

APLIKASI PROSES BIOLOGI ANAEROBIK PADA PENGOLAHAN AIR LIMBAH ORGANIK BERKONSENTRASI GARAM TINGGI

“STUDI KASUS INDUSTRI UME BOSHI”

Oleh : Ikbal

Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan, Badan Pengkajian Dan Penerapan Teknologi (BPPT)

Abstract

Anaerobic treatment of wastewater with high organic and salt content but low pH (TOC, 14 g/l; salt, 150 g/l; pH, 2.7) generated during an “ume boshi” manufacturing process was investigated. Five-fold-diluted “ume boshi” effluent was treated by a draw-and-fill method at a volumetric TOC (total organic carbon) loading rate of 3.0 g/l/d with a TOC removal efficiency of 75%. Five-fold-diluted “ome boshi” effluent was also treated in an anaerobic fluidized-bed reactor (AFBR) at a maximum volumetric TOC loading rate of 3.0 g/l/d, which gave almost the same results as the draw-and-fill method. However, ten-fold-diluted “ome boshi” effluent could be treated in the AFBR at a maximum volumetric TOC loading rate of 11 g/l/d with a TOC removal efficiency of 85%. The methane content in the evolved gas was high, being 70%. The red pigment in the “ome boshi” effluent was completely decolorized by the anaerobic treatment.

Key words : Anaerobic fluidized-bed reactor, “Ume boshi” Co^{2+} and Ni^{2+} ions, decolorization

1. PENDAHULUAN

Pengolahan biologi anaerobik atau fermentasi metana adalah proses pengolahan limbah yang dikenal tidak saja hemat energi, tetapi sekaligus proses yang menghasilkan energi berupa gas metana hasil penguraian bahan-bahan pencemar organik dalam limbah. Namun disisi lain, proses fermentasi metana konvensional mempunyai kelemahan, yaitu lambatnya reaksi penguraian polutan.

Untuk mengatasi kendala diatas berbagai cara telah dilakukan, diantaranya meningkatkan konsentrasi mikroba dalam bioreaktor. Konsentrasi mikroba yang tinggi akan mempercepat reaksi penguraian senyawa organik kompleks dalam limbah. Untuk maksud diatas, dari tahun 1980 mulai dikembangkan beberapa bioreaktor tipe baru. Seperti bioreaktor yang dilengkapi dengan bahan isian untuk media tumbuh serta melekatnya mikroba dan bioreaktor yang merangsang mikroba didalamnya untuk saling melekat sesamanya membentuk gumpalan “flock”. Bioreaktor yang termasuk jenis pertama adalah anaerobic fluidized-bed reactor (AFBR) ^{1, 2} dan upflow anaerobic filter process (UAFP) ^{3, 4}, sedangkan jenis terakhir adalah upflow anaerobic sludge blanket (UASB) ^{5, 6}. Dengan menggunakan bioreaktor AFBR, penulis juga telah melakukan penelitian bagaimana mempercepat reaksi penguraian pada pengolahan limbah organik

berpolutan sangat tinggi yaitu kandungan BOD 80.000 mg/l ⁷. Disamping mengembangkan bentuk bioreaktor, usaha lain untuk mempercepat reaksi adalah dengan memisahkan proses pembentukan asam (acidification process) dan proses pembentukan gas (gasification process), dimana masing-masing tahap proses dilakukan secara terpisah ⁸. Penulis juga pernah melakukan cara ini untuk mengolah limbah organik padat “coffee waste” dalam bentuk “slurry” ⁹. Disamping cara-cara diatas, dewasa ini juga dilakukan usaha dengan menambahkan mineral-mineral anorganik tertentu seperti Ni^{2+} dan Co^{2+} kedalam air limbah yang akan berfungsi sebagai ko-enzim pada proses penguraian, sehingga dapat mempercepat reaksi pengolahan ^{7, 10}.

