

**PENENTUAN KOEFISIEN KINETIKA REAKSI PENGOLAHAN  
LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU MENGGUNAKAN PROSES LUMPUR  
AKTIF AEROBIK  
(Skripsi)**

**Oleh**

**RETNO AYU MAULINDA**



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2017**

## **ABSTRACT**

### **DETERMINATION OF REACTION KINETICS COEFFICIENT LIQUID WASTED PROCESSING INDUSTRY PROCESS KNOW USING AEROBIC ACTIVATED SLUDGE**

**By**

**RETNO AYU MAULINDA**

Tofu waste water (whey) containing organic substances such as carbohydrates, fats and proteins. Tofu waste water which discharged out continuously in the water may cause pollution. The appropriate processing technology in the tofu waste water treatment is the biologically treatment using activated sludge. The activated sludge is a wastewater treatment using microorganisms that forming flock. Activated sludge process requires a reactor which appropriate to microorganism life so that the treatment can run optimally. The design of bioreactors require some kinetic parameter values that need to know such as the value of  $k$  (substrate utilization rate),  $K_s$  (constant of half maximum growth rate),  $Y$  (coefficient of maximum yield) and  $k_d$  (coefficient of death). This research aims to determine the kinetic parameters and assess the performance of organic material removal along with nutrients nitrogen in tofu waste water .

Materials used is effluent from the wastewater treatment that using anaerobic biofilter process with phosphate rock as filtration media, nessler solution, distilled

water, and ammonia solution. Tofu wastewater is aerated using an aerator pump for 24 hours continuously. This research using five treatments with variations on the hydraulic retention time (HRT) of wastewater. P1 (HRT 2.5 days), P2 (HRT 2.9 days), P3 (HRT 3.3 days), P4 (HRT 4 days), and P5 (HRT 5 days). The parameters that perceived such as total solids (TS), total suspended solid (TSS), total filterable solid (TFS), and power of hydrogen (pH). The parameters are measured before and after aeration

The results of this research showed that the pH of tofu wastewater increased after aeration in acid conditions 5.6 to alkaline conditions 8.9. Results of analysis showed that the hydraulic retention time of waste water 5 days affecting the decrease in concentrations of total solids 16,63%, total filterable solids 34,42%, and N-ammonium 84,7%. The value of kinetic parameters obtained  $K_s = 63 \text{ g / l}$ ,  $k = 5.08 / \text{day}$ ,  $Y = 1.3 \text{ g / g}$ , and  $K_d = 0.14 / \text{day}$ . Generally, kinetic parameters indicate that the tofu waste water contains organic matter that can be decomposed by microorganisms in activated sludge process.

**Keywords:** tofu waste water, activated sludge, kinetics reaction.

## ABSTRAK

### PENENTUAN KOEFISIEN KINETIKA REAKSI PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU MENGGUNAKAN PROSES LUMPUR AKTIF AEROBIK

Oleh

**RETNO AYU MAULINDA**

Limbah cair tahu (*whey*) mengandung zat organik seperti karbohidrat, lemak dan protein. Limbah cair tahu yang dibuang secara terus menerus pada perairan dapat menimbulkan pencemaran. Teknologi pengolahan yang sesuai dalam penanganan limbah cair tahu adalah pengolahan secara biologis menggunakan lumpur aktif. Lumpur aktif merupakan pengolahan limbah yang memanfaatkan mikroorganisme yang membentuk flog. Proses lumpur aktif memerlukan reaktor yang sesuai bagi kehidupan mikroorganisme supaya pengolahan dapat berjalan secara optimal. Perancangan bioreaktor membutuhkan beberapa nilai parameter kinetika yang perlu diketahui seperti nilai  $k$  (laju pemanfaatan substrat),  $K_s$  (konstanta setengah laju pertumbuhan maksimum),  $Y$  (koefisien hasil maksimum), dan  $k_d$  (koefisien kematian). Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menentukan parameter kinetika, dan mengkaji kinerja penyisihan bahan organik serta nutrient nitrogen dari limbah tahu.

Bahan yang digunakan yaitu air limbah tahu keluaran dari proses pengolahan menggunakan *biofilter* proses *anaerob* dengan batuan fosfat sebagai media penyaring,

larutan *nessler*, aquades, dan larutan amonia. Limbah cair tahu diaerasi menggunakan pompa aerator selama 24 jam secara kontinyu. Penelitian ini menggunakan lima perlakuan dengan variasi pada masa tinggal limbah cair. P1 (masa tinggal 2,5 hari), P2 (masa tinggal 2,9 hari), P3 (masa tinggal 3,3 hari), P4 (masa tinggal 4 hari), dan P5 (masa tinggal 5 hari). Parameter yang diamati seperti TS (*total solids*), TSS (*total suspended solids*), TFS (*total filterable solids*), pH (derajat keasaman). Parameter tersebut diukur sebelum dan sesudah dilakukan aerasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pH limbah cair tahu meningkat setelah dilakukan aerasi dari kondisi asam 5,6 menjadi basa 8,9. Hasil analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa waktu tinggal air limbah 5 hari mempengaruhi penurunan konsentrasi *total solids* sebesar 16,63%, *total filterable solids* 34,42%, dan N-amonium 84,7 %. Nilai parameter kinetika yang diperoleh  $K_s = 63 \text{ g/l}$ ,  $k = 5,08 \text{ /hari}$ ,  $Y = 1.3 \text{ g/g}$ , dan  $K_d = 0.14 \text{ /hari}$  adalah. Pada umumnya parameter kinetika menunjukkan bahwa limbah cair tahu mengandung bahan organik yang dapat diuraikan oleh mikroorganisme dalam proses lumpur aktif.

**Kata kunci :** limbah cair tahu, lumpur aktif, kinetika reaksi.

**PENENTUAN KOEFISIEN KINETIKA REAKSI PENGOLAHAN  
LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU MENGGUNAKAN PROSES LUMPUR  
AKTIF AEROBIK**

**Oleh**

**RETNO AYU MAULINDA**

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapat Gelar  
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN

Pada

Jurusan Teknik Pertanian  
Fakultas Pertanian Universitas Lampung



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2017**

**Judul Skripsi : PENENTUAN KOEFISIEN KINETIKA  
REAKSI PENGOLAHAN LIMBAH CAIR  
INDUSTRI TAHU MENGGUNAKAN  
PROSES LUMPUR AKTIF AEROBIK**

**Nama Mahasiswa : Retno Ayu Maulinda**

**Nomor Pokok Mahasiswa : 1214071063**

**Jurusan : Teknik Pertanian**

**Fakultas : Pertanian**

**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**

**Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc.**  
NIP 19611211 198703 1 004

**Dr. Mareli Telaumbanua, S.TP., M.Sc.**  
NIP 19880325 201504 1 001

**2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian**

**Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.**  
NIP 19650527 199303 1 002



**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

**Ketua : Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc.**

**Sekretaris : Dr. Mareli Telaumbanua, S.TP., M.Sc.**

**Penguji  
Bukan Pembimbing : Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.**

**2. Dekan Fakultas Pertanian**



**Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.**

**NIP. 19611020 198603 1 002**

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 23 Februari 2017**



## PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah Retno Ayu Maulinda NPM 1214071063

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh komisi pembimbing, 1) Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc. dan 2) Dr. Mareli Telaumbanua, S.TP, M.Sc berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber lain (buku, jurnal, dll) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 23 Februari 2017

Yang membuat pernyataan



(Retno Ayu Maulinda)

NPM. 1214071063

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Dipasena pada tanggal 26 Agustus

1994, sebagai anak pertama dari dua bersaudara dari

pasangan Bapak Damon Aswan dan Ibu Widy Hastuti.

Penulis menempuh pendidikan Taman Kanak-Kanak (TK)

Xaverius Dipasena, Kecamatan Rawa Jitu Timur,

Kabupaten Tulang Bawang pada Tahun pada tahun 1998 sampai dengan tahun

1999. Pendidikan sekolah Dasar Madrasah Ibtidaiyyah Mathlaul Anwar Gisting,

Kecamatan Gisting, Kabupaten Tanggamus pada tahun 2001 sampai dengan 2006.

Penulis melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama (SMP) Muhammadiyah pada tahun 2006 dan selesai pada tahun 2009.

Kemudian melanjutkan Sekolah Menengah Pertama (SMA) Muhammadiyah

Gisting pada tahun 2009 sampai dengan tahun 2012. Pada tahun 2012 penulis

terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian

Universitas Lampung. Pada tahun 2014 penulis melaksanakan Praktik Umum di

PTPN7 Unit Pabrik Karet Pematang Kiwah Natar, Kabupaten Lampung Selatan

dengan judul “ *Mempelajari Mutu Hasil Pengolahan Karet SIR 20 PTPN7 Unit*

*Pabrik Karet Pematang Kiwah Natar Lampung Selatan* ” selama 30 hari kerja

yang dimulai pada tanggal 28 Juli 2015 dan selesai pada tanggal 28 Agustus 2015.

*Bismillahirrahmanirrahim*

Segala Puji bagi Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang atas nilai-Nya yang tidak dapat diuraikan, nikmat dan anugerah-Nya yang tidak dapat terhitung serta ilmu-Nya.

Ku persembahkan karya kecil ini untuk :

*Ayahanda Damon Aswan dan Ibundaku Widyo Hastuti Serta*

*Adikku Resti Mutia Khadifah*

## SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “**Penentuan Koefisien Kinetika Reaksi Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Proses Lumpur Aktif Aerobik**” sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknologi Pertanian. Penulis menyadari bahwa terselesaikannya kuliah dan penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Utama serta selaku dosen pembimbing akademik yang telah banyak meluangkan waktunya untuk membimbing, memotivasi, dan memberikan saran dalam proses penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Mareli Telaumbanua, S.TP, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Kedua yang telah memberikan banyak masukan, bimbingan, saran, dan kritik yang membangun dalam proses penyusunan skripsi.
3. Bapak Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P., selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung serta selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan kritik dan saran dalam penyelesaian skripsi ini.



4. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
5. Kedua orangtuaku yang sangat aku cintai dan sayangi. Ayahku tersayang Damon Aswan dengan segala kesederhanaanya selalu menjadi ispirasiku, selalu memberikan nasihat dan semangat. Ibundaku tercinta Widy Hastuti yang selama ini dengan sabarnya membimbing dan memberikan kasih sayang.
6. Adikku tersayang Resti Mutia Khadifah, yang selalu memberikan dukungan dan semangat kepadaku.
7. Seluruh Dosen dan Karyawan di jurusan Teknik Pertanian atas bantuan dan arahan yang telah diberikan.

