

PENGARUH VARIASI WAKTU RETENSI HIDROLIS REAKTOR ANOKSIK TERHADAP BIODEGRADASI ZAT WARNA AZO REAKTIF MENGGUNAKAN BIOREAKTOR MEMBRAN AEROB- ANOKSIK

Puti Sri Komala¹⁾, Naraina Ananthi¹⁾, Agus Jatnika Effendi¹⁾,
IG. Wenten²⁾, Wisjnuprpto¹⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

²⁾ Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung
Jalan Ganesha 10, Bandung 40132

E-mail: putisrikomala@ft.unand.ac.id

Abstrak

Zat warna azo merupakan grup zat warna sintesis organik yang paling banyak digunakan dalam aplikasi komersial. Masuknya komponen ini ke dalam lingkungan tidak diinginkan, tidak hanya karena warna yang ditimbulkan tetapi juga karena beberapa zat warna azo dan produk penguraianya bersifat toksik dan mutagenik bagi kehidupan. Dalam penelitian ini digunakan bioreaktor membran konsekutif aerob anoksik untuk biodegradasi zat warna azo. Bioreaktor terdiri dari reaktor kontak dan stabilisasi yang beroperasi pada kondisi aerob dan reaktor anoksik yang dihubungkan dengan membran ultrafiltrasi secara eksternal. Umpan terdiri dari zat warna azo Remazol Black-5 pada konsentrasi 150 mg/L dan ko-substrat limbah industri tempe sebagai sumber organik. Percobaan dilakukan dengan HRT tangki kontak dan stabilisasi pada 2 dan 4 jam, dan ($\frac{1}{2}$, 1 dan $1\frac{1}{2}$) jam untuk anoksik. Dari percobaan optimasi ko-substrat diperoleh perbandingan volume limbah industri tempe terhadap umpan 8% memberikan penyisihan TOC maksimum dan pertumbuhan biomassa yang optimum. Penyisihan warna yang stabil terjadi pada percobaan dengan HRT tangki anoksik $1\frac{1}{2}$ jam. Penyisihan warna melalui membran menghasilkan konsentrasi warna yang relatif konstan. Penyisihan TOC terjadi baik di tangki anoksik, kontak maupun stabilisasi. Percobaan ini menghasilkan efisiensi penyisihan warna yang berkisar antara 77-81% dan efisiensi TOC 89-93%.

Abstract

Influence of hydraulic retention time variation of anoxic reactor on reactive azo dye biodegradation using aerobic-anoxic membrane bioreactor. Azo dyes, represent the largest class of synthetic dyes used in commercial applications. The release of these compounds into the environment is undesirable, not only because of their colour, but also because many azo dyes and their breakdown products are toxic and/or mutagenic to life. This research used consecutive aerobic-anoxic membrane bioreactor for azo dye biodegradation. The bioreactor consists of contact and stabilization reactors operated in aerobic condition and anoxic compartment coupled to external ultrafiltration membrane. Feed consists of Remazol Black-5 in concentration of 150 mg/L and co-substrate of tempe industry wastewater. Experiments were carried out with hydraulic retention time (HRT) in 2, 4 and ($\frac{1}{2}$, 1 and $1\frac{1}{2}$) hours in contact, stabilization and anoxic compartments respectively. From co-substrate optimization experiments, 8%v/v tempe industry wastewater resulted maximum TOC removal and optimal biomass growth. The stable color reduction in bioreactor occurred in anoxic compartment with HRT $1\frac{1}{2}$ hrs. Color reduction through membrane resulted relative constant color concentrations. The significant TOC removal took place both in anoxic, contact and stabilization reactors. The experiments resulted color- and TOC removal efficiencies in range of 74-81% and 85-93% respectively.

Key words: membrane bioreactor, aerobic-anoxic treatment, hydraulic retention time (HRT), azo dye

1. Pendahuluan

Zat warna azo merupakan grup zat warna sintesis organik yang paling banyak digunakan dalam aplikasi komersial. Salah satu zat warna, yang sering digunakan dalam katun dan serat selulosa adalah zat warna reaktif, yang dapat membentuk ikatan kovalen antara molekul-molekul warna dan serat-serat yang umumnya selulosa. Sekitar 50% dari zat warna yang digunakan terdapat dalam efluen proses pencelupan [8]. Masuknya komponen ini ke dalam lingkungan tidak diinginkan, tidak hanya karena warna yang ditimbulkan tetapi juga karena beberapa zat warna azo dan produk penguraiannya bersifat toksik dan mutagenik bagi kehidupan.

Pemutusan ikatan azo dapat dimediasi oleh mikroorganisme fakultatif, obligat anaerob atau dalam kondisi mikroaerofilik [2],[3]. Namun dari penelitian Keck [4], Wisjnuaprpto [11], Lodato [6] diperoleh bahwa mikroorganisme aerob dapat memutuskan zat warna azo dalam kondisi anaerob. Meskipun proses anaerob merupakan proses yang efektif untuk penghilangan warna, namun proses ini memerlukan volume hidrolis yang sangat tinggi khususnya untuk air buangan tekstil yang mengkonsumsi air dalam jumlah yang besar. Sementara itu juga dibutuhkan peralatan khusus untuk menjaga kondisi anaerob. Sebaliknya pengolahan dengan sistem aerob-anoksik lebih mudah dilakukan, karena pengolahan anoksik dapat dilakukan pada kondisi operasi yang sama dengan pengolahan aerob [9].