“Ume boshi” adalah makanan khas Jepang dari buah tanaman “ume”. Buah “ume” berbentuk bulat, ukurannya kira-kira sebesar ibu jari dan umumnya dikonsumsi setelah diolah dengan proses pengasaman dan pengasinan. Air limbah “ume boshi” adalah limbah cair yang dihasilkan oleh industri pengolahan buah “ume” menjadi makanan “ume boshi”. Limbah cair “ume boshi” adalah limbah organik yang sangat spesifik, karena disamping polutan organiknya, limbah ini juga mengandung garam NaCl dalam jumlah sangat tinggi serta berwarna merah. Karena sifat khas tersebut limbah ini sangat sukar diolah dengan proses biologi konvensional. Sebagian besar limbah “ume boshi” masih dibuang

kelaut (sea dumping). Namun dengan sudah berlakunya traktat London yang memuat klausul tentang larangan membuang limbah ke laut, maka sangat mendesak dicarikan teknologi pengolahannya yang tepat, sehingga tidak mencemari lingkungan.

Tulisan ini memaparkan hasil penelitian pengolahan air limbah industri "ume boshi" dengan proses fermentasi metana. Penelitian dilakukan secara "batch" dengan metoda "draw-and-fill" pada bioreaktor berpengaduk mekanik dan secara kontinyu memakai bioreaktor AFBR.

2. BAHAN DAN METODA

2.1 Air Limbah

Tabel 1 adalah komponen air limbah "ume boshi" yang diperoleh dari salah satu industri pengolahan "ume boshi" di Tokyo, Jepang.

Tabel 1 : Komponen air limbah "ume boshi".

Material organik (mg/l)	:	33.890
BOD (mg/l)	:	27.000
Total karbon organik	:	14.080
Asam organik (mg/l)	:	10.330
NaCl (mg/l)		150.000
NH ₄ ⁺ (mg/l)		80
PO ₄ ³⁻ (mg/l)		190
PH (-)		2,7

Seperti terlihat pada table 1, air limbah "ume boshi" mempunyai konsentrasi garam NaCl sangat tinggi, sebaliknya derajat keasamannya (pH) sangat rendah. Limbah mengandung pigmen merah "new coccine" atau lebih dikenal dengan nama dagang "Edible Red" 102. Untuk mengurangi dampak negatif garam NaCl terhadap kinerja proses pengolahan, maka air limbah sebelum diumpungkan kedalam bioreaktor, diencerkan 5 kali dan 10 kali pengenceran dengan air ledeng (tap water).

2.2 Mikroba

Mikroba anaerobik yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari bioreaktor anaerobik pengolahan lumpur organik limbah domestik kota Komamoto, Jepang. Sebelum digunakan, mikroba diaktifkan atau diaklimatisasi selama beberapa bulan di laboratorium universitas Kumamoto, Jepang.

2.3 Media isian (support medium)

Sebagai bahan isian bioreaktor AFBR dipakai senyawa silika "cristobalite", mempunyai diameter 0.35-0.5 mm. "Cristobalite" memiliki keunggulan dibanding beberapa bahan isian lain yang pernah diuji, yaitu disamping mempunyai luas permukaan besar juga bermuatan listrik positif pada kondisi anaerobik, sehingga mikroba lebih mudah menempel pada permukaannya^{11, 12}.

2.4 Unsur-unsur mineral

Ion-ion Ni²⁺ dan Co²⁺ dalam jumlah mikro dapat meningkatkan aktifitas mikroba anaerobik. Unsur-unsur logam ini berfungsi sebagai katalisator (co-enzyme) pada proses penguraian senyawa asetat menjadi gas metana^{7, 10}. Asetat merupakan produk antara pada proses penguraian senyawa organik kompleks menjadi gas metana. Karena air limbah "ume boshi" tidak mengandung ion-ion tersebut, maka kedalam air limbah segar (sebelum diencerkan) ditambahkan senyawa NiCl₂.6H₂O dan CoCl₂.6H₂O, masing-masing sebesar 2.47 mg Ni²⁺/l dan 1.24 mg Co²⁺/l.

