

**PERENCANAAN UNIT PENGOLAHAN LIMBAH CAIR TAPIOKA
DENGAN SISTEM *UP-FLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET (UASB)*
UNTUK INDUSTRI SKALA MENENGAH.**

Amirul Mukminin ¹, Wignyanto ², Nur Hidayat ².

1 Alumnus Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya
2. Tenaga Pengajar Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya

Abstrak

Penelitian bertujuan mencari kombinasi perlakuan pH influen dan waktu detensi terbaik terhadap kualitas efluen pengolahan limbah cair tapioka dengan sistem *Up-flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)*.

Penelitian menggunakan rancangan acak kelompok dengan dua faktor yaitu pH influen dan lama waktu detensi. pH influen terdiri atas 2 level yaitu pH 4,73 (kontrol) dan pH 7 ± 1 , dan faktor lama waktu detensi terdiri atas 6 level yaitu lama waktu detensi 2 jam, 4 jam, 6 jam, 8 jam, 10 jam dan 12 jam. Tiap perlakuan diulang tiga kali. Data dianalisa dengan analisa ragam, apabila ada perbedaan maka dilanjutkan dengan uji DMRT. Perlakuan yang menghasilkan efluen yang sesuai dengan baku mutu limbah yaitu COD ≤ 300 mg/l, TSS ≤ 100 mg/l, DO ≥ 6 mg/l dan pH 6 - 9 dijadikan pertimbangan sebagai perlakuan terbaik, apabila terdapat lebih dari satu perlakuan maka perlakuan terbaik didasarkan pada analisa finansial pengembangan UASB pada skala industri kecil.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pH influen berpengaruh sangat nyata terhadap COD, DO dan pH efluen dan berpengaruh tidak nyata terhadap TSS, dan Waktu detensi berpengaruh sangat nyata terhadap COD, DO, TSS dan pH efluen, dan interaksi pH dan waktu detensi berpengaruh nyata terhadap kadar TSS dan berpengaruh sangat nyata terhadap kadar COD, DO dan pH efluen. Kadar DO semua perlakuan kadarnya dibawah 6 mg/l. Perlakuan yang memenuhi syarat untuk dibuang ke lingkungan berdasarkan parameter COD, TSS dan pH adalah perlakuan P₁D₆ (pH influen 4,73 (kontrol) dan waktu detensi 12 jam) dengan kadar COD sebesar 283 mg/l, kadar TSS efluen sebesar 45 mg/l dan pH efluen 6,43, dan perlakuan P₂D₆ (pH influen 7 ± 1 dan waktu detensi 12 jam) dengan kadar COD sebesar 196 mg/l, kadar TSS efluen sebesar 57 mg/l dan pH efluen 7,20. Perlakuan terbaik berdasarkan analisa finansial adalah perlakuan P₁D₆ (pH influen 4,73 (kontrol) dan waktu detensi 12 jam) dengan biaya investasi awal Rp 37.875.000,00 dan biaya operasional per hari Rp 25.037,70.

Ukuran reaktor hasil penggantian skala perlakuan terbaik untuk industri kecil berdiameter 3 meter dan tinggi total reaktor adalah 5,37 meter. Untuk industri skala menengah ukuran diameter reaktor adalah 4 meter dan tinggi total adalah 8,88 meter, sedangkan untuk skala industri besar ukuran diameter reaktor adalah 10 meter dan tinggi total reaktor adalah 18,473 meter.

Abstract

The objectives of this study were to discover the optimum pH treatment combination for the inflow and the optimum holding period for treatment of liquid tapioca waste vis-à-vis waste quality through using an up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) system.

This research employed a completely randomized block design with two factors, namely optimum pH levels 5.73 (control) and pH 7 ± 1 , and the time factor which was divided into 6 periods 2,4,6,8,10, and 12 hours respectively. The data was analyzed through a variance analysis, if there was a discrepancy/an anomaly, then further DMRT tests were initiated, the treatment that produced effluent being within waste quality standards, i.e. with COD of ≤ 300 mg/l, a TSS \leq of 100 mg/l, a DO of ≤ 6 mg/l and a pH factor of between 6 and 9, it was considered to be the best treatment. However, should there have been more than the treatment with the above results, then the final choice was based on that treatment which had the lowest UASB start up costs.

The results of the tests indicated that pH inflow levels have a most significant effect on COD, DO, and pH effluent levels, but has little effect on TSS. Furthermore, holding periods also have an enormous influence on effluent COD, DO, TSS and pH levels. In addition, the interaction of pH and holding times also have a major effect on effluent TSS levels and a really significant effect on COD, DO and pH. It was found that the DO concentrations from all treatments was less than 6 mg/l. And the treatment that gave a waste discharge into the environment within regulatory standards for COD, TSS, and pH, was the one with a pH input level of 4.73 (control), a holding period of 12 hours and a

COD of 283 mg/l, this produced an effluent of 57 mg/l TSS and apH of 7.20. The best treatment was that with a waste inflow of 4.73 pH and holding period of 12 hours, this one also had the lowest start-up costs Rp. 37,875,000. and operational costs Rp. 25,050 per day.

The optimum size reactor for small scale industry had a diameter of 3 mm and a height of 5.73 m, and for medium a sized plant, it was of 4 m diameter and 8.88 m in height. For big production plants, the best size was a 10 m, and 18.43 m in height.

PENDAHULUAN

Industri pengolahan produk pertanian menghasilkan limbah sebagai produk sampingan, berkaitan dengan limbah yang dihasilkan tersebut pemerintah membuat batasan-batasan yang disusun dalam suatu undang-undang dalam upaya untuk menjaga kelestarian lingkungan dan keseimbangan ekosistem di sekitar industri tempat dihasilkan limbah tersebut. Hal ini mengisyaratkan adanya pengolahan terhadap limbah yang dihasilkan sebelum dibuang ke lingkungan sekitar perusahaan.

Pengolahan limbah dapat menimbulkan beban biaya bagi perusahaan yang bersangkutan, biaya tersebut dapat berupa biaya investasi alat, lahan dan biaya operasional sehingga perusahaan harus berupaya menggunakan cara yang paling efektif dan efisien dalam kegiatan tersebut. Secara umum ada tiga metode pengolahan limbah yaitu secara fisik, biologis dan kimiawi, tetapi dalam pelaksanaannya cara yang dilakukan dapat salah satu atau gabungan dari dua atau tiga cara yang ada.

Industri tepung tapioka menghasilkan limbah cair dari proses pencucian dan pengendapan. Limbah cair tersebut dapat menimbulkan masalah pencemaran lingkungan apabila langsung dibuang ke sungai tanpa terlebih dahulu dilakukan pengolahan untuk menurunkan kadar atau menghilangkan bahan yang dapat menimbulkan pencemaran. Limbah cair tersebut kaya akan bahan organik dan cara yang umum digunakan dalam pengolahan limbahnya adalah cara biologis dengan memanfaatkan mikroba pengurai bahan organik.

Penanganan limbah secara aerobik seperti *lagooning* atau dengan aerasi

merupakan salah satu teknologi yang banyak dikembangkan dan diterapkan secara luas dalam pengolahan limbah, dan teknik ini merupakan penanganan yang paling banyak menggunakan pengendalian mikrobial (Mangunwidjaja dan Suryani, 1994). Kekurangan proses aerob adalah dihasilkan padatan (*sludge*) yang cukup banyak tiap kg COD yang diolah, hal ini dapat menjadi masalah baru dalam penanganan padatan (*sludge*) yang dihasilkan tersebut (Barnes dan Fitzgerald dalam Forster dan Wase, 1987). Kekurangan lain pengolahan limbah secara aerob adalah permasalahan konsumsi energi yang mana diperlukan 0,7 – 4,4 KWh tiap kg VS (*Volatile Solids*) yang dioksidasi (Forster dan Senior dalam Forster dan Wase, 1987).

