

KAJIAN MODEL DIGESTER LIMBAH CAIR TAHU UNTUK PRODUKSI BIOGAS BERDASRKAN WAKTU PENGURAIAN¹

Sunarto Goendi², Tri Purwadi², Andri Prima Nugroho³

ABSTRAK

Teknik pertanian memiliki kajian pemanfaatan energi alternatif yang bersifat terbarukan (*renewable*) dan ramah lingkungan. Salah satu jenis energi terbarukan adalah biogas. Industri tahu menghasilkan limbah cair yang dapat dimanfaatkan untuk produksi biogas. Tujuan penelitian: 1). Mengetahui waktu tinggal optimum pengolahan limbah cair tahu menjadi biogas dengan model digester tipe *batch* dan tipe *continuous*. 2). Menentukan parameter model disain sebagai dasar perancangan. Penentuan waktu tinggal optimum dilakukan dengan simulasi model digester skala laboratorium dari botol plastik eks botol air mineral 1,5 liter. Limbah cair yang digunakan adalah *whey*/kecutan dari sisa proses produksi tahu "Tahu Kita". Parameter disain yaitu: waktu tinggal optimum (*Hydraulic Retention Time*), hasil produksi biogas, luas permukaan, Kedalaman, dan volume cairan. Karakteristik limbah cair tahu di perusahaan tahu "Tahu Kita" menunjukkan bahwa pH=4,5; Temperatur=30⁰C; *Biological Oxygen Demand* (BOD)=2,928 mg/liter; *Chemycal Oxygen Demand* (COD)=24.000mg/liter dan *Total Solid Suspension* (TSS) = 364 ^{mg}/liter. Hasil penelitian waktu tinggal optimum digester tipe *untuk batch* adalah 16 hari dan waktu maksimum penyimpanan 32 hari. Akumulasi tekanan hasil produksi biogas digester tipe *batch* pada hari ke-16 adalah=3649,32 N/m². Penggunaan digester tipe *continuous* menunjukkan bahwa penambahan bahan baru akan menjadikan waktu tinggal optimum lebih lama. Untuk mendapatkan jumlah produksi biogas yang sama dengan jumlah tipe *batch*, tipe *continuous* membutuhkan waktu 41 hari. Pengamatan parameter disain menunjukkan bahwa pertambahan kedalaman, luas permukaan dan volume berpengaruh terhadap produksi biogas.

Kata kunci: *biogas, digester, limbah cair tahu, hydrolic retention time(HRT)*

¹ Disampaikan dalam Gelar Teknologi dan Seminar Nasional Teknik Pertanian 2008 di Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian UGM, Yogyakarta 18-19 November 2008

² Dosen Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada, Jl. Sosio Yustisia, Bulaksumur, Yogyakarta 55281

³ Alumni Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada,

A. PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Energi menjadi kajian keilmuan teknik pertanian yang saat ini sedang diupayakan untuk dikembangkan. Dalam jangka panjang, peran energi akan lebih berkembang khususnya guna mendukung pertumbuhan sektor industri dan kegiatan lain yang terkait dengan pemanfaatan produk pertanian. Penghapusan subsidi pemerintah terhadap penggunaan bahan bakar fosil menyebabkan harga minyak naik dan keterbatasan jumlah yang kian hari semakin berkurang. Berkurangnya ketersediaan bahan bakar fosil ini bisa dimaklumi karena termasuk bahan yang non-renewable, sehingga suatu saat persediaan bahan ini akan habis. Selain jumlah penggunaan yang semakin naik, disisi lain kualitas lingkungan pun menurun akibat penggunaan bahan bakar fosil yang berlebihan. Oleh karena itu, pemanfaatan sumber-sumber energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan menjadi pilihan untuk dikembangkan saat ini.

Teknik pertanian sebagai salah satu bidang kajian yang menangani pemanfaatan biomassa untuk dengan menerapkan prinsip-prinsip rekayasa untuk mendapatkan manfaat dan nilai tambah dari pengolahan bahan pertanian. Kajian teknik pertanian saat ini tidak hanya terbatas pada pemanfaatan produk biomassa saja namun juga berperan dalam pemanfaatan energi alternatif yang berbasis biomassa, atau biasa disebut dengan biomassa energi. Salah satu bentuk energi terbarukan yang dapat diupayakan dari bahan pertanian adalah biogas, dengan memanfaatkan siklus alami penguraian bahan biomassa menjadi bahan mineral lainnya.