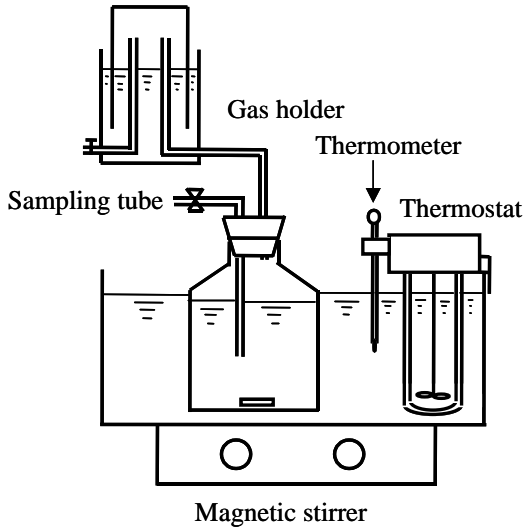
2.5 Peralatan penelitian

2.5.1 Pengolahan secara batch

Gambar 1 adalah rangkaian peralatan pengolahan air limbah "ume boshi" secara "batch" dengan metoda draw-and-fill. Sebagai bioreaktor digunakan botol gelas bermulut lebar, mempunyai volume kerja 400 ml dan dilengkapi penutup dari karet yang diberi dua buah lobang. Lobang pertama berfungsi sebagai tempat keluar biogas dan lobang kedua untuk tempat sampling. Mula-mula kedalam botol dimasukkan kultur mikroba sebanyak 400 ml, kemudian botol ditutup rapat. Botol dimasukkan kedalam wadah air pemanas (water bath) yang dilengkapi dengan alat kontrol suhu. Pengadukan cairan dalam bioreaktor dilakukan dengan pengaduk magnet.

Selama penelitian berlangsung suhu dipertahankan pada 37°C (kondisi "mesophilic") dan kecepatan pengadukan 300 rpm. Biogas yang terbentuk mengalir ketempat penampungan gas (gas holder). Pengambilan cairan dan pemasukan limbah baru dari dan kedalam bioreaktor dilakukan secara "draw-and-fill", yaitu cairan didalam bioreaktor diambil dalam jumlah tertentu, kemudian limbah segar dalam jumlah yang sama dimasukkan kedalam bioreaktor. Untuk melihat pengaruh beban total karbon organik

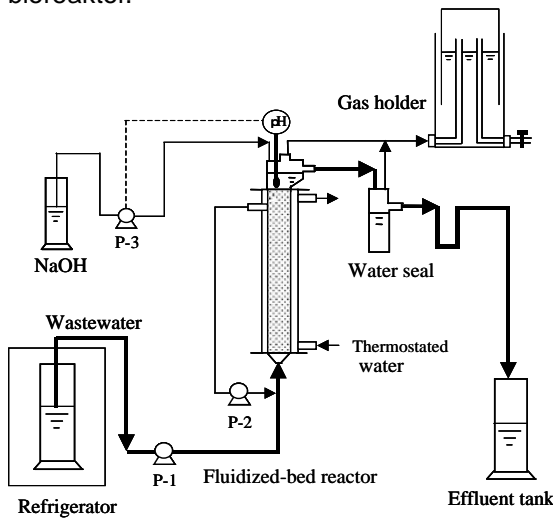
(TOC loading rate) terhadap kinerja proses, volume "draw-and-fill" dinaikkan secara bertahap.



Gambar 1 : Rangkaian peralatan pengolahan air limbah anaerobic secara "batch" dengan metoda "draw-and-fill".