Alternatif lain dalam pengolahan limbah cair untuk mengatasi beberapa masalah diatas adalah dengan memanfaatkan jasad anaerob, pengolahan limbah secara anaerob dibagi menjadi dua cara yaitu *batch* dan kontinyu. UASB (*Up-flow Anaerobic Sludge Blanket*) merupakan salah satu cara pengolahan limbah secara anaerobik yang dioperasikan secara kontinyu, dalam fermentor UASB limbah dialirkan secara vertikal dari bagian bawah menuju ke atas melewati *Sludge Blanket* yang di dalamnya terdapat mikroba pengurai limbah (Besselièvre dan Schwartz, 1976).

Aktivitas pertumbuhan mikroorganisme dalam sistem yang dijalankan dipengaruhi oleh faktor lingkungan (faktor eksternal) diantaranya pH, suhu, nutrisi dan senyawa-senyawa penghambat pertumbuhan, dan dalam suatu sistem kontinyu aktivitas mikrobial juga dipengaruhi oleh waktu detensi karena berkaitan dengan jumlah nutrisi untuk mikrobial. Berdasarkan faktor pH

influen dan waktu detensi, ingin diketahui pengaruhnya terhadap efluen yang dihasilkan. PH influen perlu dikaji berkaitan dengan penentuan perlu tidaknya proses penetralan limbah yang

dapat mengakibatkan penambahan biaya operasional dan waktu detensi perlu dikaji untuk menentukan besarnya debit pengolahan limbah dan penentuan ukuran reaktor dalam penggandaan skala.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Bio-industri dan Pengelolaan Limbah Jurusan TIP-FTP UB mulai bulan November 2003 – Mei 2003.

Alat

Alat-alat yang akan digunakan selama penelitian adalah: fermentor UASB, kain saring, stop-watch, gelas ukur, botol berwarna gelap, timbangan analitis, erlenmeyer, pendingin balik, pipet tetes, pipet ukur, karet penghisap, mikroburet, labu ukur, beaker glass, botol winkler, kertas saring, corong kaca, oven, pH meter.

Bahan

Bahan-bahan yang dibutuhkan selama penelitian: Limbah cair tapioka, bakteri pengurai merk Bio HS, bubuk CaO, HgSO₄ kristal, H₂SO₄ pekat, aquades, K₂Cr₂O₇ 0,25 N, Fe(NH₃)₂SO₄ 0,25 N, indikator feroin, indikator amilum 1%, larutan MnSO₄, larutan Kalium Iodida Azida, Na₂S₂O₃ 0,025 N.

Rancangan Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) yang disusun secara faktorial 2 x 6 dengan masing-masing perlakuan dikelompokkan dalam tiga kelompok sebagai ulangan.

Faktor pertama (P) adalah pH influen

P₁ = pH 4,73 (Kontrol)

P₂ = pH 7 ± 1

Faktor kedua (D) adalah lama waktu detensi

D₁ = Waktu detensi 2 jam

D₂ = Waktu detensi 4 jam

D₃ = Waktu detensi 6 jam

D₄ = Waktu detensi 8 jam

D₅ = Waktu detensi 10 jam

D₆ = Waktu detensi 12 jam

Data yang telah diperoleh kemudian dianalisa dengan analisa ragam dengan taraf nyata (5 %) dan taraf sangat nyata (1 %). Apabila ada beda nyata maka dilanjutkan dengan uji jarak Duncan (*DMRT= Duncan Multiple Range Test*) dengan taraf nyata (5 %).

Pelaksanaan Penelitian

Asumsi dalam penelitian ini adalah reaktor UASB dioperasikan pada tahap *secondary tretment* sehingga limbah limbah yang dimasukkan ke dalam reaktor UASB sebelumnya telah diberi perlakuan pada tahap *pre* dan *primary tretment*. Penelitian dilakukan dalam dua tahap yang terdiri dari penelitian pendahuluan dan penelitian utama. Penelitian pendahuluan dilakukan untuk menentukan mikroorganisme yang akan digunakan dalam UASB dan pengujian keadaan mikroorganisme pada model UASB yang sangat sederhana, menentukan jumlah penambahan CaO pada limbah cair tapioka agar mempunyai pH 7 ± 1, dan didapatkan hasil penentuan penambahan bubuk CaO per liter limbah sebesar 1,2 gram.

Tahap kedua setelah tahap penelitian pendahuluan adalah pelaksanaan penelitian utama. Kegiatan pertama penelitian utama adalah pembuatan starter metanogen dari limbah tapioka sebanyak 1,5 liter yang diinokulasi dengan Bio HS sebanyak ±10 % lalu diinkubasi secara anaerob selama sekitar satu bulan. Starter ini nantinya dimasukkan melalui bagian atas *sludge blanket*. Pada tahap penelitian lanjutan juga dilakukan perancangan dan pembuatan reaktor UASB yang

dilanjutkan dengan pengoperasian. Pengoperasian dimulai dengan tahap penyesuaian (adaptasi) dengan menggunakan limbah kontrol sebagai influen, mula-mula limbah yang dimasukkan diencerkan dengan air sumur sehingga konsentrasi limbah menjadi sebesar 50 %, dan setiap hari konsentrasi ditingkatkan 10% sampai akhirnya konsentrasi limbah sebesar 100 %. Setelah tahap penyesuaian (adaptasi) selesai, selanjutnya dilakukan tahap pematangan (*start-up*), tahap pematangan ini dilakukan selama satu bulan. Waktu detensi yang digunakan dalam tahap penyesuaian dan pematangan adalah 10 jam.

Pengambilan Data

Tahap pengambilan data dilakukan setelah tahap pematangan selesai. Pengambilan data dimulai dari kelompok pH 4,73 (kontrol) dimulai dari waktu detensi yang paling besar (laju aliran limbah influen terkecil) yaitu 12 jam. Semula aliran influen diatur untuk waktu detensi 12 jam dan dipertahankan keadaan tersebut selama 2 hari, setelah dua hari effluen dianalisa COD, DO, TSS, dan pH nya. Sampel ulangan kedua dan ketiga diambil 2 jam setelah pengambilan sampel sebelumnya. Setelah pengambilan sampel ketiga selesai, dilanjutkan untuk waktu detensi 10 jam sampai dengan waktu detensi 2 jam dengan prosedur yang sama dengan sebelumnya.

Pengambilan data untuk kelompok kedua (pH 7 ± 1) dilakukan setelah pengambilan data untuk kelompok pertama selesai, akan tetapi sebelum hal itu dilakukan, terlebih dahulu dilakukan tahap penyesuaian selama satu bulan untuk influen limbah tapioka yang ditingkatkan pH-nya menjadi sekitar 7 ± 1 , waktu detensi yang digunakan untuk tahap tersebut adalah 10 jam. Setelah tahap penyesuaian untuk influen dengan pH 7 ± 1 selesai, maka dilanjutkan dengan pengambilan data untuk tiap perlakuan dengan prosedur yang sama dengan sebelumnya.

Pengambilan Keputusan

Pemilihan alternatif perlakuan terbaik mengacu pada peraturan tentang bakumutu limbah cair tapioka yang diijinkan untuk dibuang ke lingkungan berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51/MENLH/10/1995 yaitu perlakuan yang memenuhi syarat baku mutu limbah pada peraturan tersebut, apabila terdapat lebih dari satu perlakuan yang memenuhi syarat buang, pemilihan alternatif terbaik didasarkan analisa finansial untuk mendapatkan perlakuan yang memiliki biaya paling rendah.