Pengolahan bahan pertanian dalam suatu proses industri, pada suatu saat akan menghasilkan residu/sisa hasil sampingan. Pemanfaatan pengambilan energi dari pengolahan limbah biomassa dengan memanfaatkan degradasi alami ini dapat digunakan sebagai energi alternatif yang bersifat renewable, sekaligus memberikan jalan keluar terhadap penanganan limbah biomassa.

Industri tahu sebagai salah satu pengolah bahan pertanian yang menghasilkan produk samping limbah biomassa. Biomassa yang dihasilkan biasa berupa padatan (ampas tahu) atau limbah cair (whey/kecutan). Limbah cair tahu sisa produksi tahu ini masih memiliki kandungan bahan organik yang dapat dimanfaatkan untuk energi alternatif. Degradasi anaerobik merupakan proses alami yang dapat menguraikan bahan organik yang menghasilkan biogas. Proses degradasi anaerobik dilakukan di tempat tertutup dengan

waktu tertentu sesuai dengan sifat biomassa yang diuraikan. Inovasi terhadap desain digester yang sesuai dengan waktu penguraian diperlukan untuk mendapatkan hasil biogas yang sesuai dengan harapan.

B. TINJAUAN PUSTAKA

Limbah cair tahu adalah bahan atau materi yang timbul akibat kegiatan produksi tahu. Limbah cair berasal dari sisa air perendaman, sisa air tahu yang tidak menggumpal, potongan tahu yang hancur karena kurang sempurnanya proses penggumpalan. Limbah cair tahu yang keruh berwarna kuning muda, apabila dibiarkan akan berubah menjadi hitam dan berbau busuk. Limbah cair tahu memiliki ciri sebagai berwarna kuning hingga putih dalam kondisi anaerob dapat berubah menjadi hitam, dapat menimbulkan bau busuk dari hasil pemecahan protein dan karbohidrat. Komponen yang ada dalam limbah cair tahu dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 1: Komponen Limbah Cair Tahu

Parameter	Jumlah
BOD	6.500 mg/liter
COD	8.900 mg/liter
Total Solid	11.000 mg/liter
Kadar nitrogen	40 mg/liter
Kadar NH ₃	9 mg/liter
Jumlah bakteri	10 ⁵ -10 ⁸ cfu/ml
pH	3-4

Sumber: (Nurhasanah dan Pramudyanto, 1991).

Menurut Nurhasanah(2008), biogas adalah suatu jenis gas yang bisa dibakar, diproduksi melalui proses fermentasi anaerobik bahan organik seperti kotoran ternak dan manusia, biomassa limbah pertanian atau campuran keduanya, didalam suatu ruang pencernaan (digester). Komposisi biogas yang dihasilkan dari fermentasi tersebut terbesar adalah gas metan (CH₄) sekitar 54-70% serta gas karbondioksida (CO₂) sekitar 27-45%. Gas metan (CH₄) merupakan komponen utama biogas yang dimanfaatkan sebagai bahan bakar yang memiliki banyak manfaat. Biogas mempunyai nilai kalor yang cukup tinggi, yaitu sekitar 4800 sampai 6700 kkal/m³, sedangkan gas metana murni mengandung

energi 8900 Kcal/m³.

Ada beberapa jenis reaktor biogas yang dikembangkan diantaranya adalah digester jenis kubah tetap (Fixed-dome), digester terapung (Floating drum), digester jenis balon, jenis horizontal, jenis lubang tanah, jenis ferrocement. Jenis digester biogas yang sering digunakan adalah jenis kubah tetap (Fixed-dome) dan jenis drum mengambang (Floating drum) (Aguilar, 2001)

Salah satu batasan (constrain) pembuatan disain digester biogas untuk masyarakat di pedesaan adalah biaya pembuatan, kemudahan pengoperasian serta perawatan. Reaktor biogas jenis fixed dome yang dibuat dari bahan tembok dan beton umumnya memerlukan biaya yang tidak murah (Anonim, 2003b). Pembangunan digester sebagai penghasil energi alternatif memerlukan perhitungan teknis dan disain yang optimum untuk mendapatkan gas sesuai harapan, Selain mengurangi kadar polusi, pembuatan disain juga harus disesuaikan dengan biaya yang harus dikeluarkan untuk investasi dan biaya pengeluaran lain (Shieh, 1985).