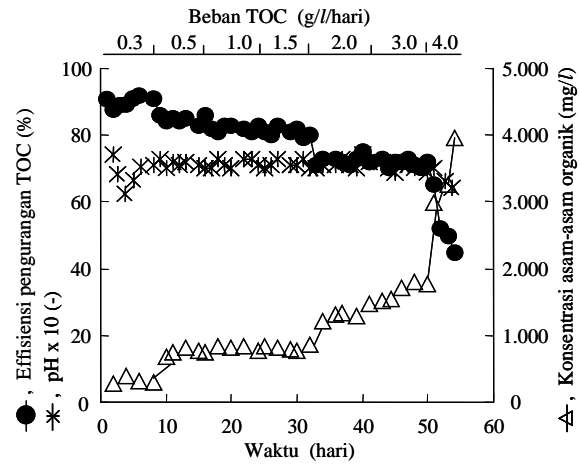
2.5.2 Pengolahan kontinyu dengan AFBR

Gambar 2 adalah skema rangkaian alat proses pengolahan air limbah secara kontinyu. Bioreaktor AFBR mempunyai volume kerja 450 ml, diameter bagian dalam 30 mm dan tinggi 500 mm. Bioreaktor terdiri atas zona pengendapan pada bagian atas dan zona fluidisasi pada bagian bawah. Selama penelitian, suhu dipertahankan 37 °C dengan sirkulasi air pemanas melalui jaket bioreaktor.



Gambar 2. Rangkaian peralatan pengolahan air limbah anaerobik secara kontinyu dengan bioreaktor jenis "anaerobic fluidized-bed reactor"

Air limbah "ume boshi" disimpan dalam ruangan berpendingin untuk mencegah terjadinya proses pembusukan. Kedalam bioreaktor dimasukkan butiran "crystalite" sebanyak 90 g (20 w/v%) dan kultur mikroba sampai bioreaktor penuh. Cairan didalam bioreaktor disirkulasi dari bagian atas ke dasar bioreaktor dengan pompa P-2 (RP-30 Tokyo Rika Co., Tokyo) untuk homogenisasi dan mengangkat atau memfluidisasi media isian. Air limbah "ume boshi" diumpankan secara kontinyu kedalam bioreaktor dengan pompa P-1 (SJ-1211H, ATTO, Tokyo). Air olahan mengalir secara "over flow" ketangi "effluent" setelah melewati kolam "water seal" untuk memisahkan gas dan cairan. Biogas selanjutnya ditampung didalam "gas holder". pH cairan dalam bioreaktor dikontrol dengan pH kontrol (HB-96K2, Denki Kagaku Keiki Co. Ltd., Tokyo), dipertahankan agar tetap diatas 7 dengan mengalirkan larutan 1 N NaOH melalui pompa P-3 (SJ-1211L, ATTO, Tokyo). Untuk melihat pengaruh beban total karbon organik (TOC loading rate) terhadap kinerja AFBR, maka laju alir air limbah dinaikkan secara bertahap. Sedangkan efek konsentrasi garam diteliti dengan cara memperbesar tingkat pengenceran air limbah.



Gambar 3. Data-data harian pengolahan air limbah "ume boshi" 5 kali pengenceran dengan proses anaerobic secara "batch".

2.6 Analisa

Semua parameter, kecuali pH yang dianalisa adalah supernatannya. Supernatan diperoleh dengan cara memisahkan padatan dalam cairan dengan alat sentrifugator (MLX-150, TOMY, Tokyo), yang dioperasikan pada kecepatan 10.000 rpm selama 10 menit. TOC (total organic carbon) diukur menggunakan TOC autoanalyzer (TOC-500; Shimadzu, Kyoto). Asam-asam organik (volatile

fatty acids), meliputi asam format, asetat, propionat, butirrat dan asam valeriat dianalisa dengan metoda post-label method. Asam-asam organik dalam cairan limbah direaksikan dengan larutan bromothymol blue, kemudian diukur pada gelombang 450 nm dengan alat detektor (detector model 870-UV; Japan Spectroscopic Co. Ltd., Kyoto) setelah asam-asam organik dalam limbah difraksinasi dengan HPLC (high-performance liquid chromatography/ 880-PU, 860-CO; Japan Spectroscopic Co. Ltd.) menggunakan kolom (Shim-pack SCR-101H; Shimadzu, Kyoto). pH cairan diukur dengan pH meter (HM-25G, DKK-TOA, Co., Tokyo). Kandungan gas CH₄ dan CO₂ dalam biogas diukur dengan menggunakan TCD gas chromatography (KOR-2G; Gasukuro Kogyo Inc., Tokyo) memakai kolom Porapak Q (Gasukuro Kogyo Inc., Tokyo).

