BIOREMEDIASI LIMBAH CAIR SENTRA INDUSTRI TEMPE SANAN SERTA PERENCANAAN UNIT PENGOLAHANNYA (KAJIAN PENGATURAN KECEPATAN AERASI DAN WAKTU INKUBASI)

Bioremediation of Liquid Waste in Sanan Tempeh Industry and Its Unit Operation Planning (Study on Aeration Rate and Incubation Time)

Wignyanto, Nur Hidayat, dan Alfia Ariningrum

Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Fak. Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya
Jl. Veteran Malang 65145. Telp/Fax 0341 564398

ABSTRACT

This objective of the research was to design and implement Waste Water Treatment Unit for Sanan's tempeh using bioremediation technique to produce free pollutant waste complying with standard environmental regulation for tempeh liquid waste before it is dumped into the waterways. This experiment is designed using Randomized Group Design. It consists of two factors which are, firstly, variation of aeration speed (1 vvm, 2 vvm, 3 vvm), secondly, variation of incubation time (0 days , 3 days, 7 days).

It was shown that the best treatment, the combination of 3 vvm of aeration speed and 7 days of incubation time capable to reduce up to 83.9 % of BOD; 73,1% of COD; 93.1% of TSS and 45.8 % of detergent. The value of BOD and COD has satisfactorily complied with standard environmental regulation for tempeh liquid waste, which is the value of TSS and detergent just nearly complying. The Treatment Unit designed for treating tempeh liquid waste of about 45 m^3 /day in average is consists of pre-sediment tank with the capacity of 100 m^3, 7 aeration tank with air compressor, final-sediment tank, controlled tank which has a capacity the same as pre-sediment tank and calcium-bicarbonate solution tank. The area for building Waste Water Treatment Unit is 1440 m^2.

Keywords: bioremediation, liquid waste, tempeh industry, waste water treatment unit.

PENDAHULUAN

Bioremediasi yang memanfaatkan makhluk hidup untuk merombak substansi yang berbahaya menjadi komponen yang tidak berbahaya, memungkinkan diciptakannya kondisi lingkungan, sehingga terjadi suasana kondusif bagi terselenggaranya interaksi sinergistik bagi mikroba untuk mampu bekerja secara optimal. Optimalisasi kondisi lingkungan dilakukan agar aktivitas metabolisme mikroba dapat terselenggara dengan baik (Sheehan, 1997).

Industri Tempe Sanan merupakan sebuah sentra industri berskala rumah tangga yang 70% penduduknya bermata pencaharian sebagai produsen tempe maupun keripik tempe.

Karakteristik dari sentra industri ini antara lain belum mempunyai tempat penampungan dan pengolahan limbah tersendiri. Limbah yang berasal dari aktivitas proses produksi maupun non proses dibuang begitu saja ke lingkungan. Karakteristik limbah cair ini tinggi kandungan bahan cemaran organiknya yang berupa pati, lemak, minyak dan protein serta deterjen. Bahan ini merupakan bahan pencemar berbahaya karena sulit terdegradasi secara alami di lingkungan. Apabila limbah tersebut langsung dibuang ke sungai tanpa melalui pengolahan terlebih dahulu akan menyebabkan pencemaran

air yang berdampak pada kerusakan lingkungan.

Berdasarkan hal tersebut diperlukan alternatif teknologi pengolahan limbah cair yang baik, berwawasan lingkungan, serta mudah diterapkan di masyarakat. Salah satunya ialah penggunaan bakteri potensial perombak polutan untuk membantu pembersihan area yang tercemar produk-produk kontaminan berbahaya, yang dikenal dengan teknologi bioremediasi.

Penelitian tentang bioremediasi ini berusaha mengembangkan penelitian peneliti sebelumnya, yaitu dengan telah ditemukannya konsursium spesies-spesies bakteri penelitian tersebut antara lain berupa 4 strain bakteri yang potensial merombak bahan cemaran organik (*Pseudomonas aeruginosa, Pseudomonas stutzeri, Serratia liquefaciens* dan *Kurthia zopfii*) untuk merombak cemaran deterjen pada buangan industri, Formula starter sebesar 5% dari volume limbah masing-masing dengan jumlah dengan jumlah 10 7 sel/mL untuk tiap spesies mikroba, pengaturan faktor tumbuh mikroba meliputi pH sebesar 7, serta pengaturan suhu pada suhu ruang (Wignyanto, 2005; Suarsini, 2007).

Mikroorganisme yang diperoleh tersebut digunakan dalam penelitian ini dengan pengembangan dilakukannya pengaturan kecepatan aerasi sebagai faktor tumbuh bakteri pendegradasi bahan cemaran organik dan pengaturan waktu inkubasi.

Tujuan penelitian adalah untuk mengolah limbah cair Sentra Industri Tempe Sanan dengan teknologi bioremediasi sehingga dihasilkan output limbah yang mampu memenuhi baku mutu limbah cair industri tempe yang aman dibuang ke lingkungan, serta merencanakan unit pengolahan limbah cair industri skala rumah tangga untuk Sentra Industri Tempe Sanan.

Dengan hasil penelitian ini diharapkan bahwa teknologi bioremediasi mampu menghasilkan output limbah yang memenuhi baku mutu limbah cair industri tempe yang aman dibuang ke lingkungan.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan meliputi limbah cair segar dari Sentra industri Tempe Sanan, mikroorganisme meliputi *Pseudomonas aeruginosa, Pseudomonas stutzeri, Serratia liquefaciens* dan *Kurthia zopfii* diperoleh dari laboratorium Bioindustri FTP-UB, NaOH.

Alat yang digunakan meliputi fermentor kapasitas 5 liter, aerator, termometer, pH meter, inkubator, otoklaf, *glass ware*, *stopwatch*, mikroskop, *haemacytometer*, timbangan digital dan *hot plate*.

Metode Penelitian

Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) yang disusun secara faktorial melibatkan dua faktor yaitu kecepatan aerasi (1 vvm, 2 vvm, 3 vvm) dan waktu inkubasi (0 hari, 3 hari dan 7 hari), dengan 9 kombinasi perlakuan.