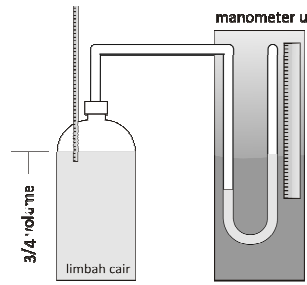
Reaktor biogas bukan teknologi baru. Namun, upaya untuk memberdayakan semua jenis energi yang ada dalam teknologi biogas belumlah optimal, hal ini dapat dilihat pada instalasi digester tradisional yang belum memperhitungkan waktu efektif produksi, perhitungan volume ruang digester yang harus disesuaikan dengan laju pemasukan limbah (liter/hari).

C. PELAKSANAAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan disain digester yang optimal untuk produksi biogas dengan memanfaatkan limbah cair tahu. Salah satu parameter yang akan digunakan pada penelitian ini adalah lamanya waktu penguraian atau waktu retensi (Hydraulic Retention Time). Penelitian dilakukan di laboratorium dengan menggunakan model digester berbahan plastik sisa air mineral 1,5 liter.

1. Waktu penguraian optimum dengan digester tipe volume tetap (batch)

Penelitian untuk mengetahui kemampuan degradasi secara alami limbah cair untuk didegradasi menjadi biogas. Pelaksanaan penelitian dilakukan selama 25 hari menggunakan limbah cair tahu dengan pengisian sebanyak $\frac{3}{4}$ botol dengan installasi sebagai berikut:

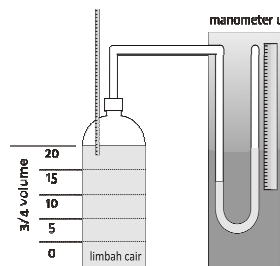


Gambar 1: Installasi percobaan pertama model digester tipe batch

Hasil produksi biogas dinyatakan pada satuan tekanan yang dihasilkan selama 24 jam menggunakan alat ukur manometer U. Data hasil tinggi tekanan yang diamati akan digunakan untuk mendapatkan hari optimum produksi biogas dengan membuat plot grafik tekanan hasil produksi biogas dengan hari penyimpanan. Selain lamanya waktu penguraian optimum dapat juga diprediksikan lamanya waktu maksimum penyimpanan limbah cair didalam digester.

2. Waktu penguraian optimum dengan digester tipe volume pertambahan (continuous)

Penelitian ini untuk mengetahui pengaruh pertambahan bahan terhadap stabilitas produksi biogas, akan dibandingkan jumlah tekanan hasil optimum pada percobaan pertama (tipe batch). Alat yang digunakan sama dengan percobaan pertama(batch), yang membedakan adalah penambahan bahan yang dilakukan setiap 5 hari sekali. Pengukuran hasil produksi biogas dilakukan setiap sore setelah didiamkan selama 24 jam. Ilustrasi percobaannya sebagai berikut:



Gambar 2: Installasi percobaan pertama model digester tipe continuous

3. Mengetahui pengaruh parameter disain yang lain untuk kajian disain digester.

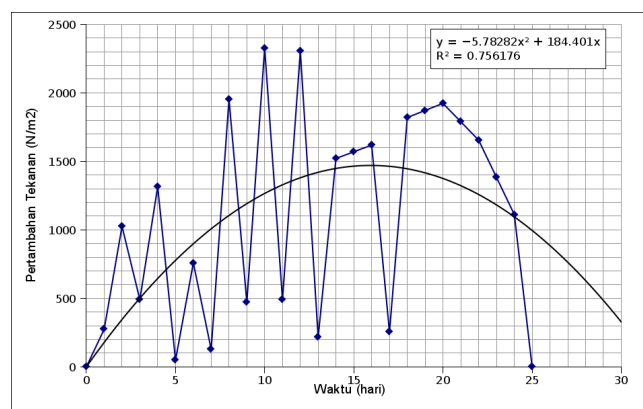
Kegiatan yang ketiga ini untuk mengetahui keterkaitan parameter disain lain diluar waktu penguraian, parameter yang akan diamati adalah luas permukaan penggenangan, volume digester dan kedalaman penggenangan. model digester yang digunakan menggunakan botol ati mineral 1,5 liter yang diletakkan pada posisi rebah untuk mendapatkan variasi luas permukaan dan kedalaman penggenangan. Akan dibandingkan efektifitas produksi biogas diantara variasi parameter yang dipilih.

D. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian berkenaan dengan karakteristik limbah cair tahu yang akan digunakan sebagai objek kajian. Karakteristik limbah cair tahu berbeda untuk masing-masing pabrik tahu. Sifat bahanyang menjadi perhatian khusus pada penelitian ini adalah TSS atau *Total Solid Suspension*, berarti padatan tersuspensi yang terdiri dari komponen terendapkan, bahan melayang dan komponen tersuspensi koloid. Padatan tersuspensi mengandung bahan anorganik dan bahan organik yang merupakan kandungan padatan yang akan didegradasi untuk diolah menjadi biogas. Hasil pengukuran laboratorium terhadap TSS limbah cair tahu yang berasal dari Pabrik Tahu "Tahu Kita" menunjukkan angka 364 mg/liter, angka ini berada jauh dibawah nilai TSS limbah cair tahu yang biasa ditemui pengrajin tahu tradisional biasanya yaitu 11.000 mg/liter. Rendahnya nilai TSS yang ada pada limbah cair akan berpengaruh terhadap jumlah biogas yang dihasilkan selama proses degradasi anaerobik.

1. Waktu penguraian optimum dengan digester tipe volume tetap (batch)

Plot grafik hubungan antara pertambahan tekanan gas yang dinyatakan dalam tekanan (N/m^2) dan Hari dapat dilihat pada Grafik dibawah ini.



Gambar 3: Grafik Waktu(Hari) Vs Pertambahan Tekanan(N/m^2) digester tipe batch

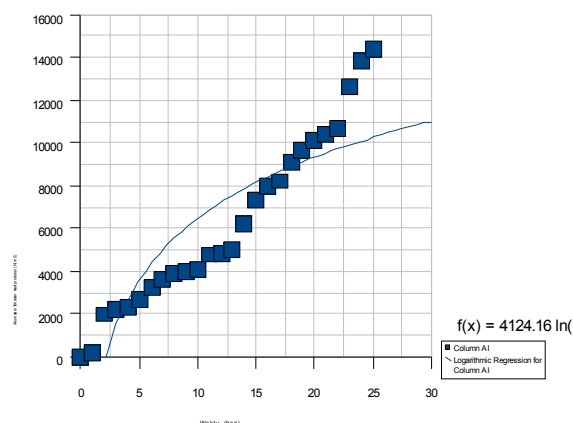
Plot hubungan waktu pengamatan (hari) dengan pertambahan tekanan gas (N/m^2) memiliki karakteristik garis yang mendekati parabolik. Pertambahan tekanan relatif bertambah sampai dengan produktivitas biogas mencapai puncak pada hari ke-n, setelah melewati hari ke-n maka produktivitas biogas relatif turun sampai dengan biomassa habis terdegradasi menjadi biogas oleh mikrobia pertambahan pada hari ke nol akan semakin meningkat sampai kandungan biomassa dalam bahan habis didegradasi menjadi biogas oleh bakteri selama proses degradasi anaerobik. Persamaan garis yang diperoleh dari plot grafik adalah sebagai berikut:

$$Y = -5,7828 x^2 + 184,01x$$

Titik puncak persamaan garis diperoleh dengan dengan menghitung nilai koordinat titik puncak P (x,y) dimana nilai x adalah hari yang ingin kita cari dan nilai y adalah pertambahan produksi gas pada hari itu. Nilai x dapat dicari dengan rumus titik puncak persamaan polinomial orde-2. Berdasarkan hasil perhitungan, hari optimum produksi biogas dengan model digester tipe batch adalah 15,943 atau dibulatkan keatas menjadi 16 hari.

2. Waktu penguraian optimum dengan digester tipe volume pertambahan (continuous)

Tekanan biogas yang dihasilkan dinyatakan dalam tinggi kolom air (cm), berikutnya akan di konversi ke tekanan (N/m^2). Data hasil plot dapat dilihat pada Gambar dibawah ini.