Penulis berharap Allah SWT membalas kebaikan Sudara-saudara, dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Bandar Lampung, 23 Februari 2017  
Penulis

Retno Ayu Maulinda

## DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	viii
I. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Manfaat Penelitian.....	4
1.4 Hipotesis .....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Tahu.....	5
2.1.1 Produksi Tahu.....	6
2.1.2 Karakteristik Limbah Tahu.....	7
2.1.3 Baku Mutu Limbah Cair Tahu .....	8
2.2 Pencemaran Lingkungan Oleh Industri Tahu.....	8
2.3 Pengolahan Limbah Industri Tahu .....	10
2.3.1 Proses Pengolahan Fisika .....	11
2.3.2 Proses Pengolahan Kimia .....	12
2.3.3 Proses Pengolahan Biologis .....	13
2.4 Proses Pengolahan Anaerobik dan Aerobik .....	15
2.5 Koefisien Kinetika.....	16
2.5.1 Kinetika Pertumbuhan Sel.....	17
2.5.2 Pertumbuhan di Dalam Substrat yang Terbatas .....	17
2.5.3 Pertumbuhan dan Pemanfaatan Substrat .....	18
2.5.4 Pengaruh Metabolisme <i>Endogenous</i> .....	19
2.5.5 Aplikasi Kinetika Pertumbuhan dan Pemanfaatan Substrat. ..	21
2.5.6 Neraca Masa Mikroorganisme / Bakteri ( <i>X</i> ).....	21

2.5.7 Neraca Masa Substrat (S) .....	23
2.5.8 Penentuan Nilai $K_s$ , $k$ , $Y$ , dan $K_d$ .....	23
2.6 Parameter Pencemar Air .....	24
III. METODOLOGI.....	29
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	29
3.2 Alat dan Bahan .....	29
3.3 Rancangan Sistem Lumpur Aktif .....	30
3.4 Pelaksanaan penelitian.....	30
3.5 Teknik Pengambilan Sampel .....	32
3.6 Parameter Pengamatan .....	32
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1 pH .....	37
4.2 <i>Total Solids, Total Suspended Solids, dan Total Filterable Solids.</i>	38
4.3 N-amonium.....	41
4.4 Efisiensi .....	42
4.5 Parameter Kinetika .....	43
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	46
5.1 Kesimpulan .....	46
5.2 Saran .....	47
DAFTAR PUSTAKA .....	48
LAMPIRAN.....	50
FOTO-FOTO PENELITIAN .....	70

## DAFTAR TABEL

Tabel	Teks	Halaman
1.	Karakteristik limbah cair tahu segar.....	7
2.	Baku mutu limbah cair tahu .....	8
<i>Lampiran</i>		
3.	Pengaruh masa tinggal terhadap penurunan TS .....	56
4.	Pengaruh masa tinggal terhadap peningkatan TSS .....	56
5.	Pengaruh masa tinggal terhadap penurunan TFS .....	56
6.	Perhitungan TSS, TFS, dan TS pada HRT 2,5 hari.....	56
7.	Perhitungan TSS, TFS, dan TS pada HRT 2,9 hari.....	57
9.	Perhitungan TSS, TFS, dan TS pada HRT 4 hari.....	57
10.	Perhitungan TSS, TFS, dan TS pada HRT 5 hari.....	58
11.	Perhitungan efisiensi TFS .....	58
13.	Perhitungan kinetika Kd dan Y .....	59
15.	Pengukuran pH pada HRT 2,9 hari .....	61
16.	Pengukuran pH pada HRT 3,3 hari .....	62
17.	Pengukuran pH HRT 4 hari.....	63
18.	Pengukuran pH HRT 5 hari.....	64
19.	Perhitungan amonium pada HRT 2,5 hari.....	65
20.	Perhitungan amonium pada HRT 2,9 hari.....	66



21. Perhitungan amonium pada HRT 3,3 hari.....	67
22. Perhitungan N-amonia pada HRT 4 hari.....	68
23. Perhitungan amonium pada HRT 5 hari.....	69

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Teks	Halaman
1.	Skema proses pembuatan tahu .....	6
2.	Kurva laju pertumbuhan sel bakteri .....	18
3.	Diagram reaktor pencampuran sempurna tanpa resirkulasi .....	21
4.	Rancangan sistem lumpur aktif .....	30
5.	Diagram alir penelitian .....	31
6.	Grafik kinetika reaksi .....	36
8.	Grafik penentuan $K_s$ dan $k$ pada total filterable solids dan total suspended solids .....	43
9.	Grafik penentuan $Y$ dan $K_d$ pada total filterable solids dan total suspended solids .....	44

### *Lampiran*

10.	Deret standar ammonium .....	65
11.	Deret standar ammonium .....	66
12.	Deret standar ammonium .....	67
13.	Deret standar ammonium .....	68
14.	Deret standar ammonium .....	69
15.	Sampel limbah cair tahu sesudah dan sebelum aerasi .....	70
16.	Pengukuran TS, TFS dan TSS .....	71
17.	Cawan dioven selama 24 jam .....	71

18. Penimbangan cawan setelah dioven.....	72
19. Lumpur hasil proses pengolahan .....	72
20. Pengukuran amonium menggunakan <i>spectrofotometer</i> .....	73

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Tahu merupakan makanan yang berbahan baku dari biji kedelai. Tahu dibuat melalui beberapa tahap proses, dimulai dari penyortiran, perendaman, pencucian, penumbukan, perebusan, penyaringan, dan pencetakan tahu (Bartelsi, 2005). Beberapa tahapan dalam proses pembuatan tahu membutuhkan penambahan air, misalnya pada proses pencucian, perendaman, dan perebusan kedelai. Oleh sebab itu, penggunaan air lebih dominan dalam proses pembuatan tahu. Hasil sisa dari proses pembuatan tahu disebut limbah cair tahu (*whey*). Limbah cair tahu umumnya dapat dimanfaatkan sebagai bahan penggumpal, walaupun tidak semua limbah cair tahu dapat digunakan kembali. Sebagian besar sisa limbah yang tidak terpakai dibuang ke perairan tanpa dilakukan proses pengolahan terlebih dahulu (Adack, 2013).

Limbah cair tahu (*whey*) mengandung zat organik seperti karbohidrat, lemak dan protein. Zat organik tersebut mudah terdegradasi oleh mikroorganisme (Sugiharto, 1987). Limbah cair tahu yang dibuang secara terus menerus pada perairan dapat menimbulkan pencemaran. Salah satu pencemaran yang ditimbulkan yaitu berkurangnya oksigen terlarut dalam air. Hal tersebut dapat menimbulkan kematian pada tanaman dan biota air.



Permasalahan pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh pembuangan limbah industri tahu perlu dicarikan solusinya. Teknologi pengolahan limbah industri tahu, merupakan salah satu solusi yang prospektif untuk mengatasi masalah pencemaran lingkungan tersebut. Teknologi pengolahan yang sesuai dalam penanganan limbah cair tahu adalah pengolahan secara biologis. Pengolahan limbah secara biologis merupakan teknologi pengolahan limbah yang memanfaatkan mikroorganisme (Siregar, 2005). Mikroorganisme tersebut berfungsi sebagai pengurai zat organik dalam air limbah, dan menjadikannya sebagai tempat berkembang biak (Firmansyah. dkk., 2007).

Pengolahan secara biologis terbagi menjadi dua tahap proses diantaranya proses anaerobik dan aerobik. Proses anaerobik adalah proses yang menunjukkan ketidakterdediaan oksigen yang terlarut dalam pengolahan limbah cair (Siregar, 2005). Salah satu contoh pengolahan limbah proses anaerobik yaitu *biofilter*. *Biofilter* merupakan teknologi pengolahan limbah dengan cara membiakkan mikroorganisme yang melekat pada media (Kemenkes RI, 2011). Berdasarkan penelitian Nirwana (2016), pengolahan limbah tahu proses anaerobik menggunakan *biofilter* mampu menurunkan konsentrasi padatan terlarut dalam air limbah.

Proses pengolahan lanjutan yang dilakukan dalam teknologi pengolahan biologis yaitu proses aerobik. Proses aerobik adalah proses yang ditandai oleh adanya molekul oksigen yang terlarut dalam pengolahan limbah cair (Siregar, 2005). Salah satu contoh pengolahan limbah dengan proses aerobik yaitu lumpur aktif (Siregar, 2015). Penamaan lumpur aktif karena prosesnya melibatkan massa

mikroorganisme aktif yang terdapat di dalam limbah, dan kemudian membentuk gumpalan yang terdiri atas mikroorganisme, bahan organik, dan massa lumpur (Sutresna, 2007). Menurut Sugiharto (2008), jumlah mikroorganisme dalam pengolahan limbah cair mempengaruhi proses penguraian bahan organik. Oleh sebab itu, diperlukan jumlah mikroorganisme yang cukup untuk menguraikan bahan organik tersebut dalam proses lumpur aktif.

Pertumbuhan mikroorganisme sangat dipengaruhi oleh suhu, pH, dan oksigen terlarut (Sugiharto, 2008). Kondisi tersebut dapat dicapai di dalam bioreaktor lumpur aktif. Untuk itu, dibutuhkan perancangan reaktor lumpur aktif yang mampu mendukung pertumbuhan mikroorganisme. Bioreaktor harus dapat menciptakan lingkungan yang baik bagi mikroorganisme supaya pengolahan dapat berjalan secara optimal. Perancangan bioreaktor membutuhkan beberapa nilai parameter kinetika yang perlu diketahui terlebih dahulu. Parameter kinetika yang perlu diketahui meliputi nilai  $k$  (laju pemanfaatan substrat),  $K_s$  (konstanta setengah laju pertumbuhan maksimum),  $Y$  (koefisien hasil maksimum), dan  $k_d$  (koefisien kematian). Apabila nilai kinetika telah diketahui, maka perancangan bioreaktor dapat dilakukan secara tepat. Melalui pengolahan data debit dan konsentrasi substrat yang telah ditetapkan, dimensi bioreaktor dan jumlah lumpur yang harus dibuang perhari dapat ditentukan.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan:

- a. Parameter kinetika air limbah tahu melalui proses lumpur aktif
- b. Kinerja penyisihan bahan organik

- c. Kinerja penyisihan nutrient nitrogen.

### **1.3 Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan dapat:

1. Digunakan sebagai panduan perancangan bioreaktor proses lumpur aktif
2. Memberikan informasi potensi pemanfaatan air limbah tahu sebagai sumber nutrisi tanaman.

### **1.4 Hipotesis**

Hipotesis dalam penelitian ini yaitu pengolahan limbah cair tahu (*whey*) dengan lumpur aktif, memiliki parameter kinetika yang spesifik.