Untuk mendapatkan data-data yang representatif pada setiap beban TOC yang diteliti, maka penelitian pada beban TOC tersebut dilangsungkan selama 7-10 hari.

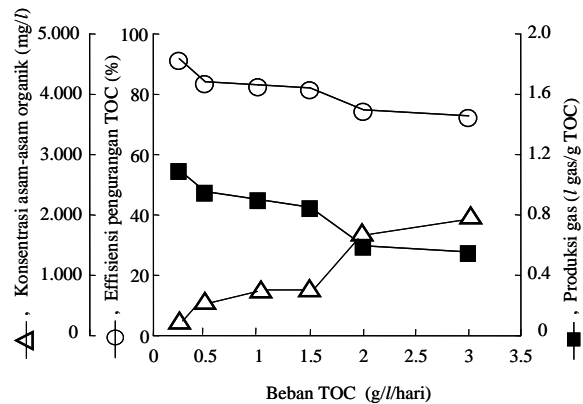
3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Proses "batch" dengan metoda draw and-fill

Dari penelitian yang pernah dilakukan diketahui bahwa kandungan NaCl maksimum dalam air limbah yang masih dapat diolah dengan proses anaerobik adalah 30 g/l¹³. Berdasarkan data tersebut maka pada penelitian ini air limbah "ume boshi" diencerkan sampai konsentrasi NaCl mencapai 30 g/l, yaitu 5 kali pengenceran. Gambar 3 adalah grafik hasil pengamatan dan analisa harian proses pengolahan. Penelitian dimulai pada beban TOC (TOC loading rate) 0.3 g/l/d, kemudian beban TOC dinaikan secara bertahap sampai 4.0 g/l/d (sebelah atas gambar). Seperti disajikan dalam grafik, sehari setelah pengumpanan air limbah, pH didalam bioreaktor turun secara drastis. Hal ini diduga terjadi karena pH air limbah yang diumpangkan sangat rendah, yaitu 2.7. Untuk mengatasi hal ini, pH air limbah sebelum diolah dinaikan sampai 7.0 dengan menambahkan 1 N NaOH. Dengan menaikkan pH air umpan, pH didalam bioreaktor kembali normal dan dapat dipertahankan disekitar 7.0 selama penelitian berjalan. Pada beban TOC 0.3 g/l/d, efisiensi pengurangan TOC sangat tinggi mencapai 92% dan hampir semua asam-asam organik dikonversi menjadi biogas. Sampai beban TOC 1.5 g/l/d, efisiensi pengurangan TOC dapat dipertahankan diatas 80% dan konsentrasi asam-asam organik juga rendah berkisar 800 mg/l. Beban TOC sampai

3 g/l/d, proses masih berjalan stabil. Tetapi dengan menaikkan beban TOC sampai 4 g/l/d, sebagaimana terlihat pada gambar 3, efisiensi pengurangan TOC turun secara drastis akibat akumulasi asam-asam organik. Pada beban ini kestabilan proses tidak dapat dipertahankan, kemudian penelitian dihentikan. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa beban TOC maksimum yang dapat dicapai pada pengolahan air limbah "ume boshi" 5 kali pengenceran secara "batch" dengan metoda "draw-and-fill" adalah 3 g/l/d.

Gambar 4 adalah data-data yang representatif hasil percobaan pada tiap-tiap beban TOC yang teliti. Secara umum terlihat, kenaikan beban TOC menyebabkan efisiensi pengolahan menurun. Efisiensi pengurangan TOC turun menjadi 75% pada beban TOC 3 g/l/d. Produksi biogas juga turun sampai 0.55 l/g-TOC umpan, atau setengahnya bila dibandingkan produksi biogas saat penelitian dimulai pada beban TOC 0.3 g/l/d. Konsentrasi gas metana dalam biogas sangat tinggi antara 65-70% (tidak disajikan dalam gambar).