Up-flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)

Reaktor UASB yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari pipa PVC berdiameter 11 cm dengan tinggi (h) total 228 cm, sedangkan tinggi (h) *sludge blanket* dalam reaktor adalah 181,5 cm. *Blanket* (selimut, perangkap) berfungsi sebagai perangkap atau media tersebut terbuat dari batu kerikil berdiameter 0,5 – 2 cm, ketinggian (h) *sludge blanket* dalam reaktor UASB adalah 181,5 cm (volume = 17,25 l), sedangkan volume cairan dalam *sludge blanket* tersebut adalah 8 l (46,4 % volume *sludge blanket*), jadi 9,25 (53,6 % volume *sludge blanket*) adalah volume kerikil yang berfungsi sebagai media (blanket).

Pendistribusian limbah cair ke dalam reaktor UASB memanfaatkan sifat fluida yang mengalir dari tempat yang tinggi ke tempat yang lebih rendah dan permukaan zat cair yang selalu rata. Limbah cair didistribusikan ke dalam reaktor UASB melalui bagian bawah reaktor sesuai prinsip UASB yaitu *Up-flow* atau aliran dari bawah ke atas melewati *sludge blanket* di dalam reaktor. Berikut bentuk sistem UASB yang digunakan dalam penelitian ini.

Limbah cair tapioka yang ditampung dalam bak penampung (A) dialirkan melewati kran pengatur laju aliran limbah (B) ke dalam tabung, langung influen (C) dan dialirkan ke

bagian bawah reaktor UASB melalui selang plastik berdiameter 5 mm, limbah cair yang dimasukkan ke dalam reaktor UASB (D) akan mengalir ke atas melewati *sludge blanket* di dalam reaktor.

Dalam *sludge blanket* limbah cair dirombak oleh mikroorganisme secara anaerob sehingga dihasilkan gas hasil perombakan. Gas yang dihasilkan akan ke atas dan terkumpul di bagian teratas dalam reaktor UASB (D). Pertambahan jumlah limbah yang dialirkan dalam tabung

influen (C) menyebabkan gas dan cairan effluen terdorong keluar dari reaktor UASB

(D) melalui selang plastik yang menghubungkan reaktor UASB dengan tabung effluen (E). Pemisahan gas dan cairan effluen terjadi dalam tabung effluen, gas keluar melalui lubang pengeluaran gas (F) dan cairan effluen keluar melalui lubang pengeluaran cairan effluen (G) yang selanjutnya cairan effluen tersebut dianalisa COD, DO, TSS dan pH-nya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Laju dan Kecepatan Aliran Limbah

Laju aliran influen ke dalam reaktor ditentukan berdasarkan volume cairan dalam *sludge blanket* dan waktu detensi (hasil bagi volume cairan dalam *sludge blanket* dengan waktu detensi).

Dalam penelitian ini kecepatan aliran limbah di dalam *sludge blanket* pada waktu detensi 2 sampai 12 jam dan tinggi (h) *sludge blanket* 181,5 cm adalah 0,15 – 0,9 m/jam. Laju dan kecepatan aliran limbah tiap perlakuan waktu detensi adalah sebagai berikut

Tabel 1. Laju dan Kecepatan Aliran Limbah Tiap Perlakuan Waktu Detensi

Waktu Detensi	Laju Aliran Limbah		Kecepatan Aliran (m/jam)
	l/jam	ml/menit	
2 jam	4	66,7	0,9
4 jam	2	33,3	0,45
6 jam	1,3	21,7	0,3
8 jam	1	16,7	0,23
10 jam	0,8	13,3	0,18
12 jam	0,7	11,7	0,15

Pengaturan waktu detensi tiap perlakuan dilakukan dengan mengatur kecepatan aliran limbah ke dalam reaktor menggunakan kran pengatur laju aliran. Semakin besar laju aliran limbah ke dalam reaktor maka semakin pendek waktu detensinya, sebaliknya semakin kecil laju aliran limbah ke dalam reaktor maka semakin lama waktu detensinya.

Menurut Eckenfelder (1989), kecepatan aliran yang digunakan dalam UASB adalah 0,6 – 0,9 m/jam untuk menjaga agar UASB dalam keadaan yang

baik, sedangkan menurut Droste (1997), ada peneliti yang merekomendasikan agar kecepatan aliran tidak lebih dari 1 m/jam akan tetapi peneliti lain menyebutkan bahwa kecepatan aliran limbah dalam UASB adalah antara 1 - 2 m/jam,. Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa semakin lama waktu detensi maka semakin lambat kecepatan aliran dalam *sludge blanket*. Kecepatan aliran limbah dalam *sludge blanket* pada penelitian ini kurang dari 1 m/jam sehingga memenuhi

persyaratan kecepatan aliran agar *sludge blanket* dalam keadaan baik

Chemical Oxygen Demand (COD)

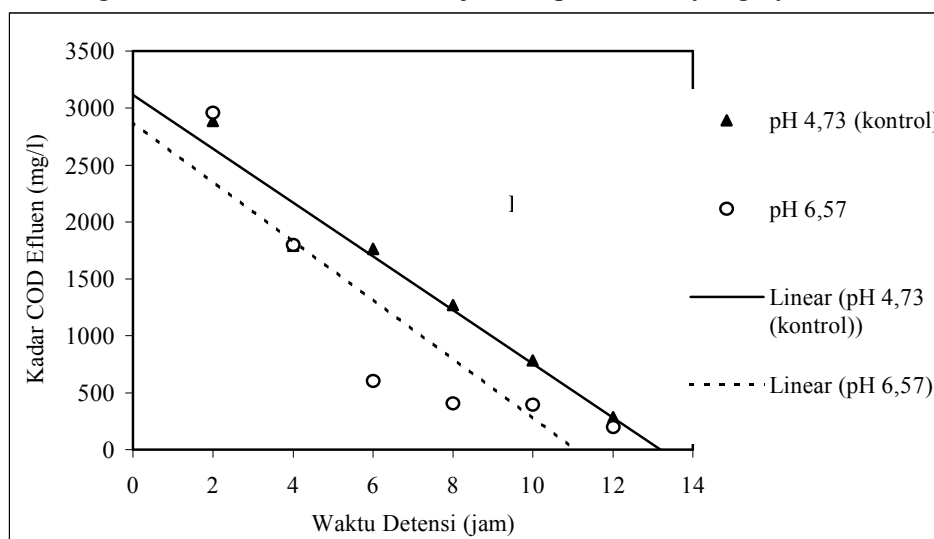
Kadar COD maksimum limbah tapioka yang boleh dibuang adalah sebesar 300 mg/l. Data yang diperoleh dari analisa COD menunjukkan bahwa pH influen dan waktu detensi serta interaksi dari kedua faktor tersebut berpengaruh sangat nyata terhadap COD efluen. Kadar rata-rata COD efluen dari tiap-tiap perlakuan disajikan pada Tabel 2 berikut ini

Dari data pada Tabel 2 diketahui bahwa kadar COD efluen terendah adalah pada perlakuan P₂D₆ (pH influen 7 ± 1 dan waktu detensi 12 jam), dan terdapat dua perlakuan yang efluennya memenuhi syarat baku mutu limbah untuk dibuang ke lingkungan berdasarkan kadar CODnya yaitu perlakuan P₂D₆ (pH influen 7 ± 1 dan waktu detensi 12 jam) dan P₁D₆ (pH influen 4,73 (kontrol) dan waktu detensi 12 jam) yang kadarnya 196 mg/l dan 283 mg/l (kurang dari ambang batas maksimal COD yang terkandung dalam limbah). Bentuk grafik dari data diatas disajikan pada Gambar 1.

