebar 0,3 m yang akan menyalurkan limbah cair tahu masuk dan keluar kolam. Untuk lubang keluaran kolam, selama limbah dibiarkan 2 hari akan ditutup dengan pelat besi dengan ukuran panjang 0,5 m, lebar 0,3 m, dan berat ± 2 kg.

Secara teknis, aliran kerja untuk pengoperasian kolam oksidasi dapat dilihat pada Lampiran 2. Limbah cair tahu dari bak pengendapan dialirkan masuk menuju kolam oksidasi dengan debit 1,35 m³/detik (39 m³/hari). Setelah limbah tertampung semua pada kolam, kemudian *Azolla pinnata* dimasukkan kedalam kolam. Limbah dibiarkan dikolam oksidasi selama 2 hari. Hal ini dilakukan untuk mengoptimalkan kerja *Azolla pinnata* dalam mendegradasikan bahan-bahan organik dalam limbah cair tahu.

Tenaga kerja yang dibutuhkan pada pengolahan limbah cair tahu dengan sistem kolam oksidasi menggunakan *Azolla pinnata* sebagai biofilter ini sebanyak 2 orang.

Tenaga kerja yang dibutuhkan tidak harus memiliki keahlian khusus, karena pengoperasian unit pengolahan limbah cair tahu ini relatif mudah dan tidak memerlukan orang dengan keahlian tertentu, serta dapat dilakukan oleh setiap orang.

Tugas dari tenaga kerja tersebut antara lain adalah mengatur pembuangan air limbah, mengambil dan membuang endapan, dan mengatur aliran air dari satu kolam oksidasi ke kolam oksidasi (membuka dan menutup pelat besi). Selain itu juga melakukan perawatan terhadap fasilitas pengolahan limbah cair tahu yang ada.

Biaya Perencanaan Unit Pengolahan Limbah Cair Tahu

Berdasarkan analisis biaya pada Lampiran 10, dapat diketahui bahwa untuk pembangunan unit pengolahan limbah cair tahu, pemilik pabrik akan terbebani biaya untuk modal tetap sebesar Rp 14.777.750,50. Pengeluaran terbesar untuk modal tetap adalah biaya pembuatan kolam oksidasi, yaitu sebesar Rp 11.315.520,00. Pada biaya operasional unit pengolahan limbah cair tahu, pemilik industri juga akan terbebani biaya sebesar Rp 17.567.000,00 per tahun. Pengeluaran terbesar untuk biaya operasional adalah biaya tenaga kerja, yaitu Rp 13.560.000,00 per tahun.

Biaya pengadaan dan pengoperasian unit pengolahan limbah tahu tersebut, untuk industri skala menengah dapat direalisasikan oleh masing – masing unit usaha, dengan syarat lahan yang dimiliki mencukupi untuk pengadaan unit pengolahan limbah cair tahu.

Untuk industri skala kecil dan mikro, unit pengolahan limbah tahu dapat direalisasikan dengan menggunakannya secara terpusat. Artinya bahwa satu unit pengolahan limbah dapat digunakan oleh beberapa unit usaha, sehingga biaya pengadaan dan operasional unit pengolahan limbah cair tahu tersebut lebih murah bagi masing – masing unit usaha dan lebih efektif.

KESIMPULAN DAN SARAN

Perencanaan unit pengolahan limbah berdasarkan hasil perhitungan didapatkan saluran memiliki ukuran panjang 10 m, lebar 0,5 m, dan tinggi 0,65 m. Ukuran bak pengendap adalah panjang 1 m, lebar 1 m, dan tinggi 2 m. Kolam oksidasi diperlukan 6 buah kolam oksidasi dengan ukuran kolam oksidasi adalah panjang 8 m, lebar 3 m dan tinggi 1 m. Waktu optimal yang dibutuhkan untuk mendegradasi limbah cair tahu oleh *Azolla pinnata* adalah 6 hari dengan waktu tinggal pada masing-masing kolam adalah 2 hari.

