BEBAN PENCEMARAN LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU DAN ANALISIS ALTERNATIF STRATEGI PENGELOLAANNYA

THE POLLUTION LOAD OF TOFU INDUSTRY AND ANALYSIS OF ALTERNATIVE MANAGEMENT STRATEGY

Muhammad Romli[1] dan Suprihatin[2]
Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian IPB
e-mail: [1]mromli@hotmail.com; [2]suprihatin@indo.net.id

Abstract

This research work is aimed to evaluate the process performance profile of tofu industry and its associated pollution load as well as analysing its management strategy. The work was carried out through industrial survey and measurement in various technological states of tofu processing in the regions of Tegal, Klaten, Solo, Jakarta, and Bogor. An experimental work was also conducted to optimise the level of process water usage in tofu processing. The research work showed that every 1 kg soybean processed results in 3.3±0.7 kg tofu curd, 2.0-2.2 kg pressed cake, and 17±3 L effluent in average. This wastewater exhibits the main source of environmental pollution, having the characteristics of BOD_5, total COD, soluble COD, TSS, and TKN of 50±8, 110±20, 80±20, 9±3, and 4±2 g/kg soybean processed, respectively. The experimental work indicated that varying the amount of process water in the range of 16-25 L/kg soybean did not result in a significant improvement of the product yield as well as pressed cake. Based on the measurement results, the laboratory analysis, and theoretical information, this paper demonstrates quantitatively some potential benefits derived from utilising the organic content of tofu processing effluent by treating it anaerobically to generate biogas.

Keywords: tofu industry, pollution load, anaerobic treatment, biogas

1. PENDAHULUAN

Industri tahu telah berkontribusi signifikan dalam penyediaan pangan bergizi, penyerapan tenaga kerja, dan pengembangan ekonomi daerah. Namun industri tahu juga berpotensi mencemari lingkungan, karena industri ini menghasilkan limbah (padat, cair, dan gas) yang jumlahnya cukup besar. Limbah tersebut dapat menimbulkan masalah lingkungan berupa bau tidak sedap dan polusi pada badan air penerima. Akibat dari dampak negatif tersebut, pengembangan industri tahu sering menghadapi hambatan dari masyarakat sekitarnya. Kondisi tersebut terjadi seiring dengan semakin meningkatnya kesadaran dan apresiasi masyarakat pada kualitas lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengembangan industri tahu yang lebih ramah lingkungan dengan fokus pada dua aspek pokok. Dua aspek tersebut, yaitu konservasi sumber daya dan minimisasi dampak negatif terhadap lingkungan. Kajian komprehensif tentang profil industri tahu yang ada saat ini diperlukan untuk mengidentifikasi potensi konservasi sumber daya dan merencanakan manajemen limbah.

Usaha minimisasi limbah atau produksi bersih di berbagai industri umumnya hanya mampu mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan terhadap lingkungan (UNEP, 1998). Pendekatan ini sering harus dikombinasikan dengan pendekatan *end-of-pipe* untuk mengolah limbah agar tidak menimbulkan pencemaran lingkungan (Qureshi *et al.*, 2005). Salah satu alternatif pengolahan limbah organik dari limbah cair industri tahu adalah pengolahan biologis dengan sistem anaerobik. Proses degradasi sistem anaerobik berlangsung pada kondisi tanpa oksigen dan menghasilkan produk akhir berupa metana (Qureshi *et al.*, 2005). Proses pengolahan limbah cair secara anerobik kembali menjadi perhatian seiring dengan semakin langkanya sumber energi minyak bumi. Hal ini menyebabkan dewasa ini, ada kecenderungan aplikasi pengolahan limbah cair secara anaerobik dibandingkan secara aerobik (Geissen, 2008; Rangsivek, 2008; Iza, Palencia, dan Fernandez-Polanco, 1990).

Penelitian ini bertujuan untuk mendiskripsikan profil industri tahu ditinjau dari aspek kinerja proses produksi dan aspek lingkungan berkaitan dengan berbagai tingkatan teknologi proses yang diterapkan. Penelitian ini juga bertujuan untuk melakukan analisis secara kuantitatif terhadap keuntungan yang akan diperoleh dari pemanfaatan bahan organik yang terkandung dalam limbah cair industri tahu. Pemanfaatan dilakukan dimana limbah diolah secara anaerobik untuk menghasilkan biogas. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam memilih kegiatan yang terkait pengelolaan lingkungan industri tahu atau industri sejenis.

2. METODOLOGI

Observasi Lapang

Observasi lapang dilakukan untuk mendiskripsikan atau mendomentasikan kondisi atau praktik industri tahu yang ada. Survei meliputi kegiatan wawancara, observasi dan pengukuran, serta pengambilan sampel untuk dianalisis di laboratorium. Kajian dilakukan terhadap industri tahu berdasarkan tingkatan teknologi yang diterapkan dalam proses produksi tahu. Teknologi tersebut mencakup produksi tradisional (konvensional), industri yang telah menerapkan prinsip-prinsip eko-efisiensi, dan industri tahu dengan teknologi modern (Teknologi Jepang). Ketiga istilah tersebut diambil dari istilah yang dikenal di masyarakat industri tahu, dengan kekhasan masing-masing sebagaimana dideskripsikan pada Tabel 1. Lokasi survei meliputi industri tahu di Jakarta, Bogor, Tegal (Teknologi Jepang), Solo (Solo 1 dengan Eko-Efisiensi, Solo 2 teknologi Tradisional), dan Klaten. Penelitian lapangan mengkaji pemakaian sumber daya untuk produksi, jumlah dan karakteristik hasil utama, serta hasil samping atau limbah. Pengambilan sampel dilakukan dengan memperhatikan aspek representasi sampel untuk industri tersebut. Meskipun variabel bebas tidak dapat divariasikan dalam penelitian survei, tetapi hasil penelitian survei ini memungkinkan untuk menemukan hubungan antara variabel-variabel yang ada. Terutama variabel penggunaan air dengan perolehan tahu dan beban pencemaran.

Eksperimen

Penelitian eksprimen dimaksudkan untuk mengetahui hubungan sebab-akibat antara jumlah penambahan air terhadap perolehan tahu dan beban polutan limbah cair. Variabel bebas penambahan air dipilih untuk diteliti karena menentukan jumlah perolehan tahu, mempengaruhi biaya produksi dan jumlah buangan limbah cair yang harus diolah. Eksperimen dilakukan pada skala teknis, yaitu pabrik tahu di Bogor. Eksperimen dilakukan dengan cara memvariasikan penggunaan air proses dan mengamati karakteristik hasil produk yang diperoleh serta limbah yang dihasilkan secara kuantitatif dan kualitatif. Sebagai pembanding (*control treatment*) adalah praktik jumlah penggunaan air yang dilakukan selama ini.

Analisis Laboratorium.

Analisis laboratorium dilakukan terhadap sampel produk tahu dan ampas tahu, meliputi kadar air, padatan, protein, dan abu. Analisis tersebut dilakukan untuk mengetahui karakteristik limbah cair industri tahu, meliputi pH, COD (*Chemical Oxygen Demand)*, BOD_5 (*Biochemical Oxygen Demand*), TKN (*Total Kjeldahl Nitrogen*), dan TSS (*Total Suspended Solids*). Pengujian parameter dilakukan sesuai metoda APHA (1998) di laboratorium yang terakreditasi oleh KAN, yaitu Laboratorium Pengujian Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian IPB.