Gambar 4 : Pengaruh beban TOC terhadap efisiensi pengolahan air limbah "ume boshi" 5 kali pengenceran dengan proses anaerobik secara "batch".

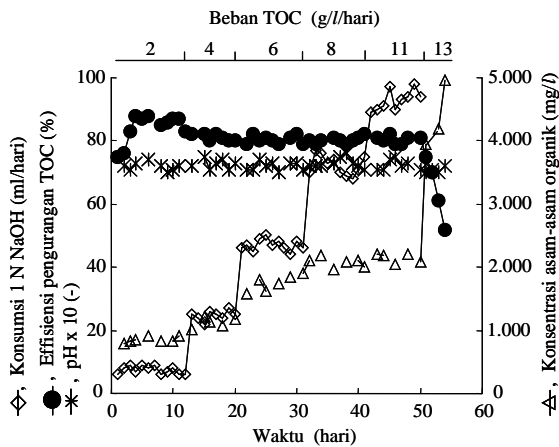
3.2 Proses kontinyu dengan AFBR

Mula-mula yang diteliti adalah air limbah "ume boshi" setelah pengenceran 5 kali (sama seperti air limbah pada proses "batch"). Hasilnya seperti terlihat pada gambar 6, beban TOC maksimum yang bisa dicapai adalah 3 g/l/d. Pada kondisi ini, efisiensi pengurangan TOC sebesar 75%. Beban TOC maksimum ini sama dengan beban TOC maksimum yang bisa diperoleh pada proses secara "batch". Rendahnya beban TOC maksimum ini diduga karena pengaruh akumulasi ion Na⁺ didalam bioreaktor, yang berasal

dari NaOH yang ditambahkan untuk menaikkan pH dan dari garam NaCl yang dikandung air limbah “*ume boshi*” itu sendiri.

Untuk mengurangi pengaruh negatif ion Na⁺ terhadap kinerja proses, maka konsentrasi NaOH dalam air limbah diturunkan lagi dengan memperbesar pengenceran, yaitu menjadi 10 kali pengenceran. Percobaan dengan air limbah baru ini dimulai pada beban TOC 2 g/l/d, kemudian beban dinaikkan secara bertahap sampai beban maksimum yang bisa dicapai. Data-data pengamatan dan analisa harian adalah seperti terlihat pada gambar 5.

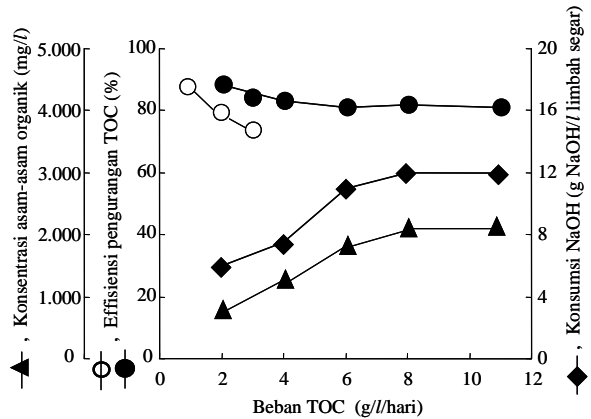
Hasil yang diperoleh dengan air limbah baru ini sangat kontras bila dibandingkan dengan air limbah 5 kali pengenceran. Disini dapat dilihat, meskipun beban TOC dinaikkan secara bertahap sampai 11 g/l/d namun efisiensi pengolahan tetap tinggi, sekitar 85% TOC yang masuk bioreaktor dapat didegradasi.



Gambar 5 : Pengaruh beban TOC terhadap efisiensi pengolahan air limbah “*ome boshi*” 10 kali pengenceran dengan proses anaerobik menggunakan bioreaktor jenis AFBR secara kontinyu.

Akomulasi asam-asam organik sampai 2.000 mg/l tidak mempengaruhi kinerja mikroba. Kebutuhan larutan 1 N NaOH pada beban TOC 2 g/l/d sekitar 10 ml/hari dan naik menjadi sekitar 90 ml/hari pada beban TOC 11 g/l/d. Dengan menaikkan beban TOC sampai 13 g/l/d, efisiensi pengolahan turun secara drastis yang mengakibatkan kestabilan proses tidak dapat dipertahankan.

