

## Tofu Liquid Waste Treatment Process Using Anaerobic Baffled Reactor with Cow Stool and *Lactobacillus casei* Addition

Panca Nugrahini Febriningrum, I Nyoman Endra Astawa<sup>✉</sup>

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung  
Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No.1, Gedong Meneng, Kec. Rajabasa, Kota Bandar Lampung,  
Lampung 35145

### Info Artikel

Diterima November 2021

Disetujui Desember 2021

Dipublikasikan Mei 2022

#### Keywords:

*Anaerobic baffled reactor*

*Feses sapi*

*Lactobacillus casei*

*Limbah cair tahu*

*Lumpur aktif*

### Abstrak

Limbah cair tahu menyebabkan kerusakan ekosistem karena kandungan bahan organiknya yang tinggi. Anaerobik dengan reaktor bersekat (ABR) merupakan pengolahan limbah tanpa oksigen yakni proses sedimentasi menggunakan lumpur aktif. Proses ini mengubah material organik menjadi gas metana, ammonia dan hidrogen sulfida. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan feses sapi dan bakteri *Lactobacillus casei* terhadap penurunan kadar COD, TSS, VSS, pH dan tekanan gas. Proses penelitian dilakukan dalam dua tahap pengolahan limbah cair tahu, yaitu tahap *batch* dan *continue*. Proses *batch* dan *continue* menggunakan reaktor ABR yang memiliki empat ruang. Parameter yang diukur meliputi COD, TSS, VSS, pH dan tekanan Gas. Hasil yang diperoleh proses *batch* terbaik pada perlakuan tanpa penambahan bakteri rasio feses sapi dan lumpur aktif yaitu 1:4 didapatkan hasil penyisihan COD sebesar 81,63%, penyisihan TSS sebesar 1.300 mg/L, penyisihan VSS sebesar 1.200 mg/L dan nilai pH akhir sebesar 8,0 selama 6 hari. Waktu pengolahan terbaik pada proses *continue* yaitu 6 jam diperoleh hasil penyisihan COD sebesar 78,12%, penyisihan TSS sebesar 600 mg/L, penyisihan VSS sebesar 500 mg/L dan nilai pH akhir sebesar 6,5. Semakin banyak feses sapi ditambahkan, semakin cepat dan besar pula penyisihan kadar COD, TSS, VSS dan nilai pH cenderung mengalami peningkatan pada perlakuan penambahan bakteri.

### Abstract

Tofu liquid waste causes ecosystem damage due to its high organic matter content. Anaerobic baffled reactor (ABR) is a waste treatment in the absence of oxygen where there is a sedimentation process using activated sludge. This process converts organic material into methane gas, ammonia and hydrogen sulfide. This study aims to determine the effect of addition of cow feces and *Lactobacillus casei* bacteria on decreasing levels of COD, TSS, VSS, pH and gas pressure. The research process was carried out in two stages of processing tofu liquid waste, namely the batch and continuous stages. Batch and continuous processes use an ABR reactor which has four chambers. Parameters measured include, COD, TSS, VSS, pH and Gas Pressure. The results obtained by the best batch process were obtained without the addition of bacteria, the ratio of cow feces and activated sludge was 1:4, the COD removal was 81.63%, the TSS removal was 1,300 mg/L, the VSS removal was 1,200 mg/L and the pH value final 8.0 for 6 days. The best processing time in the continuous process is 6 hours, the COD removal is 78.12%, the TSS removal is 600 mg/L, the VSS removal is 500 mg/L and the final pH value is 6.5. It can be concluded that the more cow feces added, the faster and greater the removal of COD, TSS, VSS and pH values tended to increase in the treatment of adding bacteria.

© 2022 Universitas Negeri Semarang

<sup>✉</sup>Alamat korespondensi:

Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No.1, Gedong Meneng, Kec. Rajabasa,  
Kota Bandar Lampung, Lampung 35145  
E-mail: [nyomanendra48@gmail.com](mailto:nyomanendra48@gmail.com)

## Pendahuluan

Tahu banyak dikonsumsi di Indonesia salah satunya oleh masyarakat Lampung dimana banyak industri rumahan dalam pembuatan tahu di Provinsi Lampung. Tahu merupakan salah satu produk pangan yang diolah dari bahan dasar kedelai dengan cara pembuatan yaitu pemekatan protein kedelai itu sendiri. Kenaikan jumlah industri tahu ini menyebabkan akumulasi limbah pada pembuatan tahu terus mengalami peningkatan. Limbah cair yang berasal dari berbagai industri dari skala besar maupun kecil seperti industri tahu yang menghasilkan limbah sisa pada pembuatan tahu dapat menimbulkan masalah. Peningkatan jumlah limbah yang akan berdampak langsung pada lingkungan dimana limbah tahu dapat mencemari tanah, perairan di lingkungan sekitar dan mengganggu estetika. Salah satu pencemaran adalah air sungai yang mulai keruh yang diakibatkan oleh limbah tahu yang tidak diolah sehingga tidak aman untuk dibuang. Maka dari itu limbah perlu diolah salah satunya pengolahan limbah secara anaerob (Herlambang, 2002).

Proses anaerobik pada dasarnya adalah proses yang terjadi karena aktivitas mikroba yang dilakukan pada saat tidak adanya oksigen bebas. Proses anaerobik dapat digunakan untuk mengolah limbah yang bersifat biodegradable, termasuk limbah industri salah satunya limbah cair tahu. Proses ini mengubah material organik menjadi gas metana, ammonia dan hidrogen sulfida serta dihasilkan energi panas (McCarty & Smith, 1986). Reaksi-reaksi yang terjadi dalam pengolahan limbah secara anaerobik yaitu yang diawali dengan Hidrolisis dan fermentasi dimana pada reaksi ini terjadinya fermentasi dan hidrolisa senyawa organik kompleks seperti protein, lemak dan lain-lain menjadi senyawa organik yang lebih sederhana (format, asetat, propionat, butirat dan asam lemak lainnya, etanol), hidrogen dan karbon dioksida. Lalu dilanjutkan ke reaksi Asidogenesis. Reaksi Asidogenesis merupakan pembentukan asam dari senyawa sederhana. Organisme sintropik asidogenesis mengubah produk metabolik dari tahap pertama menjadi asetat dan hidrogen. Bakteri asidogen dapat tumbuh dalam media bersama bakteri metanogenik dan bakteri pengurai sulfat dan yang terakhir reaksi Methanogenesis dimana pada proses ini terjadinya pembentukan gas metan dengan bantuan bakteri pembentuk metan seperti *Methanobacterium*, *Methanobacillus*, *Methanoscariadan* *Methanococcus*. Metanogen menghasilkan produk akhir dengan menggunakan reaktan-reaktan yang dihasilkan dari dua tahap yaitu tahap hidrolisis, fermentasi dan asidogenesis. Asetotropik metanogen (*acetotrophic methanogens*), mengubah asetat menjadi metana dan karbon dioksida (Amatya, 1996).