Tabel 1. Deskripsi Tingkatan Teknologi Produksi Tahu Tahu

No.	Teknologi (Lokasi)	Fasilitas	Deskripsi
1	Industri tahu tradisional/ konvensional (Industri tahu di Jakarta, Bogor, dan Solo - 2)	Lantai produksi dari tanah; Tempat pemasakan dari wajan mild steel; Pemasakan dengan pemanasan langsung; Tidak memiliki fasilitas penggilingan; Tungku pemasakan dengan bahan bakar kayu; Tidak ada fasilitas pengolahan limbah cair	Pemisahan ampas dengan saringan "diaduk" oleh manusia, wadah pemasakan stainless steel, pemanasan langsung di atas tungku atau sumber panas dari uap (steam) dari boiler sederhana (*boiler drum*)
2	Industri yang telah menerapkan prinsip-prinsip eko-efisiensi (Industri tahu di Klaten dan Solo – 1)	Lantai tempat produksi dirancang khusus (sebagian lantai terbuat dari keramik); Tempat pemasakan terbuat dari beton, bagian dalam dilapisi stainless steel; Boiler sederhana; Fasilitas pengolahan limbah cair anaerobik treatment	Pemisahan ampas menggunakan kain saringan yang "digoyang" dengan tenaga manusia, pelapisan tempat pemasakan (tong beton) dengan stainless steel, dan sumber panas dari uap dari boiler sederhana
3	Industri tahu dengan teknologi modern ("Teknologi Jepang") (Industri tahu di Tegal)	Lantai tempat produksi dirancang khusus (sebagian lantai terbuat dari keramik); Fasilitas produksi terbuat dari stainless steel; Pemisahan ampas dengan alat sentrifus; Boiler; Tempat pemasakan/pewarnaan dengan kunyit; Tidak ada fasilitas pengolahan limbah	Pemisahan ampas dilakukan dengan menggunakan sentrifus, pemasakan dalam tanki stainless steel , sumber panas dari uap (*steam*) dari boiler, dan kondisi lingkungan produksi lebih bersih

Estimasi Potensi Emisi.

Dalam kegiatan ini juga dilakukan estimasi terhadap potensi emisi dari proses perombakan limbah cair industri tahu yang tak terkendali dalam kondisi anaerobik atau estimasi produksi biogas apabila limbah tersebut diolah secara anaerobik. Pendekatan yang digunakan untuk estimasi tersebut adalah pendekatan stoikiometri dan neraca masa pada proses degradasi anaerobik limbah cair industri tahu. Jumlah produksi biogas dipengaruhi oleh komposisi limbah cair dan kondisi proses degradasi (USDA dan NSCS, 2007; Moletta, 2005; Wilkie, 2005).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Profil Proses Produksi dan Kinerja Lingkungan Industri Tahu

Proses pembuatan tahu terdiri atas tahapan perendaman dan pencucian kedele, penggilingan, pemasakan, dan penyaringan. Tahapan pembuatan tahu selanjutnya adalah penggumpalan, pemisahan tahu dari *whey*, pencetakan dan pengepresan, serta pemotongan. Melalui tahapan proses tersebut dihasilkan tahu putih yang dapat dibentuk dengan berbagai ukuran. Sebagian industri menjual hasil tahunya sebagai tahu putih dalam wadah-wadah plastik dalam keadaan terendam air bersih. Sebagian industri tahu lainnya menjual produknya dalam bentuk tahu kuning, dengan cara merebus tahu putih di dalam larutan kunyit. Industri tahu di Tegal menggunakan "Teknologi Jepang", tahu dibungkus satu per satu. Semua industri tahu yang disurvei mencetaknya dengan cara memotong tahu dalam satu cetakan besar sesuai dengan ukuran tertentu. Cara yang terakhir ini lebih efisien dan menghasilkan produktivitas pengolahan yang lebih tinggi. Perbedaan kuantitas pemakaian air yang ada di antara berbagai industri tahu yang disurvei bukan disebabkan karena perbedaan prinsip teknologi prosesnya. Perbedaan tersebut lebih disebabkan karena perbedaan penggunaan beberapa unit fasilitas produksi variasi kebiasaan kerja atau tradisi antar daerah, serta desain dan jenis produk tahu yang dihasilkan. Fasilitas produksi yang dimaksud di atas, yaitu tempat kerja, tungku, alat pemasak, dan saringan.

Pemasakan tahu dilakukan dengan pemanasan langsung di atas tungku (industri di Bogor, Solo Tradisional). Pemasakan juga dapat dilakukan melalui pemanasan dengan uap yang dihasilkan oleh boiler sederhana (industri di Jakarta, Tegal, Solo, dan Klaten). Cara pemanasan tidak langsung ini selain menghasilkan tahu dengan kualitas lebih baik juga lebih efisien penggunaan bahan bakarnya. Efisiensi tersebut terjadi, terutama, apabila di suatu pabrik tahu terdapat beberapa lini proses produksi (proses pemasakan) yang dijalankan secara paralel. Bahan bakar yang dipakai adalah kayu, serbuk gergaji, atau sekam. Dari hasil wawancara diketahui bahwa penggunaan boiler sederhana dapat menghemat pemakaian bahan bakar kayu berkisar antara 50-70% dibanding dengan pemanasan langsung. Proses pembuatan tahu yang diterapkan di lapang tidak dilakukan dengan sistem kontinyu (sinambung), tetapi secara curah (*batch*), 5-10 kg kedele setiap *batch*nya. Jadi untuk mengolah 1 kwintal kedele per hari, misalnya, akan diperlukan proses pengolahan sebanyak 10-20 *batch* proses.

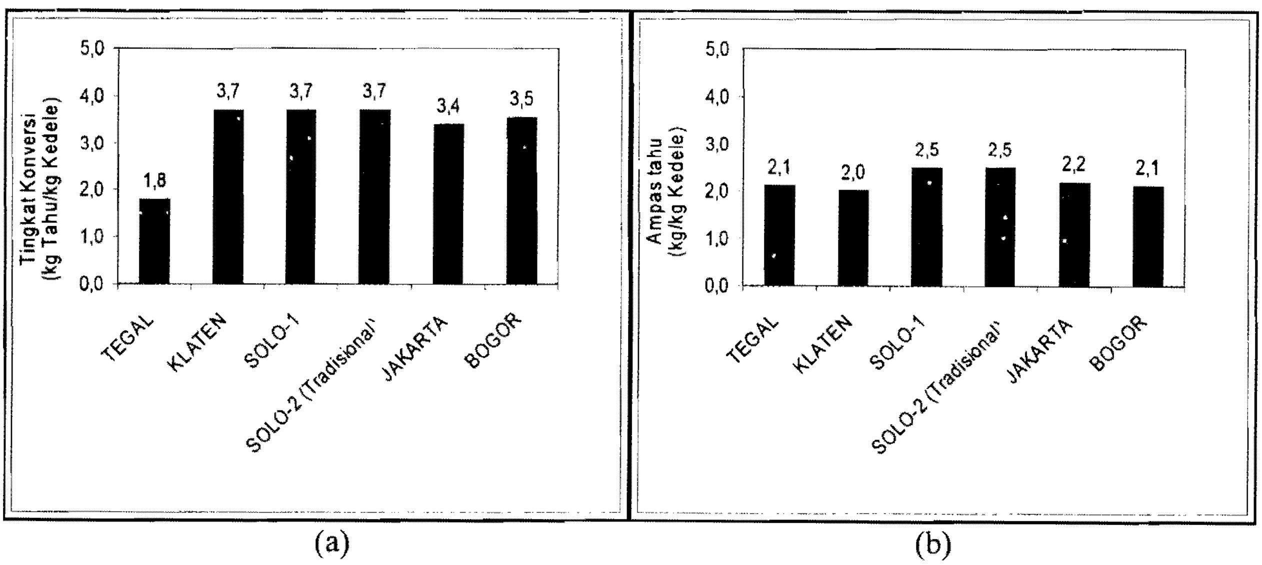
Kuantitas Tahu.

