

A TOFU WASTEWATER TREATMENT WITH A COMBINATION OF ANAEROBIC BAFFLED REACTOR AND ACTIVATED SLUDGE SYSTEM

Wagiman,¹⁾ Ag. Suryandono¹⁾

ABSTRACT

Tofu wastewater contained high organic matters and relatively fluctuated in Chemical Oxygen Demand (COD) of about 5.000 to 8.000 mg/L. A Combination of Anaerobic Baffled Reactor (ABR) and Activated Sludge System was very useful to reduce organic matter and produce higher quality effluent. The continuous operation mode was effective in treating the tofu wastewater at COD below 5.000 mg/L, while efficiency improvement was needed for COD 5.000 mg/L or more. The Batch operation mode might be applied but it should take 11 days hydraulic retention time to match the standard condition.

The result also showed that at COD standard point of 100 mg/L, the nitrogen concentration decreased with 80-95 %. The nitrogen removal in the aerobic condition was observed most among other removals, because microorganisms took it as their matrix. In addition, there was an increase in pH from 5,0-6,0 to 7,0 – 7,5 meaning that there would be an improvement in effluent safety.

Keywords: Anaerobic Baffled Reactor (ABR), activated sludge system and Chemical Oxygen Demand (COD)

PENGANTAR

Limbah cair tahu mengandung bahan organik tinggi dengan COD lebih dari 5.000 mg/L (Damanhuri *et al.*, 1997) dan salah satu komponennya adalah protein yang mencapai 1,8 % (Rahardjo dalam Trismila, *et al.*, 2001). Komposisi tersebut menyebabkan pembuangan limbah secara langsung dapat menimbulkan masalah lingkungan seperti bau tidak sedap. Pencegahan dampak negatif dilakukan dengan pengolahan limbah lebih dahulu sampai kadar bahan organiknya dapat ditoleransi oleh lingkungan.

Pengolahan limbah cair tahu dengan lumpur aktif dapat menurunkan kandungan bahan organik tetapi muncul busa yang banyak pada unit pengolah (Wagiman, 2001). Demikian juga pengolahan secara anaerobik mampu menurunkan kandungan bahan organik sampai 91,78 % (Wagiman, 2003) tetapi COD efluen masih di atas baku limbah cair tahu untuk Jogjakarta. Untuk mencapai baku mutu maka pengolahan limbah dilakukan dengan mengkombinasikan sistem anaerobik dan aerobik. *Upflow anaerobic reactor* yang dikombinasi dengan aerobik (*Trickling Filter*) terbukti efektif untuk mengolah limbah tahu (Damanhuri *et al.*, 1997). Tanaka (2003) mengaplikasikan sistem *Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)* dan *Rotating Biological Contactor (RBC)* dengan

hasil memuaskan dari sisi efluen. Kedua sistem membutuhkan penguasaan ilmu dan teknologi disamping investasi dan biaya operasional tinggi.

Sistem pengolahan limbah tahu dengan menggunakan kombinasi *Anaerobic Baffled Reactor (ABR)* dan sistem lumpur aktif merupakan alternatif berteknologi lebih sederhana. ABR sudah digunakan pada industri tekstil (Sumantri, *et al.*, 2003 ; Bell and Buckley, 2003) dan juga limbah masyarakat (Bodik, *et al.*, 2002). Hutncaronan, *et al.* (1998) membandingkan kinerja antara UASB, USB-*anaerobic filter* dan ABR yang hasilnya menunjukkan bahwa ABR mempunyai banyak kelebihan dibanding reaktor lainnya.

Sistem lumpur aktif merupakan salah satu bentuk teknologi pengolahan limbah secara biologi yang berkembang dengan pesat. Lumpur aktif menyatakan suatu gumpalan atau flok mikroorganisme aerob yang menyisihkan bahan organik dari dalam air buangan, dan kemudian dipisahkan dengan cara pengendapan (Djajadiningrat dan Wisjnuaprpto, 1991).

Bakteri *nitrifier* juga dapat tumbuh maksimum pada sistem lumpur aktif dan dapat diprediksi laju pertumbuhan spesifiknya. (Yuan, *et al.*, 1999). Pertumbuhan tersebut tergantung pada pembebanan bahan organik dan akan mempengaruhi sifat-sifat lumpur aktif (Barbusinski dan Miksch, 1997).

¹⁾ Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Jl. Sosio Yustisia, Bulaksumur, Yogyakarta 55281.