Sistem pengolahan limbah tahu dengan menggunakan kombinasi antara jenis reaktor *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) dan sistem lumpur aktif. Lumpur aktif merupakan alternatif berteknologi lebih sederhana, didalam lumpur aktif terdapat bakteri yang tumbuh maksimum sehingga dapat mempercepat proses pengolahan limbah. pengolahan limbah dengan lumpur aktif dapat menurunkan kandungan bahan organik. Selain pada lumpur aktif, bakteri yang terdapat pada limbah tahu dapat ditemukan juga dikotoran sapi dimana kotoran sapi mengandung banyak unsur karbon organik. feses sapi berfungsi sebagai aktivator pada lumpur aktif tersebut (Wagiman & Suryandono, 2004). Penambahan bakteri dapat mempercepat pendegradasian pada proses pengolahan limbah. Mikroorganisme yang dapat ditambahkan adalah bakteri *Lactobacillus casei*. *Lactobacillus* merupakan genus terbesar dari bakteri asam laktat yaitu kurang lebih 80 spesies terdapat di bumi ini. Genus ini tidak memiliki spora, berbentuk batang dan beberapa cocobasil, katalase negatif, umumnya anaerob fakultatif atau mikroaerofilik, membutuhkan nutrisi yang kompleks dan menghasilkan asam laktat. Bakteri asam laktat ini dapat tumbuh optimum pada kondisi asam yaitu 4,5 sampai 6,4 dan tidak bersifat patogen (Prescott, *et al.*, 2003). Pada proses anaerob terdapat tahap asidogenik adalah pembentukan asam dari senyawa sederhana. Dalam tahap asidogenik banyak bakteri tumbuh dalam proses ini termasuk *Lactobacillus*. *Lactobacillus casei* merupakan bakteri genus *Lactobacillus* yang memiliki Gram positif, bersifat anerobik fakultatif, berbentuk batang, non-motil, tidak membentuk spora, tumbuh pada suhu 15-41°C dan dapat bertahan hidup pada pH 2-10. Biasanya bakteri ini digunakan untuk memfermentasi susu. Bakteri ini dapat membantu ditahap proses hidrolisis dan asidogenik karena *Lactobacillus casei* dapat memecah glukosa menjadi monosakarida dan juga menghasilkan enzim hidrolase protein (Balía, *et al.*, 2011).

Pada penelitian sebelumnya yaitu pengolahan limbah cair tahu dengan metode lumpur aktif dengan menggunakan reaktor anaerob jenis *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) menghasilkan penurunan COD yang baik namun memerlukan waktu yang lama untuk pengolahan tersebut (Wagiman & Suryandono, 2004). Berdasarkan uraian diatas, maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian mengenai proses pengolahan limbah cair tahu menggunakan reaktor anaerob bersekat dengan penambahan feses sapi dan *Lactobacillus casei*.

## Metode

Penelitian ini menggunakan alat-alat berupa bioreaktor *anaerobic baffled reactor* (ABR) dengan volume total 7,65 liter dan volume kerja sebesar 4 liter, selang silikon, pH meter, *oven*, cawan porselin, kertas saring, spektrofotometer, gelas ukur, gelas beaker, *furnace*, COD *reactor*, ember, timbangan analitik dan derigen. Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah cair tahu, dan bahan pendukung yaitu, lumpur aktif, feses sapi, *aquades* dan bakteri *Lactobacillus casei*.

Prosedur penelitian ini mengacu pada penelitian Nugrahini & Kristianto, (2013). Tahap awal yang dilakukan untuk proses pengolahan limbah adalah mencampurkan lumpur aktif dan feses sapi sebagai aktivator. Terdapat 2 perlakuan pada penelitian ini yaitu perlakuan I untuk perlakuan tanpa penambahan bakteri sedangkan perlakuan II adalah perlakuan penambahan bakteri *Lactobacillus casei* ke dalam aktivator sebanyak 100 ml. Perbandingan jumlah campuran feses sapi dengan lumpur aktif (v/v) yang digunakan adalah 1:3, 1:4 dan 1:5. Campuran aktivator tersebut dimasukkan ke dalam reaktor ABR sebanyak 40% volume kerja reaktor atau 1,6 liter. Selanjutnya limbah cair tahu dialirkan ke dalam reaktor sebanyak 2,4 liter atau 60% dari volume kerja reaktor. Setelah itu proses pendegradasian limbah secara *batch* dimulai dengan aliran masuk dan keluaran reaktor ditutup dengan rapat. Setelah COD mencapai 80%, dilanjutkan pada proses *continue* dengan waktu tinggal 6 jam dan 12 jam hingga COD konstan. Prosedur analisis penelitian meliputi analisis COD, TSS, VSS, pH dan tekanan gas dilakukan 3 hari sekali untuk proses *batch* dan untuk proses *continue* setiap 6 jam dan 12 jam sekali.

Analisis kandungan COD dilakukan dengan menggunakan alat spektrofotometer. Tahap pertama yang dilakukan yaitu pembuatan larutan blanko (reagent COD + *aquades*) dan sampel limbah yang ingin dianalisis (reagent COD + sampel). Sebelum dilakukan analisis, keduanya terlebih dahulu dipanaskan di COD reaktor pada suhu 150 °C selama 2 jam. Setelah dingin barulah keduanya dilakukan analisis kandungan COD dengan spektrofotometer yang terlebih dahulu dikalibrasi dengan larutan blanko sebelum menganalisa besarnya kandungan COD di dalam sampel yang telah dicampur dengan COD reagent (Widyantoro, 2008).

Analisis kandungan TSS dilakukan menggunakan kertas saring, cawan porselin, *oven* dan timbangan analitik. Tahap awal yang dilakukan yaitu kertas saring dan cawan porselin dipanaskan terlebih dahulu di dalam *oven* dengan suhu 105 °C selama 1 jam. Setelah dingin ditimbang menggunakan timbangan analitik. Selanjutnya, sampel sebanyak 10 ml disaring menggunakan kertas saring yang telah dipanaskan. Kertas saring beserta padatan yang tersaring diletakkan di dalam cawan porselin. Setelah itu, dipanaskan di dalam *oven* pada suhu 105 °C selama 1 jam lalu didinginkan dan ditimbang (Alaerts & Santika, 1984).

Analisis kandungan VSS menggunakan *furnace*. Kertas saring dan padatan yang telah dipanaskan di *oven* (pengukuran TSS) dibakar di dalam *furnace* pada suhu 550 °C selama 1 jam. Setelah dilakukan pembakaran, sampel di dinginkan dan ditimbang (Alaerts & Santika, 1984).

Analisis terhadap pH yang terbentuk dilakukan dengan menggunakan pH meter. Langkah yang dilakukan adalah dengan mencelupkan pH meter ke dalam sampel limbah cair tahu sehingga didapatkan nilai pH dari sampel tersebut (Nugrahini & Kristianto, 2013).

Analisis tekanan gas yang dihasilkan dilakukan dengan menghitung perbedaan ketinggian air yang terdapat pada selang yang ada didalam rangkaian manometer. Perbedaan ketinggian air merupakan nilai tekanan dari tekanan gas dengan satuan cm H<sub>2</sub>O (Hasanah, 2010)

## Hasil dan Pembahasan

### Uji Karakteristik Limbah Cair Tahu

Uji karakteristik limbah cair tahu dilakukan untuk mengetahui kondisi awal limbah sebelum diolah sehingga dapat diamati secara kimiawi. Limbah cair tahu yang digunakan berasal dari daerah Gunung Sulah, Bandar Lampung dimana limbah yang digunakan tidak diolah sama sekali oleh sang pemilik pabrik tahu. Pengujian secara kimiawi melingkupi nilai COD, pH, TSS dan VSS yang ditunjukkan pada Tabel 1.