Gambar 4: Grafik Waktu(Hari) Vs Akumulasi Tekanan Produksi (N/m^2) digester tipe *continuous*

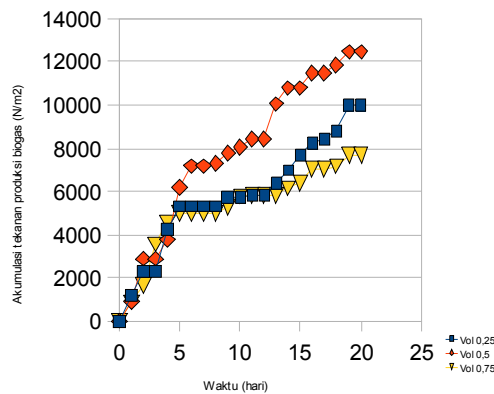
Akumulasi produksi yang digunakan adalah akumulasi produksi positif, penambahan diambil asumsi sebagai penambahan gas positif, jadi apabila terdapat nilai negatif pada hari tertentu, maka pada hari itu dianggap tidak ada produksi biogas. Persamaan garis yang diperoleh dengan pendekatan persamaan logaritma adalah sebagai berikut:

$$Y = 4124,16 \log(x) - 3026,22$$

Persamaan logaritma dihitung dengan software *OpenOffice Calc 2.4*. Perbandingan nilai akumulatif ini bertujuan untuk mengetahui lama waktu yang dibutuhkan digester tipe *continuous* untuk menghasilkan akumulasi produksi biogas yang sama dengan akumulasi aktual pada digester tipe *batch*. Dari data perhitungan waktu optimum penggunaan digester tipe *batch*, diperoleh nilai akumulasi aktual pada hari ke 16 adalah senilai 3649,32 N/m². Menggunakan persamaan logaritma yang disimulasikan selama 60 hari didapatkan bahwa untuk memperoleh akumulasi produksi biogas yang sama dengan tipe *batch* (3649,32 N/m²) membutuhkan waktu 41 hari, waktu yang dibutuhkan oleh digester tipe *continuous* lebih lama daripada penggunaan digester tipe *batch* dalam memproduksi jumlah biogas yang sama.

3. Mengetahui pengaruh parameter disain yang lain untuk kajian disain digester.

Variasi yang digunakan adalah : volume 0,25 liter; volume 0,5 liter dan volume 0,75 liter. dengan menggunakan variasi tersebut akan didapatkan juga variasi kedalaman dan luas permukaan. Kedalaman maksimal yang digunakan adalah setengah dari diameter digester, penentuan kedalaman ini dengan asumsi awal bahwa biogas akan berproduksi maksimal pada kondisi yang memiliki luas permukaan maksimum, luas ini terpenuhi apabila tabung yang berperan sebagai digester diatur pada posisi rebah dengan pengisian setengah dari volume total ($\frac{1}{2} \times 1,5$ liter) atau 0,75 liter. Hasil plot antara waktu produksi (hari) dengan akumulasi tekanan hasil produksi biogas (N/m²) dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 5: Grafik waktu (hari) vs Akumulasi tekanan produksi biogas (N/m²)

Dari gambar grafik diatas dapat dilihat peningkatan akumulasi produksi biogas mulai dari hari pertama samapai dengan hari ke terakhir (20). masing masing kurva mewakili satu variasi volume yang juga diikuti variasi luas permukaan dan kedalaman. Dengan membandingkan hasil produksi biogas dari masing masing variasi, kita dapat mengetahui pengaruh penambahan volume, luas permukaan dan kedalaman terhadap stabilitas produksi biogas.

Variasi volume pertama (0,25 liter) ditunjukkan warna biru dengan titik berbentuk persegi, menunjukkan kenaikan yang signifikan pada lima hari pertama. Nilai akumulasi maksimum untuk variasi volume 0,25 adalah 10023,86 N/m². Akumulasi produksi biogas ini juga menyatakan kondisi produksi biogas pada kedalaman 1,33 cm dan luas permukaan 146.709 cm².

Variasi volume kedua (0,5 liter) di ilustrasikan dengan garis warna merah dengan titik koordinat berbentuk belahketupat. Akumulasi produksi biogas mengalami kenaikan yang signifikan juga pada lima hari pertama, total akumulasi variasi kedua ini menunjukkan hasil yang paling besar dari 3 variasi yang dilakukan. Total akumulasi tekanan hasil produksi biogas untuk variasi volume adalah 12472,76 N/m².