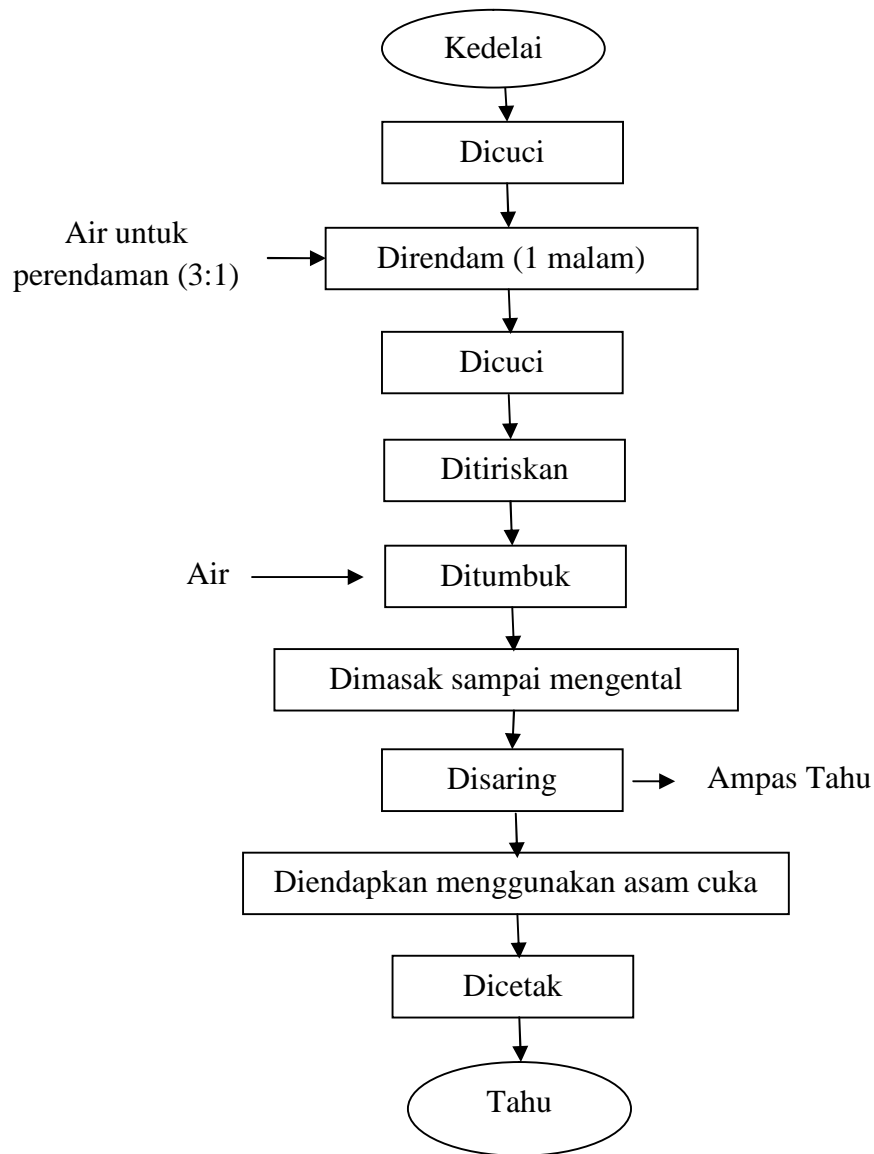
## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tahu

Tahu merupakan bahan pangan yang berbahan baku dari biji kedelai dengan harga yang relatif murah. Selain itu, tahu mengandung nilai gizi yang tinggi sehingga cukup di minati oleh masyarakat. Menurut Suprpti (2005) 100 gr tahu mengandung protein, karbohidrat, fosfor, dan mineral. Kandungan gizi pada tahu berasal dari biji kedelai yang digiling saat proses pembuatan tahu. Sebagian protein menjadi produk tahu sementara sisanya terbagi menjadi dua bagian lagi, yaitu pada limbah padat dan limbah cair (*whey*). Limbah padat dari sisa pembuatan tahu pada umumnya dapat digunakan kembali sebagai pakan ternak. Sedangkan limbah cair tahu (*whey*) dapat digunakan sebagai bahan penggumpal dalam proses pembuatan tahu. Selain itu, dapat dimanfaatkan untuk beberapa macam keperluan yaitu sebagai makanan ikan, pupuk tanaman, serta pembuatan *nata de soya*, dan cuka manis (Suprpti, 2005). Apabila limbah cair tahu tidak dimanfaatkan dan langsung dibuang ke lingkungan, dapat mengakibatkan pencemaran perairan sekitar industri tahu. Pencemaran yang ditimbulkan yaitu berkurangnya oksigen terlarut dalam air dan timbulnya bau yang semakin lama semakin menyengat.

### 2.1.1 Produksi Tahu

Skema proses pembuatan tahu dapat dilihat pada Gambar 1.



(sumber : Bartelsi, 2008)

Gambar 1. Skema proses pembuatan tahu

Produksi tahu masih dilakukan dengan cara yang sederhana, melalui beberapa tahapan. Tahapan proses pembuatan tahu meliputi sortasi biji kedelai, pencucian kedelai, perendaman kedelai  $\pm$  8 jam hingga lunak, kemudian pemisahan antara biji dengan kulitnya. Selanjutnya, kedelai digiling dan ditambahkan air sehingga

membentuk bubur kedelai. Bubur kedelai kemudian disaring dan dipisahkan antara cairan dengan ampasnya. Setelah itu, cairan yang diperoleh diendapkan menggunakan 3 ml asam cuka untuk 1 liter sari kedelai, hasil endapan kemudian dicetak dan dipres sehingga terbentuk tahu (Bartelsi, 2008).

### 2.1.2 Karakteristik Limbah Tahu

Penambahan air perlu dilakukan dalam beberapa proses pembuatan tahu. Oleh sebab itu, penggunaan air lebih dominan dalam proses pembuatan tahu. Limbah tahu terbagi menjadi dua bagian yaitu limbah padat dan limbah cair (*whey*).

Limbah padat yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak.

Sedangkan limbah cair tahu pada umumnya dibuang ke lingkungan perairan, atau sebagian dapat digunakan sebagai bahan penggumpal. Karakteristik limbah cair proses pembuatan tahu disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik limbah cair tahu segar.

No	Parameter	Hasil Analisis
1	Ph	4,26
2	DO (ppm)	4,5
3	COD (ppm)	11638
4	Air (%)	99,162
5	Abu (%)	0,294
6	Karbohidrat (%)	0,139
7	Protein (%)	0,155
8	Lemak (%)	0,058
9	Serat kasar (%)	0,191
10	Temperatur (°C)	45
11	Warna	Kuning Keruh
12	Bau	Berbau Menyengat

(Sumber : Ratnani, 2012).

Limbah cair yang dihasilkan dari industri merupakan limbah organik yang terdiri dari karbohidrat 25 – 50% , lemak 10% dan protein 40% – 60% (Sugiharto, 2008).

Konsentrasi zat-zat organik terlarut yang cukup tinggi dalam limbah cair akan mempercepat pertumbuhan mikroorganisme, apabila dibiarkan tergenang selama beberapa hari pada tempat terbuka.

### 2.1.3 Baku Mutu Limbah Cair Tahu

Tujuan dasar dalam teknologi pengolahan limbah adalah untuk menghilangkan sebagian besar padatan tersuspensi, bahan terlarut, dan untuk mencukupi syarat baku mutu limbah cair tahu. Berdasarkan penelitian Munawaroh (2013) Limbah cair tahu segar memiliki konsentrasi bahan pencemar yang tinggi. Sehingga belum memenuhi syarat baku mutu limbah cair tahu yang telah ditetapkan. Syarat baku mutu limbah cair tahu yang telah ditetapkan berdasarkan keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 5 Tahun 2014 ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Baku Mutu Limbah Cair Tahu

No	Parameter	Satuan	Baku mutu
1	BOD <sub>5</sub>	mg/liter	150
2	COD	mg/liter	300
3	TSS	mg/liter	200
4	pH	-	6 – 9

(Sumber : Keputusan Menteri Lingkungan Hidup no 5 Tahun 2014).

## 2.2 Pencemaran Lingkungan Oleh Industri Tahu

Pencemaran oleh limbah cair industri tahu berasal dari sisa pencucian kedelai, perendaman kedelai, pembuatan tahu, dan perendaman tahu. Pada umumnya pengrajin tahu membuang air sisa pembuatan tahu ke lingkungan tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Limbah cair tahu yang dibuang ke perairan tanpa dilakukan proses pengolahan, mengakibatkan pencemaran lingkungan (Suprapti,

2005). Pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh limbah cair industri menurut Sugiharto (2008) yaitu:

### 2.2.1 Gangguan terhadap kesehatan

Air limbah sangat berbahaya bagi kesehatan manusia, karena banyaknya sumber penyakit yang dapat ditularkan melalui air limbah. Namun, dalam beberapa kondisi air limbah hanya berfungsi sebagai media pembawa saja. Penyakit yang dapat disebabkan oleh limbah cair yaitu kolera, radang usus, hepatitis infektiosa, serta skhistosmiasis. Selain sebagai pembawa penyakit di dalam air limbah banyak terdapat bakteri patogen penyebab penyakit.

### 2.2.2 Gangguan terhadap kehidupan biotik

Banyaknya kandungan zat pencemar dalam air limbah dapat mengakibatkan menurunnya kadar oksigen yang terlarut. Hal tersebut menyebabkan kehidupan di dalam perairan terganggu, sehingga mempengaruhi perkembangan tanaman air. Selain itu, dapat menyebabkan matinya ikan dan mikroorganisme di dalam perairan. Matinya mikroorganisme dalam perairan dapat menghambat proses penjernihan air sehingga air limbah akan sulit teruraikan. Selain itu, pengaruh fisik seperti temperatur tinggi yang dikeluarkan oleh industri mengakibatkan matinya semua organisme dalam perairan. Oleh sebab itu, perlunya dilakukan pendinginan terlebih dahulu sebelum dibuang ke perairan.

### 2.2.3 Gangguan terhadap keindahan

Polutan organik dengan jumlah yang cukup besar, apabila dibuang secara terus menerus pada perairan dapat menimbulkan bau busuk. Bau busuk disebabkan



karena proses pembusukan dari polutan organik yang terkandung dalam perairan. Selain menimbulkan bau busuk, menumpuknya zat padat mempengaruhi warna air dan menimbulkan gangguan pemandangan.