Kuantitas tahu pada kenyataannya dinyatakan dalam satuan kepingan, cetakan, atau potongan dengan ukuran dan harga jual yang bervariasi antar daerah. Oleh sebab itu, data lapang dikonversi dulu menjadi data bobot untuk dapat mengevaluasi dan membandingkan kuantitas atau produktivitas yang lebih tepat sesuai dengan tujuan studi ini. Hasil pengukuran kadar air dalam tahu (sampel dari Bogor) mencapai 80,7±1,4%, sedangkan kadar padatan 19,3±1,4%, protein 9,6±1% dan abu 0,4±0%.

Gambar 1 menunjukkan variasi tingkat konversi kedele menjadi tahu pada berbagai industri tahu yang disurvei. Secara rata-rata dari 1 kg kedele yang diolah dihasilkan tahu 3,3±0,7 kg. Perlu dicatat tingkat konversi kedele menjadi tahu pada industri tahu di Tegal relatif rendah (hanya 1,8 kg/kg kedele). Hal ini terjadi karena tahapan proses pencetakan di daerah ini dilakukan dengan "pembungkusan" tahu dengan kain kasa oleh tenaga manusia. Kemudian tahu dipress untuk mengeluarkan sebagian air sehingga dihasilkan tahu yang padat/kompak dengan kadar air lebih rendah dibandingkan dengan tahu yang diproduksi di daerah lain. Karena tahapan pencetakan tahu ini dilakukan secara manual satu per satu dengan tenaga manusia, tahapan proses ini sering menjadi penentu kecepatan dan kapasitas produksi pabrik tahu di Tegal.

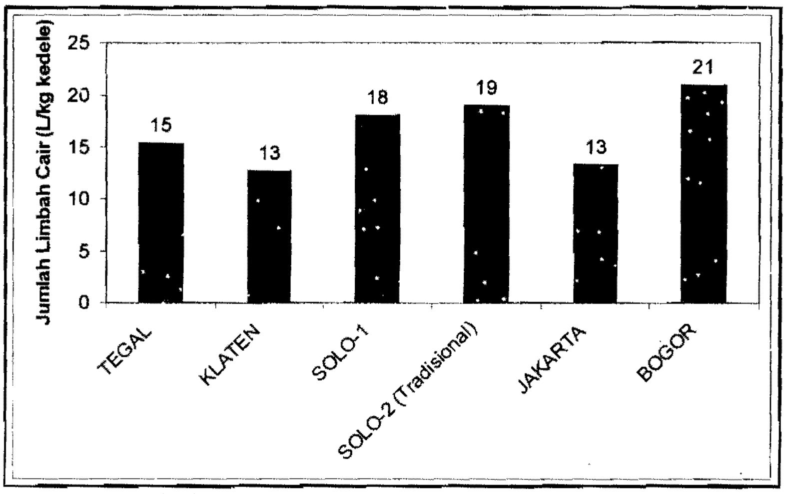
Kuantitas Ampas Tahu.

Limbah padat dari proses pembuatan tahu adalah ampas tahu, yaitu sisa dari proses pemisahan bubur kedele. Jumlah ampas tahu bervariasi antara 2,0-2,2 kg per kg kedele (Gambar 1). Dalam ampas tahu masih terkandung bahan yang memiliki nilai nutrisi tinggi terutama protein (2,0-2,4 persen). Ampas tahu selama ini oleh industri tahu dijual dengan harga relatif murah (Rp 6.000-Rp 7.000,- per pengolahan 10 kg kedele). Ampas tersebut dimanfaatkan sebagai bahan baku tempe gembus atau pakan ternak.



Gambar 1. Tingkat Konversi Kedele Menjadi Tahu (a) dan Ampas Tahu (b) Pada Industri Tahu di Berbagai Daerah yang Disurvei

Kuantitas dan Karakteristik Limbah Cair. Dalam proses produksi tahu digunakan air dengan jumlah besar, yaitu untuk perendaman dan pencucian kedele, penggilingan, pemasakan, dan penyaringan sari kedele. Ada perbedaan jumlah pemakaian air untuk proses produksi tahu di daerah studi. Sebagian air (sekitar 15%) yang ditambahkan ke dalam proses terikut dalam tahu dan ampas tahu, dan sebagian besar sisanya keluar sebagai limbah cair. Gambar 2 menunjukkan variasi jumlah limbah cair industri tahu di berbagai daerah. Rata-rata jumlah limbah cair industri tahu per kg kedele yang diolah adalah 17±3 L.



Gambar 2. Variasi Jumlah Limbah Cair Industri Tahu di Berbagai Daerah yang Disurvei

Sumber limbah cair industri tahu berasal dari beberapa tahapan proses, yaitu perendaman dan pencucian kedele serta sisa *whey* penggumpalan tahu. Tabel 2 menunjukkan karakteristik umum limbah cair industri tahu. Nilai rata-rata BOD_5, COD total, dan COD terlarut limbah cair industri tahu berturut-turut adalah 3.500, 7.300, dan 5.600 mg/L. Rata-rata TSS dan TKN limbah cair industri tahu adalah 500 dan 280 mg/L. Parameter BOD_5 atau COD dan debit limbah merupakan dasar untuk merancang unit pengolahan limbah cair serta untuk memperkirakan jumlah produksi biogas jika limbah cair diolah secara anaerobik. Bahan organik merupakan kontaminan utama dalam limbah cair industri tahu, karena bahan ini dapat terdegradasi di lingkungan baik secara aerobik maupun anaerobik. Pada kondisi anaerobik degradasi bahan-bahan organik dapat menghasilkan bahan-bahan toksik dan menimbulkan bau busuk.

Tabel 2. Variasi Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu yang Disurvei

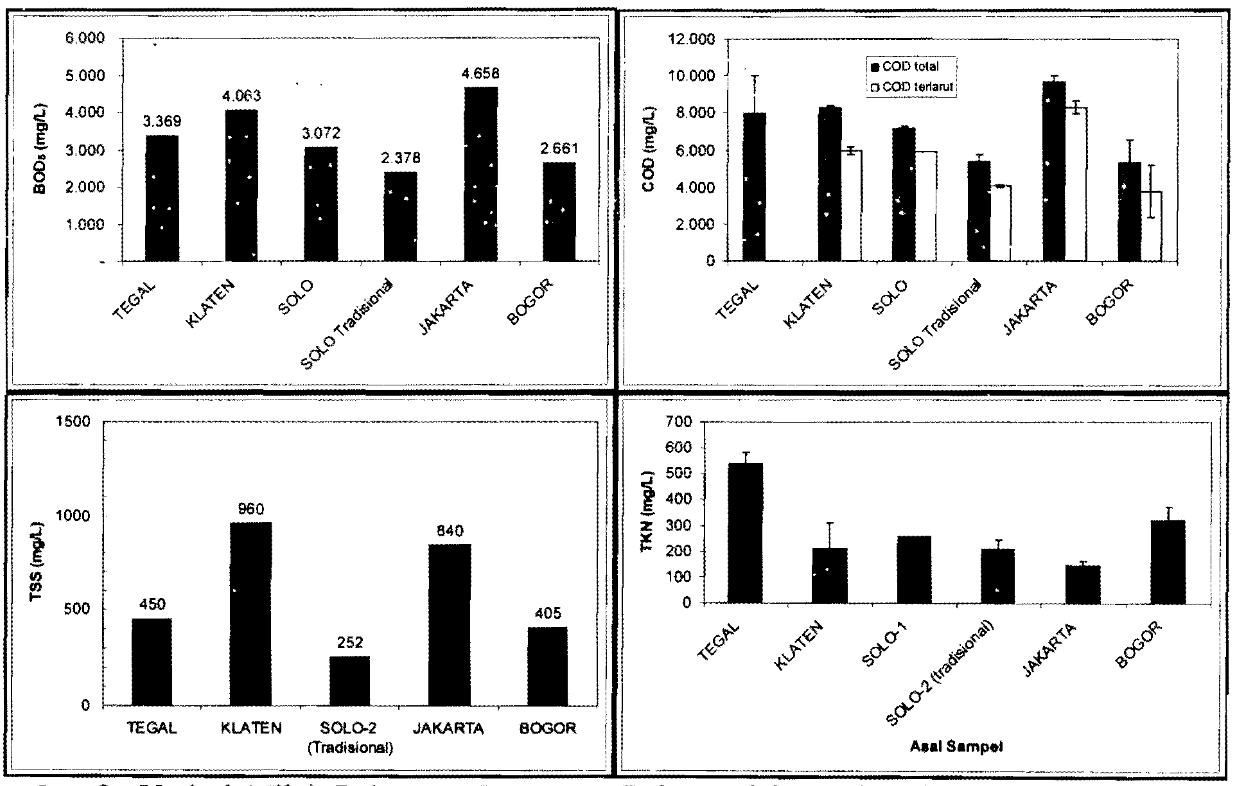
No.	Parameter	Satuan	Nilai
1	BOD_5	mg/L	3.500 ± 900
2	COD total	mg/L	7.300 ± 1.700
3	COD terlarut	mg/L	5.600 ± 1.800
4	TSS	mg/L	500 ± 250
5	TKN	mg/L	280 ± 140
6	pH	-	5,7 ± 0,9