Tabel 2. Kadar Rata-Rata COD Efluen (mg/l)

Perlakuan		Kadar Rata-Rata COD Efluen (mg/l)	Notasi
pH Influen	Waktu Detensi		
4,73 (kontrol) (P ₁)	2 jam (D ₁)	2888	f
	4 jam (D ₂)	1792	e
	6 jam (D ₃)	1761,33	e
	8 jam (D ₄)	1272	d
	10 jam (D ₅)	785,33	c
	12 jam (D ₆)	283,33	a
7 ± 1 (P ₂)	2 jam (D ₁)	2960	f
	4 jam (D ₂)	1798,67	e
	6 jam (D ₃)	602,67	bc
	8 jam (D ₄)	404,33	ab
	10 jam (D ₅)	395	ab
	12 jam (D ₆)	196	a

Keterangan: Perbedaan notasi menunjukkan perbedaan yang nyata



Gambar 1. Grafik Waktu Detensi terhadap Kadar COD efluen

Tiap jenis mikroorganisme mempunyai laju pertumbuhan tertentu,

jumlah bahan organik yang dirombak oleh mikroorganisme berbanding lurus dengan pertumbuhan mikroorganisme pengurai tersebut. Semakin lama waktu detensi maka semakin kecil kadar COD efluen. Semakin lama waktu detensinya maka proses perombakan bahan organik oleh mikroorganisme dapat dilakukan secara sempurna dan sebaliknya semakin pendek waktu detensinya maka hal itu berarti terjadi kelebihan substrat bagi mikroorganisme dan apabila melebihi batas laju pertumbuhannya maka banyak dari bahan tersebut yang tidak terolah.

Penurunan kadar COD dalam UASB terjadi pada saat dihasilkan gas berupa H_2 , CO_2 dan CH_4 yang merupakan hasil perombakan bahan-bahan organik oleh mikroorganisme seperti dikatakan Droste (1997) bahwa pada tahap asidogenesis asam butirir dan asam propionat diubah menjadi asam asetat oleh bakteri asetogenik dan dari proses ini juga dihasilkan CO_2 dan H_2 dan lebih lanjut Metcalf dan Eddy (1991) mengatakan bahwa pada tahap asidogenesis terjadi penurunan COD dengan dihasilkannya hidrogen dan CO_2 .

pH influen 7 ± 1 menghasilkan kadar COD efluen yang lebih rendah dari kadar COD efluen dengan pH influen 4,73 (kontrol) dalam satu waktu detensi yang sama. Menurut Droste (1997), secara umum pH optimal pembentukan metana adalah pada kisaran 7,0 aktivitas pembentukan metana akan turun menjadi sangat rendah ketika pH lingkungan berada di luar kisaran pH 6,0 – 8,0. Berdasarkan hal tersebut maka influen dengan pH 7 ± 1 menjadikan lingkungan yang lebih sesuai bagi organisme methanogen yang mempunyai pH pertumbuhan mendekati keadaan netral (pH 7) untuk beraktivitas mengubah asam asetat yang dihasilkan pada tahap asidogenesis menjadi CO_2 dan CH_4 .

Ditambahkan pula oleh Metcalf dan Eddy (1991) bahwa pada tahap methanogenesis juga terjadi penurunan COD. Berdasarkan hal itu maka pada pH influen 7 ± 1 lebih banyak materi organik yang terlepas ke udara dalam bentuk karbondioksida dan metana sehingga kadar COD efluen dalam limbah menjadi lebih rendah. Kadar pH limbah cair dapat dipengaruhi oleh keberadaan asam sianida yang terdapat dalam ketela pohon. Kooijmans dkk (1985) mengatakan bahwa bakteri yang berperan dalam perombakan bahan organik secara anaerobik sangat sensitif dengan keberadaan zat-zat penghambat seperti CN^- , CCl_4 , $CHCl_3$ dan CH_2Cl_2 . Penambahan CaO untuk meningkatkan pH limbah juga akan menurunkan konsentrasi zat penghambat aktivitas mikroorganisme membentuk basa ($Ca(OH)_2$) ketika bereaksi dengan air (H_2O), selanjutnya basa ($Ca(OH)_2$) akan bereaksi dengan asam sianida (HCN) membentuk garam dan air dan menjadikan kondisi lingkungan menjadi lebih baik untuk aktivitas mikroorganisme pengurai, peningkatan aktivitas mikroorganisme akan menyebabkan semakin besar jumlah materi organik yang dilepaskan ke udara yang berdampak pada penurunan kadar COD.

Sebelum limbah cair dimasukkan ke dalam reaktor UASB, dilakukan pengukuran terhadap kadar COD influen dan didapatkan kadar rata-ratanya adalah 3500 mg/l, sehingga dapat dicari efisiensi tiap perlakuan terhadap kadar COD efluen, efisiensi tertinggi sebesar 94,4 % yaitu pada perlakuan P_2D_6 . Efisiensi masing-masing perlakuan disajikan pada Tabel 3.

Pertumbuhan mikroorganisme dipengaruhi oleh faktor keadaan medium seperti jumlah nutrisi, pH, suhu dan faktor penghambat pertumbuhan (Dwidjoseputro, 1984).

Tabel 3. Efisiensi Penurunan COD (%)

Perlakuan		Efisiensi Penurunan COD (%)
pH Influen	Waktu Detensi	
4,73 (kontrol) (P ₁)	2 jam (D ₁)	17,49
	4 jam (D ₂)	48,8
	6 jam (D ₃)	49,68
	8 jam (D ₄)	63,66
	10 jam (D ₅)	77,56
	12 jam (D ₆)	91,90
7 ± 1 (P ₂)	2 jam (D ₁)	15,43
	4 jam (D ₂)	48,61
	6 jam (D ₃)	82,78
	8 jam (D ₄)	88,45
	10 jam (D ₅)	88,71
	12 jam (D ₆)	94,4

Pada keadaan volume *sludge blanket* yang sama dari tiap perlakuan, perbedaan waktu detensi menyebabkan perbedaan jumlah limbah cair organik (nutrisi mikroorganisme) yang dimasukkan ke dalam reaktor sehingga berpengaruh pada aktivitas pertumbuhan

mikroorganisme di dalam reaktor yang akhirnya berpengaruh pada jumlah bahan organik yang dapat dirombak mikroorganisme untuk sumber energi setiap jam (berpengaruh pada laju perombakan COD). Tabel 4 berikut menampilkan data laju perombakan COD dari tiap-tiap perlakuan.

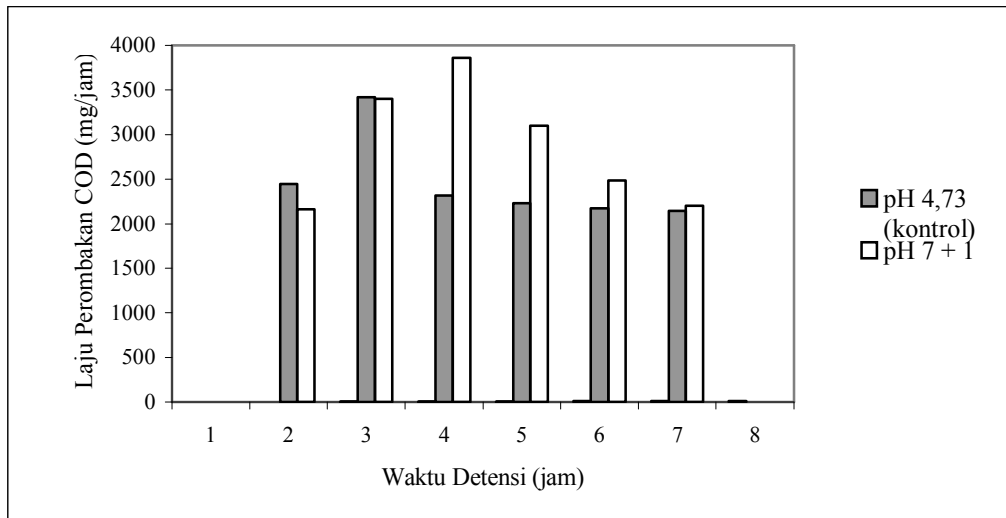
Tabel 4. Laju Perombakan COD (mg/jam)