Sampel

Sampel untuk medium perlakuan merupakan limbah cair yang diambil dari tempat pembuangan akhir limbah (gorong-gorong) yang menampung limbah dari rumah-rumah penduduk Sentra Industri Tempe Sanan, diambil sekitar pukul 07.00. Sampel limbah untuk analisa adalah limbah yang diambil dari medium perlakuan. Setiap kombinasi perlakuan diambil sampel sebanyak dua kali (duplo) sehingga jumlah seluruh sampel untuk analisa adalah 18 sampel.

Pelaksanaan Penelitian

Langkah-langkah kerja dalam penelitian ini meliputi proses peremajaan bakteri ke dalam medium nutrien agar miring; proses pembuatan starter sampai

mencapai 5% volume sejumlah 10^7 sel/ml untuk masing-masing jenis mikroorganisme; pengaturan kecepatan aerasi pada aerator sebesar 1 vvm, 2 vvm dan 3 vvm; pengolahan limbah cair yang meliputi proses penyaringan, pengaturan pH limbah hingga netral, inokulasi strarter dan proses inkubasi; serta proses analisa yang meliputi analisa BOD, COD, TSS dan deterjen.

Analisis Data

Data hasil analisa sampel limbah tersebut dianalisa ragam dan uji F dilanjutkan dengan Uji Beda Nyata Terkecil (BNT) dengan taraf 5%.

Pemilihan Perlakuan Terbaik

Perlakuan terbaik yang dipilih adalah perlakuan dengan nilai BOD, COD, TSS dan deterjen yang memenuhi atau yang paling mendekati standar baku mutu limbah cair untuk industri tempe berdasarkan keputusan Gubernur Jawa Timur No. 45 Tahun 2002 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Industri atau Kegiatan Usaha lainnya di Jawa Timur.

Perencanaan Unit Pengolahan Limbah.

Perencanaan tersebut meliputi: perencanaan model unit pengolahan limbah, perencanaan kapasitas unit pengolah limbah cair dan perencanaan pengoperasian unit pengolahan limbah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Limbah Cair Sebelum Perlakuan

Karakteristik limbah cair segar putih keruh, berbau busuk yang menyengat dan berbusa. Kekeruhan disebabkan oleh adanya benda tercampur atau koloid di dalam air yang berasal dari buangan organik seperti sisa-sisa proses produksi tempe maupun buangan dari aktivitas sehari-hari penduduk Sanan. Bau busuk pada limbah timbul akibat adanya pembusukan bahan cemaran organik oleh mikroorganisme, serta berasal dari sisa-sisa metabolism manusia, seperti urin dan feses yang terikut di dalam air.

Warna putih keruh pada air limbah berasal dari pembuangan air rendaman dan pengelupasan kulit kedelai yang masih banyak mengandung pati, juga berasal dari air bekas pencucian peralatan proses produksi, peralatan dapur dan peralatan lainnya. Menurut Sugiharto (1987), bau timbul karena adanya aktivitas mikroorganisme yang menguraikan zat organik atau dari reaksi kimia yang terjadi dan menghasilkan gas tertentu.

Keberadaan busa berasal dari air sisa pencucian peralatan produksi, peralatan dapur, maupun cucian pakaian, air bekas penggunaan sabun mandi dan shampo yang terikut di dalam limbah cair tempe, karena dibuang melalui saluran yang sama. Keberadaan busa mengindikasikan adanya bahan cemaran organik berupa deterjen. Hal ini karena kandungan bahan aktif deterjen yaitu surfaktan, merupakan zat aktif permukaan yang dapat menyebabkan timbulnya busa sebagai akibat dari dipecahkannya struktur molekul air pada permukaan tetesan yang menyebabkan tegangan permukaan dan tahanan terhadap perluasan permukaan berkurang (Ariens *et al.*, 1985).

Keberadaan deterjen di dalam limbah cair Sentra Industri Tempe Sanan ini mencapai 4, 425 mg/L melebihi baku mutu kualitas limbah cair yang aman dibuang ke lingkungan (0,01-2,22), menyebabkan air sungai tercemari oleh bahan berbahaya.

Tabel 1. Perbandingan nilai limbah cair sentra industri tempe sanan dengan baku mutu limbah cair industri tempe

Parameter	Limbah cair industri tempe sanan (mg/L)	Baku mutu limbah cair industri tempe (mg/L) (maks)
BOD_5	347,9	150
COD	535	300
TSS	2184	100
Deterjen	4,43	0,01-2,22

Berdasarkan Tabel 1 tersebut dapat dilihat bahwa nilai BOD, COD, TSS dan deterjen limbah cair Sentra Industri Tempe Sanan masih melebihi ambang batas baku mutu limbah yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan. Dengan karakteristik limbah seperti tersebut di atas limbah cair Sentra Industri Tempe Sanan merupakan limbah kualitasnya rendah, sehingga tidak layak untuk dibuang langsung ke lingkungan.

Karakteristik Limbah Cair setelah Perlakuan

Limbah cair Sentra Industri Tempe Sanan setelah perlakuan memiliki kenampakan yang jernih, berwarna kuning transparan dan tidak berbau. Hal ini mengindikasikan bahwa bahan cemaran organik pada limbah telah tereduksi oleh bakteri pendegradasi limbah, serta endapan (*sludge*) yang mengendap di dasar *fermentor*. Hal ini sesuai dengan pernyataan Suriawiria (1996) yang menyatakan bahwa senyawa organik di dalam limbah akan didegradasi oleh bakteri dengan mengeluarkan enzim untuk menghidrolisis senyawa organik kompleks (pati, protein, lemak) menjadi senyawa yang lebih sederhana yang pada tahap-tahap pertama, senyawa-senyawa kompleks tersebut akan diubah menjadi senyawa yang lebih sederhana seperti gula, gliserol, dan asam lemak serta asam-asam amino yang kemudian akan dilanjutkan dengan proses lain baik secara aerobik maupun anaerobik hingga terbentuk CO_2 dan H_2O sebagai hasil akhir.

Tereduksinya bahan cemaran organik di dalam limbah oleh bakteri pendegradasi dapat diamati melalui indikator parameter kualitas limbah cair yang meliputi penurunan kadar BOD, COD, TSS dan deterjen.