Sekitar 20% COD total diakibatkan oleh padatan tersuspensi. Nilai COD total relatif terhadap COD terlarut (*filtered sample*) memberikan gambaran seberapa besar bahan organik tersebut dapat diturunkan melalui pengendapan primer (sedimentasi). Limbah cair industri tahu memiliki nilai BOD_5/COD rata-rata 0,6 sehingga dapat digolongkan sebagai limbah cair yang mudah terdegradasi secara biologis menurut klasifikasi Capps, Montelli, dan Dradford (1995). Capps, Montelli, dan Dradford (1995) mengklasifikasikan limbah cair berdasarkan nilai BOD_5/CO, yaitu: (1) $BOD_5/COD > 0,4$ adalah limbah cair mudah terdegradasi, (2) $BOD_5/COD < 0,4$ adalah limbah cair sulit terdegradasi, dan (3) $BOD_5/COD < 0,2$ merupakan limbah cair yang mungkin bersifat toksik. Bahan organik dalam limbah industri tahu sangat cepat terdegradasi dan mengakibatkan penurunan pH yang sangat cepat. Sebagian limbah cair industri tahu ini dimanfaatkan kembali sebagai bahan penggumpal tahu karena tingkat keasamannya yang tinggi.

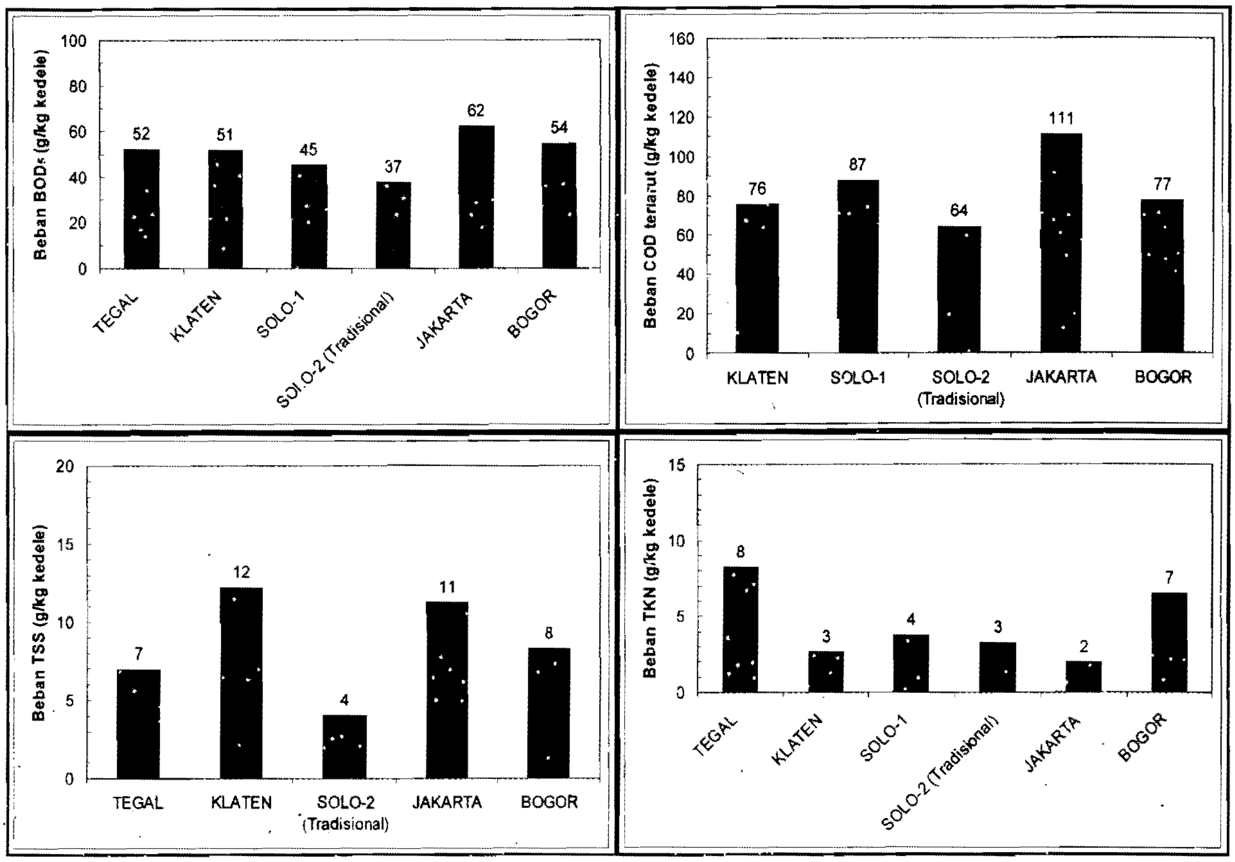
Nilai parameter-parameter karakteristik limbah cair industri tahu memiliki variasi tertentu. Variasi karakteristik limbah cair industri tahu teramati baik di dalam suatu industri tahu maupun antar industri tahu (Gambar 3). Beban limbah cair industri tahu dapat disajikan dalam kg polutan/kg kedele yang diolah. Informasi tersebut penting untuk memperkirakan secara cepat beban lingkungan akibat aktivitas industri tahu. Hal ini juga penting dalam perancangan instalasi pengolahan limbah cair serta memperkirakan jumlah biogas yang dapat dihasilkan apabila limbah cair tersebut diolah dengan sistem anaerobik. Beban polutan limbah cair industri tahu berdasarkan parameter BOD_5, COD total, COD terlarut, TSS, dan TKN berturut-turut adalah 50 ± 8, 110 ± 20, 80 ± 20, 9 ± 3, dan 4 ± 2 gram/kg kedele yang diolah. Beban beberapa polutan dan variasinya diantara industri tahu yang disurvei disajikan pada Gambar 4.

Limbah Gas.

Limbah gas dari industri tahu berupa asap pemasakan dan bau tidak sedap khas industri tahu dari hasil penguraian limbah cair, yang umumnya belum dikelola dengan baik. Apabila limbah cair tersebut terdegradasi secara anaerobik, selain menyebabkan bau busuk juga menghasilkan emisi metana yang merupakan gas rumah kaca yang memiliki efek 25 kali lebih kuat dibandingkan dengan efek karbon dioksida (Proteous, 1992).