Gambar 6 adalah rangkuman hasil penelitian dengan bioreaktor AFBR. Bulan putih adalah hasil percobaan pada air limbah “*ume boshi*” 5 kali pengenceran, sedangkan warna hitam adalah hasil penelitian pada air limbah 10 kali pengenceran.



Gambar 6. Pengaruh pengenceran air limbah “*ume boshi*” terhadap efisiensi pengolahan dengan bioreaktor jenis AFBR secara kontinyu.

Simbol: symbol terbuka, air limbah 5 kali pengenceran; symbol tertutup, air limbah 10 kali pengenceran.

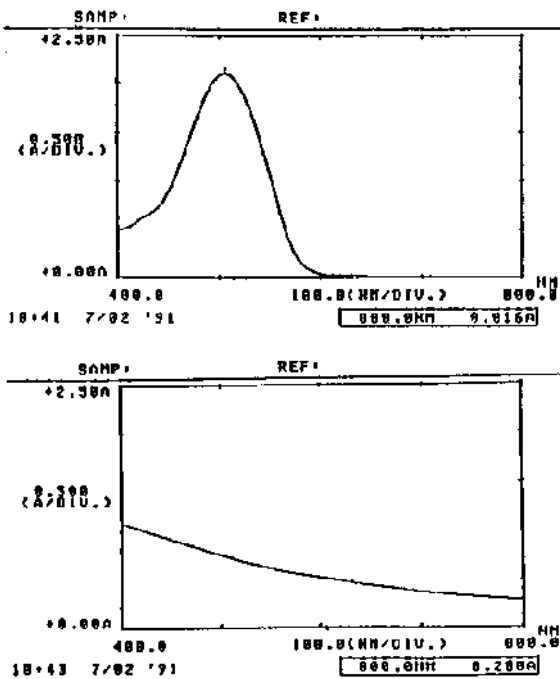
Pada gambar 6 terlihat, beban TOC maksimum yang bisa diolah oleh bioreaktor AFBR pada air limbah “*ume boshi*” 10 kali pengenceran meningkat hampir 4 kali bila dibandingkan beban TOC maksimum pada air limbah 5 kali pengenceran. Disamping itu, efisiensi pengurangan TOC juga naik 5 sampai 10% pada beban TOC yang sama. Konsumsi NaOH cukup tinggi, pada beban TOC 11 g/l/d dibutuhkan NaOH sebanyak 12 g per liter air limbah segar sebelum diencerkan.

Dari hasil analisa air olahan diketahui bahwa konsentrasi ion Ni²⁺ dan Co²⁺ masing-masing adalah 0.025 dan 0.012 mg/l. Dari angka ini diketahui bahwa hampir 90% dari jumlah masing-masing ion yang ditambahkan, dipergunakan oleh mikroba dalam aktifitasnya untuk menguraikan polutan-polutan organik.

3.3 Penghilangan warna

Warna merah dalam air limbah “*ume boshi*” hilang sama sekali setelah proses pengolahan biologi anaerobik, baik pada proses secara “*batch*” maupun pada proses kontinyu dengan bioreaktor AFBR. Pigmen yang dipakai dalam industri pengolahan “*ume boshi*” adalah senyawa azo “*New Coccine*”, mempunyai rumus kimia C₂H₁₁O₁₀N₂S₃Na₃. Konsentrasi pigmen dalam air limbah diketahui sebesar 295 mg/l. Kemudian bila dihitung dari prosentase karbon dalam rumus kimia diatas, maka jumlah karbon (TOC) yang ada didalam pigmen adalah sebesar 117 mg/l atau 0.78% dari total TOC air limbah “*ume boshi*” sebelum diolah. Pigmen “*New Coccine*”