Variasi volume ketiga(0,75 liter) yang juga diikuti dengan penambahan kedalaman dan bertambah luasnya permukaan cairan limbah cair tahu. Dari ketiga variasi yang dilakukan, dapat dilihat bahwa variasi ketiga menghasilkan akumulasi yang paling sedikit, padahal volume, luas permukaan dan kedalaman yang paling maksimal. Turunnya nilai akumulasi produksi biogas pada variasi volume ketiga disebabkan karena manometer untuk menampung gas hasil tidak mamapu untuk menahan tekanan yang dihasilkan. Tekanan hasil produksi biogas yang melebihi batas kemampuan manometer

menyebabkan biogas hasil produksi lepas ke udara bebas dan turunnya pembacaan tekanan pada manometer.

Dari hubungan antara waktu produksi biogas perhari dari masing-masing dapat diketahui bahwa kenaikan akumulasi produksi biogas dipengaruhi oleh banyaknya volume cairan limbah, kedalaman dan luas permukaan untuk produksi.

E. KESIMPULAN DAN PENGEMBANGAN

1. Kesimpulan

- a. Waktu tinggal optimum pada pengolahan limbah cair tahu “tahu Kita” dengan model digester tipe *batch* adalah 16 hari dengan perkiraan waktu tinggal maksimum 32 hari.
- b. Penggunaan model digester *Continuous* memerlukan waktu yang lebih lama untuk menghasilkan jumlah produksi biogas yang sama dengan digester tipe *Batch*, ini terjadi karena adanya faktor penambahan yang menyebabkan waktu retensi lebih lama.
- c. Parameter konstruksi digster limbah cair tahu ditentukan oleh faktor kedalaman dan luas permukaan yang berpengaruh terhadap jumlah produksi bogas.
- d. Rendahnya kandungan TSS mempengaruhi rendahnya hasil produksi biogas.

2. Pengembangan

- a. Perlu penelitian lebih lanjut mengenai penentuan waktu tinggal optimum untuk digester tipe *continuous* secara lebih spesifik.
- b. Perlu penggunaan volume yang lebih besar agar data yang dihasilkan lebih representatif.
- c. Perlu pemikiran lebih lanjut dalam uji biogas dengan dimensi model yang lebih memadai
- d. Ph dan temperatur belum nampak sebagai indikator yang nyata dalam percobaan, ini karena kisaran perubahannya relatif terbatas.
- e. Perlunya pemikiran penabahan starter untuk lebih sempurnanya biogas yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aguilar, FX., (2001), How to install a polyethylene biogas plant, Proceeding of the IBSnet Electronic Seminar, (The Royal Agricultural College, Cirencester, UK. 5-23 March 2001), dalam <http://www.ias.unu.edu/proceedings/icibs/ibs/ibsnet/e-seminar/FranciscoAguilar/index.html>, diakses pada tanggal 24 Desember 2007, jam 13.00
- Anonim.2003a. *Pedoman Teknis Pemantauan Pembuangan Air Limbah*. DRAFT FINAL SEKRETARIAT TKPSDA 2003. Bapennas. dalam http://air.bapenas.go.id/modules/doc/pdf_download.php?prm_download_id=13&prm diakses pada tanggal 24 Desember 2007 jam 13.30.
- Anonim.2003b. *Pedoman Teknis Pemantauan Pembuangan Air Limbah*. DRAFT FINAL SEKRETARIAT TKPSDA 2003. Bapennas
- Benfield, L.D. & Randall, C.W. 1980. *Biological Process Design for Wastewater*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall Inc.
- Damanhuri, *et.al.*, 1997. *The Role of Recirculation in Increasing Efficiency of Anaerobic and Aerobic Wastewater Treatment of Tofu Industry*. Proceeding of The Indonesian Biotechnology Conference, Jakarta.
- Garcelon, J., Clark, J. *Waste Digester Design*. Civil Engineering Laboratory Agenda. University of Florida. dalam <http://www.ce.ufl.edu/activities/waste/wddndx.html>. diakses tanggal 7 Desember 2007 jam 15.30
- Nurhasan, Pramudyanto, 1991. *Penanganan Air Limbah Tahu* dalam Dewi S., Meilani, 1999. *Pemanfaatan Limbah Cair Tahu Untuk Produksi Enzim Glukoamilase dari Saccharomycopsis fibuligera*. Skripsi jurusan TPHP, Fakultas Teknologi Pertanian, UGM, Yogyakarta.
- Shieh, W.K., Li, C.T. & Chen, S.J. 1985. Performance evaluation of the anaerobic fluidised bed system: III. Process kinetics. *J. Chem. Tech. Biotechnol.* 35B: 229-234.