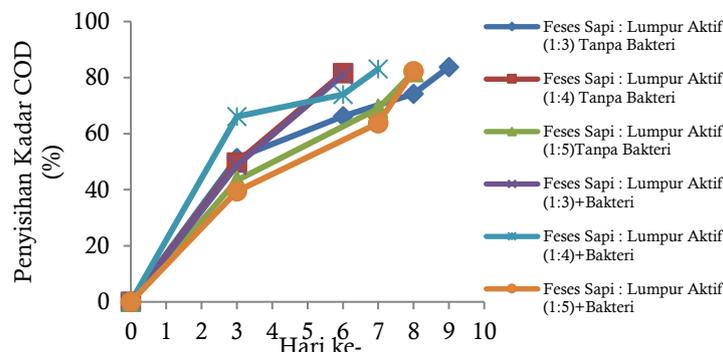
**Tabel 1.** Data Hasil Uji Karakteristik Limbah Cair Tahu

Parameter	Hasil Analisis
COD (mg/L)	4.444
pH	4,8
TSS (mg/L)	4.800
VSS (mg/L)	2.400

### Proses Batch

#### Hasil Pengolahan Limbah dengan Rasio Feses Sapi: Lumpur Aktif dan Bakteri terhadap Kadar COD

Hasil akhir pengolahan limbah dengan penurunan kadar COD (%) terhadap waktu tinggal ditunjukkan pada Gambar 1.



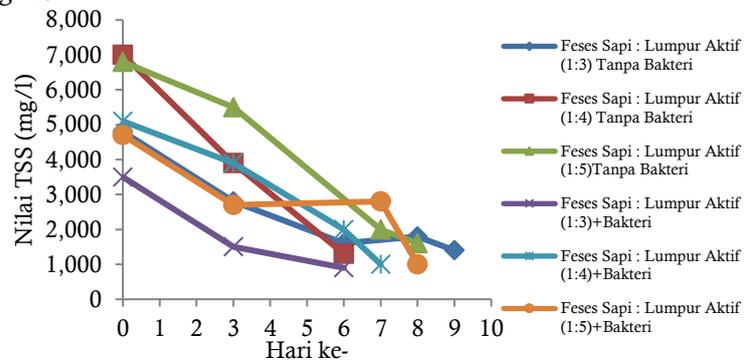
Gambar 1. Profil Penyisihan Kadar COD (mg/L) limbah cair tahu dengan adanya rasio Feses Sapi: Lumpur Aktif dan Bakteri

Berdasarkan hasil penelitian Wagiman & Suryandono, (2004) diperoleh penyisihan kandungan COD secara batch diperoleh 96,25%. Namun waktu yang diperlukan untuk menurunkan penyisihan COD sangat lama yaitu 1 bulan. Hal ini berbanding terbalik dengan hasil penelitian ini dimana pengolahan limbah pada penelitian penurunan hanya butuh waktu 6 hari paling cepat dengan menurunkan penyisihan COD sebesar 81,63%. Pada perlakuan tanpa bakteri, pada rasio 1:4 terjadi penurunan kadar COD yang paling besar dan lebih cepat dibandingkan 1:3 dan 1:5. Hal ini dikarenakan jumlah mikroorganisme yang sama besar dengan jumlah nutrisi. Sehingga mikroorganisme yang tumbuh lebih subur menyebabkan pendegradasian kadar COD sangat besar dalam waktu tinggal yang lebih cepat. Pada rasio 1:3 waktu tinggal untuk pendegradasian kadar COD lebih lama dibandingkan 1:5 dan 1:4. Hal ini disebabkan jumlah nutrisi yang diberikan lebih banyak dibandingkan jumlah bakteri yang ada. Sedangkan pada rasio 1:5 juga membutuhkan waktu tinggal yang lebih lama dibandingkan 1:4 dan lebih cepat dibandingkan dengan 1:3. Jumlah nutrisi yang diberikan lebih sedikit dibandingkan jumlah mikroorganisme yang ada. Sehingga menyebabkan mikroorganisme akan mengalami kematian. Hasil ini sesuai dengan hasil yang diperoleh, yaitu rasio 1:3 terjadi penurunan kadar COD sebesar 722 mg/L selama 9 hari dengan penyisihan COD 83,75%, pada rasio 1:4 mengalami penurunan kadar COD sebesar 759 mg/L selama 6 hari dengan penyisihan COD sebesar 81,63%, sedangkan untuk rasio 1:5 penurunan kadar COD sebesar 772 mg/L dengan penyisihan COD 81,95% selama 8 hari. Bakteri *Lactobacillus casei* yang ditambahkan ke dalam perlakuan II berperan sebagai pembantu dalam tahap proses hidrolisis dan asidogenik. *Lactobacillus casei* dapat memecah glukosa menjadi monosakarida dan juga menghasilkan enzim hidrolase protein (Balía, et al., 2011). Sehingga pada rasio 1:3 pendegradasian kadar COD pada perlakuan II memerlukan waktu yang lebih cepat dibandingkan dengan 1:4 dan 1:5. Hal ini disebabkan rasio 1:3 jumlah nutrisi lebih banyak dibandingkan jumlah bakteri. Bakteri *Lactobacillus casei* akan memakan nutrisi yang berlebih sehingga mempercepat pertumbuhan mikroorganisme. Sedangkan, untuk rasio 1:4 dan 1:5 pada saat ditambahkan bakteri *Lactobacillus casei* menyebabkan jumlah bakteri bertambah banyak dibandingkan dengan nutrisi. Mikroorganisme mengalami kematian perlahan disebabkan karena kekurangan nutrisi. Hal itu menyebabkan waktu tinggal pendegradasian kadar COD lebih lama dibandingkan dengan rasio 1:3. Hal ini sesuai dengan hasil yang diperoleh, dimana perlakuan II pada rasio 1:3 terjadi penurunan kadar COD sebesar 963 mg/L selama 6 hari dengan penyisihan COD 80,94%, pada rasio 1:4 mengalami penurunan kadar COD sebesar 857 mg/L selama 7 hari dengan penyisihan COD sebesar 83,04%, sedangkan untuk rasio 1:5 penurunan kadar COD sebesar 825 mg/L dengan penyisihan COD 82,32% selama 8 hari. Dari kedua hasil tersebut yang paling baik yaitu pada perlakuan I dan II pada rasio 1:4 dikarenakan pada hari ke-6 dan 7 penyisihan COD telah mencapai 80% yang artinya proses batch telah selesai dan dapat dilanjutkan ke proses continue.

#### Hasil Penurunan Nilai TSS Terhadap Rasio Feses Sapi: Lumpur Aktif Serta Penambahan Bakteri

Gambar 2 menunjukkan nilai TSS secara umum mengalami penurunan. Pada perlakuan I dan II hasil penurunan TSS terbaik pada perlakuan II hal ini dikarenakan adanya penambahan bakteri *Lactobacillus casei* pada perlakuan II. Bakteri yang ditambahkan akan mendegradasi partikel padatan yang ada pada limbah sehingga nilai TSS lebih kecil. Untuk Rasio feses sapi dan lumpur aktif baik pada rasio 1:3, 1:4 dan 1:5 nilai

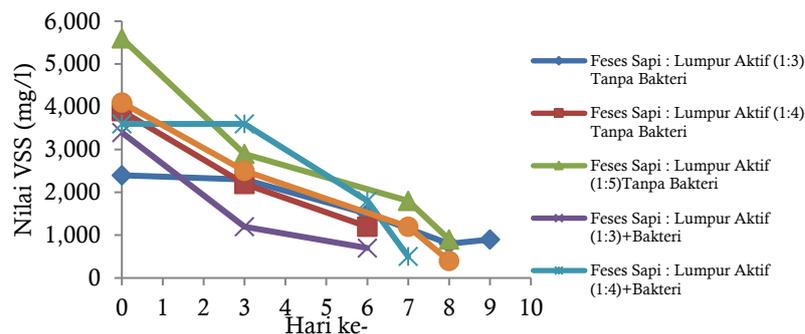
akhir TSS tidak mengalami perbedaan yang signifikan. Hasil yang berbanding lurus di dapatkan oleh Anggraini, (2014) hasil penelitian limbah cair tahu secara *anaerob* dengan sisitem *batch* di dapatkan nilai TSS mengalami penurunan dari hari ke-0 hingga hari ke-30. Hasil penelitian di dapatkan konsentrasi TSS pada perlakuan I menurun 701 mg/L menjadi 437 mg/L. Sedangkn untuk perlakuan II TSS juga turun dari 847 mg/L menjadi 420 mg/L.