Berdasarkan hasil perhitungan dengan kepadatan *Azolla pinnata* pada kolam oksidasi sebanyak 20 g/cm², dapat menurunkan kadar BOD dari 2120 mg/l menjadi 75,69 mg/l (96,42%), nilai COD 1012,8mg/l mengalami penurunan menjadi 192,81 mg/l (80,96%), nilai N-total turun dari 24,93 mg/l menjadi 4,9 mg/l (80,34%), P-total dari nilai 17,9 mg/l mengalami penurunan menjadi 3,97 mg/l (77,82%), dan pH dari nilai 4,28 mengalami peningkatan menjadi 8,06 (88,31%), serta DO dari 1,4 mg/l menjadi 2,56 mg/l (82,85%).

Berdasarkan analisis biaya didapatkan hasil bahwa untuk pembangunan unit pengolahan limbah cair tahu, pemilik pabrik akan mengeluarkan biaya untuk modal tetap sebesar Rp 14.777.750,50 Pengeluaran terbesar modal tetap adalah biaya pembuatan kolam oksidasi, yaitu sebesar Rp 11.315.520,00. Pada biaya operasional unit pengolahan limbah cair tahu, pemilik industri juga akan mengeluarkan biaya sebesar Rp 17.567.000,00 / tahun. Pengeluaran terbesar biaya operasional adalah biaya tenaga kerja yaitu Rp 13.560.000,00 / tahun.

Saran

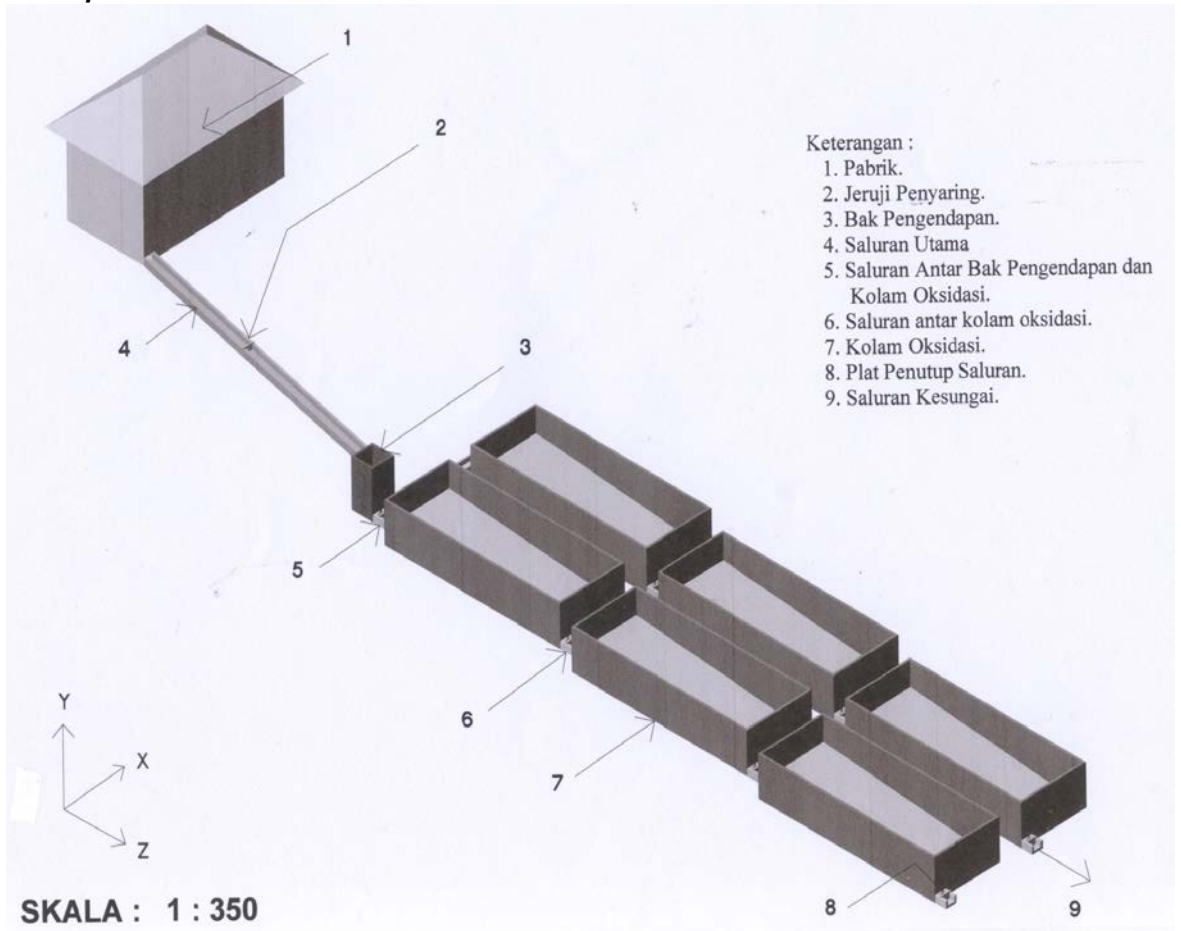
Perlu adanya penentuan volume limbah yang tepat pada industri tahu, sehingga akan memudahkan dalam penentuan ukuran sarana pengolahan limbah cair tahu secara tepat pula.