mempunyai sifat tahan terhadap garam tetapi sensitif terhadap alkali dan panas. Dari hasil pengukuran dengan UV meter (UV-160A; Shimadzu) diketahui pigmen ini mempunyai nilai absorban maksimum pada panjang gelombang 508 nm. Gambar 7 adalah hasil pengukuran spektrometer pada panjang gelombang 508 nm air limbah "ume boshi" sebelum diolah (atas) dan sesudah diolah (bawah). Disini terlihat jelas bahwa pada grafik analisa air limbah setelah diolah tidak ada penyerapan warna sama sekali pada panjang gelombang 508. Ini berarti bahwa warna merah senyawa azo dapat dihilangkan dengan proses biologi anaerobik.



Gambar 7. Grafik hasil pengukuran spektrometer pada pengujian warna air limbah "ume boshi" sebelum diolah (atas) dan sesudah diolah (bawah).

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian diatas dapat disimpulkan bahwa air limbah "ume boshi" setelah diencerkan 10 kali, dapat diolah dengan baik pada bioreaktor jenis AFBR. Pigmen merah senyawa azo yang dikandung air limbah dapat diuraikan secara sempurna oleh mikroba anaerobik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Jeris, J.S.: Industrial wastewater treatment

- using anaerobic fluidized-bed reactor. *Wat. Sci. Technol.*, 15, 169-176 (1983).
- Barnes, B., Bliss, P. J., Grauer, R. B., Kuo, C. H., and Robins, K.: Treatment of high strength wastewater by an fluidized-bed process. *Stud. Environ. Sci.*, 23, 559-568 (1984).
 - Song, K., and Young, J. C.: Media design factors for fixed-bed filters. *J. WPCF.*, 58, 115-121 (1986).
 - Young, J. C., and Dahab, M. F.: Effect of media design of the performance of fixed-bed anaerobic reactors. *Wat. Sci. Technol.*, 15, 369-383 (1987).
 - Lettinga, G., Roersma, R., and Grin, P.: Anaerobic treatment of raw domestic sewage at ambient temperatures using a granular bed UASB reactor. *Biotechnol. Bioeng.*, 25, 1701-1723 (1983).
 - Wiegant, W. M., and Lettinga, G.: Thermophilic anaerobic digestion of sugars in upflow anaerobic sludge blanket reactors. *Biotechnol. Bioeng.*, 27, 1603-1706 (1985).
 - Kida, K, Ikbal, Sonoda, Y., Kawase, M., and Nomura, T.: Influent of mineral nutrients on high performance during anaerobic treatment of wastewater from beer brewery. *J. Ferment. Bioeng.* 72, 54-57 (1991).
 - Ikbal, Kida, K., and Sonoda, Y.: Liquefaction and gasification during anaerobic digestion of coffee waste by two-phase methane fermentation with slurry-state liquefaction. *J. Ferment. Bioeng.* 77, 85-89 (1994).
 - Kida, K., and Ikbal: Treatment of sewage sludge by two-series digestion with liquefaction of thickened surplus sludge (in Japanese). *J. Mizu kankyou gakkaiishi*, 18, 215-221 (1995).
 - Kida, K., Shigematsu, T., Kijima, J., Numaguchi, M., Mochinaga, Y., Abe, N., and Morimura, S.: Influence of Ni^{2+} and Co^{2+} on methanogenic activity and the amounts of coenzymes involved in methanogenesis. *J. Biosci. Bioeng.*, 91, 590-595 (2001).
 - Kida, K., Morimura, S., Sonoda, Y., Obe, M., and Kondo, T.: Support media for microbial adhesion in an anaerobic fluidized-bed reactor. *J. Ferment. Bioeng.* 69, 354-359 (1990).
 - Kida, K., Morimura, S., Sonoda, Y., and Yanoh, T.: The importance of the surface charge on support media for microbial adhesion. *J. Ferment. Bioeng.* 73, 323-325 (1992).
 - Ikbal.: Pengaruh garam NaCl terhadap kinerja proses biologi anaerobik. *J. Air Indonesia.* 1, No. 2 (2005). (Dalam proses penerbitan).