**Gambar 2.** Profil penurunan TSS (mg/L) limbah cair tahu dengan adanya rasio Feses Sapi: Lumpur Aktif dan Bakteri

### Hasil Penurunan Nilai VSS Terhadap dengan Rasio Feses Sapi: Lumpur Aktif Serta Penambahan Bakteri

Penambahan feses sapi mempengaruhi nilai VSS. Semakin banyak jumlah lumpur aktif dibandingkan feses sapi semakin lambat pula pertumbuhan mikroorganismenya. Jumlah mikroorganismenya yang dihasilkan dalam pengolahan limbah sedikit mengakibatkan penyisihan VSS tinggi pada perlakuan tanpa bakteri (Nugrahini & Kristianto, 2013). Hal ini sejalan dengan hasil yang didapatkan pada Gambar 3.

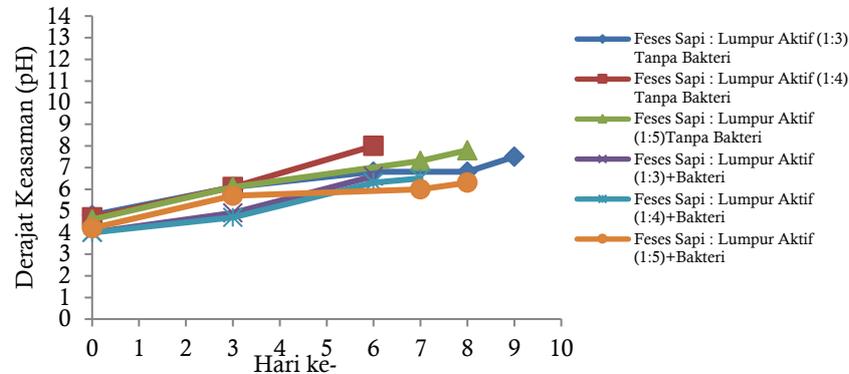


**Gambar 3.** Profil penurunan VSS (mg/L) limbah cair tahu dengan adanya rasio Feses Sapi: Lumpur Aktif dan Bakteri

Penyisihan terendah untuk perlakuan I diperoleh pada rasio 1:4. Nilai VSS sebesar 1.200 mg/L selama 6 hari. Pada rasio 1:3 dan 1:5 didapatkan nilai VSS sebesar 900 mg/L dan 900 mg/L selama 9 hari dan 8 hari. Terjadinya perbedaan signifikan antara perlakuan I dengan II disebabkan adanya bakteri *Lactobacillus casei* yang ditambahkan. Penyisihan terendah pada perlakuan II yaitu, rasio 1:3+bakteri dengan nilai VSS akhir sebesar 700 mg/L selama 6 hari. Sedangkan pada rasio 1:4+bakteri dan 1:5+bakteri diperoleh nilai VSS akhir sebesar 500 mg/L dan 400 mg/L selama 7 hari dan 8 hari. Pada perlakuan II rasio 1:3 ketika ditambahkan bakteri *Lactobacillus casei* mikroorganismenya berkembang sangat cepat dan banyak. Pada perlakuan II jumlah mikroorganismenya meningkat. Mikroorganismenya yang meningkat menyebabkan menurunnya kadar COD. Kematian mikroba ditandai dengan penurunan kadar COD dan nilai VSS menandakan air limbah semakin baik. Penyisihan nilai VSS secara biologi menggunakan proses anaerobik juga dilaporkan oleh penelitian yang dilakukan Rendy, (2020). Hasil penelitian didapatkan nilai VSS limbah cair kelapa sawit tanpa penambahan NPK mempunyai VSS awal 19,28 mg/L turun menjadi 17,53 mg/L pada hari ke 15. Untuk VSS limbah cair kelapa sawit dengan penambahan 2,5 gram NPK mempunyai VSS awal 20,08 mg/L turun menjadi 17,625 mg/L pada hari ke 15. Untuk VSS limbah cair kelapa sawit dengan penambahan 5 gram NPK mempunyai VSS awal 21,28 mg/L turun menjadi 20,32 mg/L pada hari ke 15. Reaktor dengan penambahan NPK 2,5 gram lebih tinggi dikarenakan pada penambahan ini terdapat pasokan

nutrisi yang berasal dari NPK sehingga menyebabkan mikroorganisme dapat tumbuh dan berkembang dengan baik.

#### Hasil Pengukuran Nilai Derajat Keasaman (pH) Terhadap Rasio Feses Sapi : Lumpur Aktif Serta Penambahan Bakteri



**Gambar 4.** Profil kenaikan Derajat Keasaman (pH) limbah cair tahu dengan adanya rasio Feses Sapi: Lumpur Aktif dan Bakteri

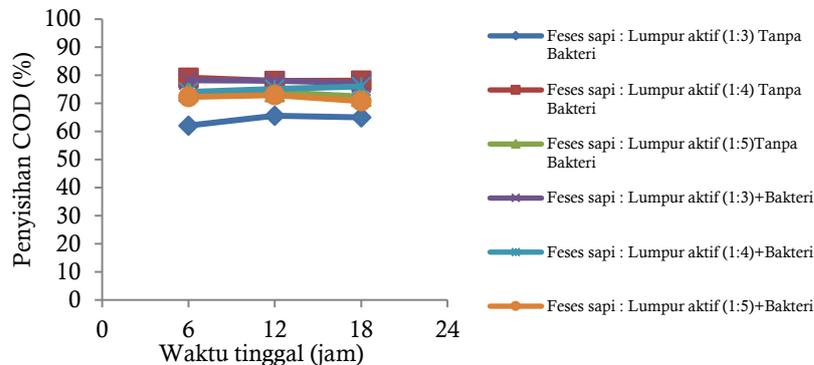
Selama proses pengolahan limbah, senyawa-senyawa asam dirubah menjadi senyawa netral atau bahkan cenderung basa. Pada sekat pertama pH cenderung rendah. Pada sekat berikutnya menunjukkan bahwa proses asidogenesis dan metanogenesis berlangsung secara terpisah (Bell, 2003). Hasil penelitian Nugrahini & Kristianto, (2013) diperoleh pada reaktor 2 dan reaktor 3 terjadi perubahan pH menjadi 9 pada hari pertama. Perubahan tersebut disebabkan karena feses sapi yang ditambahkan kedalam lumpur aktif didalam reaktor 2 dan reaktor 3. Profil perubahan pH secara perlahan mengalami perubahan ke arah 7. Reaktor 1 dan reaktor 2 membutuhkan waktu selama 12 hari untuk mengubah pH menjadi 7. Sedangkan reaktor 3 membutuhkan waktu selama 15 hari untuk mengubah pH menjadi 7. Hal ini berbanding lurus dengan yang ditunjukkan pada Gambar 4. pH awal untuk perlakuan tanpa bakteri pada rasio 1:3, 1:4 dan 1:5 bersifat asam yaitu 4,8, 4,7 dan 4,6 berubah menjadi bersifat netral dengan nilai pH akhir sebesar 7,5, 8,0 dan 7,8. Sedangkan, untuk perlakuan menggunakan bakteri *Lactobacillus casei* perubahan nilai pH mendekati netral dimana pada rasio 1:3, 1:4 dan 1:5 memiliki nilai pH awal sebesar 4,0, 4,0, dan 4,2 berubah menjadi 6,6, 6,5 dan 6,3. *Lactobacillus casei* merupakan bakteri asam dapat hidup pada pH rendah 3,5 atau lebih. Bakteri ini berperan memecah glukosa menjadi asam laktat dan juga sejumlah kecil asam lainnya (Balía, *et al.*, 2011). Sehingga ketika adanya penambahan bakteri *Lactobacillus casei* menyebabkan nilai pH menurun. Kenaikan nilai pH secara biologi menggunakan proses anaerobik juga dilaporkan oleh penelitian yang dilakukan Nugrahini & Kristianto, (2013). Hasil penelitian didapatkan kenaikan nilai pH yang sangat signifikan antara reaktor 1 ( $L_{100}F_0$ ) dengan reaktor 2 ( $L_{80}F_{20}$ ) dan reaktor 3 ( $L_{60}F_{40}$ ) pada saat awal proses pendegradasian meskipun pada akhirnya sama-sama menuju pH 7. Pada reaktor 2 dan reaktor 3 terjadi perubahan pH menjadi 9 pada hari pertama. Perubahan tersebut disebabkan karena feses sapi yang ditambahkan kedalam lumpur aktif didalam reaktor 2 dan reaktor 3. Profil perubahan pH secara perlahan mengalami perubahan ke arah 7. Reaktor 1 dan reaktor 2 membutuhkan waktu selama 12 hari untuk mengubah pH menjadi 7. Sedangkan reaktor 3 membutuhkan waktu selama 15 hari untuk mengubah pH menjadi 7.