BOD

Setelah mengalami perlakuan dalam pengolahan limbah, nilai BOD yang awalnya tinggi (rerata nilainya mencapai 347 mg/L.) mengalami penurunan, nilai rerata BOD terkecil adalah pada perlakuan pengaturan kecepatan aerasi 1 vvm dan inkubasi 7 hari menjadi 49,5 mg/L. Interaksi antara faktor pengaturan aerasi dan waktu inkubasi berpengaruh nyata pada kualitas *effluent* limbah yang dihasilkan. Hal ini dapat dicermati dari nilai rerata BOD limbah cair Industri Tempe Sanan pada kombinasi perlakuan pengaturan aerasi dan waktu inkubasi pada Tabel 2.

Nilai rerata BOD terkecil berdasarkan kombinasi pengaturan kecepatan aerasi dan waktu inkubasi seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2 adalah pada perlakuan pengaturan kecepatan aerasi 1 vvm dengan waktu inkubasi 7 hari, yaitu sebesar 49,5 mg/L, dalam hal ini terjadi penurunan sebesar 85,78%), sedangkan rerata terbesar adalah pada keseluruhan pengaturan kecepatan aerasi 2 vvm waktu 0 hari, yaitu sebesar 347 mg/L. Pada tabel tersebut juga menunjukkan bahwa perbedaan kombinasi pengaturan kecepatan aerasi dan waktu inkubasi pada ketiga perlakuan menunjukkan pengaruh beda nyata yang sangat signifikan terhadap kualitas *effluent* limbah (keluaran limbah hasil perlakuan) yang ditandai dengan notasi yang berbeda-beda, kecuali pada perlakuan pengaturan kecepatan aerasi 1 vvm dan 3 vvm dengan waktu inkubasi 7 hari tidak menunjukkan adanya beda nyata. Aerasi 1 vvm, dari segi ekonomis

Nilai BOD *effluent* limbah cair Industri Tempe Sanan akan mengalami penurunan adanya penurunan BOD menunjukkan bahwa bakteri pendegradasi mampu menguraikan bahan cemaran organik dalam limbah. Nilai BOD yang kecil menunjukkan residu zat organik (berupa lemak/minyak, pati, protein, deterjen) sedikit. Hal ini karena BOD merupakan parameter yang mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan bahan cemaran organik di dalam limbah. Makin besar jumlah bahan cemaran organik, oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan semakin

besar, sehingga nilai BODnya besar. Apabila bahan cemaran organik di dalam limbah sudah terurai oleh bakteri pendegradasi, jumlahnya akan semakin sedikit, oksigen yang dibutuhkan juga semakin sedikit sehingga nilai BODnya kecil. Hal ini sesuai dengan pernyataan Sugiharto (1987), bahwa penurunan senyawa organik dalam air limbah menyebabkan nilai BOD semakin menurun, karena semakin rendah kandungan bahan organik dalam limbah cair, maka kebutuhan oksigen oleh mikroba untuk mendegradasi bahan organik tersebut juga akan semakin kecil. Untuk itulah makin kecil nilai BOD menunjukkan kualitas limbah cair hasil pengolahan semakin baik.

Tabel 2. Nilai rerata BOD limbah cair sentra industri tempe sanan pada kombinasi perlakuan pengaturan aerasi dan waktu inkubasi

Kombinasi Perlakuan		Rerata Nilai BOD	Notasi
Kecepatan Aerasi (vvm)	Waktu Inkubasi (Hari)		
1	0	347	F
1	3	272,2	D
1	7	49,5	A
2	0	347	F
2	3	318,6	E
3	7	155,35	C
3	0	347	F
3	3	109.7	b
3	7	56	a

COD

Setelah mengalami perlakuan dalam pengolahan limbah, nilai COD yang awalnya tinggi (rerata nilainya mencapai 535 mg/L.) cenderung mengalami penurunan. Interaksi antara faktor pengaturan kecepatan aerasi dan waktu inkubasi juga berpengaruh nyata pada kualitas *effluent* limbah yang dihasilkan. Hal ini dapat dicermati dari nilai rerata COD limbah cair Sentra Industri Tempe Sanan pada kombinasi perlakuan pengaturan kecepatan aerasi dan waktu inkubasi pada Tabel 3.

Nilai rerata COD terkecil berdasarkan kombinasi pengaturan kecepatan aerasi dan waktu inkubasi seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 3 adalah pada perlakuan pengaturan aerasi 3 vvm dengan waktu inkubasi 7 hari, yaitu sebesar 144 mg/L (terjadi penurunan sebesar 73,08%), sedangkan rerata terbesar adalah pada keseluruhan pengaturan aerasi dengan waktu inkubasi 0 hari, yaitu sebesar 535 mg/L. Pada tabel tersebut juga menunjukkan bahwa perbedaan pengaturan kecepatan aerasi dan waktu inkubasi pada ketiga perlakuan menunjukkan pengaruh beda nyata yang sangat signifikan terhadap kualitas *effluent* limbah. Nilai COD *effluent* limbah cair Industri Tempe Sanan akan mengalami penurunan.

Adanya penurunan COD menunjukkan bahwa bakteri pendegradasi mampu menguraikan bahan organik dalam limbah. Nilai COD yang kecil menunjukkan residu zat organik sedikit. Makin kecil nilai COD menunjukkan kualitas limbah cair hasil pengolahan semakin baik.