#### 2.2.4 Gangguan terhadap kerusakan benda

Limbah cair yang mengandung gas karbondioksida akan mempercepat proses terjadinya karat pada benda yang terbuat dari besi. Selain itu, pH air limbah yang bersifat asam maupun basa akan menimbulkan kerusakan pada benda disekitar pembuangan.

### 2.3 Pengolahan Limbah Industri Tahu

Pengolahan limbah industri dilakukan untuk meningkatkan pencapaian tujuan pengelolaan limbah, serta untuk meningkatkan efisiensi pemakaian sumber daya. Menurut Husin (2006) dengan dilakukannya pengolahan terhadap limbah cair tahu dapat menurunkan padatan tersuspensi dalam limbah tersebut. Teknologi pengolahan limbah yang digunakan merupakan rangkaian kegiatan yang mencakup reduksi, penggumpalan, penyimpangan, pengangkutan, pemanfaatan, pengolahan dan penimbunan (Direktorat Jendral Industri Kecil Menengah Departemen Perindustrian, 2007). Secara umum pengolahan limbah cair dapat dibedakan menjadi tiga yaitu pengolahan fisika, pengolahan kimia, dan pengolahan biologis. Proses-proses pengolahan tersebut dapat digunakan sesuai dengan kondisi limbah yang akan dilakukan pengolahan.

### 2.3.1 Proses Pengolahan Fisika

Unit pengolahan air limbah terdiri atas kombinasi pengolahan fisika, kimia, dan biologi. Seluruh proses tersebut bertujuan untuk menghilangkan kandungan padatan tersuspensi, tersuspensi dan bahan-bahan organik maupun anorganik yang terlarut (Siregar, 2008). Pengolahan secara fisika sangat efektif untuk mengurangi jumlah zat yang berbahaya bagi badan air, antara lain zat-zat yang dapat mengendap seperti lumpur. Proses pengolahan yang termasuk pengolahan fisika yaitu pengolahan menggunakan *screen*, *sieves*, dan filter.

#### 1. *Screen*

*Screening* pada umumnya merupakan tahapan awal dalam pengolahan limbah cair. Proses ini bertujuan untuk memisahkan potongan-potongan kayu, plastik, dan sebagainya. *Screen* terdiri atas batangan besi yang berbentuk lurus atau melengkung, dan biasanya dipasang dengan tingkat kemiringan  $75^{\circ}$  -  $90^{\circ}$ .

#### 2. *Grid Chamber*

*Grid chamber* bermanfaat untuk menghilangkan kerikil, pasir, dan partikel-partikel lain yang dapat mengendap pada saluran pipa. Selain itu, berfungsi untuk melindungi pompa dan peralatan lain dari penyumbatan, abrasi, dan *overloading*. *Grid removal* berfungsi untuk menghilangkan partikel-partikel yang berukuran lebih kecil dari 0,2 mm.

### 3. *Sieves*

Berbeda dengan *screen*, *sieves* menggunakan anyaman logam yang terbuat dari kawat, logam, plastik, ataupun plat berlubang. Ukuran anyaman pada umumnya berukuran sekitar 0,02 mm atau lebih kecil. Alat ini berfungsi untuk menyisihkan bahan-bahan yang masih dapat dimanfaatkan kembali.

#### 2.3.2 Proses Pengolahan Kimia

Pada umumnya proses pengolahan limbah secara kimia digunakan untuk menetralkan limbah dalam keadaan asam maupun basa, memperbaiki proses pemisahan lumpur, memisahkan padatan yang tidak mudah larut, mengurangi konsentrasi minyak dan lemak, serta mengoksidasi warna dan racun (Siregar, 2008). Kelebihan dari proses pengolahan ini yaitu dapat menangani hampir seluruh polutan anorganik, tidak terpengaruh oleh polutan yang bersifat racun, tidak tergantung pada perubahan-perubahan konsentrasi. Sedangkan kelemahan dari proses kimia yaitu mampu meningkatkan kadar garam pada *effluent*, dan menghasilkan lumpur sisa dari proses pengolahan yang digunakan. Beberapa tahapan dalam proses pengolahan kimia yaitu:

##### 1. Netralisir

Netralisir merupakan reaksi antara kondisi asam dan basa yang menghasilkan air serta garam. Pada proses pengolahan limbah pH diatur antara 6,0 – 9,5 diluar pH tersebut air limbah bersifat racun bagi kehidupan air. proses netralisir yang digunakan adalah netralisasi antara air asam dan air basa, kemudian penambahan

bahan-bahan kimia, selanjutnya difiltrasi menggunakan zat-zat kimia untuk netralisir.

## 2. Persipitasi

Presipitasi adalah pengurangan bahan-bahan terlarut dengan cara penambahan bahan kimia yang akan membentuk gumpalan lumpur (flok). Presipitasi dalam pengolahan air limbah digunakan untuk menghilangkan logam berat, sulfat, fluorida, dan fosfat. Presipitasi hidroksida logam sangat dipengaruhi oleh pH.

## 3. Koagulasi dan Flokulasi

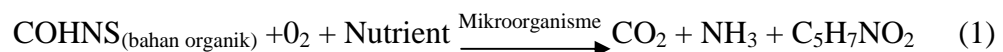
Proses koagulasi dan flokulasi adalah konversi dari polutan-polutan padatan yang tersuspensi dengan ukuran yang sangat halus di dalam air limbah, kemudian dibentuk menjadi gumpalan-gumpalan yang dapat diendapkan, yang kemudian disaring. Penggunaan bahan kimia bervariasi dari 50 ppm – 300 ppm (Siregar, 2005).

### 2.3.3 Proses Pengolahan Biologis

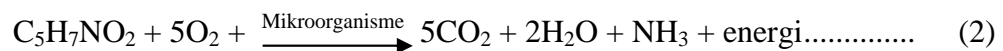
Sebagian besar air limbah domestik mengandung zat-zat organik yang terlarut di dalamnya. Salah satu limbah cair yang mengandung zat organik adalah limbah cair tahu, karena terbuat dari biji kedelai yang mengandung zat organik seperti lemak, protein, dan karohidrat (Bartelsi, 2008). Limbah cair tahu apabila dibuang langsung ke lingkungan dalam waktu lebih dari 6 jam akan menimbulkan bau yang semakin lama semakin menyengat (Suprapti, 2005). Bau busuk yang ditimbulkan yaitu akibat proses pembusukan dari zat organik oleh mikroorganisme pengurai.

Teknologi pengolahan limbah cair yang sesuai untuk mengolah limbah tahu yaitu dengan menggunakan proses biologis. Proses pengolahan secara biologis yaitu proses-proses pengolahan air limbah yang memanfaatkan aktifitas mikroorganisme. Mikroorganisme yang berperan penting dalam proses pengolahan biologis adalah bakteri kemoheterotrofik seperti *Nitromonas* dan *Nitrobacter* (Jeanie dan Rahayu, 1993). Mikroorganisme tersebut berfungsi untuk merubah bahan organik menjadi anorganik yang terkandung dalam limbah cair (Siregar, 2005). Dalam reaktor, mikroorganisme menguraikan bahan organik yang ditampilkan pada reaksi berikut.

Proses oksidasi dan sintesis



Proses respirasi



Pada reaksi diatas tahapan pertama, bahan organik diuraikan oleh mikroorganisme. Kemudian senyawa organik yang terlarut dikonversi sehingga menghasilkan karbondioksida, amonia, dan sel baru. Pada tahap kedua, pembentukan sel baru yang dihasilkan dari tahap pertama diuraikan oleh mikroorganisme dan menghasilkan air, karbondioksida, amonia, dan energi (Siregar, 2005).

Tujuan lain dari proses pengolahan secara biologis berkaitan dengan proses biokimia, yaitu menghilangkan atau membersihkan nitrogen dan menghilangkan fosfor. Proses tersebut dapat dilakukan secara optimal apabila dilakukan pengontrolan terhadap waktu tinggal dan konsentrasi oksigen (Siregar, 2008).

## 2.4 Proses Pengolahan Anaerobik dan Aerobik

Proses pengolahan biologi pada umumnya terbagi dua kriteria dasar, yaitu anaerobik dan aerobik. Proses anaerobik adalah proses pengolahan air limbah yang tidak menunjukkan adanya oksigen terlarut. Salah satu jenis proses pengolahan anaerobik yaitu menggunakan *trickling filter*. *Trickling filter* adalah pengolahan limbah cair yang dilakukan dengan cara mengalirkan air limbah ke dalam reaktor yang di dalamnya diisi dengan media penyangga. Media penyangga tersebut berfungsi sebagai tempat berkembangbiak mikroorganisme (KeMenKes RI, 2011). Pada dasarnya proses anaerobik merupakan tahap awal dalam proses pengolahan. Proses anaerobik hanya menurunkan sebagian polutan organik. Oleh sebab itu, dalam beberapa kasus proses anaerobik diikuti dengan proses aerobik supaya polutan organik dapat terurai secara maksimal (Mahida, 1993).

Proses aerobik adalah proses yang ditandai dengan adanya oksigen yang terlarut. Molekul oksigen berfungsi sebagai aseptor elektron akhir untuk mengoksidasi bahan organik dan merubahnya menjadi energi kimia untuk mikroorganisme dalam proses ini. Mikroorganisme yang menggunakan oksigen aseptor elektron akhir adalah mikroorganisme aerobik (Jeanie dan Rahayu, 1993). Salah satu contoh proses pengolahan aerobik yaitu teknologi pengolahan lumpur aktif (*activated sludge*).

Teknologi pengolahan limbah proses lumpur aktif (*activated sludge*) merupakan endapan lumpur yang berasal dari air limbah yang diberi udara secara teratur. Endapan lumpur yang terbentuk merupakan sekumpulan mikroorganisme yang

membentuk butiran-butiran yang menggumpal (sutresna, 2007). Pengolahan limbah menggunakan lumpur aktif mampu menurunkan konsentrasi zat pencemar pada limbah tahu. Hal tersebut dapat terjadi karena dipengaruhi oleh volume lumpur. Apabila semakin besar volume lumpur maka tingkat efisiensi penurunan zat pencemar semakin besar (Sani, 2006). Proses pengolahan lumpur aktif menggunakan seperangkat reaktor yang berbentuk bak/tangki, dengan penambahan aliran udara melalui pompa. Udara dialirkan melalui pompa pada bagian bawah tangki atau permukaan tangki dalam waktu 24 jam secara kontinyu.