#### Hasil Pengukuran Tekanan Gas (mmH<sub>2</sub>O) Terhadap Rasio Feses Sapi: Lumpur Aktif Serta Penambahan Bakteri

Pada proses pengolahan limbah cair tahu secara anaerobik menggunakan reaktor bersekat didapatkan produk samping berupa biogas/gas metana yang dihasilkan oleh bakteri (Pratama, 2007). Untuk menghasilkan biogas terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi salah satunya adalah jumlah air limbah yang diolah, semakin banyak air limbah yang diproses maka biogas yang dihasilkan semakin banyak. Selain jumlah air limbah, penambahan feses sapi dimana semakin banyak feses sapi yang ditambahkan menyebabkan akumulasi tekanan biogas menjadi berkurang (Nugrahini & Kristianto, 2013). Hal ini yang memungkinkan terjadinya kegagalan dalam proses pengukuran tekanan gas dimana air limbah yang diolah hanya 2,4 liter dan adanya penambahan feses sapi sebagai nutrisi.

### Proses *Continue*

### Pengaruh Penambahan Bakteri Terhadap Kadar COD Untuk *Hydraulic Retention Time* (HRT) 6 Jam dan 12 Jam

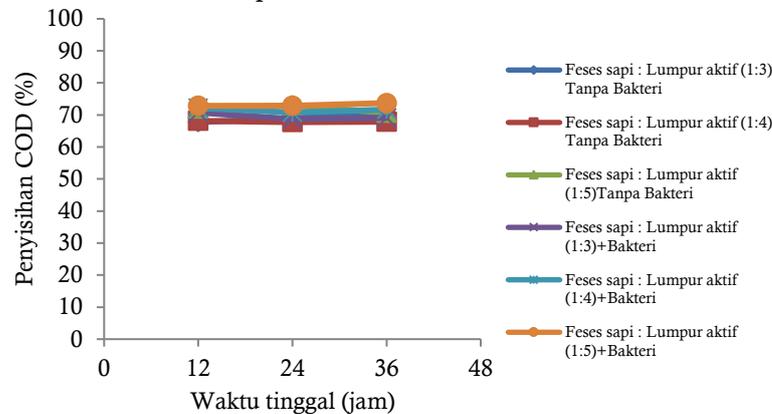


**Gambar 5.** Profil Penyisihan COD (%) Limbah Cair Tahu terhadap Waktu Tinggal 6 Jam

Berdasarkan Gambar 5, diketahui rasio 1:3 pada perlakuan tanpa bakteri mengalami peningkatan namun tidak signifikan. Nilai akhir COD untuk perlakuan tanpa bakteri diperoleh sebesar 1.553 mg/L dengan persentase penurunan 65,05% dalam waktu tinggal 6 jam. Sedangkan untuk perlakuan menggunakan bakteri *Lactobacillus casei* mengalami sedikit penurunan. Persentase kadar COD akhir didapatkan sebesar 77,21% dengan nilai akhir COD 1.152 mg/L. Penurunan COD pada rasio 1:3 perlakuan II disebabkan oleh kekurangan nutrisi. Bakteri *Lactobacillus casei* yang ditambahkan mengalami pertumbuhan cukup pesat pada fase logaritma/eksponensial, sedangkan pertumbuhan bakteri pada fase stasioner mengalami penurunan yang diakibatkan nutrisi sudah berkurang. Hal berbeda terjadi pada rasio 1:3 tanpa penambahan bakteri. Bakteri yang sudah terdapat di dalam lumpur aktif dan feses sapi tidak mengalami kekurangan nutrisi. Rasio 1:4 untuk perlakuan I mengalami penurunan persentase kadar COD yaitu 78,12% dengan nilai sebesar 904 mg/L, namun berbeda hal dengan perlakuan II dimana pada perlakuan ini mengalami penurunan. Persentase akhir 76,03% diperoleh untuk rasio 1:4 pada perlakuan II dimana variasi ini memiliki COD akhir 1.211 mg/L. Hal ini disebabkan oleh kekurangan nutrisi pada fase stasioner. Sedangkan untuk rasio 1:5 baik pada perlakuan tanpa bakteri maupun menggunakan bakteri *Lactobacillus casei* sama-sama mengalami penurunan. Pada perlakuan I didapatkan hasil persentase sebesar 72,43% dengan hasil akhir COD 1.179 mg/L, sedangkan untuk perlakuan II diperoleh persentase sebesar 70,79% dengan COD akhir yaitu 1.268 mg/L. Kurangnya bakteri yang berkembang di fase pertumbuhan sehingga pada fase stasioner mikroorganisme yang tersisa hanya sedikit. Namun untuk waktu tinggal 6 jam pendegradasian kadar COD memiliki nilai yang relatif konstan. Hal yang berbeda didapatkan oleh Al Kholif *et al.*, 2020. Hasil penelitian penyisihan kadar COD mengenai proses pengolahan limbah domestik secara anaerob menggunakan *anaerobic baffled reactor* diperoleh pada waktu tinggal 6 jam yaitu sebesar 33% pada *continue* ke-1, 39% pada *continue* ke-2 dan 51% pada *continue* ke-3.