Tabel 3. Nilai rerata COD limbah cair sentra industri tempe sanan pada kombinasi perlakuan pengaturan kecepatan aerasi dan waktu inkubasi

Kombinasi Perlakuan		Rerata Nilai COD	Notasi
Pengaturan Aerasi (vvm)	Waktu Inkubasi (Hari)		
1	0	535	g
1	3	356,5	d
1	7	165	b
2	0	535	g
2	3	487	f
2	7	436	e
3	0	535	g
3	3	229	c
3	7	144	a

Catatan : Notasi yang sama menjunkuikan tidak ada beda nyata

TSS

Setelah mengalami perlakuan dalam pengolahan limbah, nilai TSS yang awalnya tinggi (rerata nilainya mencapai 2184 mg/L) cenderung mengalami penurunan. Interaksi antara faktor

pengaturan kecepatan aerasi dan waktu inkubasi juga berpengaruh nyata pada kualitas *effluent* limbah yang dihasilkan. Hal ini dapat dicermati dari nilai rerata TSS limbah cair Industri Tempe Sanan pada kombinasi perlakuan pengaturan kecepatan aerasi dan waktu inkubasi pada

Nilai rerata TSS terkecil berdasarkan kombinasi pengaturan kecepatan aerasi dan waktu inkubasi adalah pada perlakuan pengaturan kecepatan aerasi 3 vvm dengan waktu inkubasi 7 hari, yaitu sebesar 150 mg/L (terjadi penurunan sebesar 93,13%), sedangkan rerata terbesar adalah pada keseluruhan pengaturan kecepatan aerasi dengan waktu inkubasi 0 hari, yaitu sebesar 2184 mg/L. Perbedaan pengaturan kecepatan aerasi dan waktu inkubasi pada ketiga perlakuan menunjukkan pengaruh beda nyata yang sangat signifikan terhadap kualitas *effluent* limbah.

Nilai TSS *effluent* limbah cair Industri Tempe Sanan akan mengalami penurunan. Penurunan nilai TSS *effluent* limbah cair disebabkan karena padatan tersuspensi yang sebagian besar berupa bahan organik semakin berkurang.

Berkurangnya padatan tersuspensi ini menurut Radojevic dan Vladimir (1999) disebabkan aktivitas pendegradasian senyawa organik oleh bakteri pendegradasi. Hal ini karena selama proses degradasi berlangsung, molekul kompleks bahan cemaran organik dipecah oleh enzimp-enzim bakteri pendegradasi melalui proses hidrolisis menjadi senyawa yang lebih sederhana. Senyawa yang lebih sederhana tersebut digunakan untuk metabolisme bakteri sehingga dihasilkan energi, CO_2, H_2O dan sisa metabolisme yang berupa lumpur yang mudah mengendap, sehingga dengan mekanisme tersebut bahan cemaran organik yang keberadaannya di dalam limbah merupakan padatan tersuspensi semakin lama semakin berkurang sehingga nilai TSSnya juga semakin kecil Radojevic dan Vladimir (1999). Untuk itulah makin kecil nilai TSS menunjukkan kualitas limbah cair hasil pengolahan semakin baik.

Deterjen

Setelah mengalami perlakuan dalam pengolahan limbah, hasil analisa deterjen berfluktuasi. Interaksi antara faktor pengaturan kecepatan aerasi dan waktu inkubasi berpengaruh nyata pada kualitas *effluent* limbah yang dihasilkan. Hal ini dapat dicermati dari nilai rerata deterjen limbah cair Sentra Industri Tempe Sanan pada kombinasi perlakuan pengaturan kecepatan aerasi dan waktu inkubasi pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai rerata deterjen limbah cair sentra industri tempe sanan pada kombinasi perlakuan pengaturan kecepatan aerasi dan waktu inkubasi

Kombinasi Perlakuan		Rerata Nilai BOD	Notasi
Pengaturan Aerasi (vvm)	Waktu Inkubasi (Hari)		
1	0	4,425	g
1	3	5,694	d
1	7	3,9	b
2	0	4,425	g
2	3	3,875	f
2	7	7,225	e
3	0	4,425	g
3	3	2,4	c
3	7	2,5315	a

Nilai rerata deterjen terkecil berdasarkan pengaturan kecepatan aerasi dan waktu inkubasi seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 5 adalah pada perlakuan pengaturan kecepatan aerasi 3 vvm dengan waktu inkubasi 3 hari, yaitu sebesar 2,4 mg/L (terjadi penurunan sebesar 43,53%), sedangkan rerata terbesar adalah pada pengaturan kecepatan aerasi 2 vvm dengan waktu inkubasi 7 hari, yaitu sebesar 7,225 mg/L (terjadi kenaikan sebesar 41,18%). Pada tabel tersebut juga menunjukkan bahwa perbedaan pengaturan kecepatan aerasi dan waktu inkubasi pada ketiga perlakuan menunjukkan pengaruh beda nyata terhadap kualitas *effluent* limbah, kecuali pada perlakuan pengaturan kecepatan

aerasi 3 vvm baik dengan waktu inkubasi 3 hari atau 7 hari tidak menunjukkan beda nyata, demikian pula untuk perlakuan pengaturan kecepatan aerasi 1 vvm dengan waktu inkubasi 7 hari dan pengaturan kecepatan aerasi 2 vvm dengan waktu inkubasi 3 hari juga tidak menunjukkan adanya beda nyata terhadap kualitas *effluent* limbah setelah perlakuan.

Ditinjau dari analisis deterjen, hasilnya menunjukkan nilai yang cenderung berfluktuatif, terutama pada perlakuan pengaturan kecepatan aerasi 2 vvm dan 1 vvm, bahkan nilainya naik secara signifikan melebihi nilai awal. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Salah satu strain bakteri yang digunakan, yaitu *Pseudomonas aeruginosa*, apabila ditumbuhkan dalam kondisi tertentu akan menghasilkan metabolit sekunder yang disebut *rhamnolipid biosurfactant*. *Rhamnolipid* merupakan zat aktif permukaan yang mempunyai karakteristik seperti surfaktan yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan deterjen. Disebut biosurfaktan karena *rhamnolipid* merupakan produk metabolit sekunder dari mikroorganisme, seperti *Arthrobacter sp, Bacillus subtilis, Torulopsis bombicolo, dan Pseudomonas aeruginosa* (Reiling *et al*, 1986).