Perlakuan		Efisiensi Penurunan COD (%)
PH Influen	Waktu Detensi	
4,73 (kontrol) (P ₁)	2 jam (D ₁)	2448
	4 jam (D ₂)	3416
	6 jam (D ₃)	2318,22
	8 jam (D ₄)	2228
	10 jam (D ₅)	2171,73
	12 jam (D ₆)	2144,44
7 ± 1 (P ₂)	2 jam (D ₁)	2160
	4 jam (D ₂)	3402,667
	6 jam (D ₃)	3863,11
	8 jam (D ₄)	3095,67
	10 jam (D ₅)	2484
	12 jam (D ₆)	2202,67

Laju perombakan COD terbesar terdapat pada perlakuan P₂D₃ yaitu 3863,11 mg/jam. Laju

perombakan perlakuan P₂D₅ dan P₂D₆ yang efluennya layak dibuang adalah 2484 mg/jam dan 2202,67 mg/jam. Grafik laju

perombakan COD disajikan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Grafik Pengaruh Waktu detensi terhadap Laju Perombakan COD

Dalam keadaan volume yang sama, pada waktu detensi yang pendek maka laju aliran limbahnya (laju nutrisi mikroorganisme) lebih besar dari pada laju aliran limbah pada waktu detensi yang lebih lama, sedangkan setiap mikroorganisme mempunyai laju pertumbuhan tertentu, termasuk mikroorganisme yang ada di dalam reaktor UASB. Apabila laju aliran limbah yang masuk ke dalam reaktor jauh di atas laju pertumbuhan mikroorganisme, maka terdapat nutrisi yang tidak terurai oleh mikroorganisme dan laju perombakan COD pun menjadi kecil, sedangkan apabila laju aliran limbah kurang dari laju pertumbuhan mikroorganisme maka menyebabkan kemampuan mikroorganisme dalam reaktor UASB tidak dapat dimanfaatkan sebaik-baiknya sehingga pada waktu detensi yang lama maka laju perombakan COD-nya kecil walaupun kadar penurunan COD-nya besar, sehingga laju perombakan merupakan faktor yang penting untuk mengoptimalkan fungsi reaktor UASB untuk mengolah sejumlah limbah yang tersedia.

Total Suspended Solid (TSS)

Besarnya jumlah padatan terlarut total atau *total suspended solid* (TSS) dalam limbah yang boleh dibuang maksimal sebesar 100 mg/l hasil pengukuran kadar TSS efluen dari tiap perlakuan yang disajikan pada Tabel 5.

Sebelum dimasukkan ke dalam reaktor UASB terlebih dahulu dilakukan pengukuran terhadap kadar padatan terlarut total atau *Total Suspended Solid* (TSS) dan didapatkan kadar rata-rata sebesar 400 mg/l, berdasarkan data pada Tabel 5 di atas maka perlakuan yang efluennya memenuhi syarat baku mutu limbah untuk dibuang ke lingkungan berdasarkan kadar TSS adalah perlakuan dengan waktu detensi ≥ 6 jam (pH influen 4,73 (P₁) dan waktu detensi 6 jam (D₃), 8 jam (D₄), 10 jam (D₅) dan 12 jam (D₆), dan pH influen 7 ± 1 (P₂) dan waktu detensi 6 jam (D₃), 8 jam (D₄), 10 jam (D₅) dan 12 jam (D₆)).

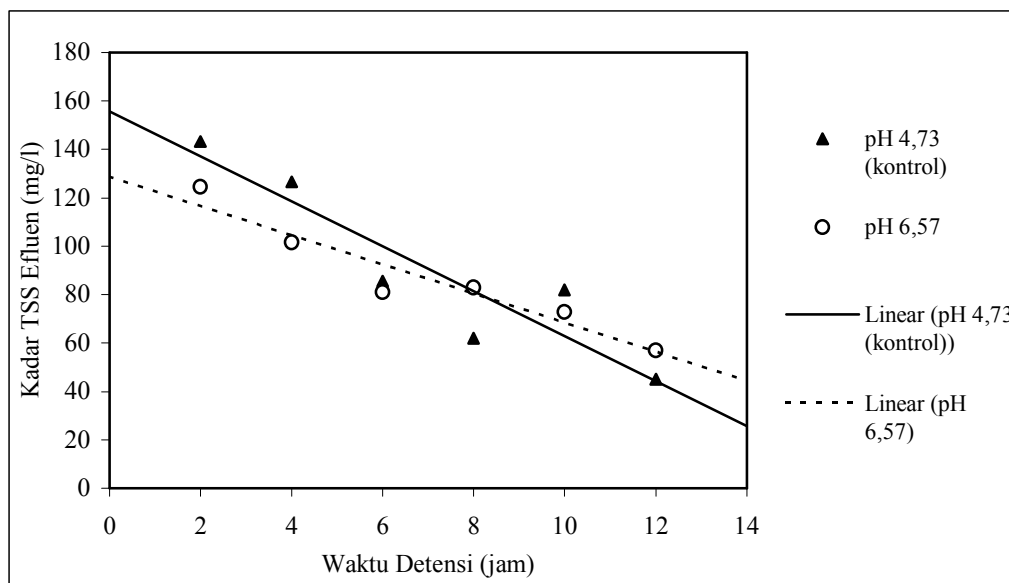
Tabel 5. Kadar Rata-Rata TSS Efluen (mg/l)

Perlakuan		Kadar Rata-Rata TSS Efluen (mg/l)	Notasi
pH Influen	Waktu Detensi		
4,73 (kontrol) (P ₁)	2 jam (D ₁)	143.33	f
	4 jam (D ₂)	126.67	f
	6 jam (D ₃)	85.67	de
	8 jam (D ₄)	62	abc
	10 jam (D ₅)	82	cde
	12 jam (D ₆)	45	a
7 ± 1 (P ₂)	2 jam (D ₁)	124.67	f
	4 jam (D ₂)	101.67	e
	6 jam (D ₃)	81	cde
	8 jam (D ₄)	83	de
	10 jam (D ₅)	73	Bcd
	12 jam (D ₆)	57	Ab

Keterangan: Perbedaan notasi menunjukkan perbedaan yang nyata

Berdasarkan analisis ragam dari data pada Tabel 5 diketahui bahwa pH influen memberikan pengaruh yang tidak nyata terhadap kadar TSS efluen sedangkan waktu detensi berpengaruh sangat nyata terhadap kadar TSS efluen. Padatan terlarut yang ada dalam limbah tapioka dapat berupa senyawa kompleks seperti pati atau selulosa yang terbawa dalam limbah, menurut Eckenfelder (1989), perombak materi organik yang

komplek seperti polisakarida dan protein menjadi monomer-monomer yang selanjutnya diubah menjadi asam-asam lemak, dan asam lemak yang utama dihasilkan adalah asam asetat, asam propionat dan asam butirat terjadi pada tahap hidrolisis oleh bakteri hidrolitik. Bentuk grafik hubungan pH influen, waktu detensi dan kadar TSS efluen disajikan pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Grafik Pengaruh Waktu Detensi terhadap TSS Efluen

Menurut Eckenfelder (1989), perombakan bahan organik yang komplek terjadi pada tahap hidrolitik. Grafik di atas menunjukkan secara umum bahwa semakin besar waktu detensi semakin kecil nilai padatan terlarutnya, karena semakin besar waktu detensi maka semakin kecil laju aliran limbahnya sehingga sejumlah senyawa yang komplek yang terdapat dalam limbah yang dimasukan ke dalam reaktor UASB dapat dirombak oleh bakteri hidrolitik.