Gambar 3. Variasi Nilai Beberapa Parameter Polutan dalam Limbah Cair Industri Tahu di Berbagai Daerah yang Disurvei



Gambar 4. Beban Polutan dalam Limbah Cair Industri Tahu di Berbagai Daerah yang Disurvei

Analisis Optimasi Proses

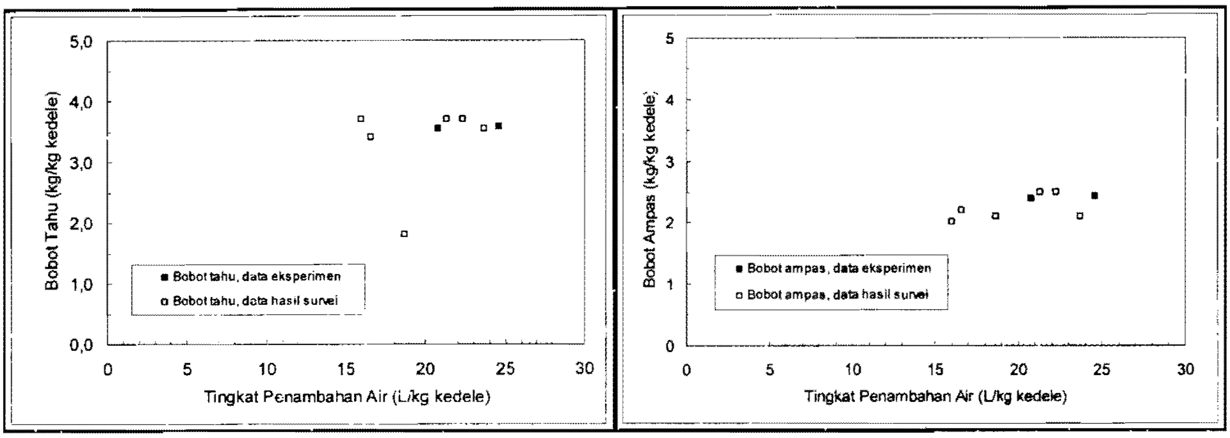
Fungsi air dalam proses pembuatan tahu adalah untuk mencuci bahan, melunakkan sel bahan, dan memudahkan ekstraksi protein. Namun, hasil pengamatan lapang dan hasil eksperimen menunjukkan bahwa penambahan air dalam rentang 16-25 L/kg kedele tidak mempengaruhi tingkat konversi kedele menjadi tahu. Variasi jumlah penambahan air juga tidak berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah ampas tahu yang dihasilkan (Gambar 5). Dengan demikian, penambahan air pada tingkat 16-19 L/kg kedele sebenarnya sudah cukup untuk memperoleh tingkat konversi yang optimum. Proporsi air terbesar harus diberikan pada tahap pemasakan dan penyaringan karena tahap ini yang paling berpengaruh terhadap perolehan tahu. Semi-otomasi beberapa unit proses industri tahu akan memudahkan upaya untuk minimisasi pemakaian air. Alternatif lain untuk minimisasi pemakaian air adalah dengan memberikan pelatihan dan standardisasi fasilitas produksi. Peningkatan debit limbah cair menyebabkan penurunan nilai polutan dalam limbah cair. Akan tetapi dilihat dari sisi beban yang dinyatakan dalam kg polutan/kg kedele yang diolah, penambahan atau pengurangan jumlah air yang ditambahkan tidak berpengaruh terhadap nilai beban (Gambar 6).

Selain optimasi proses produksi tahu, optimasi juga perlu diberikan pada proses degradasi bahan organik dalam limbah cair menjadi metana. Beberapa pendekatan dapat diterapkan untuk optimasi proses konversi ini, misalnya melalui: (1) pemilihan jenis bioreaktor anaerobik (Iza, Palencia, Fernandez-Polanco, 1990), (2) penentuan kondisi operasi optimum (Sulaiman *et al.*, 2009), (3) pra-perlakuan umpan (Muthangya, Mshandete, Kivaisi, 2009), (4) penentuan kinetika reaksi (Chin, 1981), atau (5) pemodelan (Fuentes *et al.*, 2007).

Analisis Potensi Biogas/ Pencemaran Udara

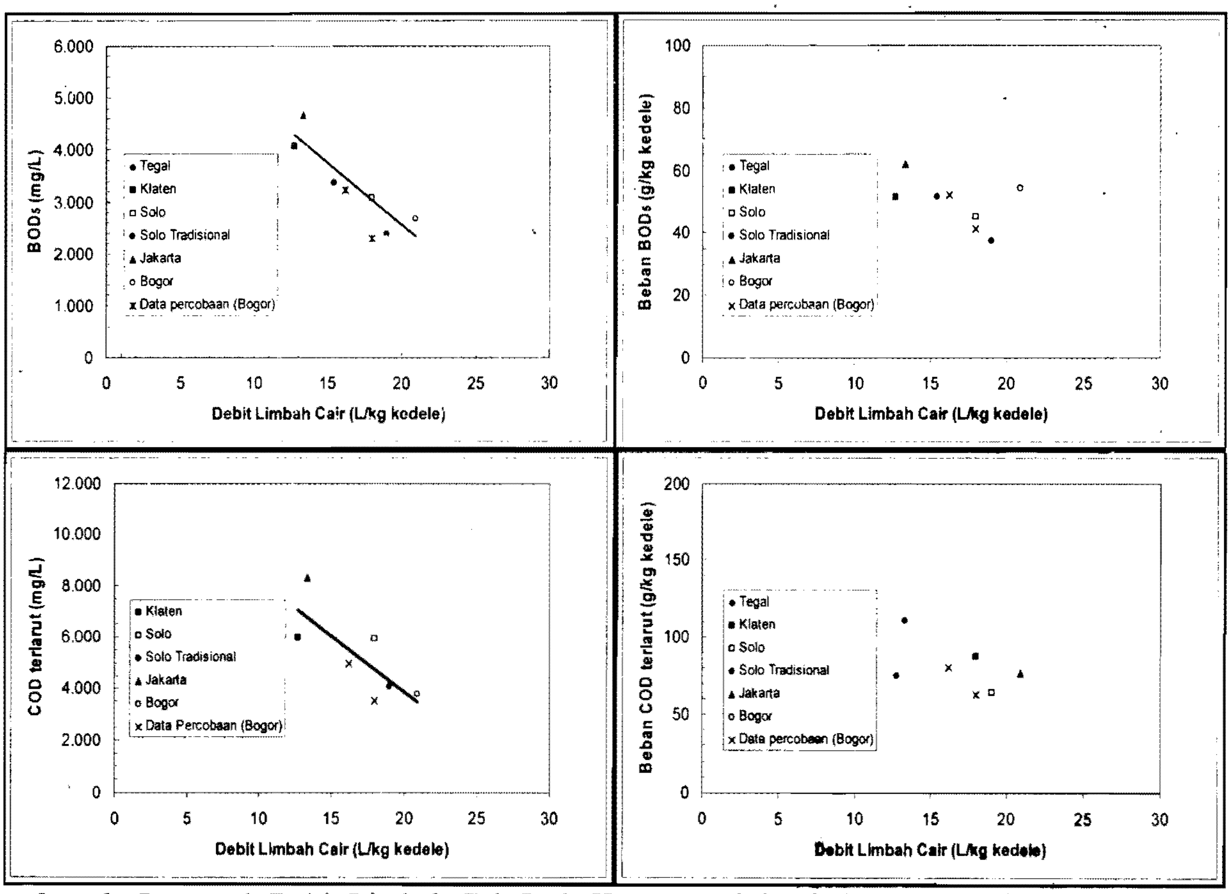
Kuantitas Produksi Biogas.