Pada penelitian ini, penurunan deterjen yang berasal dari proses degradasi oleh bakteri pendegradasi yang digunakan tidak diketahui dengan pasti, karena metode analisa yang digunakan adalah menganalisa surfaktan yang terbaca oleh spektrofotometer tenpa diketahui apakah surfaktan tersebut berasal dari bahan aktif deterjen yang ada di dalam limbah atau berasal dari biosurfaktan yang dihasilkan oleh *Pseudomonas aeruginosa*. Hanya saja kenaikan deterjen yang terjadi mengindikasikan terbentuk biosurfaktan oleh *Pseudomonas aeruginosa*. Hal ini berarti telah terjadi kondisi-kondisi yang memungkinkan terbentuknya biosurfaktan selama perlakuan. Berkebalikan dengan kondisi proses untuk menghasilkan biosurfaktan, dimana pertumbuhan jumlah sel bakteri dibatasi, maka dalam proses degradasi senyawa-senyawa organik, kondisi prosesnya dibuat sedemikian rupa untuk memperbanyak jumlah sel mikroorganisme pendegradasi. Hal ini dilakukan agar enzim yang dihasilkan semakin besar sehingga dapat mereduksi senyawa organik di dalam limbah secara efektif. Salah satu kondisi yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme tersebut adalah keberadaan oksigen, yang dalam penelitian ini berarti berkaitan dengan kecepatan aerasi yang digunakan.

Berkaitan dengan perbedaan pengaturan kecepatan aerasi yang digunakan, ternyata semakin besar kecepatan aerasi yang diberikan sampai batas tertentu, semakin efektif untuk menurunkan nilai deterjen di dalam limbah.

Hal ini dapat dilihat dari Tabel 4, pada pengaturan kecepatan aerasi 3 vvm dapat menurunkan nilai deterjen dari 4,43 mg/L menjadi 2,4 mg/L pada hari ke 3 dan 2,53 pada hari ke 7. Berbeda dengan pengaturan kecepatan aerasi yang lebih rendah pada kedua perlakuan lainnya yang justru menaikkan nilai deterjen.

Peningkatan nilai deterjen yang terjadi pada pengaturan kecepatan aerasi 2vvm dengan waktu inkubasi 7 hari yang nilainya mencapai 7,23 mg/L, terjadi karena selama perlakuan terjadi gangguan teknis dari alat yang digunakan (*fermentor*). Gangguan teknis tersebut menyebabkan penyebaran oksigen di dalam limbah kurang merata. Akibatnya *Pseudomonas aeruginosa* yang bersifat aerob obligat tumbuh pada permukaan atas medium yang kaya akan oksigen, membentuk lapisan tipis (*upper layer*) yang menghalangi masuknya oksigen ke dalam limbah dan meningkatkan tegangan permukaan (*Surface tension*), sehingga kondisi ini memungkinkan terbentuknya biosurfaktan dalam jumlah yang cukup tinggi. Selain itu kondisi ini menyebabkan pertumbuhan *Pseudomonas aeruginosa* yang jumlahnya lebih besar dari bakteri lain, sehingga interaksi sinergisme dalam proses degradasi limbah tidak

berlangsung secara sempurna. Hal ini berakibat kurang efektifnya proses degradasi senyawa organik dalam limbah, seperti hasil yang ditunjukkan oleh pengaturan aerasi 2 vvm ditinjau dari keseluruhan parameter kualitas limbah yang diamati.

Keberhasilan proses degradasi limbah dalam teknologi bioremediasi dapat dilihat dari tercapai tidaknya tujuan bioremediasi tersebut. Salah satu tujuan bioremediasi adalah untuk mengurangi kandungan bahan cemaran organik limbah, seperti mengurangi BOD, COD, TSS dan deterjen; mengurangi toksik dan karsinogenik sehingga meningkatkan kualitas limbah hingga diperoleh *effluent* yang memenuhi baku mutu limbah yang aman dibuang ke lingkungan (Suarsini, 2007).

Dalam penelitian ini, dengan menggunakan perlakuan pengaturan kecepatan aerasi dan waktu inkubasi telah mampu menurunkan bahan cemaran organik yang dapat dilihat dari menurunnya nilai BOD, COD, TSS dan deterjen. Menurunnya nilai BOD, COD, TSS dan deterjen menunjukkan bahwa telah terjadi reduksi/proses degradasi bahan cemaran organik yang dilakukan oleh bakteri-bakteri pendegradasi di dalam limbah. Menurut Radojevic dan Vladimir (1999); dan Suarsini (2007), Selama proses pengolahan limbah, bakteri akan melakukan aktivitas metabolisme untuk tumbuh dan berkembang biak.

Bakteri mengeluarkan enzim ekstraselularnya untuk memecah senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Senyawa sederhana tersebut akan mudah memasuki sel sehingga dapat digunakan sebagai sumber nutrien bagi berlangsungnya metabolism bakteri. Dengan mekanisme tersebut jumlah sel bakteri akan meningkat. Seiring dengan meningkatnya jumlah sel bakteri, enzim yang dikeluarkan pun semakin banyak. Jika jumlah enzim yang dikeluarkan seimbang dengan volume polutan, maka reduksi total dapat terjadi dan proses degradasi limbah berlangsung dengan sempurna (Suarsini, 2007). Biodegradasi senyawa organik yang terjadi selama perlakuan meliputi biodegradasi amilum dilakukan oleh bakteri *Serratialiquefaciens* dan atau *Pseudomonas stutzeri* yang mampu menghasilkan enzim amilolitik.

Biodegradasi protein dilakukan oleh bakteri *Pseudomonas stutzeri* atau *Pseudomonas aeruginosa* atau *Serratia liquefaciens* dengan mengeluarkan enzim proteolitik. Biodegradasi lemak dapat terjadi oleh bakteri *Pseudomonas aeruginosa* atau *Serratia liquefaciens* yang menghasilkan enzim lipolitik (Suarsini, 2007). Biodegradasi deterjen dilakukan oleh bakteri *Serratia liquefaciens, Pseudomonas stutzeri, Pseudomonas aeruginosa* dan *Kurthia zopfii* yang menghasilkan enzim lipolitik.

Terjadinya proses degradasi bahan cemaran organik di dalam limbah tidak terlepas dari terbentuknya interaksi sinergisme di antara ke-4 strain bakteri yang digunakan maupun interaksinya dengan lingkungan. Menurut Atlas (1993), sinergisme merupakan suatu bentuk interaksi positif yang terjadi diantara bakteri pengurai. Interaksi sinergisme (protokooperasi) adalah interaksi diantara dua populasi mikroba yang kedua-duanya memperoleh keuntungan dari interaksi tersebut, walaupun tidak merupakan suatu keharusan, dimana interaksi ini tidak sama dengan mutualisme (Atlas, 1993).