Kelebihan teknologi ABR maupun sistem lumpur aktif jika digabungkan akan memiliki potensi besar untuk menangani permasalahan limbah cair tahu dari industri kecil dan menengah. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kombinasi ABR dan sistem lumpur aktif dalam rangka mencapai baku mutu limbah tahu terutama parameter COD yaitu 100 mg/L. Di samping itu, perbandingan pengoperasian terputus (*batch*) dan kontinyu untuk memilih mode operasi yang tepat.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Dua reaktor yang digunakan dalam penelitian ini yaitu ABR dan bak aerobik (Gambar 1). ABR dibuat dari kaca dengan ukuran 25 cm × 35 cm × 55 cm, mempunyai volume

operasional 20 liter dengan 9 sekat. Reaktor aerobik merupakan bak yang dilengkapi dengan pengaduk dan aerator sebagai penyalur oksigen. Sistem ini mengacu pada model lumpur aktif konvensional. Reaktor dibuat dari kaca dengan volume maksimum 20 liter dan dapat diatur volumenya. Sistem ini dilengkapi tabung penampung gas dan bak pengendap primer dan sekunder.

Kedua reaktor diberi starter yang diambil dari saluran pembuangan limbah di sentra industri untuk mempercepat proses biokimia oleh mikroorganisme. Starter anaerobik diambil dari lumpur bagian dalam saluran yang berwarna hitam, sedangkan starter aerobik berasal dari permukaan saluran dan berwarna coklat. Sementara itu, limbah yang diolah merupakan campuran *whey*, air cucian, air rendaman kedelai, dan air biasa sehingga diperoleh variasi COD dari 5.000 – 10.000 mg/L.

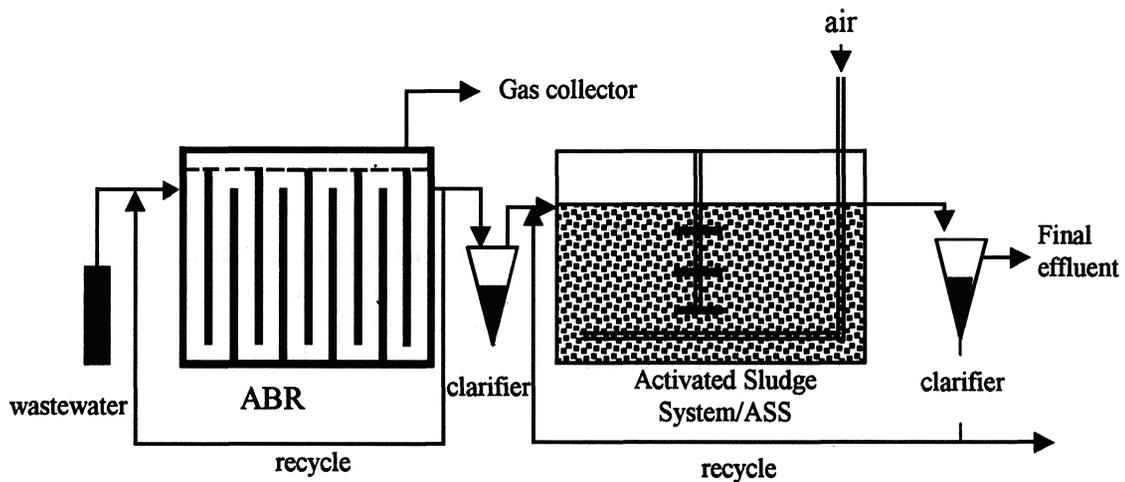


Figure 1.
Combination of ABR and Activated Sludge System (ASS)

Cara Penelitian

Start-up reaktor

Setiap reaktor diberi starter sebanyak 7 liter dan diberi limbah secara kontinyu dengan kadar COD dari sekitar 5.000 mg/l sampai konsentrasi alami yang ditemukan di industri yaitu sekitar 10.000 mg/l. Tahap ini membutuhkan waktu 6 (enam) minggu. Pemantauan terhadap mikroorganisme dilihat dari hasil kerjanya yaitu kemampuan mendegradasi bahan organik dengan menghitung efisiensi COD removal.