Pada kondisi tidak tersedia oksigen proses berlangsung secara anaerobik dan dihasilkan produk akhir berupa metana dan karbon dioksida. Secara umum, perombakan secara anaerobik merupakan proses yang sangat kompleks yang melibatkan beberapa tahapan proses dengan jenis mikroba yang berbeda setiap tahapnya.



(a) (b)

Gambar 5. Pengaruh Variasi Pemakaian Air Pada (a) Tingkat Konversi Bahan Baku (Kedele) Menjadi Tahu dan (b) Kuantitas Ampas Tahu



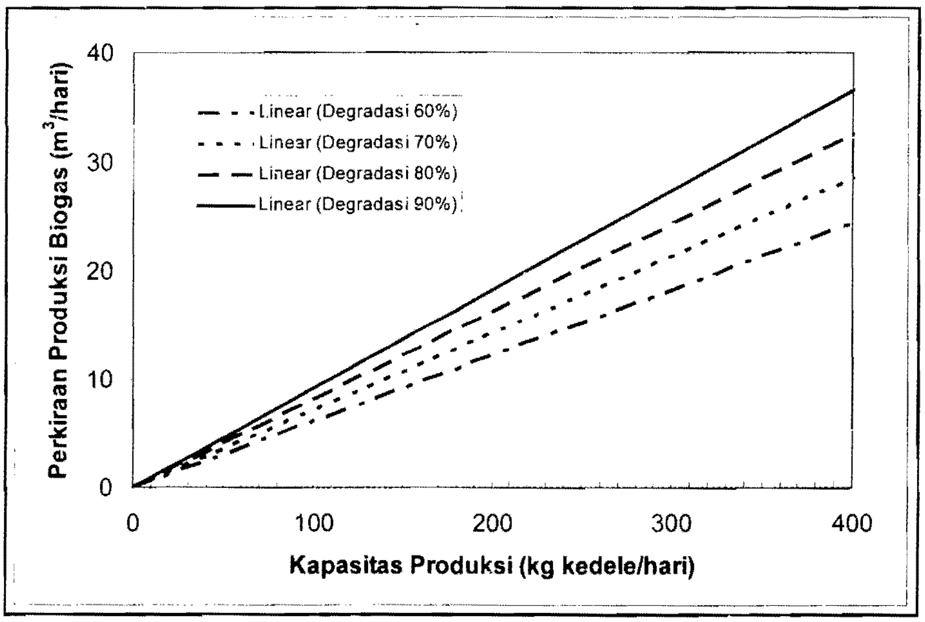
Gambar 6. Pengaruh Debit Limbah Cair Pada Konsentrasi dan Beban BOD_5 Limbah Cair Industri Tahu

Jumlah biogas yang dihasilkan dari proses degradasi anaerobik limbah cair industri tahu dapat diestimasi dari data nilai COD dan tingkat degradasinya. Setiap kg COD yang terdegradasi pada kondisi anaerobik dapat dihasilkan sebanyak 0,39 m^3 CH_4 pada suhu 35°C (USDA and NSCS, 2007). Informasi lain menyebutkan nilai konversi 0,35 m^3 CH_4/kg COD terdegradasi (Wilkie, 2005). Perlu dicatat bahwa jumlah aktual COD yang dikonversi proporsional dengan tingkat eliminasi COD yang nilainya sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor. Faktor-faktor yang berpengaruh tersebut antara lain karakteristik dan jumlah limbah, kondisi proses degradasi, serta jenis dan desain reaktor.

Berdasarkan hasil pengukuran laboratorium diketahui bahwa beban limbah cair industri tahu diperkirakan sekitar 110 g COD/kg kedele. Dengan asumsi bahwa tingkat degradasi COD dalam bioreaktor anaerobik diketahui, maka dapat diperkirakan produksi biogas teoritis untuk industri tahu pada berbagai tingkat produksi tahu. Gambar 7 menunjukkan perkiraan produksi biogas pada berbagai tingkat degradasi COD dan kapasitas produksi industri tahu.

Karakteristik Biogas.

Biogas merupakan gas campuran dengan kandungan utama metana (50-70% volume) dan karbon dioksida (30-40% volume), serta sejumlah kecil gas kelumit seperti H_2, H_2S, uap H_2O, dan nitrogen (Boenke, Bischofberger, Seyfried, 1993). Biogas memiliki bobot sekitar 20 persen lebih ringan dibandingkan dengan udara. Bobot tersebut tergantung pada komposisi biogas. Seperti gas lainnya, karakteristik biogas sangat tergantung pada tekanan dan temperatur. Karakteristik ini juga dipengaruhi oleh kandungan uap air. Faktor utama yang menjadi perhatian mencakup: (1) perubahan volume sebagai fungsi dari temperatur dan tekanan, (2) perubahan nilai kalor spesifik sebagai fungsi dari temperatur, (3) tekanan dan kandungan uap air, dan (4) perubahan kandungan uap air sebagai fungsi dari temperatur dan tekanan.



Gambar 7. Perkiraan Produksi Biogas Pada Berbagai Tingkat Degradasi COD dan Kapasitas Produksi

Nilai Kalori Biogas.

Nilai kalor biogas 16.000-20.000 kJ/m^3 atau sekitar 60-80 persen dari nilai kalor gas alam atau setara dengan 0,5 L solar (Hutzer, 2004). Memperhatikan perhitungan neraca bahan pada proses pembuatan tahu, untuk setiap 1 kg kedele yang diolah akan dihasilkan limbah cair dengan beban 110 g COD. Dengan tingkat degradasi 90% dan nilai konversi 0,39 m^3 metana/kg COD terdegradasi, maka akan dihasilkan sejumlah 0,063 m^3 biogas atau setara dengan 0,032 L minyak diesel (solar). Dengan harga minyak diesel Rp 5.500,-/L, maka untuk setiap 1 kg kedele yang diolah dapat dihasilkan bahan bakar biogas senilai Rp 163,-. Perhitungan perolehan biogas/ energi dari limbah cair industri tahu dapat dilihat pada Tabel 3.