Ada spesies yang mampu mendegradasi komponen organik dalam rantai C panjang, dan ada spesies yang mampu bekerja melanjutkan melisis ikatan rantai C pendek sampai tidak terangkai menjadi ion-ion. Sebagai contoh dalam penelitian ini terjadi degradasi lemak yang dilakukan oleh *Pseudomonas aeruginosa* yang menghasilkan lipase, dilanjutkan *Serratia liquefaciens* menghasilkan esterase (Suarsini, 2007). Dengan terbentuknya interaksi sinergisme diantara bakteri-bakteri pendegradasi tersebut, tahap aklimatisasi yang merupakan tahap adaptasi bagi pertumbuhan bakteri dapat terlampaui dan

jumlah bakteri pendegradasi menjadi dominan.

Penambahan bakteri pendegradasi ke dalam limbah cair Industri Tempe Sanan dan pengaturan kondisi lingkungan yang cukup menunjang bagi aktivitas metabolismenya, seperti pengaturan kecepatan aerasi, akan menyebabkan setiap individu sel bakteri tumbuh dan berkembang biak menjadi mikrokoloni. Menurut Flannery (2006), pembentukan koloni bakteri pendegradasi ini mampu hidup bersama-sama dengan spesies bakteri pendegradasi lain. Karakter sel bakteri pendegradasi yang mampu membentuk biomasa dilengkapi dengan flagela, sehingga dengan adanya flagela tersebut akan membawa biomasa menempel pada dinding bak permukaan dalam (Flannery, 2006). Kelompok biomassa ini membentuk membran/lapisan yang lazim disebut biofilm (Suarsini, 2007).

Dalam penelitian ini, pada dinding permukaan dalam *fermentor* terbentuk membran/lapisan tipis berwarna kuning kecoklatan yang diduga merupakan biofilm sebagai bentukan dari biomassa yang menempel pada dinding permukaan dalam *fermentor* tersebut. Warna kuning yang terbentuk pada biofilm merupakan indikasi eksistensi koloni bakteri *Pseudomonas stutzeri*, dimana bakteri ini menghasilkan pigmen karoten (Flannery, 2006). Bentukan 160 biofilm pada dinding bak merupakan kelompok sel bakteri teramobilisasi. Makin lama biomassa penyusun biofilm akan memenuhi seluruh permukaan dinding bak yang tergenangi limbah. Keadaan ini dapat mempercepat waktu reduksi senyawa organik yang ada dalam air limbah (Suarsini, 2007). Pembentukan biofilm dapat juga digunakan untuk proteksi bagi komunitas bakteri terhadap predator (protozoa) (Labbate *et al.*, 2004). Sehingga hal ini merupakan keuntungan bagi sistem bioremediasi.

Apabila sistem ini diterapkan dalam instalasi pengolah limbah, akan menghemat biaya penyediaan inokulum starter karena tidak diperlukan pemberian starter baru pada waktu tiap kali mengolah limbah, tetapi cukup pada awal pengolahan limbah saja. Hal ini karena apabila bakteri berhasil melewati tahap aklimatisasinya dan membentuk biofilm, maka dengan adanya penambahan limbah baru berarti ada penambahan nutrisi yang akan meningkatkan pertumbuhan bakteri dan memperluas bentukan biofilm yang diharapkan semakin mempercepat waktu reduksi dan memperbesar jumlah bahan cemaran organik yang tereduksi.

Pemilihan Perlakuan Terbaik

Perlakuan terbaik berdasarkan nilai BOD, COD, TSS dan deterjen dipilih dari perlakuan yang memenuhi atau yang paling mendekati standar baku mutu limbah cair untuk industri tempe berdasarkan keputusan Gubernur Jawa Timur No. 45 tahun 2002 tentang baku mutu limbah cair bagi industri atau kegiatan usaha lainnya di Jawa Timur (Anonim, 2002). Perlakuan yang memenuhi atau mendekati standar baku mutu tersebut dapat dilihat pada Tabel 6 berikut. Berdasarkan Tabel tersebut, perlakuan terbaik yang dipilih adalah perlakuan pengaturan kecepatan aerasi 3 vvm dengan waktu inkubasi 7 hari karena memiliki nilai yang paling banyak memenuhi dan mendekati baku mutu limbah cair industri tempe yang dipersyaratkan.

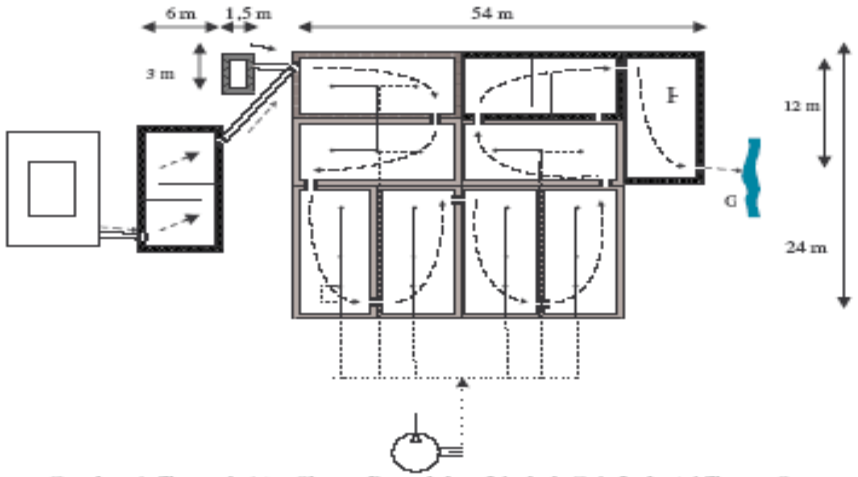
Perencanaan Unit Pengolahan Limbah.