## **2.5 Koefisien Kinetika**

Industri pembuatan tahu merupakan salah satu sektor yang menghasilkan limbah cair. Limbah cair tahu mengandung bahan organik seperti karbohidrat, lemak, dan protein. Limbah cair tahu apabila dibuang langsung ke badan air tanpa proses pengolahan, akan menimbulkan pencemaran bagi lingkungan sekitar industri tahu. Untuk menekan pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh limbah cair tahu perlu dilakukan pengolahan limbah sebelum dibuang. Proses pengolahan limbah yang tepat bagi limbah cair tahu yaitu teknologi pengolahan secara biologis. Menurut Siregar (2008) sebagian air limbah, terutama limbah domestik mengandung zat organik sehingga proses pengolahan biologis merupakan tahapan yang penting.

Tujuan lain dari proses pengolahan biologis berkaitan dengan subproses biokimia. Tujuan dari proses tersebut dapat dicapai apabila dilakukan pengkondisian terhadap waktu tinggal dan konsentrasi oksigen. Proses pengolahan tersebut berlangsung secara aerobik dalam suatu tangki. Kemudian, di dalam tangki air

limbah diaerasi sehingga dapat memenuhi kebutuhan oksigen bagi mikroorganisme untuk pertumbuhannya. Dalam penelitian Sunarno (2006) diasumsikan bahwa, pertumbuhan mikroorganisme dapat diketahui dengan jumlah lumpur yang terbentuk dalam pengolahan limbah menggunakan lumpur aktif.

Pertumbuhan mikroorganisme dan konsentrasi substrat dalam limbah cair dapat diketahui melalui perhitungan koefisien kinetika. Perhitungan kinetika yang perlu diketahui yaitu  $k$  (nilai laju pemanfaatan substrat),  $K_s$  (konstanta setengah laju pertumbuhan maksimum),  $Y$  (koefisien hasil maksimum), dan  $k_d$  (koefisien kematian).

### 2.5.1 Kinetika Pertumbuhan Sel

Dalam sistem kontinyu laju pertumbuhan sel bakteri dapat diketahui dengan menghitung laju pertumbuhan spesifik dan konsentrasi bakteri menggunakan rumus:

$$r_g = \mu X \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

$r_g$  = laju pertumbuhan bakteri (mg/liter/hari)

$\mu$  = laju pertumbuhan spesifik (liter/hari)

$X$  = konsentrasi bakteri (mg/liter)

### 2.5.2 Pertumbuhan di Dalam Substrat yang Terbatas

Dalam suatu kultur kontinyu, jika keberadaan salah satu dari kebutuhan esensial (substrat dan nutrien) untuk pertumbuhan terbatas, maka nutrisi tersebut akan habis dan pertumbuhan akan berhenti. Keterbatasan substrat atau nutrien dapat didefinisikan menggunakan persamaan:



$$\mu = \mu_m \frac{S}{K_s + S} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana:

$\mu$  = pertumbuhan spesifik, (liter/hari)

$\mu_m$  = pertumbuhan spesifik maksimum (liter/hari)

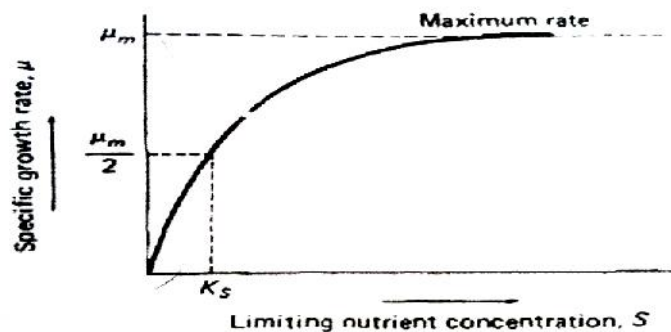
$S$  = konsentrasi substrat, (mg/liter)

$K_s$  = Konsentrasi substrat pada setengah laju pertumbuhan maksimum, (mg/liter)

Apabila Persamaan 3 dan 4 disubstitusikan, maka didapatkan persamaan pertumbuhan di dalam substrat yang terbatas yaitu:

$$r_g = \frac{\mu_m \times S}{K_s + S} \dots\dots\dots (5)$$

Berdasarkan perhitungan untuk mengetahui pertumbuhan di dalam substrat yang terbatas didapatkan kurva kinetika hubungan pertumbuhan spesifik sel dan substrat yang terbatas pada Gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2. Kurva laju pertumbuhan sel bakteri

### 2.5.3 Pertumbuhan dan Pemanfaatan Substrat

Pertumbuhan dan pemanfaatan substrat baik di dalam system *batch* maupun kontinyu, pada proses pengolahan biologis, sebagian dari substrat dikonversi menjadi sel-sel baru dan sebagian dioksidasi menjadi produk akhir anorganik dan

organik (Tchobanoglous dan Burton, 1991). Hubungan antara pemanfaatan substrat dan laju pertumbuhan adalah:

$$r_g = -Yr_{su} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana:

Y = koefisien hasil maksimum (mg/mg), rasio antara masa sel yang terbentuk dengan masa substrat yang dikonsumsi

$r_{su}$  = laju pemanfaatan substrat (mg/liter/hari)

Jika Persamaan 5 dan 6 disubstitusikan, maka laju pemanfaatan substrat dapat diketahui dengan:

$$r_{su} = - \frac{\mu_m \times S}{Y (K_s + S)} \dots\dots\dots (7)$$

Pada umumnya  $\mu_m / Y$  diganti dengan  $k$  (laju pemanfaatan substrat maksimum/masa bakteri) sehingga:

$$\frac{k = \mu_m}{Y} \dots\dots\dots (8)$$

Jika  $\mu_m / Y$  pada Persamaan 7 diganti dengan  $k$  sehingga:

$$r_{su} = - \frac{k \times S}{K_s + S} \dots\dots\dots (9)$$

(Tchobanoglous dan Burton, 1991).

#### 2.5.4 Pengaruh Metabolisme *Endogenous*

Dalam sistem bakteri yang digunakan untuk penanganan air limbah, tidak semua distribusi umur sel berada pada fase pertumbuhan logaritmik. Oleh sebab itu, persamaan untuk laju pertumbuhan perlu dikoreksi dalam menghitung kebutuhan energi untuk perawatan sel. Faktor lain, seperti kematian, juga harus dipertimbangkan. Biasanya, faktor-faktor ini digabungkan dan diasumsikan

sebagai penyebab penurunan massa sel yang proporsional dengan konsentrasi mikroba yang ada, penurunan ini diidentifikasi sebagai *endogenous decay* (Tchobanoglous dan Burton, 1991). Persamaan penggunaan substrat, pertumbuhan mikrobial dan kematian yang berkaitan dengan fase *endogenous* yaitu:

$$r_d = -K_d \times X \dots\dots\dots (10)$$

Dimana:

R = laju kematian (liter/hari)

$k_d$  = koefisien kematian (liter/hari)

X = konsentrasi mikroba (mg/liter)

Apabila Persamaan 5 disubstitusikan dengan Persamaan 3 dan 4, sehingga:

$$r'_g = \frac{\mu_m \times S}{K_s + S} \dots\dots\dots (11)$$

$$r'_g = -Y r_{su} - K_d X \dots\dots\dots (12)$$

Dimana:

$r'_g$  = laju pertumbuhan sel neto, (mg/l/hari)

Laju pertumbuhan spesifik neto selanjutnya didapatkan rumus:

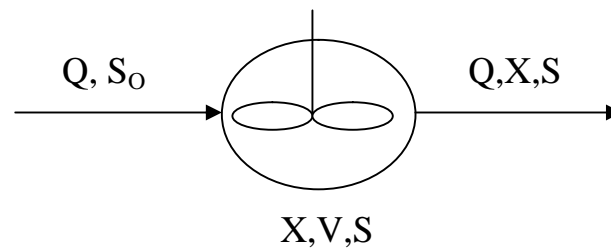
$$\mu' = \mu_m \frac{S}{K_s + S} - K_d \dots\dots\dots (13)$$

Pengaruh respirasi *endogenous* terhadap hasil sel bakteri neto merupakan hasil observasi dari:

$$Y_{obs} = \frac{r'_g}{r_{su}} \dots\dots\dots (14)$$

(Tchobanoglous dan Burton, 1991).

### 2.5.5 Aplikasi Kinetika Pertumbuhan dan Pemanfaatan Substrat.



(Tchobanoglous dan Burton, 1991)

Gambar 3. Diagram reaktor pencampuran sempurna tanpa resirkulasi

Gambar 3 merupakan reaktor pengadukan sempurna (*complete mix*) pada pengolahan lumpur aktif menggunakan proses aerobik tanpa resirkulasi.

Dimana:

$Q$  = debit aliran limbah (liter)

$S_0$  = konsentrasi substrat di *influent* (mg/liter)

$S$  = konsentrasi substrat di *effluent* dari reaktor (mg/liter)

$V$  = volume reaktor (liter)

$X$  = konsentrasi mikroorganisme (mg/liter)

### 2.5.6 Neraca Masa Mikroorganisme / Bakteri ( $X$ )

Akumulasi = *Inflow* – *Outflow* + Pertumbuhan Neto

Notasi:

$$\frac{dx}{dt}V_r = QX_0 - QX + V_r r'_g \dots\dots\dots (15)$$

Dimana:

$dx/dt$  = perubahan konsentrasi mikroorganisme di dalam reaktor yang (diukur dengan masa VSS/unit volume/waktu)

$V_r$  = volume reaktor

$Q$  = debit aliran limbah (volume/waktu)

$X_0$  = konsentrasi mikroorganisme di influent (masa VSS/unit volume)

$X$  = konsentrasi mikroorganisme di dalam reaktor (masa VSS/unit volume)

$r'_g$  = laju pertumbuhan mikroorganisme neto (masa VSS/unit volume/waktu)

Jika Persamaan 7 disubstitusikan ke Persamaan 9 sehingga:

$$\frac{dx}{dt} V_r = QX_o - QX + V_r \left( \frac{\mu_m X S}{K_s + S} - K_d X \right) \dots\dots\dots (16)$$

$S$  = konsentrasi substrat di *influent* dari reaktor (mg/liter)

Jika konsentrasi mikroorganisme dianggap kecil ( $X_o = 0$ ), dan proses *steady state* atau tidak ada akumulasi ( $dx/dt = 0$ ), sehingga:

$$\frac{Q}{V_r} = \frac{1}{\theta} = \frac{\mu_m X S}{K_s + S} - K_d \dots\dots\dots (17)$$

Waktu tinggal limbah cair tahu atau *hydraulik retention time* (HRT) adalah waktu yang diperlukan oleh suatu tahap pengolahan agar tujuan pengolahan dapat dicapai secara optimal, pada setiap pengolahan limbah memiliki waktu tinggal yang berbeda-beda, sehingga waktu tinggal ini perlu diketahui lamanya pada setiap jenis pengolahan limbah, dengan diketahuinya waktu tinggal maka dapat diketahui pula rancangan pengolahan limbah yang akan dibuat dengan ukuran yang tepat dan kebutuhan yang sesuai (Sugiharto,2008). Waktu tinggal dapat diketahui menggunakan Persamaan 18.