Operasi dan manipulasi

Limbah dari industri tahu ditentukan COD-nya berada pada kisaran 5000-10.000 mg/l, dan pH dijaga seperti keluaran industri yaitu 4-5. Limbah kemudian dimasukkan ke reaktor

anaerobik dengan debit 2-3 ml/menit mengikuti aliran seperti pada Gambar 1. Kecepatan umpan balik dibuat 2 kali kecepatan influen. Kedua reaktor dijalankan dengan dua mode yaitu kontinyu selama 1,5 bulan kemudian dilanjutkan dengan sistem *batch* selama satu bulan. Sampel diambil tiga hari sekali untuk sistem kontinyu, sedangkan sistem *batch* hanya awal dan akhir proses. Ada tiga titik pengambilan sampel yaitu pada influen, keluaran anaerobik dan efluen akhir. Kemudian dilakukan pengujian COD, TKN, dan pH.

Analisis

Penghitungan efisiensi menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Efs = \frac{(x_{inf l} - x_{effl.})}{x_{inf l}} \times 100\%$$

dengan $x = \text{COD}$ atau TKN
 Pengujian COD mengikuti APHA (1992), TKN dengan metode titrasi. Nilai pH diukur dengan pH meter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyisihan Bahan Organik

Molekul organik kompleks dipecah menjadi gas metana dan karbondioksida melalui serangkaian reaksi biokimia di dalam ABR. Proses ini dilakukan oleh tiga kelompok bakteri yaitu bakteri penghidrolisa, asetogen dan metanogen. Untuk nitrogen organik seperti protein, asam amino dan urea direduksi menjadi ammonia dan tidak dirombak lebih lanjut dalam kondisi anaerobik (Bernet, *at al.*, 2000). Sebagian kecil dari nitrogen organik digunakan untuk pertumbuhan sel (Baloch dan Akunna, 2002).

Pada masa *start-up* proses biokimia sudah berjalan ditandai dengan penurunan COD dari sekitar 8.000 mg/L menjadi kurang lebih 300 mg/L atau 96,25 %. Persentase tersebut sudah di atas 80 % sehingga dianggap cukup untuk massa *start-upnya* (Willets dalam Bell dan Buckley, 2003). Meskipun masih bervariasi, sistem dapat dipergunakan untuk perlakuan pertama yaitu mode kontinyu. Untuk mengurangi variasi yang besar maka konsentrasi COD influen dijaga supaya stabil.

Selama mode kontinyu (Gambar 2), rata-rata penurunan bahan organik (COD) mencapai 89,78 % pada tahap anaerobik, 67,10 % pada tahap aerobik, dan 97,43 % jika dilihat secara total sistem. Dari COD influen rata-rata 7228,3 mg/L dapat didegradasi di dalam ABR sebesar 6490 mg dan 496 mg di dalam lumpur aktif sehingga total bahan organik yang didegradasi yaitu 87,32 mg/L/hari. Meskipun prosentase penurunan bahan organik sangat besar, tetapi jika dilihat dari

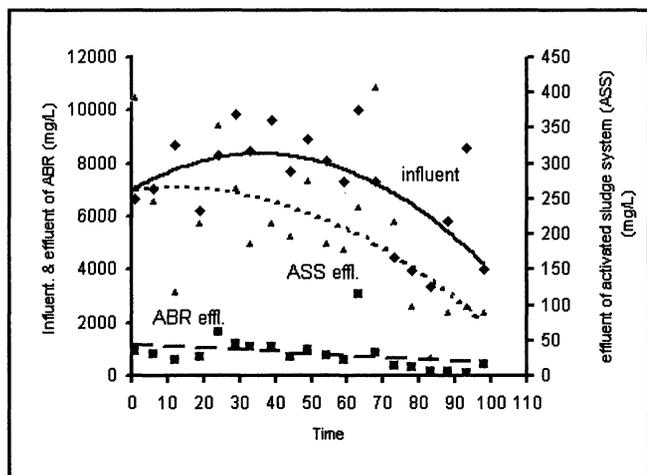


Figure 2.

Efficiency of the organic matter removal in start-up and continuous mode

COD efluen belum tentu memenuhi baku mutu limbah cair tahu yaitu pada kadar 100 mg/L atau beban 3 kg/ton (SK Gubernur DIY No. 281/KPTS/1998).

Pada mode kontinyu, efluen dapat mencapai baku mutu limbah cair mulai hari ke-78 dengan efisiensi 97 % - 99 % (Gambar 2). Baku mutu limbah cair tahu untuk wilayah Jogjakarta tercapai jika influen yang masuk sistem kurang dari 5.000 mg/L dan efisiensi pada batas rata-rata 97,43 %. Untuk limbah dengan COD di atas 5.000 mg/L, sistem hanya dapat mencapai baku mutu bila efisiensinya dinaikkan menjadi 98 % - 99 %. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi efisiensi tersebut seperti konsentrasi dan jenis mikroorganisme, pembebanan organik dan waktu tinggal hidrolis. Efisiensi penyisihan COD juga dapat ditingkatkan dengan penambahan nitrat pada zona asidogenik (Baloch dan Akunna, 2002).