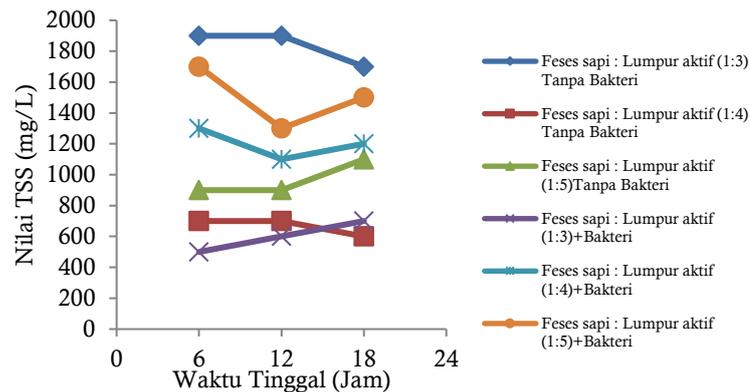
Semakin lama waktu tinggal, semakin meningkat pula efisiensi penyisihan kadar COD. Bahan organik yang terdegradasi disebabkan karena air limbah berkontak dengan biomassa dalam waktu yang lama (Ashila & Prayatni, 2008). Namun hal ini berbanding terbalik dengan hasil yang didapatkan pada HRT 12 jam. Berdasarkan Gambar 6. hasil penyisihan COD (%) relatif konstan akan tetapi ada yang mengalami peningkatan dan ada yang mengalami penurunan. Persentase kadar COD pada rasio 1:3 perlakuan I sebesar 70,38% dan perlakuan II sebesar 69,04%. Perlakuan I memiliki persentase kadar COD lebih tinggi dikarenakan bakteri yang lambat berkembang ketika memasuki fase stasioner. Perlakuan II memiliki persentase kadar COD yang lebih rendah dikarenakan jumlah bakteri yang lebih banyak. Perlakuan I pada rasio 1:4 mengalami penurunan kadar COD sebesar 67,90% dengan nilai akhir COD 1.326 mg/L. Bakteri yang mengalami kematian secara perlahan pada perlakuan I menjadi penyebab penurunan kadar COD. Sedangkan untuk perlakuan menggunakan bakteri *Lactobacillus casei* memiliki nilai persentase COD fluktuatif. Menurut Hidayat (2016), variasi dan fluktuasi pada penurunan COD diakibatkan oleh pertumbuhan mikroorganisme. Pertumbuhan bakteri yang tidak merata pada media menyebabkan terjadinya perbedaan kemampuan mikroorganisme untuk mengurangi bahan organik. Hal ini yang mungkin menyebabkan persentase kadar COD mengalami fluktuasi pada perlakuan II. Persentase kadar COD akhir diperoleh sebesar 71,63% dengan memiliki nilai COD 1.434 mg/L. Fluktuatif juga terjadi pada perlakuan I rasio 1:5 dimana persentase kadar COD bernilai 70,65% dengan konsentrasi COD sebesar 1.255 mg/L. Pada

perlakuan II rasio 1:5 mengalami perbedaan yang tidak signifikan dimana nilai akhir COD yaitu 1.409 mg/L dengan penyisihan COD akhir yaitu sebesar 73,71%. Hal yang berbeda didapatkan oleh Al Kholif *et al.*, 2020. Hasil penelitian penyisihan kadar COD mengenai proses pengolahan limbah domestik secara anaerob menggunakan *anaerobic baffled reactor* diperoleh pada waktu tinggal 12 jam yaitu sebesar 36% pada *continue* ke-1, 46% pada *continue* ke-2 dan 54% pada *continue* ke-3.



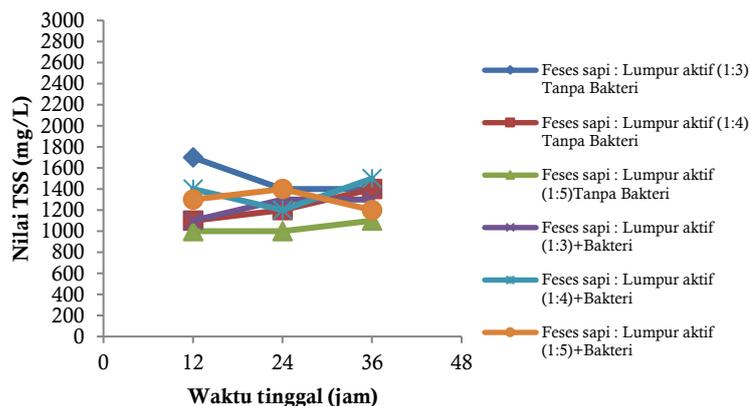
Gambar 6. Profil Penyisihan COD (%) Limbah Cair Tahu terhadap Waktu Tinggal 12 Jam

**Pengaruh Penambahan Bakteri Terhadap Nilai TSS (mg/L) Untuk *Hydraulic Retention Time* (HRT) 6 Jam dan 12 Jam**



Gambar 7. Profil Nilai TSS (mg/L) Limbah Cair Tahu terhadap Waktu Tinggal 6 Jam

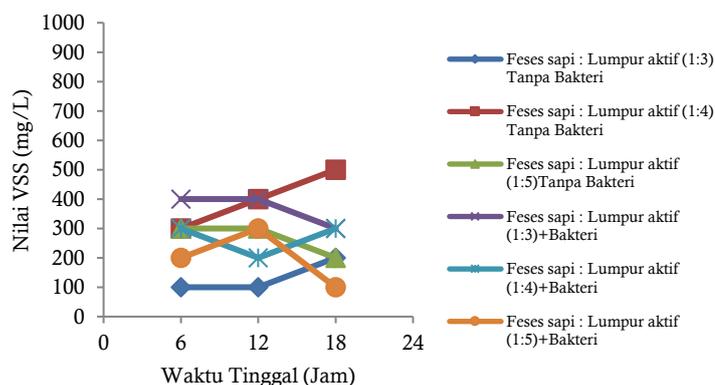
Hasil analisis TSS untuk HRT 6 jam ditunjukkan pada Gambar 7. Semakin tinggi beban organik maka semakin tinggi penyisihan TSS (Samudro, *et al.*, 2012). Hal ini sejalan dengan hasil yang didapatkan rasio 1:3. Perlakuan tanpa bakteri nilai TSS untuk rasio 1:3 mengalami sedikit penurunan. Nilai TSS akhir sebesar 1.700 mg/L didapatkan pada rasio 1:3. Sedangkan pada perlakuan menggunakan bakteri *Lactobacillus casei* untuk rasio 1:3 mengalami kenaikan nilai TSS. Hal ini disebabkan banyak mikroorganisme yang mati menimbulkan penambahan total padatan di dalam air limbah. Nilai akhir TSS didapatkan sebesar 700 mg/L. Pada rasio 1:4 perlakuan I didapatkan nilai akhir TSS yaitu 600 mg/L. Nilai TSS untuk rasio 1:4 relatif konstan namun mengalami penurunan. Hal yang berbeda didapatkan pada perlakuan II dimana nilai akhir TSS sebesar 1.200 mg/L dan mengalami fluktuatif. Peristiwa ini dimungkinkan terjadi karena adanya penambahan bakteri *Lactobacillus casei* yang menyebabkan kelebihan mikroorganisme dalam penguraian pada fase stasioner. Kelebihan mikroorganisme juga dialami pada rasio 1:5 pada penambahan bakteri. Hasil fluktuatif yang didapatkan oleh rasio 1:5 dimana nilai TSS akhir didapatkan 1.500 mg/L. Perlakuan tanpa bakteri mengalami sedikit peningkatan nilai TSS yaitu sebesar 1.100 mg/L. Hasil ini berbanding terbalik dengan penelitian menggunakan reaktor UASB yang dilakukan oleh Samudro, *et al.*, (2012) dimana hasil yang diperoleh pada HRT 6 jam untuk penyisihan TSS akhir didapatkan sebesar 300 mg/L dan 200 mg/L.