$$\theta = \frac{V_r}{Q} \dots\dots\dots (18)$$

Dimana:

$\theta$  = waktu tinggal (hari)

$V_r$  = volume reaktor (liter)

$Q$  = debit (liter)

### 2.5.7 Neraca Masa Substrat (S)

Akumulasi = *Inflow* – *Outflow* – Pemanfaatan

Kinetika Monod untuk penggunaan substrat dan pertumbuhan biologis juga dapat direpresentasikan sebagai berikut:

$$\frac{dS}{dt}V_r = QS_o - QS - V_r r_{su} = QS_o - QS - V_r \frac{k \times S}{K_s + S} \quad (19)$$

Untuk kondisi *steady state*,  $dS/dt = 0$  menggunakan rumus:

$$QS_o - QS - \theta \frac{k \times S}{K_s + S} \dots\dots\dots \quad (20)$$

### 2.5.8 Penentuan Nilai $K_s$ , $k$ , $Y$ , dan $K_d$

Pengetahuan mengenai nilai  $K_s$  memungkinkan dalam merancang unit aerator berdasarkan pengaturan konsentrasi substrat, waktu tinggal, volume reaktor, konsentrasi *effluent* sehingga dapat diperoleh hasil yang optimal.  $K_s$  merupakan besarnya konsentrasi substrat pada saat laju pertumbuhan spesifik sama dengan setengah laju pertumbuhan maksimum, sedangkan  $k$  merupakan laju pemanfaatan substrat oleh mikroorganisme yang diubah menjadi energi. Variabel biokinetik  $K_s$  menunjukkan kepekaan konsentrasi substrat yang peka terhadap konsentrasi biomassa. Apabila nilai  $K_s$  besar berarti rentang konsentrasi substrat yang peka terhadap pertumbuhannya besar. Menurut Tchobanoglous dan Burton (1991) untuk menentukan nilai  $K_s$  dan  $k$  dapat menggunakan persamaan:

$$r_{su} = -\frac{k \times S}{K_s + S} = -\frac{S_o - S}{\theta} \dots\dots\dots \quad (21)$$

apabila persamaan tersebut dibagi dengan  $X$  sehingga:

$$\frac{kS}{K_s + S} = \frac{S_o - S}{\theta X} \dots\dots\dots \quad (22)$$

Bentuk linear kinetika,  $K_s$  dan  $k$  ditentukan menggunakan rumus:

$$\frac{X\theta}{S_0 - S} = \frac{K_s}{k} \left( \frac{1}{S} \right) + \frac{1}{k} \dots\dots\dots (23)$$

Koefisien  $K_d$  adalah suatu koefisien yang mewakili beberapa faktor seperti kematian mikroorganisme, energi yang diperlukan dalam pemeliharaan sel, dan respirasi *endogenous*. Nilai  $Y$  merupakan koefisien *yield* maksimum atau rasio antara massa sel terbentuk dengan massa substrat yang digunakan. Nilai  $Y$  menunjukkan banyaknya bahan organik yang dikonversi menjadi sel-sel baru, dan banyaknya bahan organik yang dapat dirubah menjadi bahan anorganik. Menurut dwiyantara (2013) data kinetika yang diperoleh dapat dijadikan acuan dalam penentuan parameter kinetika pertumbuhan biologi. Penentuan nilai  $Y$  dan  $K_d$  menggunakan rumus:

$$\frac{1}{\theta_c} = -Y \frac{r_{su}}{\theta X} - K_d \dots\dots\dots (24)$$

$$r_{su} = \frac{Q}{V_r} (S_0 - S) = -\frac{S_0 - S}{\theta} \dots\dots\dots (25)$$

$$\frac{1}{\theta_c} = Y \left( \frac{S_0 - S}{X\theta} \right) - K_d \dots\dots\dots (26)$$

(Metcalf dan Eddy, 1979).

## 2.6 Parameter Pencemar Air

Pencemaran lingkungan limbah cair dapat diketahui dengan mengukur kualitas air limbah menggunakan parameter berikut:

### 2.6.1 Total Solids

*Total Solids* merupakan kadar padatan yang terkandung di dalam air limbah yang berasal dari berbagai sumber. Partikel padatan yang terkandung di dalam air

limbah terdiri dari benda-benda yang mengendap, terlarut, dan tercampur yang bersumber dari hasil pencucian ataupun dari proses industri (Sugiharto, 2008).

*Total Solids* yang tinggi pada air limbah cair tahu, mengakibatkan sedimentasi pada dasar sungai sehingga terjadi pendangkalan sungai. Selain menyebabkan pendangkalan, zat padat juga mempengaruhi kerapatan air dan menghalangi cahaya masuk ke dalam air, sehingga mengurangi produksi oksigen. Karena itulah zat padat menjadi parameter kualitas air yang penting (Sugiharto, 2008).

*Total Solids* terbagi menjadi dua bagian yaitu *total suspended solids* dan *total filterable solids*. *Total suspended solids* air limbah merupakan sekelompok mikroorganisme yang membentuk lumpur pada proses lumpur aktif. *Total suspended solids* dapat diketahui melalui proses penyaringan terhadap limbah cair menggunakan kertas saring (Sugiharto, 2008). Penyisihan *total suspended solids* dapat dilakukan dengan cara sedimentasi pada air limbah (Tchobanoglous dan Burton, 1991). Selain itu, penyisihan *total suspended solids* juga dapat dilakukan menggunakan sistem filtrasi biologis yang mampu menurunkan konsentrasi *total suspended solids* sebesar 97,94% (Devi, 2013).

*Total filterable solids* merupakan padatan yang lolos dari kertas saring dengan ukuran partikelnya yang sangat kecil. *Total filterable solids* mengidentifikasi adanya bahan organik dan anorganik dalam air limbah (Tchobanoglous dan Burton, 1991). *Total filterable solids* tidak dapat dihilangkan menggunakan proses pengendapan. Proses penyisihan yang umum dilakukan yaitu menggunakan pengolahan biologis yang diikuti dengan sedimentasi. Pengukuran konsentrasi *Total filterable solids* bertujuan untuk mengetahui jumlah substrat dalam limbah cair tahu.



### 2.6.2 Derajat keasaman (pH)

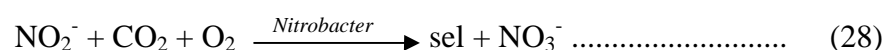
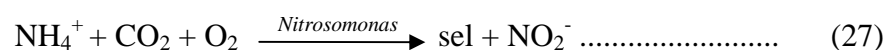
Derajat keasaman (pH) merupakan faktor penting bagi kehidupan dan pertumbuhan mikroorganisme yang hidup di dalam limbah cair (Sugiharto, 2008). Sebagian besar mikroorganisme tidak toleran pada pH kurang dari 4,0 atau lebih dari 9,5 sedangkan pH optimum bagi kehidupan mikroorganisme berkisar antara 6,5 dan 7,5 (Tchobanoglous dan Burton, 1991). Apabila pH tidak sesuai dengan lingkungan hidup mikroorganisme, maka akan menurunkan efisiensi pengolahan limbah cair.

### 2.6.3 Nitrogen

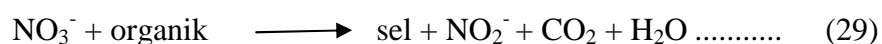
Pada umumnya nitrogen dalam air terdiri dari nitrogen organik, amonia, nitrit, dan nitrat (Tchobanoglous dan Burton, 1991). Nitrogen pada limbah cair dalam bentuk apapun harus dibatasi jumlahnya. Limbah cair yang mengalami kelebihan nitrogen dapat memberikan efek ekologi yang merugikan. Efek yang ditimbulkan yaitu dapat mempercepat proses pertumbuhan alga dan tanaman air yang merugikan (Sugiharto, 2008).

Mekanisme penghilang nitrogen dari air limbah bergantung pada bentuk nitrogen yang ada baik sebagai nitrat, amonia, atau nitrogen organik. Menurut Tchobanoglous dan Burton (1991) ada dua cara penyisihan nitrogen dalam limbah cair yaitu asimilasi dan nitrifikasi-denitrifikasi. Asimilasi adalah penguraian nitrogen organik dalam air limbah oleh mikroorganisme yang akan membentuk masa aktif (flok-flok). Nitrifikasi-denitrifikasi merupakan pemberian oksigen pada amonia untuk diubah menjadi nitrit dan nitrat oleh bakteri pengurai (Sugiharto, 2008).

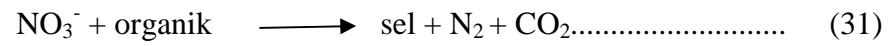
Menurut Tchobanoglous dan Burton (1991) nitrifikasi dan denitrifikasi merupakan metode terbaik diantara metode yang ada. Kelebihan dari metode tersebut yaitu efisiensi penyisihannya tinggi, pengontrolan proses yang mudah, kebutuhan lahan yang minimum, dan biayanya yang relatif murah. Bakteri pengurai yang berperan penting dalam proses nitrifikasi adalah *Nitrosomonas* yang mengubah ammonium menjadi nitrit, dan bakteri *Nitrobacter* yang mengubah nitrit menjadi nitrat (Jenie dan Rahayu, 1993). Persamaan reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Denitrifikasi merupakan tahapan kedua dalam penyisihan nitrogen setelah proses nitrifikasi (Tchobanoglous dan Burton, 1991). Denitrifikasi adalah proses reduksi nitrat dan nitrit pada konsisi oksigen yang rendah dalam air limbah. Bakteri yang mampu menyisihkan dalam proses denitrifikasi yaitu *Archomobacter*, *Aerobacter*, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, dan *Spirillum* (Metcalf dan Eddy, 1979). Produk akhir yang dihasilkan dari proses denitrifikasi adalah gas nitrogen ( $\text{N}_2$ ) atau nitrogen oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Kedua gas tersebut mudah menguap di udara. Reduksi nitrat dan nitrit disajikan pada reaksi berikut:



Namun pada kenyataannya, jumlah nitrit yang terbentuk seringkali tidak diamati. Proses penguraian lebih sering disajikan secara keseluruhan, sehingga reaksi tersebut dapat disajikan sebagai berikut:



### III.METODOLOGI

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni sampai dengan Desember 2016, bertempat di Laboratorium Rekayasa Sumber Daya Air dan Lahan (RSDAL), Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung.