Gambar 3 menunjukkan efisiensi penyisihan bahan organik (COD) hasil penelitian dan COD yang harus dicapai agar batas baku mutu terpenuhi. Untuk tingkat efisiensi rata-rata yaitu 97,43 %, kombinasi ABR dan lumpur aktif dapat digunakan untuk mengolah limbah tahu dan mencapai baku mutu jika COD influen kurang dari 4.000 mg/L. Pengolahan limbah dengan COD di atas batas tersebut maka perlu peningkatan efisiensi, misalnya untuk COD influen 6.000 mg/L diperlukan efisiensi sistem lebih dari 98 %.

Mode operasi terputus-putus (*batch*) dilakukan pada hari ke-101 dan telah dicoba dua ulangan dengan COD influen masing-masing 1496 mg/L dan 2167 mg/L. Proses ini dijalankan sampai COD efluen mencapai baku mutu limbah cair tahu dan hasil percobaan menunjukkan waktu yang dibutuhkan adalah 11-12 hari (Gambar 4). Pada awal proses, mikroorganisme mendapat suplai makanan yang cukup, tetapi dengan bertambahnya waktu konsentrasi bahan organik semakin menurun sementara konsentrasi mikroorganisme tetap. Akibat kondisi tersebut adalah melemahnya kinerja mikroorganisme yang tercermin dengan penurunan efisiensi sistem pengolahan.

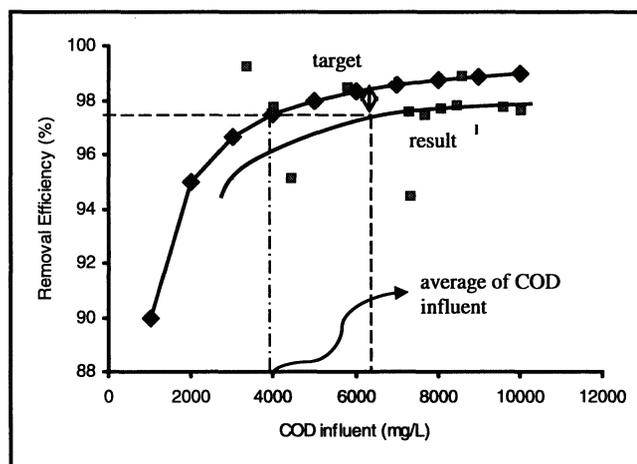


Figure 3.

Efficiency of research and target of standard (100 mg/L)

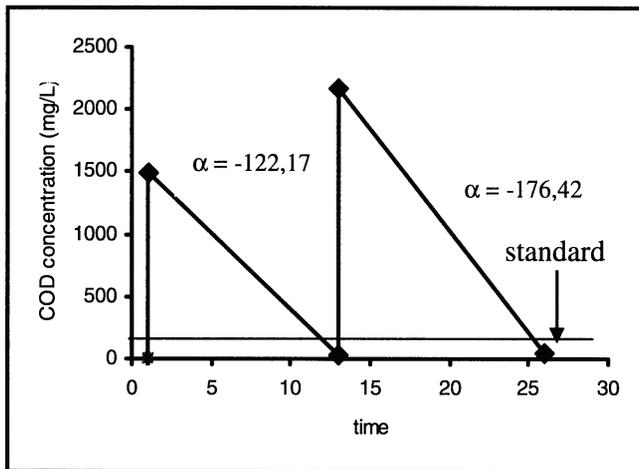


Figure 4.
COD removal at batch mode

Gradien penurunan konsentrasi COD cenderung meningkat jika limbah yang diolah dinaikkan. Hal ini disebabkan oleh kinerja mikroorganisme yang lebih besar pada awal proses untuk COD influen yang lebih tinggi.