Gambar 8. Profil Nilai TSS (mg/L) Limbah Cair Tahu terhadap Waktu Tinggal 12 Jam

Pada rasio 1:3 untuk perlakuan tanpa bakteri mengalami penurunan. Jumlah substrat makanan yang tersedia lebih banyak dibandingkan mikroorganismenya. Ketika waktu tinggal yang lebih lama maka akan terjadi kontak yang lama pula antara bakteri dengan substrat makanan menyebabkan penurunan pada nilai TSS. Nilai TSS akhir yaitu sebesar 1.400 mg/L. Untuk perlakuan penambahan bakteri *Lactobacillus casei* pada rasio 1:3, TSS akhir didapatkan sebesar 1.300 mg/L. Kinerja mikroorganismenya pada fase stasioner mulai melambat menyebabkan nilai TSS meningkat. Hal ini juga terjadi pada rasio 1:4 terhadap perlakuan tanpa bakteri dengan nilai TSS sebesar 1.400 mg/L. Sedangkan pada perlakuan menggunakan bakteri rasio 1:4 mengalami fluktuatif. Hal ini dimungkinkan karena adanya penambahan bakteri *Lactobacillus casei* yang menyebabkan kelebihan mikroorganismenya yang tidak merata. Mikroorganismenya yang tidak merata menyebabkan bahan organik yang terurai juga tidak merata. Hal yang sama terjadi pada rasio 1:5 pada perlakuan II mengalami fluktuasi dimana TSS akhir sebesar 1.200 mg/L namun berbeda pada perlakuan I mengalami peningkatan dengan TSS sebesar 1.100 mg/L. Hasil ini berbanding terbalik dengan penelitian menggunakan limbah cair tahu proses anaerob yang dilakukan oleh Putri pada tahun 2014 dimana hasil yang diperoleh pada *Hydraulic Retention Time* (HRT) 12 jam untuk penyisihan TSS akhir didapatkan sebesar 243,95 mg/L dan 385,73 mg/L.

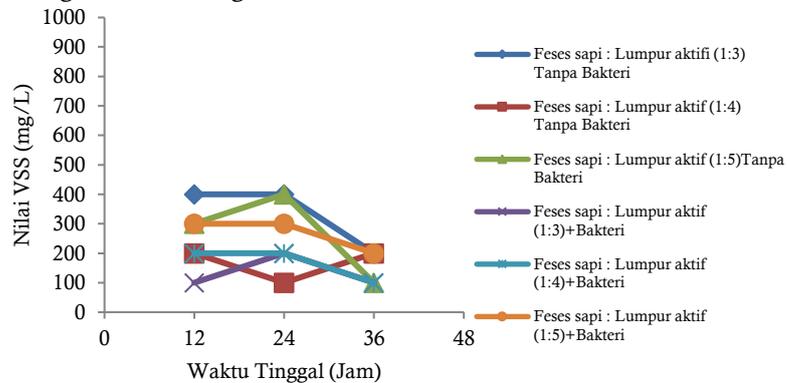
#### Pengaruh Penambahan Bakteri Terhadap Nilai VSS (mg/L) Untuk *Hydraulic Retention Time* (HRT) 6 Jam dan 12 Jam



Gambar 9. Profil Nilai VSS (mg/L) Limbah Cair Tahu terhadap Waktu Tinggal 6 Jam dan 12 Jam

Peningkatan terjadi pada perlakuan tanpa bakteri untuk rasio 1:3 dan 1:4 dengan nilai akhir masing-masing sebesar 200 mg/L dan 500 mg/L. Sedangkan untuk perlakuan penambahan bakteri *Lactobacillus casei* rasio 1:3 mengalami penurunan nilai akhir VSS yaitu 300 mg/L. Namun berbeda hal dengan rasio 1:4 mengalami fluktuatif dengan nilai VSS sebesar 300 mg/L. Nilai VSS cukup tinggi diakibatkan oleh mikroba yang hidup didalam air limbah cukup banyak meskipun sudah berada di fase stasioner. Namun berbeda hal yang dialami pada perlakuan penambahan bakteri dimana nilai VSS cukup rendah. Jumlah mikroba lebih banyak dibandingkan dengan bahan organik menyebabkan banyak bakteri yang mengalami kematian secara perlahan. Menurut Hasanudin *et al.* (2007), semakin besar fluktuasi VSS akan semakin mengganggu kinerja

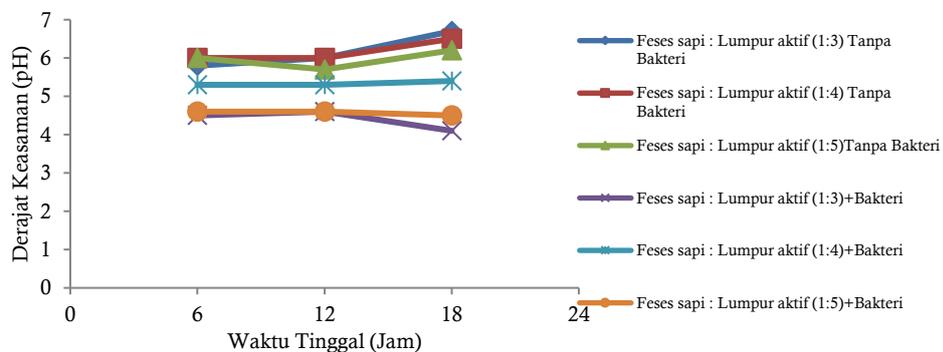
bakteri metan dalam mendegradasi bahan organik dalam air limbah untuk menghasilkan biogas. Pada rasio 1:5 juga fluktuatif dan penambahan pada perlakuan penambahan bakteri dan tanpa bakteri mengakibatkan nilai VSS akhir sebesar 100 mg/L dan 200 mg/L.



**Gambar 10.** Profil Nilai VSS (mg/L) Limbah Cair Tahu terhadap Waktu Tinggal 12 Jam

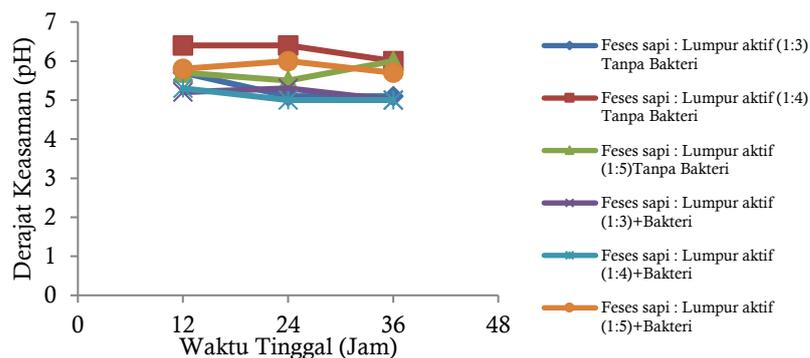
Pada waktu tinggal 12 jam secara umum nilai VSS fluktuatif. Namun banyak yang mengalami penurunan baik pada perlakuan tanpa bakteri maupun adanya penambahan bakteri. Hal ini disebabkan karena jumlah mikroba yang terdapat dalam air limbah semakin berkurang. Kekurangan substrat makanan menjadi penyebab utama mikroorganisme mengalami kematian. Nilai akhir VSS pada rasio 1:3, 1:4 dan 1:5 untuk perlakuan tanpa bakteri yaitu 200 mg/L, 200 mg/L dan 100 mg/L sedangkan perlakuan penambahan bakteri sebesar 100 mg/L, 100 mg/L dan 200 mg/L.