Model Unit Pengolah Limbah

Secara teknis unit pengolahan limbah ini terdiri dari sebuah bak pengendap awal yang sekaligus sebagai bak penyeimbang, 7 buah bak aerasi yang dilengkapi dengan kompresor (aerator) sebagai penyedia udara dalam proses pengolahan limbah, sebuah bak pengendap akhir, sebuah bak kontrol dan sebuah bak larutan kapur untuk mengkondisikan pH limbah cair agar pHnya netral. Skema unit pengolah limbah Sentra Industri Tempe Sanan digambarkan pada Gambar 1.

Tabel 6. Perlakuan yang memenuhi atau mendekati standar mutu limbah cair industri tempe

Parameter	Nilai Parameter Industri Tempe sanan						Nilai baku Mutu Limbah Cair
	1 vvm 3 h1ri	1 vv m 7 hari	2 vvm 3 hari	2 vvm 7 hari	3 vvm 3 hari	3 vvm 7 hari	
BOD	272,2	49,5	318,6	155,3	109,7	53	150
COD	256,5	165	487	436	299	144	300
TSS	1,464	160	1672	595,5	528,5	150	100
Deter jen	56,9	3,9	3,88	7,22	2,4	2,53	0,01-2,22



Gambar 1. Tampak Atas Skema Pengolahan Limbah Cair Industri Tempe Sanan

Keterangan Gambar :

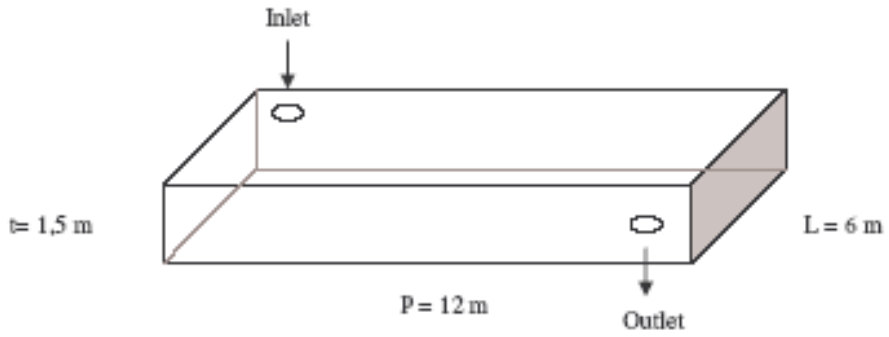
A : Lokasi Sumber Limbah
B : Bak pengendap awal
C : Bak larutan kapur
D : Bak aerasi
E : Bak pengendap akhir
F : Kompresor
G : Sungai
H : Bak kontrol
: Menunjukkan arah aliran limbah cair dalam unit pengolahan
: Menunjukkan arah aliran larutan kapur
: Menunjukkan arah aliran udara dari kompresor ke dalam bak aerasi
: Menunjukkan lubang udara untuk aerasi yang dipasang di dasar bak

Kapasitas Unit Pengolahan Limbah

Unit pengolahan limbah yang di rencanakan untuk industri Tempe Sanan adalah terdiri dari sebuah Bak pengendap awal, 7 buah bak aerasi, sebuah bak pengendap akhir, sebuah bak kontrol, dan sebuah bak larutan kapur. Berdasarkan hasil survei di Sentra Industri Tempe Sanan diketahui bahwa jumlah limbah yang dihasilkan per harinya rata-rata adalah sebesar 45 m^3.

Alat yang digunakan meliputi fermentor kapasitas 5 liter, aerator, termometer, pH meter, inkubator, otoklaf, *glass ware*, *stopwatch*, mikroskop, *haemacytometer*, timbangan digital dan *hot plate*.

Air limbah ini mengalir dalam waktu rata-rata 19 jam per hari. Dengan demikian dapat diketahui volume limbah yang mengalir per jamnya (debit limbahnya) rata-rata adalah sebesar 2,37



Gambar 2. Dimensi Bak Pengendap Primer, Sekunder dan Bak Aerasi

m^3. Bak pengendap awal dirancang dengan sistem kontinyu. Kapasitas bak pengendap awal harus bisa menampung limbah cair yang dialirkan dari industri tempe selama ± 19 jam dengan rata-rata jumlah limbah sebesar 45 m^3/hari. Selain itu juga harus dapat menampung volume lumpur yang terendapkan sebelum masa pengurasan (*Desludging interval*), maka bak pengendap awal ini dirancang dengan kapasitas yang lebih besar dari debit limbah per hari yang masuk. Pada bak ini disekat menjadi 3 bagian untuk mengoptimalkan proses pengendapan, dimana pada bagian akhir bak pengendapan ini sekaligus digunakan untuk bak penyeimbang agar aliran limbah yang masuk ke dalam bak aerasi seimbang selama 24 jam/hari.

Berdasarkan perhitungan, diperoleh volume bak pengendap awal adalah sebesar 100 m3. Dimensi bak pengendap awal ini dirancang dengan panjang bak 12 m, lebar bak 6 m dan kedalaman bak 1,5 m. Pembangunan bak pengendap primer adalah dengan dimensi sesuai yang tertera pada Gambar 2.

Pengoperasian Unit Pengolahan Limbah.

Pengoperasian unit pengolahan limbah ini pertama-tama adalah limbah cair dari keseluruhan industri dialirkan pada bak pengendap awal dengan debit sebesar 2,37 m3/jam. Kemudian setelah melewati masa tinggal dalam bak pengendap awal selama 24 jam limbah akan mengalir ke dalam bak aerasi dengan debit yang sama, setelah sebelumnya dicampur dengan larutan kapur yang dialirkan dari bak larutan kapur dengan debit 0,0093 m3/jam (9,3 L/jam). Pencampuran ini dimaksudkan untuk mengatur pH awal limbah agar netral.

Limbah secara kontinyu kemudian akan mengalir ke dalam bak aerasi dan aerator (kompresor) dinyalakan dengan pengaturan aliran udara sebesar 3 vvm. Pada bak aerasi, inokulasi starter bakteri sebesar 5 % dari volume limbah dilakukan mulai pada bak aerasi pertama. Hal ini dilakukan untuk memenuhi tahap aklimatisasi yang terjadi pada bak pertama, sehingga setelah pada deretan bak aerob menuju bak pengendap akhir, waktu reduksi sudah terlampaui dan sudah terjadi reduksi bahan organik, dan sudah terbentuk biomassa yang menempel pada dinding bak maupun *tricking filter* yang ada di dasar bak, sehingga untuk pengolahan selanjutnya sampai batas waktu tertentu tidak perlu ditambahkan starter baru lagi.