Metana sebagai Gas Rumah Kaca

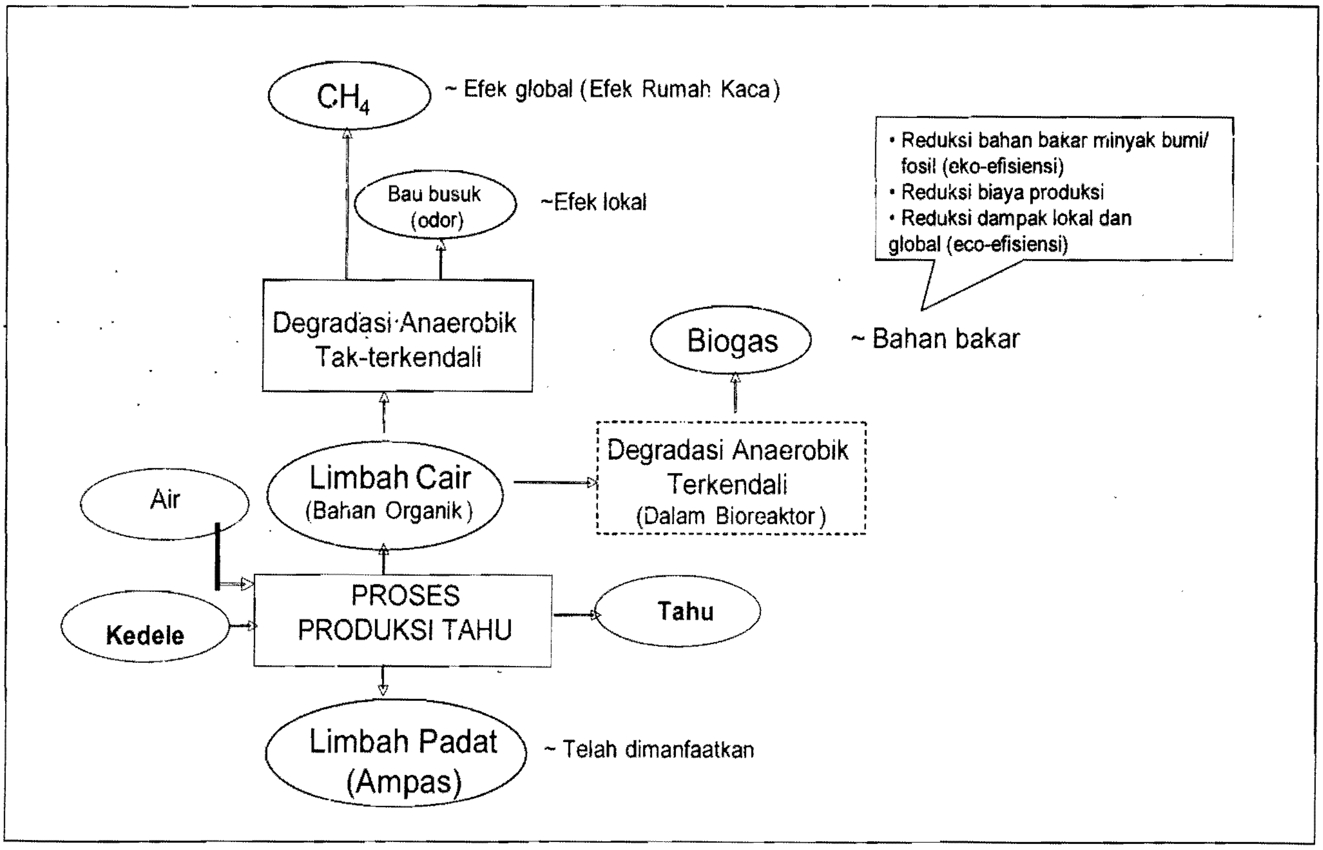
Pengolahan limbah cair industri tahu dengan sistem anaerobik merupakan alternatif pemanfaatan limbah yang prospektif. Hal ini dikarenakan pengolahan limbah cair industri tahu, dengan biaya investasi dan operasional relatif rendah, menghasilkan produk samping berupa biogas, dan mereduksi masalah lingkungan (bau busuk). Sebagai ilustrasi, industri tahu dengan kapasitas 100 kg kedele/hari dapat menghasilkan 4 m^3 metana atau 6 m^3 biogas (kadar metana 65% v/v). Sebaliknya, apabila limbah industri tahu dibuang ke lingkungan dan terdegradasi secara anaerobik secara tidak terkendali dapat menimbulkan dampak lokal (bau busuk). Selain itu, hal tersebut juga berdampak global berupa emisi metana (gas rumah kaca) sebesar 2,94 kg CH_4. Kekuatan efek rumah kaca gas metana sebesar 25 kali lebih besar dibanding dengan karbon dioksida. Dengan demikian emisi 2,94 kg CH_4 tersebut setara dengan 74 kg CO_2.

Apabila reduksi emisi tersebut dihargai sesuai dengan mekanisme CDM (*Clean Development Mechanism*), misalnya dengan harga USD 20,-/kg C (Soemarwoto, 2001), maka dapat diperhitungkan untuk setiap kg kedele yang diolah dapat diperoleh nilai kompensasi finansial Rp 34,- (Tabel 3).

Tabel 3. Perhitungan Perolehan Biogas, Emisi Gas Rumah Kaca, dan Nilai Kompensasi Reduksi Emisi dari Limbah Cair Industri Tahu

	Nilai	Satuan	Keterangan
Kedele yang diolah	1	kg kedele	
Bahan organik limbah cair	110	g COD	Q = 17 L/kg kedele COD = 7.300 mg/L
Metana (CH_4)	0,039	m^3 CH4	Tingkat konversi: 390 L CH_4/kg COD terdegradasi; Efisiensi = 90%
Biogas	0,059	m^3 Biogas	Kadar metana: 65% vol.
	0,030	L minyak diesel	1 m^3 biogas = 0,5 L minyak diesel
Pengehamatan biaya bahan bakar	163	Rp	Harga minyak diesel: Rp 5.500,-/L
Potensi emisi:	0,0386	m^3 CH_4	Efisiensi = 90%
	0,0277	kg CH_4	ρ_{metana} = 0,717 kg/m^3 (http://en.wikipedia.org/wiki/Methane)
	0,6921 (0,1888)	kg CO_2 (kg C)	
Potensi kompensasi reduksi emisi via CDM	34	Rp	USD 20/ton C (Soemarwoto, 2001), USD/IDR 9.000,-

Dari observasi lapang teridentifikasi ada tiga alternatif utama pengelolaan limbah cair bagi industri tahu, yaitu: (1) pembuangan ke saluran umum atau penampungan dalam kolam, (2) pengolahan secara aerobik, dan (3) penerapan produksi bersih (minimisasi penggunaan air, *good housekeeping*, optimasi proses, perbaikan teknologi) dan *recycling* bahan organik dalam limbah cair untuk memproduksi biogas. Alternatif pertama merupakan cara yang paling sederhana tetapi berpotensi mencemari lingkungan (lokal maupun global). Alternatif kedua dapat mencegah terjadinya pencemaran lingkungan. Akan tetapi alternatif kedua sulit diimplementasikan oleh kebanyakan industri tahu karena memerlukan biaya operasi tinggi. Alternatif ketiga berpotensi sebagai strategi pengelolaan limbah cair industri tahu yang prospektif karena dapat memberikan berbagai keuntungan (Gambar 8). Keuntungan dari alternatif ketiga, yaitu: (1) reduksi biaya produksi tahu melalui pemanfaatan biogas sebagai bahan bakar, (2) Reduksi/substitusi bahan bakar (minyak, kayu), (3) produksi sludge sebagai pupuk organik, (4) reduksi masalah lingkungan lokal (bau busuk) dan gangguan serangga, (5) reduksi emisi gas rumah kaca akibat pemanfaatan biogas, dan (6) perbaikan sistem sanitasi (reduksi penyebaran mikroorganisme pathogen). Pemanfaatan limbah cair industri tahu sebagai bahan biogas merupakan metoda *recycling* yang murah dan ramah lingkungan, serta mampu berkonstribusi terhadap kelangsungan hidup industri tahu.



Gambar 8. Skema Dampak Negatif Industri Tahu dan Alternatif Solusinya Melalui Pengolahan Limbah Cair Secara Anaerobik

Perlu mendapatkan penekanan bahwa akurasi estimasi tersebut dipengaruhi oleh akurasi input data yang terkait, seperti kapasitas produksi tahu, dan produksi metana spesifik. Modifikasi masih diperlukan dan perhitungan perlu disesuaikan dengan kondisi spesifik industri tahu. Studi ini dimaksudkan untuk menunjukkan indikasi tingginya potensi kontribusi pemanfaatan limbah cair industri tahu dalam penurunan emisi gas rumah kaca.

4. KESIMPULAN

Prinsip pembuatan tahu terdiri atas tahapan perendaman dan pencucian kedele, penggilingan, pemasakan, penyaringan, penggumpalan, pemisahan tahu dari *whey*, pencetakan dan pengepresan, dan pemotongan. Melalui tahapan proses tersebut dihasilkan tahu putih dengan berbagai ukuran. Dari 1 kg kedele dihasilkan tahu sejumlah 3,3±0,7 kg dan ampas tahu sejumlah 2,0-2,2 kg. Jumlah limbah cair per kg kedele yang diolah adalah 17±3 L. Perbedaan kuantitas pemakaian air yang ada diantara berbagai industri tahu yang disurvei bukan disebabkan karena perbedaan prinsip teknologi prosesnya. Perbedaan kuantitas pemakaian air tersebut disebabkan karena perbedaan beberapa unit fasilitas produksi, yaitu tempat kerja, tungku, alat pemasak, saringan. Perbedaan kuantitas pemakaian ini juga disebabkan oleh variasi kebiasaan kerja atau tradisi antar daerah, serta desain dan jenis produk tahu yang dihasilkan.