Penyisihan Nitrogen

Konsentrasi nitrogen menunjukkan penurunan yang signifikan dengan efisiensi penyisihan 83.43 %. Penurunan sebagian besar terjadi pada tahap sistem lumpur aktif, sedangkan pada ABR hanya sedikit (Gambar 5). Penyisihan nitrogen sangat kecil karena pertumbuhan mikroorganisme di reaktor anaerobik sangat lambat sehingga pengambilan nitrogen sebagai bahan matrik tubuhnya juga kecil (Baloch dan Akunna, 2002). Penyebab lainnya adalah terjadi proses denitrifikasi pada sekat akhir, tetapi konsentrasi nitrat hanya

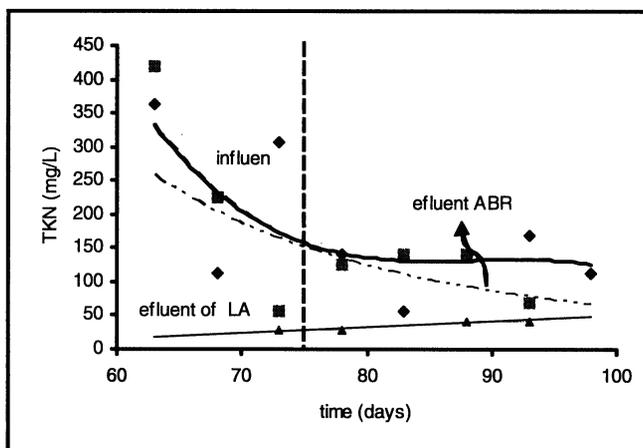


Figure 5.
Nitrogen removal at continuous mode

kecil sehingga kontribusi terhadap total penyisihan nitrogen juga kecil. Menurut Bernet *et al.* (2000), pada saat nitrogen oksida tidak ada atau konsentrasinya rendah maka bahan organik terutama dikonversi menjadi biogas dan terjadi peningkatan konsentrasi metana sedangkan proporsi gas nitrogen menurun.

Proses biokimia pada sistem lumpur aktif adalah nitrifikasi, amoniak yang dihasilkan selama anaerobik bereaksi dengan oksigen dan dihasilkan nitrat. Namun demikian, proses tersebut tidak menambah penyisihan nitrogen karena hanya terjadi perubahan bentuk senyawa.

Pada awal penerapan mode kontinyu (Gambar 5, daerah A) penyisihan nitrogen banyak terjadi pada sistem lumpur aktif. Kandungan bahan organik pada effluen ABR yang masih tinggi sangat membantu proses biokimia di dalam lumpur aktif. Keberadaan bahan organik dan nitrogen tersebut memicu pertumbuhan lumpur aktif dan meningkatkan efisiensi sistem lumpur aktif.

Penurunan COD influen mengakibatkan penurunan nitrogen relatif stabil tetapi proporsi penyisihan nitrogen pada ABR dan lumpur aktif hampir sama. Penurunan tersebut menyebabkan banyak sel mati dan melepaskan ion atau unsur yang dapat berfungsi seperti oksigen dan selanjutnya terjadi denitrifikasi. Sebaliknya pada tahap lumpur aktif, pertumbuhan lumpur aktif menurun karena bahan organik dari ABR sangat kecil.

Penyisihan nitrogen untuk mode *batch* mencapai 38 % - 50 % setelah limbah berada dalam sistem selama 12 hari. Meskipun penyisihan nitrogen kecil tetapi bentuk senyawa baru sudah tidak toksik karena sudah dalam bentuk nitrat (N-NO₃). Senyawa ini dalam jumlah kecil akan menguntungkan biota air. Pembatas nitrogen yang digunakan dalam baku mutu limbah cair yaitu amoniak.

Perubahan pH

Perubahan pH merupakan salah satu indikasi adanya proses biokimia dalam sistem kombinasi ABR dan lumpur aktif. Selama proses pengolahan limbah, senyawa-senyawa asam dirubah menjadi senyawa yang netral atau bahkan cenderung basa. Pada sekat pertama pH cenderung rendah kemudian naik pada sekat berikutnya yang menunjukkan bahwa proses asidogenesis dan metanogenesis berlangsung secara terpisah (Bell dan buckley, 2003). Selama tahap lumpur aktif pH menunjukkan nilai yang lebih tinggi yang menunjukkan ada proses penghilangan nitrogen (Bernet *et al.*, 2000). Nilai pH berubah dari kisaran 5,0-6,0 menjadi 7,0 – 8,0 baik pada mode operasi kontinyu maupun *batch*. Ditinjau dari aspek teknologi pengolahan limbah, pH disekitar netral akan lebih aman bagi lingkungan tempat limbah dibuang.