Menurut Suhardi (1990), bahwa kekeruhan limbah dipengaruhi oleh jumlah padatan terlarut dalam limbah, dan besarnya nilai COD sebagian besar dipengaruhi oleh besarnya padatan terlarut. Dari pengamatan secara visual, efluen dari perlakuan dengan waktu detensi yang lama tampak lebih jernih dibandingkan efluen dengan perlakuan waktu detensi yang lebih kecil. Apabila dihubungkan dengan kadar COD efluen maka pada keadaan waktu detensi yang pendek dihasilkan efluen dengan kadar TSS efluen yang lebih besar dan Kadar COD efluen yang juga lebih besar dibandingkan pada kondisi waktu detensi

yang lebih lama. Didapatkan nilai korelasi (r) sebesar 0,86 yang berarti bahwa semakin besar kadar TSS maka semakin besar kadar COD.

Dissolved Oxygen (DO)

Kadar oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) limbah yang akan dibuang ke lingkungan minimal bernilai 6 mg/l. Apabila jumlah oksigen terlarut dalam air sedikit maka dapat menyebabkan ikan dalam air menjadi mati karena kekurangan oksigen (Wardhana, 1995). Kadar rata-rata oksien terlarut dari tiap-tiap perlakuan disajikan pada Tabel 6.

Berdasarkan data pada Tabel 6 diketahui bahwa semua efluen dari tiap perlakuan tidak layak buang karena nilai DO-nya kurang dari 6 mg/l. Analisa ragam dari data pada Tabel 6 diperoleh dari analisa oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) menunjukkan bahwa pH influen dan waktu detensi serta interaksi dari kedua faktor tersebut berpengaruh sangat nyata terhadap kadar oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) efluen.

Tabel 6. Kadar Rata-Rata DO Efluen (mg/l)

Perlakuan		Kadar Rata-Rata DO Efluen (mg/l)	Notasi
pH Influen	Waktu Detensi		
4,73 (kontrol) (P ₁)	2 jam (D ₁)	3.3	Cd
	4 jam (D ₂)	3.62	Def
	6 jam (D ₃)	3.94	Fg
	8 jam (D ₄)	4.24	G
	10 jam (D ₅)	3.70	Ef
	12 jam (D ₆)	3.38	De
7 ± 1 (P ₂)	2 jam (D ₁)	1.97	A
	4 jam (D ₂)	2.33	B
	6 jam (D ₃)	2.5	B
	8 jam (D ₄)	2.39	B
	10 jam (D ₅)	2.54	B
	12 jam (D ₆)	2.587	B

Keterangan: Perbedaan notasi menunjukkan perbedaan yang nyata

Kadar oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) efluen lebih kecil dari pada kadar oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) influen yang nilai rata-ratanya sebesar 4,48 mg/l. Menurut Wardhana (1995), oksigen yang terlarut dalam air berasal dari oksigen di udara yang mengalami proses difusi secara lambat menembus permukaan air. Dalam satu kelompok faktor pH influen, kadar DO efluen pada waktu detensi yang pendek nilainya paling rendah, karena untuk mendapatkan sejumlah sampel yang dari tiap perlakuan (500 ml) diperlukan waktu yang lebih pendek sehingga DO dari proses difusi oksigen dari udara dan fotosintesis ganggang yang terdapat dalam efluen lebih sedikit dari pada pada efluen dengan waktu dtensi yang lebih lama.

Konsentrasi oksigen yang terlarut dalam air dipengaruhi oleh kejenuhan air oleh gas yang lain maupun koloidal yang melayang dalam air dan sejumlah larutan limbah yang terlarut dalam air (Wardhana, 1985). Pada waktu detensi yang pendek, kadar TSS dan COD makin besar, hal ini terjadi karena tingginya padatan tersuspensi dan beban limbah yang tinggi menjadi penghambat difusi oksigen ke dalam efluen sehingga kadar oksigen terlarut juga semakin kecil.

Menurut Droste (1997), kondisi optimal untuk pembentukan metana berkisar pH 7,0 dan aktivitas akan menurun menjadi sangat rendah ketika lingkungan berada di luar kisaran pH 6,0 – 8,0. Kadar oksigen terlarut pada influen dengan pH 7 ± 1 lebih kecil dari pada influen dengan pH 4,73, influen dengan pH 7 ± 1 menjadikan lingkungan pertumbuhan metanogen menjadi sesuai sehingga aktivitasnya baik dan pada tahap tersebut dihasilkan sejumlah gas yang lebih banyak dari pada keadaan dengan pH influen 4,73. Dengan dihasilkan pada kondisi pH influen 7 ± 1 lebih banyak gas hasil peombakan maka kondisi efluen menjadi lebih jenuh yang akibatnya difusi oksigen dari udara semakin kecil dan kandungan oksigen terlarut menjadi lebih

kecil. Keadaan efluen yang jenuh dengan gas-gas hasil perombakan akan menekan jumlah oksigen terlarut, sebagai akibatnya jumlah kadar oksigen terlarut menjadi menurun. Selain kondisi lingkungan aktivitas mikroorganisme juga dipengaruhi oleh keberadaan zat-zat penghambat seperti asam sianida (HCN) yang terdapat dalam limbah (Kooijmans *dkk*, 1985).

Penambahan CaO untuk meningkatkan pH limbah juga akan menurunkan konsentrasi zat penghambat aktivitas mikroorganisme membentuk basa ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ketika bereaksi dengan air (H_2O), selanjutnya basa ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) akan bereaksi dengan asam sianida (HCN) membentuk garam dan air dan menjadikan kondisi lingkungan menjadi lebih baik untuk aktivitas mikroorganisme pengurai sehingga dihasilkan jumlah gas yang semakin banyak dan menjadikan lingkungan menjadi jenuh dengan gas Hidrogen, karbondioksida, dan metana hasil perombakan sehingga penurunan kadar oksigen terjadi karena jumlah oksigen terlarut di dalam limbah ditekan oleh jumlah gas hidrogen, karbondioksida dan metana yang dihasilkan oleh mikroorganisme pengurai limbah dan juga dikarenakan oksigen terlarut yang ada terbuang ke udara bebas terbawa bersama gas CO_2 dan CH_4 yang dihasilkan dalam perombakan limbah.

Influen dengan pH 7 ± 1 pada waktu detensi yang sama menunjukkan kadar oksigen terlarut (*disolved oxygen*) efluen yang lebih kecil dari pada influen dengan pH 4,73, hal ini disebabkan karena pH 7 ± 1 (sekitar netral) merupakan pH optimum untuk pertumbuhan mikroorganisme methanogenesis, dan bahan-bahan yang bersifat toksik seperti asam sianida dapat berkurang/hilang dengan penambahan CaO yang dengan air membentuk $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (basa) untuk peningkatan kadar pH influen. Dengan keadaan tersebut maka aktivitas mikroorganisme anaerob dapat meningkat dan berakibat pada peningkatan jumlah gas hidrogen, karbondioksida dan metana hasil

perombakan yang menekan jumlah oksigen terlarut dalam limbah dan lebih banyak oksigen yang keluar ke udara bersama gas-gas tersebut sehingga kadar oksigen terlarut dalam efluen menjadi lebih kecil. Peningkatan kadar oksigen terlarut dapat dilakukan dengan aerasi atau dengan teknik kolam ganggang.