DAFTAR PUSTAKA

- Chow, Ven Te, Ph.D. 1992. Open- Channel Hydraulics. Mc. Graw- Hill Inc. New York.
- Droste, R.L. 1997. Theory and Practice of Water and Waste Water Treatment. 3th ed. John Wiley and Sons, Inc. Canada. USA.
- Eckenfelder, W. 1996. Industrial Water Supply and Pollution *Control*. 6th ed. Mc Graw Hill Company. New York.
- Fishdoc.2004. Filtration System For Ponds and Aquaria. [http://www.fishdoc.co.uk //filtration/filtration home.htm](http://www.fishdoc.co.uk //filtration/filtration%20home.htm).
- Ginting, P. 1995. Mencegah dan Mengendalikan Pencemaran Industri. Cetakan Ketiga. Pustaka Sinar Harapan. Jakarta.
- Linsley, R.K, dan Franzini, J.B. 1991. Teknik Sumbar Daya Air. Jilid 2. Cetakan Ketiga. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Metcalf, E. and Eddy. 1991. Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse 3rd edition. McGraw- Hill Inc. New York.
- Moertinah, S., dan Djarwanti. 1996. Penelitian Kasus Pencemaran Air Buangan Sentra Industri Tahu di Desa Adiwena Tegal. Bull. Lit. Bang. Industri. 20: 9-15.
- Muslikha. 2005. Studi Evaluasi Kinerja Unit Pengolahan Limbah Cair Tahu Pada UD. Manalagi Karangploso Malang. Unibraw Malang. Skripsi.
- Punmia, B.C. Water Supply Engineering. Volume I. 4th ed. Mc Graw Hill Company. New York.
- Ritmann, B.E., and P.L. Mc. Carty, 2001. Environmental Biotechnology: Principles and Applications. Mc Graw Hill Company. New York.
- Sawyer, C.N., and P.L. Mc Carty. 1998. Chemistry for Sanitary Engineering. Edisi II. Mc Graw Hill. New York.
- Setyani, S. 1999. Studi Pemanfaatan *Azolla pinnata* Untuk Menurunkan Kandungan COD, BOD, N, dan P pada Air Limbah Tahu. ITS. Surabaya. Skripsi.
- Sugiharto. 1987. Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah. UI Press. Jakarta. h. 6-7.
- Suhardjono. 1994. Drainase. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Malang.
- Yuwono, Nur. Ir. 1994. Hidrolika 1. PT. Hanindita. Yogyakarta.