#### Pengaruh Penambahan Bakteri Terhadap Derajat Keasaman (pH) Untuk *Hydraulic Retention Time* (HRT) 6 Jam dan 12 Jam



**Gambar 11.** Profil Derajat Keasaman (pH) Limbah Cair Tahu terhadap Waktu Tinggal 6 Jam

Pada proses anaerob kondisi perubahan pH lingkungan sangat sensitif. Jika proses ingin berjalan dengan baik maka kondisi pH harus mendekati netral yaitu berkisar 6,6-7,6. Apabila nilai pH kurang dari 6,6 aktifitas bakteri metagenetik akan terhambat (Rittman & Mc Carthy [10]). Nilai pH pada perlakuan tanpa bakteri mengalami peningkatan mendekati netral. Hal ini dikarenakan pada saat ditambahkan air limbah substrat makanan juga mengalami pertambahan sehingga bakteri tidak akan kekurangan makanan. Dimana pH akhir pada rasio 1:3, 1:4 dan 1:5 sebesar 6,7, 6,5, dan 6,2. Namun berbanding terbalik yang didapatkan pada perlakuan adanya penambahan bakteri *Lactobacillus casei*. Nilai pH mengalami penurunan yang diakibatkan karena adanya air limbah yang baru sehingga menyebabkan bakteri bertambah juga. Nilai pH akhir yang didapatkan untuk rasio 1:3, 1:4 dan 1:5 masing-masing sebesar 4,1, 5,4 dan 4,5. Hasil ini berbanding terbalik dengan penelitian menggunakan reaktor UASB yang dilakukan oleh Samudro, *et al.*, (2012) dimana hasil yang diperoleh pada HRT 6 jam untuk nilai pH akhir didapatkan sebesar 300 mg/L dan 200 mg/L. Penelitian sejenis dilakukan oleh Rendy, (2020) menggunakan limbah cair sawit proses anaerob dimana hasil yang diperoleh pada HRT 6 jam untuk nilai pH akhir didapatkan sebesar 6,8, 6,6 dan 6,6.



**Gambar 12.** Profil Derajat Keasaman (pH) Limbah Cair Tahu terhadap Waktu Tinggal 12 Jam

Nilai pH akhir pada rasio 1:3 pada perlakuan tanpa bakteri dan perlakuan penambahan bakteri untuk HRT 12 jam adalah sebesar 5,1 dan 5,0. Pada rasio 1:4 pada kedua perlakuan yang sama dengan rasio 1:3 diperoleh senilai 6,0 dan 5,0. Untuk rasio 1:5 pada perlakuan tanpa bakteri memiliki pH akhir yaitu 6,0, pH akhir lebih kecil didapatkan pada perlakuan penambahan bakteri *Lactobacillus casei* yaitu 5,7. Nilai pH pada waktu tinggal 12 jam mengalami fluktuatif, namun secara umum mengalami penurunan. Waktu tinggal yang lama akan mengakibatkan kelaparan pada mikroorganisme, sehingga ketika ditambahkan air limbah akan menyebabkan tidak optimalnya pengolahan. Penelitian sejenis dilakukan oleh Rendy (2020) menggunakan limbah cair sawit proses anaerob dimana hasil yang diperoleh pada HRT 12 jam untuk nilai pH akhir didapatkan sebesar 7,0.

### Simpulan

Pengolahan limbah cair tahu menggunakan reaktor ABR dengan penambahan aktivator (lumpur aktif dan feses sapi) dan bakteri *Lactobacillus casei* diperoleh hasil yang baik. Pengaruh penambahan aktivator dan bakteri terhadap pengolahan limbah cair tahu adalah semakin banyak feses sapi ditambahkan maka semakin cepat dan besar pula penyisihan kadar COD, TSS, VSS dan nilai pH cenderung mengalami peningkatan pada perlakuan penambahan bakteri. Pada pengolahan, semakin lama waktu tinggal maka semakin rendah kerja mikroorganisme.

### Daftar Referensi

- Al Kholif M., Rifka A., Pungut, Sugito dan Sutrisno J. 2020. Kombinasi Teknologi Filtrasi dan Anaerobic Buffled Reactor (ABR) Untuk Mengolah Air Limbah Domestik. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Indonesia*, 15(2): 19-24
- Alaerts G., dan Santika, S.S. 1984. *Metode Penelitian Air*. Usaha Nasional. Surabaya, Indonesia.
- Amatya, P.L. 1996. Anaerobic Treatment of Tapioca Starch Industry Wastewater by Bench scale Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactor. *Master Thesis*, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Anggraini, Sutisna, M. & Pratama, Y. 2014. Pengolahan Limbah Cair Tahu secara Anaerob menggunakan Sistem *Batch*. *Reka Lingkungan* 2(1):1-10.
- Ashila R. & Prayatni, S. 2008. Penyisihan Organik Melalui Dua Tahap Pengolahan Dengan Modifikasi ABR Dan Constructed Wetland Pada Industri Rumah Tangga. *Jurnal Teknik Lingkungan* 4(4): 93-100.
- Balia R.L., Chairunnisa, H., Rachmawan, O., & Wulandari, E. 2011. Derajat Keasaman dan Karakteristik Organoleptik Produk Susu Kambing dengan Penambahan Sari Kurma yang Diinokulasikan Berbagai Kombinasi Starter Bakteri Asam Laktat. *Jurnal Ilmu Ternak Universitas Padjadjaran* 11(1): 49-52.
- Bell J., 2003. Treatment of Dye Wastewaters in The Anaerobic Buffled Reactor and Characterisation of The Associated Microbial Populations. *Desertation*, School of Chemichal Engineering, University of Natal, Durban.

- Hasanah, H. 2010. Penurunan Bahan Pencemar Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Melalui Fermentasi Anaerob Menggunakan Digester Anaerobik. *Undergraduate Theses*, UT - Faculty of Agricultural Technology, Institut Pertanian Bogor.
- Hasanudin, U., Suroso, E., Risfaheri dan Misgiyarta, 2007. *Optimasi Fermentasi Air Limbah Tapioka Sebagai Sumber Biogas*. Laporan Hasil Penelitian (tidak dipublikasikan). Universitas Lampung.
- Herlambang, 2002. *Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu*, Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan (BPPT) dan Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Samarinda.
- Hidayat, N. 2016. *Bioproses Limbah Cair*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- McCarty, P.L. & Smith, D.P., 1986. Anaerobic Wastewater Treatment. *Environmental Science & Technology*, 20(12): 1200-1206.
- Nugrahini, P. dan Kristianto, A., 2013, Pengaruh Penambahan Feses Sapi Pada Proses Degradasi Bahan Organik Limbah Cair Kelapa Sawit dengan Menggunakan Reaktor Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), *Bionatura-Jurnal Ilmu-ilmu Hayati dan Fisik*, 15(1): 20–23.
- Pratama, P. 2007. *Karakteristik Perombakan Limbah Cair Industri Menggunakan Reaktor UASB*. Laporan Penelitian (tidak dipublikasikan). Jurusan Teknik Kimia, Universitas Lampung.
- Prescott, L. M., Harley, J. P., & Klei, D. A., 2003. *Microbiology*, USA: Mc Graw-Hill Book Company, Inc.
- Rendy, P.P. 2020. Pengaruh Penambahan Pupuk NPK dalam Pendegradasian Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Anaerobic Baffled Reactor. *Inovasi Pembangunan-Jurnal Kelitbangan*, 8(3): 281-296.
- Wagiman & Suryandono, 2004. *Kajian Kombinasi Anaerobic Baffled Reactor (ABR) dan Sistem Lumpur Aktif untuk Pengolahan Limbah Cair Tahu*. Yogyakarta: Lembaga Penelitian UGM.
- Widyantoro, A. 2008. *Karakterisasi Anaerobik Campuran Limbah Cair Industri Menggunakan Reaktor Upflow Anaerobik Sludge Blanket (UASB) Dengan Variasi COD Yang Tinggi Pada Kondisi Optimum*, Laporan Penelitian (tidak dipublikasikan). Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Samudro, G., Syafrudin, S. & Yazid, F.R. 2012. Pengaruh Variasi Konsentrasi dan Debit pada Pengolahan Air Artifisial (Campuran Grey Water Dan Black Water) Menggunakan Reaktor UASB. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 9(1): 31-40, <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v9i1.31-40>