KESIMPULAN

1. Kombinasi *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) dan sistem lumpur aktif efektif untuk mengolah limbah tahu yang mempunyai COD kurang dari 5.000 mg/L.
2. Untuk mengolah limbah tahu dengan COD tinggi, sistem ini perlu ditingkatkan efisiensinya sampai minimal 98 %.
3. Dari aspek teknologi pengolahan limbah, mode operasi kontinyu terbukti lebih baik dibanding mode operasi *batch*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Lembaga Penelitian UGM yang telah mendanai penelitian ini melalui Anggaran Dana Masyarakat UGM tahun 2004.

DAFTAR PUSTAKA

- Pusteklim. 2002. *Teknologi Pengolahan Limbah*. Yayasan Dian Desa-JICA, Jogjakarta.
- APHA. 1992. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 15th ed. American Public Health Association, New York.
- Baloch, M.I. and J.C. Akunna. 2002. *Simultaneous Denitrification and Anaerobic digestion in Granular Bed Baffled Reactor (GRABBR)*. CSCE/ASCE Environmental Engineering Conference. Niagara Falls, Canada.
- Bell, J. and Buckley, C.A. 2003. *Treatment of a Textile Dye in the anaerobic Baffled Reactor*. Water SA., 29 : 129-134.
- Bernet, N., N. Delgenes, J. C. Akunna, J. P. Delgenes dan R. Maletta. 2000. *Combined Anaerobic-Aerobic SBR for The Treatment of Piggery Wastewater*. Wat. Res. 34(2) : 611-619.
- Bodik, I, K. Kratochvil, B. Herdova, G. Tapia and Gasparikova. 2002. *Municipal wastewater treatment in the anaerobic-aerobic baffled filter reactor at ambient temperature (abstract)*. Wat. Sci & Tech, Vol 46 No 8: 127-135.
- Damanhuri, T.P., N. Halim, dan S. Nurtiono. 1997. *The Role of Effluent recirculation in Increasing Efficiency of Anaerobic and Aerobic Wastewater Treatment of Tofu Industry*. Proceedings of the Indonesian Biotechnology Conference, Jakarta.
- Djajadiningrat, R.A. dan Wisjuprpto. 1991. *Bioreaktor Pengolahan Limbah Cair*. Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan perencanaan, ITB, Bandung.
- Hutncaronan, M, Drtil, M. Mrafkova, L., Derco, J., Buday, J. 1998. *Comparison fo Starup and Anaerobic Wastewater Treatment in UASB, Hybrid and Baffled reactor*. Bioprocess Engineering, Vol. 21, Issue 5 : 439-445
- Shiades, T.V. dan Lyberatos, G. 1998. *The Periodic Anaerobic Baffled Reactor*. Wat. Sci. Tech. , 38 (8-9) : 401-408.
- Stuckey, D.C, Plum, J. dan Frese, L. *The Treatment of Industrial Wastewater in an Anaerobic Baffled Reactor(ABR): Acclimation and Microbial Ecology Using 16s rRNA Molecular Probes*. www.ce.ic.ac.uk/common_room/files/des2.pdf, akses : 12 April 2003.
- Sumantri, T., Sumarno, Nugroho, A., Istadi, Buchori, L. ——. *Pengolahan Limbah Cair Industri Kecil Batik dengan Bak Anaerobik Bersekat (Anaerobic Baffled Reactor)*. www.undip.ac.ad/riset/riset_pub/plhlpn.htm#1, akses : 12 April 2003
- Trismilah, R.D., Estui, W., Retno, W.K., Niknik, N. dan Sumaryanto. 2001. *Pemanfaatan Limbah Cair Tahu sebagai Medium dan Pengaruhnya terhadap Pertumbuhan Bakteri Penghasil Ensim Protease*. Proseding Seminar Keanekaragaman Hayati dan Aplikasi Bioteknologi Pertanian. BPPT, Jakarta.
- Wagiman, Atris, S dan Jumeri. 2001. *Optimasi Kebutuhan Lumpur Aktif untuk Proses Pengolahan Limbah Cair pada Sentra Industri Tahu “Ngudi Lestari*. Lembaga Penelitian UGM, Jogjakarta.
- Wagiman, Suryandono dan Pujo S. 2003. *Optimasi Pembebanan Organik dan Waktu tinggal Hidrolik pada Proses Pengolahan Limbah Cair Tahu dengan Menggunakan Anaerobic Baffled Reactor (ABR)*. Lembaga Penelitian UGM, Jogjakarta.
- Yuan, Z., H. Bogoert, M. Devisscher, P. Vanrolleghem dan W. Verstraete. 1999. *On-line Estimation of The Maximum Specific Growth Rate of Nitrifier in Activated Sludge Systems*. Biotech.Bioeng. 65 (3):265-271.