Setelah memenuhi waktu tinggal limbah selama 7 hari maka limbah dialirkan menuju bak pengendap akhir dengan debit yang sama seperti inlet pada bak aerasi yaitu sebesar 2,37 m^3/jam. Air limbah yang masuk ke dalam bak

pengendap akhir akan memenuhi waktu tinggal untuk proses pengendapan selama 24 jam.

Pada bak pengendap akhir ini bias ditambahkan flokulan yang akan membantu mempercepat proses pengendapan. Selain mempercepat proses pengendapan dengan adanya penambahan flokulan ini diharapkan akan memperbesar jumlah padatan terlarut yang terendapkan sehingga nilai TSS yang pada penelitian ini belum memenuhi baku mutu limbah cair industri tempe diharapkan dapat memenuhi baku mutu yang aman dibuang ke lingkungan. Namun berkaitan dengan masalah flokulan ini masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui konsentrasi yang digunakan.

Setelah limbah mengalami proses pengendapan di bak pengendap akhir, limbah tersebut tidak langsung dibuang ke sungai, tetapi dialirkan ke dalam bak kontrol. Di dalam bak kontrol ini dapat dipelihara ikan sebagai indikator hidup untuk mengetahui apakah *effluent* limbah aman untuk dibuang ke lingkungan atau belum. Setelah itu barulah air limbah yang telah jernih dibuang ke saluran pembuangan umum/sungai dengan debit sama seperti pada outlet bak aerasi yaitu sebesar 2,37 m^3/jam.

KESIMPULAN

Teknologi bioremediasi yang digunakan untuk mengolah limbah cair Sentra Industri Tempe Sanan mampu menghasilkan output limbah yang memenuhi baku mutu limbah cair industri tempe untuk parameter BOD dan COD, sedangkan TSS dan deterjen nilainya belum memenuhi baku mutu limbah cair industri tempe yang dipersyaratkan dibuang ke lingkungan.

Output limbah pada perlakuan terbaik, yaitu pengaturan aerasi 3vvm dengan waktu inkubasi 7 hari mampu menurunkan BOD sebesar 83,9%; COD sebesar 73,1%; TSS sebesar 93,1%; dan deterjen sebesar 45,8%.

Proses bioremediasi limbah cair industri Tempe Sanan dapat berlangsung kurang optimal apabila terjadi gangguan yang menyebabkan terganggunya suplai oksigen yang merata ke dalam limbah.

Unit pengolahan limbah cair Industri Tempe Sanan yang dirancang untuk mengolah limbah cair dengan jumlah limbah rata-rata sebesar 45 m^3/hari, terdiri dari sebuah bak pengendap awal, 7 buah bak aerasi yang dilengkapi kompresor sebagai penyuplai udara, sebuah buah bak pengendap akhir, sebuah bak kontrol dengan kapasitas masing-masing bak sama dengan bak pengendap awal, dan sebuah bak larutan kapur. Luas lahan yang dibutuhkan untuk membangun unit pengolahan limbah adalah sebesar 1440 m2

DAFTAR PUSTAKA

Anonim. 2002. Keputusan Gubernur Jawa Timur no. 45 tahun 2002 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Industri Atau Kegiatan Lainnya di Jawa Timur. BAPEDAL Propinsi Jawa Timur, Surabaya

Arriens E.J., E. Mutschler, and A.M. Simonis. 1986. Allgemeine Toxikologie, eine eifenfuhrung. Pengantar Toksikologi Umum. Terjemahan. Y.R. Wattimena, M.B. Widianto, E. Y. Sukandar, K. E. Padmawinata. Gadjah Mada University Press, Hal 38-43

Atlas, R. and R. Bartha. 1993. Microbial Ecology, Fundamentals and Application. 3rd Edition. The Benyamin/Cummings Publishing Company Inc., New York

Baker, K. H. dan D. S. Herson. 1994. *Bioremediation.* McGraw-Hill Inc., Sidney

Flannery, M. C. 2006. Biology Today. Think Small. The American Biology Teacher 68(8): 499-502

Labbate, M., S. Q. Yeong, K. Shyang, A.R. Scott, G. Michael, and K. Staffan. 2004. Quorum Sensing-Controlled Biofilm Development in *Serratia liquefaciens* MG1 *(on line).* J. Bacteriol.186: 692-698

Radojevics', M. and B. N. Vladimir. 1999. Practical Environmental Analysis.

The Royal Society of Chemistry, Chambridge

Reiling H. E, U. Thanei-Wyss, L. H. Guerra- Santos, R. Hirt, O. Kappeli, and A. Fiechter. 1986. Pilot plant production of rhamnolipid biosurfactant by *Pseudomonas aeruginosa.* Appl Environ Microbiol. 51: 985-989

Sheehan, D. 1997. Methods in Biotechnology. Bioremediation Protocols. Humana Press. Totowa, New Jersey

Suarsini, E. 2007. Bioremediasi Limbah Cair Rumah Tangga Menggunakan Konsorsia Bakteri Indigen Dalam Menunjang Pembelajaran Masyarakat. Disertasi. Program Pasca Sarjana Program Studi Biologi Universitas Negri Malang, Malang

Sugiharto. 1987. Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah. Universitas Indonesia Press, Jakarta

Suriawiria, U. 1996. Mikrobiologi Air. Penerbit Alumni, Bandung

Wignyanto. 1998. Biodegradasi *Alkylbenzene Sulfonate* Pendekatan Eksperimental Laboratorik Untuk Pengolahan Limbah. Disertasi. Program Pascasarjana Universitas Airlangga, Surabaya

Wignyanto, N. Hidayat, Suharjono. 2005. Peningkatan Efisiensi Bioremediasi Air Limbah Rumah Tangga Menggunakan Bakteri Indogenous Pengurai Bahan Pencemarnya. Laporan Penelitian Hibah Bersaing XIII/1. Universitas Brawijaya, Malang