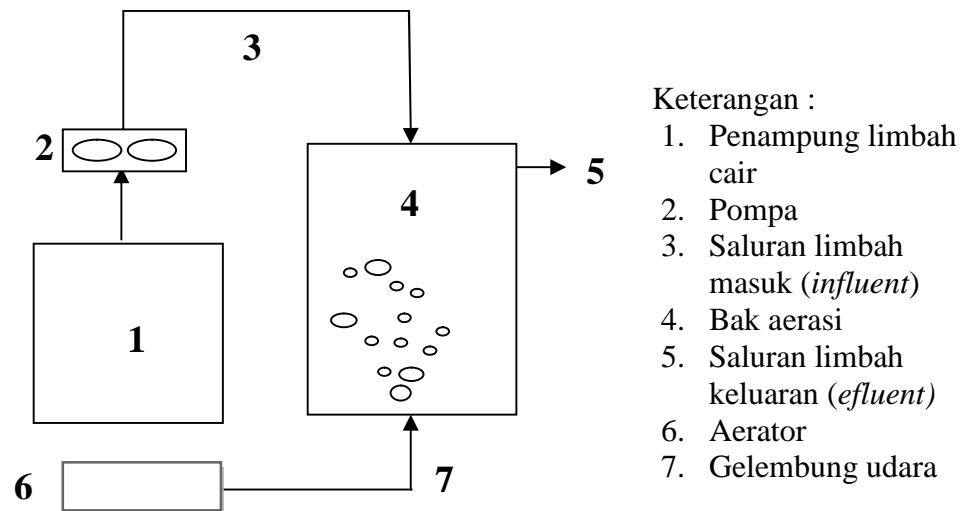
#### 3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah seperangkat reaktor, pompa peristaltik, *timer*, dan alat untuk analisis seperti gelas ukur, pH meter digital, timbangan analitik 4 desimal, oven, *desiccator*, cawan, pipet tetes, labu takar, *vacum pump*, *spectrofotometer* dan alat laboratorium lainnya.

Bahan yang digunakan adalah limbah cair tahu hasil buangan (*effluent*) pengolahan limbah menggunakan *biofilter* proses *anaerob* dengan batuan fosfat sebagai media penyaringan, larutan *nessler*, aquades, dan larutan amonia.

### 3.3 Rancangan Sistem Lumpur Aktif

Rancangan pengolahan menggunakan lumpur aktif yang digunakan disajikan pada Gambar 4.



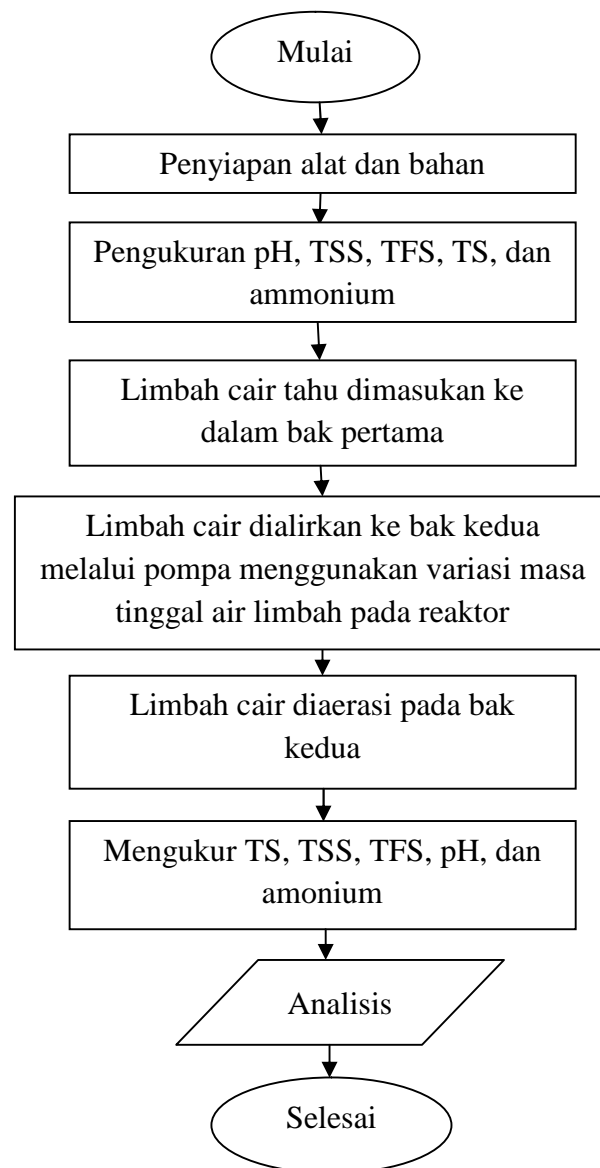
Gambar 4. Rancangan sistem lumpur aktif.

Tahap pertama yaitu limbah cair awal (*influent*) ditampung di dalam bak pertama. Kemudian *influent* dialirkan melalui pipa menggunakan pompa peristaltik menuju bak kedua. Limbah cair diaerasi menggunakan pompa aerator selama 24 jam secara kontinyu pada bak kedua. Limbah cair yang telah diaerasi kemudian dikeluarkan menuju bak penampung akhir.

### 3.4 Pelaksanaan penelitian

Penelitian ini menggunakan lima perlakuan dengan variasi pada masa tinggal limbah cair. P1 (masa tinggal 2,5 hari), P2 (masa tinggal 2,9 hari), P3 (masa tinggal 3,3 hari), P4 (masa tinggal 4 hari), dan P5 (masa tinggal 5 hari). Setiap pergantian perlakuan, limbah cair tahu di dalam bak kedua atau bak aerasi diendapkan terlebih dahulu. Selanjutnya air limbah yang tidak mengendap

digunakan kembali sebagai mikroorganisme pengurai untuk perlakuan berikutnya. Parameter yang diamati seperti TS (*total solids*), TSS (*total suspended solids*), TFS (*total filterable solids*), pH (derajat keasaman), dan amonium yang diukur sebelum dan sesudah dilakukan aerasi. Diagram alir pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram alir penelitian

### 3.5 Teknik Pengambilan Sampel

Langkah awal dalam pengambilan sampel yaitu dengan menyiapkan alat pengambil sampel. Alat pengambil sampel yang digunakan adalah labu takar 25 ml dan gelas ukur 250 ml. Teknik yang dilakukan yaitu dengan cara mengambil sampel dari satu titik yang sama pada waktu yang berbeda. Sampel limbah awal (*influent*) diambil dari saluran keluaran pada pengolahan menggunakan biofilter. Sedangkan sampel air limbah reaktor diambil pada bak reaktor dalam kondisi pengadukan sempurna. Pengambilan sampel pada reaktor diambil dengan menenggelamkan botol sampel ke dalam tangki reaktor.

### 3.6 Parameter Pengamatan

Parameter pengamatan yang diukur pada penelitian ini adalah TS (*total solids*), TSS (*total suspended solids*), TFS (*total filterable solids*), pH (derajat keasaman) dan amonium. Sampel pengukuran diambil pada bak penampung limbah sebelum aerasi dan setelah aerasi.

#### 3.6.1 Derajat Keasaman (pH)

Pengukuran pH pada penelitian ini menggunakan pH meter digital. pH limbah cair diukur sebelum (*influent*) dan sesudah aerasi (*effluent*). Cara pengukuran yaitu dengan menyiapkan pH meter dan sampel air limbah di dalam botol sampel. Sampel air limbah kemudian diambil ( $\pm$  setengahnya) ke dalam gelas *beaker*, lalu pH sampel limbah diukur dan dicatat hasilnya.

### 3.6.2 TS (*Total Solids*)

*Total solids* merupakan kadar padatan yang terkandung di dalam air limbah yang berasal dari bermacam-macam sumber. Prosedur kerja yaitu sampel limbah tahu dipipet menggunakan pipet tetes sebanyak 5 ml, tanpa dilakukan penyaringan sebelumnya. Kemudian sampel limbah diletakkan ke dalam cawan, oven selama 24 jam dengan suhu 103 °C sampai dengan 105°C. Setelah itu ditimbang menggunakan timbangan analitik dan dicatat hasilnya. Untuk mengetahui kadar TSS dapat menggunakan rumus:

$$TS = \frac{W_2 - W_1}{V} \left( \frac{mg}{l} \right) \dots\dots\dots (32)$$

Keterangan:

$W_1$  = cawan (mg)

$W_2$  = cawan + residu setelah dioven (mg)

$V$  = volume sampel (liter)

### 3.6.3 TSS (*Total Suspend Solids*)

*Total solid suspended* adalah residu dari padatan total yang tertahan oleh saringan. Prosedur kerja yang pertama dilakukan yaitu contoh uji yang telah homogen disaring dengan kertas saring yang telah ditimbang. Residu yang tertahan pada saringan dikeringkan sampai mencapai berat konstan pada suhu 103°C sampai dengan 105°C. Residu setelah dioven kemudian ditimbang menggunakan timbangan analitik dan dicatat hasilnya. Untuk mengetahui kadar *total suspended solids* dapat menggunakan rumus:

$$TSS = \frac{W_{S2} - W_{S1}}{V} \left( \frac{mg}{l} \right) \dots\dots\dots (33)$$

Keterangan:

$W_{S1}$  = cawan + kertas saring (mg)



$W_{s_2}$  = cawan + kertas saring + residu setelah dioven (mg)  
 $V$  = volume sampel (liter)

#### 3.6.4 Total Filterable Solids (TFS)

*Total filterable solid* (TFS) atau filtrat merupakan zat yang lolos dari penyaringan yang menggunakan kertas saringan. Prosedur kerja yang dilakukan pertama yaitu sampel yang telah disaring menggunakan kertas saring, kemudian diletakkan pada cawan dengan volume sampel air limbah sebanyak 5 ml. Sampel dioven dalam waktu 24 jam dengan suhu 103°C - 105°C. Selanjutnya ditimbang menggunakan timbangan analitik dan dicatat hasilnya. Untuk menghitung kadar *total filterable solids* limbah tahu dapat menggunakan rumus:

$$TFS = \frac{W_{F2} - W_{F1}}{V} \left( \frac{mg}{l} \right) \dots\dots\dots (34)$$

Keterangan:

$W_{F1}$  = cawan (mg)  
 $W_{F2}$  = cawan + residu setelah dioven (mg)  
 $V$  = volume sampel (liter)

#### 3.6.5 N- ammonium

Kadar ammonium dianalisis menggunakan larutan *nessler*. Perubahan warna yang dihasilkan oleh reaksi *nessler* dengan amonia, menyerap kuat pada rentang panjang gelombang yang luas. Karakteristik warna kuning nitrogen dapat diterima di daerah panjang gelombang 425 nm pada *spectrofotometer*.