Nilai rata-rata (± standar deviasi) BOD_5, COD total dan COD terlarut, TSS, dan TKN limbah cair industri tahu berturut-turut adalah 3.500±900, 7.300±1.700, 5.600±1.800, 500± 250 dan 280±140 mg/L, atau setara dengan beban 50±8, 110±20, 80±20, 9±3, dan 4±2 gr/kg kedele yang diolah. Hasil pengamatan lapang dan hasil eksperimen menunjukkan bahwa dalam rentang 16–25 L/kg kedele variasi jumlah penambahan air tidak mempengaruhi tingkat konversi kedele menjadi tahu. Variasi jumlah penambahan air juga tidak berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah ampas tahu yang dihasilkan. Penambahan air pada tingkat 16-19 L/kg kedele sebenarnya sudah cukup untuk memperoleh tingkat konversi yang optimum.

Bahan organik dalam limbah cair industri tahu berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber biogas. Metoda *recycling* ini murah dalam biaya investasi dan operasionalnya, ramah lingkungan, serta dapat mensubstitusi sebagian energi untuk proses produksi dalam industri tahu. Berbagai keuntungan dapat diharapkan dari pemanfaatan limbah cair industri tahu sebagai bahan biogas, antara lain: (1) reduksi biaya produksi melalui pemanfaatan biogas sebagai bahan bakar, (2) reduksi/substitusi bahan bakar (minyak, kayu), (3) produksi *sludge* sebagai pupuk organik, (4) reduksi masalah lingkungan lokal (bau busuk) dan gangguan serangga, (5) reduksi emisi gas rumah kaca akibat pemanfaatan biogas, dan (6) perbaikan sistem sanitasi yang dapat mereduksi penyebaran mikroorganisme patogen.

Hasil survei menunjukkan ada variasi yang sangat besar dalam penggunaan air pada tahapan ini akibat dari perbedaan fasilitas atau cara kerja yang diterapkan di masing-masing daerah. Pengubahan kebiasaan pekerja ini tampaknya sulit dilakukan secara cepat. Masalah tersebut dapat diatasi melalui introduksi teknologi ekstrasi (penyaringan) yang mampu mengoptimumkan pemakaian air, misalnya dengan penyaringan mekanis atau sentrifugasi.

Pengolahan limbah cair dengan bioreaktor anaerobik dapat digunakan sebagai solusi masalah lingkungan. Hal ini disebabkan karena selain tidak membutuhkan biaya investasi dan operasional yang tinggi juga dapat menghasilkan biogas yang dapat digunakan sebagai bahan bakar. Hal tersebut juga dapat memberikan manfaat ekonomi dan ekologi, seperti reduksi masalah lokal (pencemaran tanah, air dan udara/bau busuk), memberikan dampak global (reduksi emisi GRK) dan pengurangan laju pemakaian kayu bakar. Pendekatan ini diperkirakan akan lebih efektif dan operasional dibandingkan dengan pendekatan regulasi (misalnya penerapan baku mutu). Hal ini dikarenakan keterbatasan kemampuan pelaku usaha industri tahu, baik finansial maupun teknis-teknologis.

DAFTAR PUSTAKA

APHA (American Public Health Association) (1998). Standard Methods for the Examination of Water and wastewater. 18th Ed. American Public Health Association, New York

.Boenke, B., Bischofberger, W., dan Seyfried, C.F. (1993). Anaerobitechnik. Springer-Verlag, Berlin

Capps, R.W., Montelli, G.N., dan Dradford, M.L. (1995). Design Concepts for Biological Treatment. *Env. Progress.* 14. p. 1-8

Chin, K. K. (1981). Anaerobic Treatment Kinetics of Palm Oil Sludge. *Wat. Res.* 15. pp. 199-202

Geissen, S.U. (2008). Wertstoffgewinnung aus dem Abwasser. *Paper Internationale Alumni - Sommerschule "Trinkwasse-rversorgung und Abwasserbehandlung in Ballungraeumen – New Anwendungen und Technologien.* Berlin, 27.4-9.5.2008.

Iza, J., Palencia, J.I. dan Fernandez-Polanco, F. (1990). Wastewater Management in Sugar Beet Factory: A Case Study Comparison Between Anaerobic Technologies. *Wat. Res.* 22 (9,).pp. 123-130

Fuentes, M., Scenna, N.J., Aguirre, P.A., dan Mussati, M.C. (2007). Anaerobic Digestion of Carbohydrate and Proteinbased Wastewaters in Fluidized Bed Bioreactors. *Latin American Applied Research.* 37, pp. 235-242

Moletta, R. (2005). Winery and Distillery Wastewater Treatment by Anaerobic Digestion. *Wat. Sci. Techn.* 51 (1). pp. 137-144

Muthangya, M., Mshandete , A.M., dan Kivaisi, A.K. (2009). Two-Stage Fungal Pre-Treatment for Improved Biogas Production from Sisal Leaf Decortication Residues. *Int. J. Mol. Sci.* 10. pp. 4805-4815

Proteous, A. (1992). Dictionary of Environmental Science and Technology. 2nd ed. John Wiley and Sons, New York

Qureshi, N., Annous, B.A., Ezeji, T.C., Karcher, P., dan Maddox, I.S. (2005). Biofilm Reactor for Industrial Bioconversion Processes: Employing Potential of Enhanced Reaction Rates. Diakses tanggal 17 September 2008. Website:<http://www.microbialcellfactories.com/ content/4/I/24>

Rangsivek, A.R.R. (2008). Zukunft der anaeroben Verfahren in Entwicklungsländern. *Paper pada Internationale Alumni-Sommerschule "Trinkwasserversorgung und Abwasserbehandlung in Ballungraeumen – New Anwendungen und Technologien.* Berlin, 27.4-9.5.2008.

Soemarwoto, O. (2001). Peluang Berbisnis Lingkungan Hidup di Pasar Global untuk Pembangunan Berkelanjutan. *Makalah Seminar "Kebijakan Perlindungan Lingkungan dan Pembangunan berkelanjutan Indonesia di Era Reformasi dalam Menghadapai KTT Rio + 10".* Jakarta, 8 Februari 2001

Sulaiman, A., Busu, Z., Tabatabaei, M., dan Yacob, S. (2009). The Effect of Higher Sludge Recycling Rate on Anaerobic Treatment of Palm Oil Mill Effluent in A Semi-commercial Closed Digester for Renewable Energy. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology.* 5 (1). pp. 1-6

UNEP (United Nations Environment Programme) (1998). Cleaner Pro-duction and Eco-Efficiency: Complementary Approaches to Sustainable Development. Diakses tanggal 10 Agustus 2008. Website:<www.wbcsd.org/DocRoot/R2R1IIWwjO2GLlAjpiLU/ cleanereco.pdf>

USDA dan NSCS (2007). An Analysis of Energy Production Costs from Anaerobic Digestion Systems on U.S. Livestock Production Facilities. Technical Note No. 1, Issued October 2007

Wilkie, A.C. (2005). Anaerob digestion: Biology and Benefits. In: Dairy Manure Management: Treatment, Handling, and Community Relations. Nature Resource, Agriculture, and Engineering Services. Cornell University, N.Y. Diakses tanggal 15 November 2009. Website: <dairy.ifas.ufl.edu/other/.../NRAES-176-March2005-p63-72.pdf