Derajat Keasaman (pH)

Nilai pH limbah yang boleh dibuang ke lingkungan adalah antara 6 – 9, dan dari hasil penelitian penggunaan UASB ini didapatkan hasil nilai pH efluen disajikan pada Tabel 7 di bawah ini

Tabel 7. Data Nilai Rata-Rata pH Efluen

Perlakuan		Kadar Rata-Rata pH Efluen	Notasi
pH Influen	Waktu Detensi		
4,73 kontrol) (P ₁)	2 jam (D ₁)	4,96	A
	4 jam (D ₂)	5,51	B
	6 jam (D ₃)	5,63	C
	8 jam (D ₄)	5,85	D
	10 jam (D ₅)	6,10	E
	12 jam (D ₆)	6,43	F
7 ± 1 (P ₂)	2 jam (D ₁)	6,58	G
	4 jam (D ₂)	6,59	G
	6 jam (D ₃)	6,72	H
	8 jam (D ₄)	6,89	I
	10 jam (D ₅)	6,86	i
	12 jam (D ₆)	7,20	j

Keterangan: Perbedaan notasi menunjukkan perbedaan yang nyata

Berdasarkan data di atas diketahui bahwa pH influen, waktu detensi dan interaksi dari kedua faktor tersebut berpengaruh sangat nyata terhadap pH efluen. Data di atas menunjukkan bahwa berdasarkan nilai pH maka efluen dari semua perlakuan

dengan pH influen 7 ± 1 memenuhi syarat baku mutu limbah untuk dibuang ke lingkungan, sedangkan pada perlakuan pH influen 4,73 (kontrol) yang memenuhi syarat baku mutu untuk dibuang ke lingkungan adalah efluen pada waktu detensi 10 jam (D₅) dan 12 jam (D₆).

Perlakuan Terbaik

Penentuan perlakuan terbaik didasarkan pada nilai parameter yang sesuai dengan syarat baku mutu limbah berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 51/MENLH/10/1995. Apabila terdapat lebih dari satu perlakuan yang efluennya memenuhi syarat buang ke lingkungan maka perlakuan terbaik didasarkan pada

analisa finansial pengembangan UASB pada skala industri kecil.

Ditinjau dari nilai oksigen terlarut atau *dissolved oxigen* (DO), maka efluen dari semua perlakuan tidak layak untuk dibuang karena batas minimal nilai DO adalah 6 mg/l, dan berdasarkan parameter ini maka efluen perlu diberi perlakuan lanjutan dalam *tertiary tretment* berupa aerasi atau pengolahan dengan kolam ganggang untuk meningkatkan kadar oksigen terlarutnya.

Ditinjau dari nilai padatan terlarut total atau *total suspended solid* (TSS) maka perlakuan yang efluennya memenuhi syarat baku mutu limbah untuk dibuang ke lingkungan berdasarkan kadar TSS adalah perlakuan dengan waktu detensi ≥ 6

jam (pH influen 4,73 (P_1) dan waktu detensi 6 jam (D_3), 8 jam (D_4), 10 jam (D_5) dan 12 jam (D_6), dan pH influen 7 ± 1 (P_2) dan waktu detensi 6 jam (D_3), 8 jam (D_4), 10 jam (D_5) dan 12 jam (D_6)).

Ditinjau dari kadar pH maka perlakuan yang efluennya memenuhi syarat baku mutu limbah untuk dibuang ke lingkungan adalah perlakuan dengan pH influen 7 ± 1 dan perlakuan P_1D_5 (pH influen dan waktu detensi 10 jam) dan

P_1D_6 (pH influen 4,73 dan waktu detensi 12 jam).

Ditinjau dari parameter COD, kadar COD maksimal yang boleh dibuang ke lingkungan adalah 300 mg/l, dan dari penelitian menunjukkan bahwa perlakuan pH influen 7 ± 1 dan waktu detensi 12 jam serta pH influen 4,73 dan waktu detensi 12 jam dengan nilai COD efluen sebesar 196 mg/l dan 283 mg/l memenuhi syarat baku mutu limbah untuk dibuang ke lingkungan. Berdasarkan uraian di depan, pada Tabel 8 berikut ditampilkan perlakuan-perlakuan yang efluennya memenuhi syarat baku mutu limbah untuk dibuang ke lingkungan berdasarkan parameter-parameter tertentu dalam penelitian ini.

Tabel 8. Perlakuan yang Efluennya Memenuhi Syarat Baku Mutu Limbah Berdasarkan Parameter Tertentu.

Perlakuan		TSS (mg/l)	pH	COD (mg/l)
pH Influen	Waktu Detensi			
4,73 (kontrol) (P_1)	6 jam (D_3)	√	-	-
	8 jam (D_4)	√	-	-
	10 jam (D_5)	√	√	-
	12 jam (D_6)	√	√	√
7 ± 1 (P_2)	2 jam (D_1)	-	√	-
	4 jam (D_2)	-	√	-
	6 jam (D_3)	√	√	-
	8 jam (D_4)	√	√	-
	10 jam (D_5)	√	√	-
	12 jam (D_6)	√	√	√

Keterangan: √ = Memenuhi syarat baku mutu limbah
- = Tidak memenuhi syarat baku mutu limbah

Berdasarkan tabel diatas maka perlakuan yang memenuhi ketiga syarat dari dari ketiga parameter adalah P_1D_6 (pH influen 4,73 dan waktu detensi 12 jam) dan P_2D_6 (pH influen 7 ± 1 dan waktu detensi 12 jam) dan layak untuk dibuang ke lingkungan setelah ditingkatkan kadar DO-nya. Berdasarkan analisa finansial untuk pengembangan UASB dalam skala industri kecil, biaya investasi awal untuk perlakuan P_1D_6 sebesar Rp 37.875.000,00 dan untuk perlakuan P_2D_6 (pH influen 7

± 1 dan waktu detensi 12 jam) sebesar Rp 50.620.000,00 sedangkan biaya operasional per hari untuk perlakuan P_1D_6 (pH influen 4,73 dan waktu detensi 12 jam) sebesar Rp 25.037,70 dan untuk perlakuan P_2D_6 (pH influen 7 ± 1 dan waktu detensi 12 jam) sebesar Rp 32.325,20 (Lampiran 16), sehingga dari dua perlakuan tersebut, P_1D_6 (pH influen 4,73 dan waktu detensi 12 jam) merupakan perlakuan terbaik untuk diaplikasikan dalam pengolahan limbah

cair tapioka dengan sistem UASB karena biaya investasi awal dan biaya operasional per hari untuk perlakuan tersebut lebih rendah.

Penggandaan Skala

Menurut Kooijmans *dkk* (1985), beberapa keuntungan pengolahan limbah dengan UASB adalah dihasilkan *sludge* (padatan) dalam jumlah sedikit, pemakaian energi yang tidak terlalu besar karena hanya digunakan untuk memasukkan limbah ke dalam reaktor dan kebutuhan lahan yang tidak terlalu luas, selain itu *sludge* (padatan) mengalami pemisahan dengan cairan efluen yaitu berada di permukaan cairan sehingga lebih mudah untuk dipisahkan dengan cairan efluen. Bentuk reaktor dalam penggandaan skala dari penelitian ini adalah berbentuk sumur dengan luasan tertentu. Penggandaan skala pada penelitian ini didasarkan pada perlakuan terbaik yang didapatkan dari hasil penelitian yaitu perlakuan P₁D₆ (pH influen 4,73 (kontrol) dan waktu detensi 12 jam).

Asumsi-asumsi dalam penggandaan skala hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Reaktor dioperasikan secara kontinyu 24 jam per hari
2. Pertumbuhan mikroorganisme dalam *sludge blanket* pada fase logaritmik
3. Suhu dalam reaktor terkendali pada kisaran 25 – 35 °C

Perlakuan terbaik digandakan skalanya berdasarkan debit limbah yang dihasilkan dalam suatu industri. Bersumber data BPPI Semarang (1997), besarnya debit limbah pada kelompok

industri kecil adalah 22 m³/hari, pada kelompok industri menengah adalah 80 m³/hari dan pada industri besar debitnya sebesar 1200 m³/hari

Kooijmans *dkk* (1985) melakukan penelitian tentang efluen reaktor UASB pada skala besar dengan luasan sebesar 16 m², limbah dialirkan dari bagian bawah melalui 16 titik inlet dan di dalam reaktor ditempatkan dua instalasi.