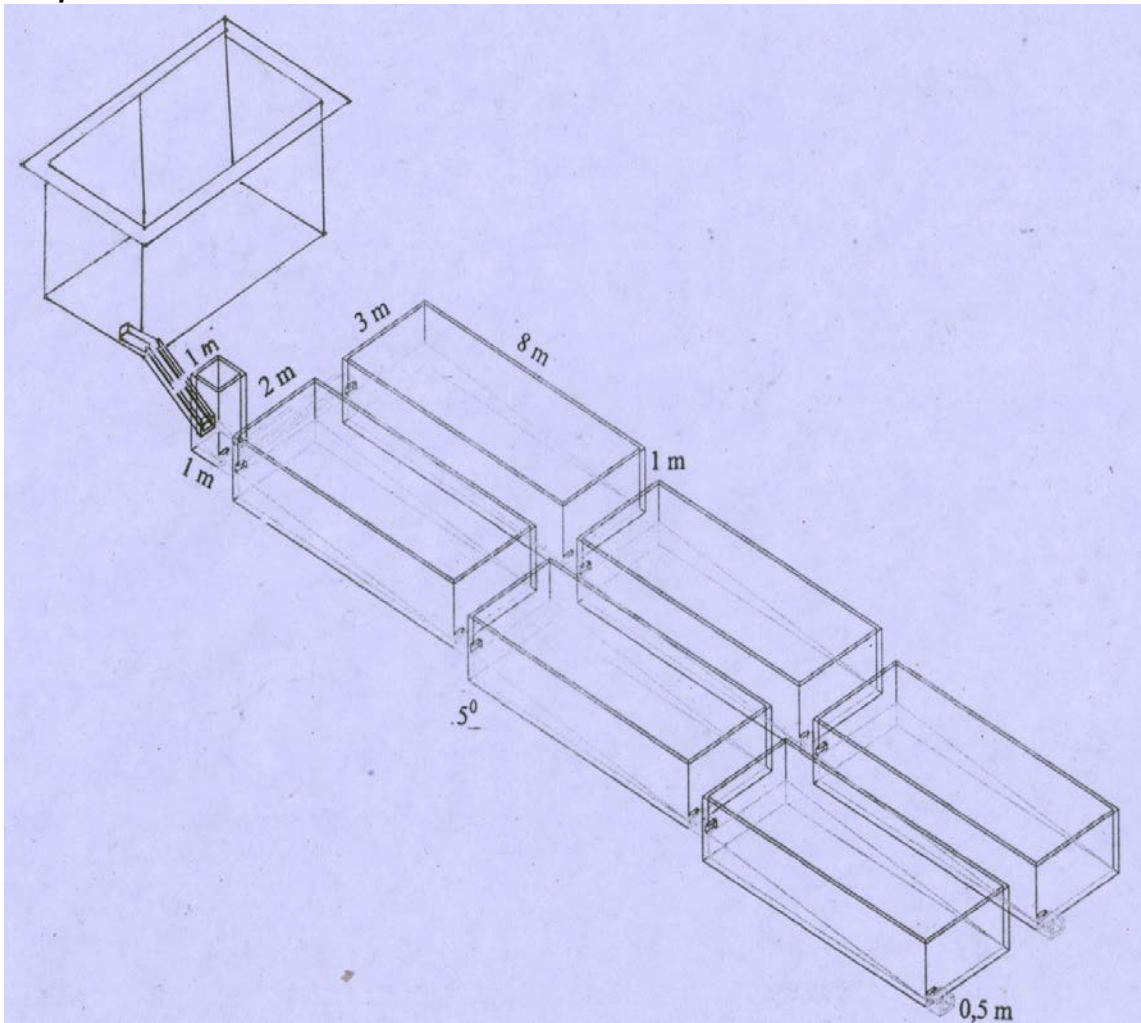
LAMPIRAN

Lampiran 1



Rencana Unit Pengolahan Limbah Cair Tahu Dengan Menggunakan *Azolla pinnata* Sebagai Biofilter

Lampiran 2



Rencana Unit Pengolahan Limbah Cair Tahu Dengan Menggunakan *Azolla pinnata* Sebagai Biofilter