Pengukuran kadar ammonium dilakukan pada akhir perlakuan pada limbah *influent* dan *effluent*.

### 3.6.6 Efisiensi

Efisiensi pengolahan limbah dihitung berdasarkan selisih antara konsentrasi influent dan konsentrasi effluent, sebagai berikut :

$$\frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100 \dots\dots\dots (35)$$

Keterangan:

$C_1$  = konsentrasi TSS, dan TFS sebelum aerasi

$C_2$  = konsentrasi TSS, dan TFS pada bak aerasi.

### 3.6.7 Kinetika Reaksi

$K_s$  adalah konstanta  $\frac{1}{2}$  laju reaksi, yang diketahui dari grafik pertumbuhan spesifik dan konsentrasi substrat yang terbatas.  $k$  merupakan laju pemanfaatan substrat maksimum/unit masa bakteri. Penetapan parameter kinetika konstanta  $K_s$  dan  $k$  ditentukan menggunakan persamaan:

$$\frac{X\theta}{S_0 - S} = \frac{K_s \left(\frac{1}{S}\right) + \frac{1}{k} \dots\dots\dots (23)$$

$Y$  merupakan koefisien hasil maksimum antara masa sel yang terbentuk dengan masa substrat yang dikonsumsi.  $K_d$  merupakan koefisien kematian mikroorganisme. Penetapan parameter kinetika konstanta  $Y$  dan  $K_d$  ditentukan dengan persamaan:

$$\frac{1}{\theta} = -Y \left(\frac{S_0 - S}{X\theta}\right) - K_d \dots\dots\dots (26)$$

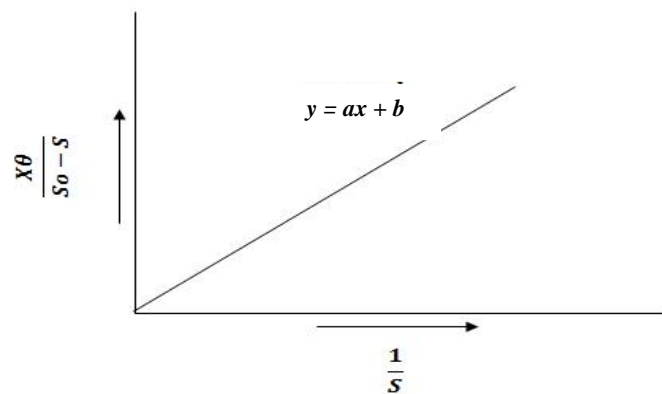
Berdasarkan Persamaan 23 dan 26 diketahui bahwa:

$X$  = konsentrasi mikroorganisme diketahui dari hasil pengurangan  
 $TSS_{\text{limbah reaktor}} - TSS_{\text{limbah awal}} \text{ (g/l)}$ .

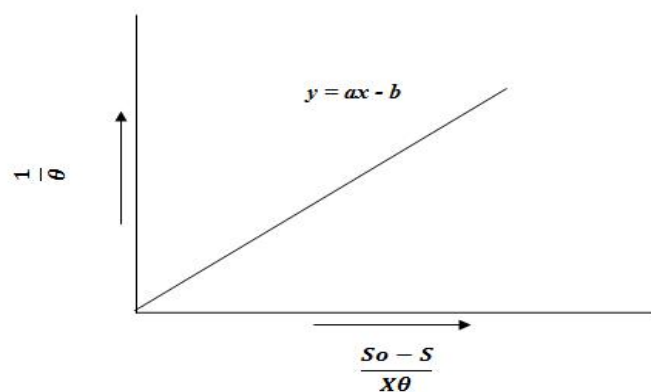
- $\theta$  = waktu tinggal air limbah (HRT) diketahui dari  $\frac{Q(\text{debit aliran})}{V(\text{volume reaktor})}$  (hari)  
 $S_0$  = konsentrasi substrat diasumsikan sebagai TFS<sub>limbah awal</sub> (g/l)  
 $S$  = konsentrasi substrat diasumsikan sebagai TFS<sub>limbah reaktor</sub> (g/l).

### 3.6.8 Analisis Kinetika Reaksi

Parameter kinetika reaksi ditentukan dengan menggunakan Persamaan 27 dan 28, dan diplot sepertipada Gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Grafik kinetika  $K_s$  dan  $k$



Gambar 7. Grafik kinetika  $Y$  dan  $K_d$

Keterangan:

- $X$  : konsentrasi mikroba (mg/L), diasumsikan = TSS  
 $S_0$  : konsentrasi substrat influent (mg/L) = TFS  
 $S$  : konsentrasi substrat reaktor/effluent = TFS

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik berdasarkan penelitian yang telah dilakukan adalah :

1. pH limbah cair tahu meningkat setelah dilakukan aerasi dari kondisi asam 5,6 menjadi basa 8,9.
2. Hasil analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa waktu tinggal air limbah 5 hari mempengaruhi penurunan konsentrasi *total solids* sebesar 16,63%, *total filterable solids* 34,42%, dan N-amonium 84,7 %.
3. Nilai parameter kinetika yang diperoleh  $K_s = 63 \text{ g/l}$ ,  $k = 5,08 \text{ /hari}$ ,  $Y = 1.3 \text{ g/g}$ , dan  $K_d = 0.14 \text{ /hari}$  adalah. Pada umumnya parameter kinetika menunjukkan bahwa limbah cair tahu mengandung bahan organik yang dapat diuraikan oleh mikroorganisme dalam proses lumpur aktif.

## **5.2 Saran**

Saran untuk menyempurnakan penelitian ini yaitu perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai perancangan bioreaktor dalam proses pengolahan limbah cair tahu menggunakan lumpur aktif proses aerobik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adack, J. 2013. Dampak Pencemaran Limbah Pabrik Tahu Terhadap Lingkungan Hidup. *Lex Administratum* Vol 1 (3) : 78-97.
- Bartelsi, M. 2008. *Manfaat Kedelai dan Pengolahan*. Sahabat. Klaten Jawa Tengah. 86 hlm.
- Direktorat Jendral Industri Kecil Menengah. 2007. *Pengelolaan Limbah Industri Pangan*. Departemen Perindustrian. Jakarta. 27 hlm.
- Devi, L. P. W. K., G. D. Putra dan A. A. B. Putra. 2013. Efektifitas Pengolahan Air Effluent Menjadi Air Reklamasi Di Instalasi Pengolahan Air Limbah Suwug Denpasar Ditinjau Dari Kandungan Kekeruhan, Total Zat Terlarut (TDS), Total Zat Tersuspensi (TSS). *Jurnal Kimia*. Vol 7 (1) : 64-74.
- Dwiyantara, A dan P. F. Nugrahini. 2013. Penentuan Nilai Parameter Kinetika Proses Dalam Perombakan Secara Anaerobik Limbah Cair Industri Gula, Tepung Tapioka, dan Minyak Kelapa Sawit Menggunakan 4 Reaktor UASB. *Jurnal Ilmu Hayati dan Fisik*. Vol 15 (1) : 65-70.
- Firmansyah, R., A. M. Hendrawan, dan M. U. Riandi. 2007. *Mudah dan Aktif Belajar Biologi Untuk Kelas XII Sekolah Menengah Atas/Madrasah Aliyah Program Ilmu Pengetahuan Alam*. PT. Setia Purna Inves. Bandung. 218 hlm.
- Husin, A. 2008. Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Dengan Biofiltrasi Anaerob Dalam Reaktor *Fixed-Bed*. *Tesis*. Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatra Utara. 74 hlm.
- Jenie, B. S. L dan W. P. Rahayu. 1993. *Penanganan Limbah Industri Pangan*. Kanisius. Yogyakarta. 184 hlm.
- Kementerian Kesehatan RI. 2011. *Instalasi Pengolahan Air Limbah*. Direktorat Bina Pelayanan Penunjang Medik Dan Sarana Kesehatan. Jakarta. 93 hlm.
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup. 2014. *Baku Mutu Air Limbah*. KEP-5/MENLH/10/2014. 85 hlm.

- Mahida, U.N. 1993. *Water Pollution and Disposal of Waste Water on Land (Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri, G.A. Ticoalu)*. PT Raja Grafindo Persada. Jakarta. 544 hlm.
- Munawaroh, U., M. Sutrisna, dan K. Pharmawati. 2013. Penyisihan Parameter Pencemar Lingkungan Pada Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Efektif Mikroorganisme 4 (EM4) serta Pemanfaatannya. *Jurnal Institut Teknologi Nasional*. Vol 1 (2) : 1-12.
- Nirwana, S. 2016. Kinerja Pengolahan Limbah Cair Tahu Secara Kontinyu Dengan Media Filter Batu Fosfat. *Skripsi*. Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung. 74 hlm.
- Pusat Penelitian Lingkungan Hidup Lembaga Penelitian Institut Pertanian Bogor. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian. 2014. Buletin Konsumsi Pangan. Departemen Pertanian. Vol 5(2) : 63 hlm.
- Ratnani, R. D. 2012. Kemampuan Kombinasi Eceng Gondok dan Lumpur Aktif untuk Menurunkan Pencemaran pada Limbah Cair Industri Tahu. *Momentum*. Vol 8 (1) : 1-5.
- Romli, M., Suprihatin, dan D. Sulinda. 2004. Penentuan Nilai Parameter Kinetika Lumpur Aktif Untuk pengolahan Air Lindi Sampah (*Leachate*). *Jurnal Teknik Industri Pertanian*. Vol 14 (2) : 56 – 66.
- Sani, Y.S. 2006. Pengolahan Air Limbah Tahu Menggunakan Lumpur Reaktor Anaerob Bersekat dan Aerob. *Tesis*. Program Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro Semarang. 54 hlm.
- Siregar, S. A. 2010. *Instalasi Pengolahan Air Limbah*. Knisius. Yogyakarta. 54 hlm.
- Sugiharto. 2008. *Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah*. Universitas Indonesia (UI-Press). Jakarta. 184 hlm.
- Suprpti, M. L. 2005. *Teknologi Pengolahan Pangan Pembuatan Tahu*. Kanisius. Yogyakarta. 30 – 31.
- Sutresna, N. 2007. *Cerdas Belajar Kimia Untuk Klelas X Sekolah Menengah Atas/Madrasah Aliyah..* Gravindo Media Pratama. Bandung. 180 hlm.
- Tchobanoglous, G dan F.L.Burton. 1991. *Wastewater Engineering : Treatment, Disposal, and Reuse*. McGraw Hill Book Co. New York. 1334 hlm.
- Triyono, S. 2011. Modul Praktikum Rekayasa Pengolahan Limbah. Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung. 34 hlm.