Debit limbah yang dihasilkan industri tapioka pada skala kecil adalah 0,92 m³/jam, apabila reaktor yang digunakan berdiameter 3 meter (luas = 7,065 m²) maka ketinggian (h) *sludge blanket* adalah 3,37 meter, ditambah kelonggaran di bagian bawah dan atas masing-masing setinggi 1 meter, maka ketinggian (h) total reaktor UASB 5,37 meter.

Debit limbah yang dihasilkan industri tapioka pada skala menengah adalah 3,34 m³/jam, apabila reaktor yang digunakan berdiameter 4 meter (luas = 12,56 m²) maka ketinggian (h) *sludge blanket* adalah 6,88 meter, ditambah kelonggaran di bagian bawah dan atas masing-masing setinggi 1 meter, maka ketinggian (h) total reaktor UASB 8,88 meter.

Debit limbah yang dihasilkan industri tapioka pada skala besar adalah 50 m³/jam, apabila reaktor yang digunakan reaktor berdiameter 10 meter (luas = 78,5 m²) maka ketinggian (h) *sludge blanket* adalah 16,473 meter, ditambah kelonggaran di bagian bawah dan atas masing-masing setinggi 1 meter, maka ketinggian (h) total reaktor UASB 18,473 meter. Dimensi reaktor UASB untuk tiap skala industri disajikan pada Tabel 9 berikut

Tabel 9. Ukuran Diameter, Luas dan Ketinggian Sludge Blanket untuk Tiap Skala Industri pada Waktu Detensi 12 Jam.

Skala Industri	Debit Limbah (m ³ /jam)	Sludge Blanket		Ketinggian Sludge Blanket (m)	Ketinggian Total UASB (m)
		Diameter (m)	Luas (m ²)		
Kecil	0,92	3	7,065	3,37	5,37
Menengah	3,34	4	12,56	6,88	8,88
Besar	50	10	78,5	16,473	18,473

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan:

1. pH influen berpengaruh sangat nyata terhadap COD, DO dan pH effluen dan berpengaruh tidak nyata terhadap TSS.
2. Waktu detensi berpengaruh sangat nyata terhadap COD, DO, TSS dan pH effluen.
3. Interaksi pH dan waktu detensi berpengaruh nyata terhadap kadar TSS effluen dan berpengaruh sangat nyata terhadap COD, DO dan pH effluen.
4. Perlakuan yang memenuhi syarat untuk dibuang ke lingkungan berdasarkan parameter COD, TSS dan pH adalah perlakuan P₁D₆ (pH influen 4,73 dan waktu detensi 12 jam) dengan kadar COD sebesar 283 mg/l, kadar TSS effluen sebesar 45 mg/l dan pH effluen 6,43, dan perlakuan P₂D₆ (pH influen 7 ± 1 dan waktu detensi 12 jam) dengan kadar COD sebesar 196 mg/l, kadar TSS effluen sebesar 57 mg/l dan pH effluen 7,20
5. Perlakuan terbaik berdasarkan analisa finansial adalah perlakuan P₁D₆ (pH influen 4,73 dan waktu detensi 12 jam) dengan biaya investasi awal sebesar Rp. 37.874.000,00 dan total biaya operasional per hari adalah Rp 25.037,70

Saran

1. Perlu dilakukan penelitian penambahan aerasi pada effluen untuk peningkatan kualitasnya.
2. Perlu dilakukan penelitian penggunaan media yang meningkatkan luas permukaan kontak antara limbah dan medium

dalam *sludge blanket* sehingga dapat memperkecil volume reaktor UASB.

3. Perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh kecepatan aliran limbah dalam *sludge blanket* terhadap kualitas effluen UASB.

DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts G. dan S.S. Sumesti, 1987, *Metode Penelitian Air*, Usaha Nasional, Surabaya.
- Balai Penelitian dan Pengembangan Industri Semarang, 1997, *Laporan Teknologi Pengolahan Air Buangan Industri Tapioka*, Balai Penelitian dan Pengembangan Industri, Semarang
- Barnes D., P.J. Bliss, B.W. Gould, dan H.R. Vallentine, 1981, *Water and Wastewater Engineering System*, The Pitman Press, Melbourne.
- Barnes D. dan Fitzgerald P.A., *Anaerobic Wastewater treatment Process dalam* Forster C.F. dan D.A.J Wase., 1987, *Environmental Biotechnology*, John Wiley & Sons Inc., New York, hal. 56 – 113.
- Besselievre E.B. dan Schwartz M., 1976, *The Treatment of Industrial Wastes, 2nd edition*, Mc Graw Hill Kogakusha, Tokyo.
- Black J.A., 1977, *Water Pollution Technology*, Reston Publishing Company, Virginia.
- Budiardi T., 2001, *Budidaya Udang Windu (Panaeus monodon Fab.) Berwawasan lingkungan*, Institut Pertanian Boogor, Bogor.

- Ciptadi W. dan M.Z. Nasution, 1978, *Pengolahan Umbi Ketela Pohon*, Departemen Teknologi Hasil Pertanian, Bogor.
- Droste P.L., 1997, *Theory and Practical of Water and Waste Water Treatment*, John Willey & Sons Inc., New York.
- Dwidjoseputro D., 1984, *Dasar-dasar Mikrobiologi*, Penerbit Djambatan, Jakarta.
- Eckenfelder W.W., 1989, *Industrial Waste Water Pollution Control, 2nd edition*, Mc Graw Hill Book Company, New York.
- Forster C.F. dan E. Senior, *Solid Waste dalam* Forster C.F. dan D.A.J. Wase, 1987, *Environmental Biotechnology*, John Wiley & Sons Inc., New York, h. 176–233.
- Ginting P., 1992, *Mencegah dan Mengendalikan Pencemaran Industri*, Pustaka Sinar Harapan, Jakarta.
- Kooijmans L., G. Lettinga, dan R. Parra, 1985, *The 'UASB' Process for Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*, *Journal of The Institution of Water Engineers and Scientists*, 39 (5), 437 – 451.
- Kusmanto, 1987, *Proses-proses Mikrobiologi Pangan*, Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Lutfi M., 2000, *The Effect Of Both, Bed Filterthickness and Kinds Trickling Filter Media On Various Flowrates To Decrease Of Tapioca Wastewater*, *Jurnal Teknologi Pertanian*, 1 (3), 40-44.
- Mangunwidjaja dan Suryani, 1994, *Teknologi Bioproses*, Penebar Swadaya, Jakarta.
- McKanne L. dan J. Kendall, 1986, *Microbiology, Essentials and Application*, Mc Graw Hill Company, New York.
- Metcalf dan Eddy, 1991, *Waste Water Engineering, Treatment, Disposal, Reuse, 3rd edition*, Mc Graw Hill Inc., New York.
- Prasetyo A.D., 1999, *Laporan PKL di Kopontren Al-Ishlah Unit Pabrik Tepung Tapioka Arjasa Situbondo*, Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Universitas Brawijaya, Malang.
- Primack R.B., J. Supriatna, M. Indrawan, dan P. Kramadibrata, 1998, *Biologi Konservasi*, Yayasan Obor Indonesia, Jakarta.
- Sugiharto, 1987, *Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah*, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.
- Suhardi, 1990, *Petunjuk Laboratorium Analisa Air dan Penanganan Limbah*, PAU Pangan dan Gizi UGM, Yogyakarta.
- Soeriyaatmaja R.E., 1984, *Asas-asas Pengolahan Limbah Tapioka*, Kantor Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup, Jakarta.