Percobaan dengan modifikasi kontak-stabilisasi pada kondisi aerob-anoksik menghasilkan efisiensi COD sebesar 63% dan warna 96% [11]. *Azoreductase* merupakan enzim yang berperan dalam pemutusan warna yang diinduksi oleh penggunaan ko-substrat *yeast extract* dan limbah industri tempe. Penelitian ini merupakan penelitian awal dari penelitian biodegradasi zat warna azo menggunakan bioreaktor membran konsekutif aerob-anoksik yang terdiri dari reaktor kontak dan stabilisasi yang beroperasi pada kondisi aerob dan reaktor anoksik yang dihubungkan dengan membran ultrafiltrasi secara eksternal [5]. Dalam penelitian ini pengaruh variasi waktu retensi hidrolis pada tangki anoksik pada bioreaktor membran aerob-anoksik terhadap penyisihan warna akan diamati.

2. Metode Penelitian

Mikroorganisme. Dalam percobaan ini digunakan mikroorganisme tercampur yang berasal dari campuran lumpur aktif yang berasal dari instalasi pengolahan air buangan industri tekstil dan industri zat warna. Mikroorganisme ditumbuhkan dalam air limbah industri tempe sebagai ko-substrat dan zat warna, yang

akan digunakan selanjutnya sebagai cadangan dan untuk percobaan.

Ko-substrat dan zat warna. Ko-substrat diperlukan dalam proses pemutusan warna, karena zat warna merupakan senyawa toksik yang tidak dapat digunakan langsung sebagai substrat. Ko-substrat yang digunakan adalah limbah industri tempe yang mempunyai kandungan sumber karbon organik dan nutrient yang cukup untuk pertumbuhan mikroorganisme. Kandungan yang ada dalam 10% limbah industri tempe dibandingkan dengan *yeast extract* dapat dilihat pada Tabel 1. Konsentrasi parameter organik COD yang ada dalam limbah industri tempe berkisar antara 1.764 – 3.785 mg/L, dimana kandungan ini dapat menggantikan *yeast extract* (4 gr/L) dengan konsentrasi COD yang berkisar antara 3.296-3.692 mg/L [13].

Tabel 1. Perbandingan kandungan yeast extract dan limbah industri tempe [13]

Parameter	4 gr/L Yeast extract (mg/L *)	Limbah. Tempe 10%v/v (mg/L)
COD	3.296-3.692	1.764-3.785
TOC		400-856
pH		4
N-total	308-392	19,1-106,9
P-total	1,99-2,49	0,237
Ca	4,80	0,164
Mg	8,00	0,174
K	0,132	1,281
Na	< 0,02	0,0187
Fe	0,20	0,0145

Jenis zat warna yang digunakan dalam penelitian ini adalah zat warna azo reaktif Remazol Black-5 yang mempunyai panjang gelombang 640 nm dengan konsentrasi antara 150-163 mg/L. Ko-substrat dan zat warna azo reaktif Remazol Black-5 selanjutnya digunakan untuk seeding mikroorganisme dan sebagai umpan dalam percobaan. Ko-substrat optimum, berkisar antara 8%-10% v/v limbah industri tempe terhadap larutan total, yaitu jumlah konsentrasi ko-substrat dimana pertumbuhan mikroorganisme dan penyisihan TOC optimum pada saat mikroorganisme dibubuhkan zat warna selama masa pengamatan 24 jam.

Kondisi Operasional Percobaan. Percobaan ini dilakukan dengan skala laboratorium. Reaktor terdiri dari tangki kontak, tangki stabilisasi yang beroperasi dalam kondisi aerob dan tangki anoksik, masing-masing mempunyai volume kerja sebesar 4L, 8L dan 3L. Di antara tangki kontak dan tangki stabilisasi dihubungkan dengan modul membran eksternal. Jenis membran yang digunakan adalah jenis ultrafiltrasi hollow fiber terbuat dari bahan polysulfone dan

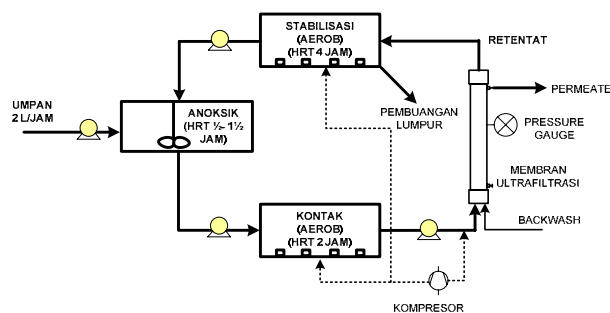
memiliki MWCO 20 kDa dan luas membran 1 m² dengan pengaliran *crossflow*, dimana pengaliran umpan sejajar (axial) dengan permukaan membran. Pada bagian dasar tangki kontak dan stabilisasi dilengkapi dengan difuser untuk pengaliran udara yang berasal dari kompresor. Tangki anoksik dilengkapi mixer yang digerakkan motor dengan putaran 40 rpm.

Umpan yang terdiri dari zat warna dan ko-substrat limbah industri tempe dialirkan dari tangki umpan dengan laju aliran 2 L/jam ke dalam tangki anoksik melalui pompa peristaltik. Selama waktu retensi antara ½-1½ jam larutan biomassa diaduk dalam tangki anoksik dengan mixer secara merata, dimana DO pada tangki ini berkisar antara 0,2-0,4 mg/L. Larutan biomassa tersuspensi dari tangki anoksik lalu dipompakan ke dalam tangki kontak, dimana disini biomassa diaerasi dengan DO berkisar antara 5-6 mg/L dengan HRT 2 jam. Pada tangki ini dilakukan pengaturan pH dengan pembubuhan NaOH, karena limbah industri tempe bersifat asam. Dari tangki kontak larutan biomassa lalu dipompakan ke dalam membran dengan tekanan 0,1-0,2 Bar. Pada bagian keluaran pompa sebelum masuk ke dalam modul membran, aliran umpan yang berasal dari tangki kontak dimasukkan udara bertekanan dari kompresor agar terjadi turbulensi biomassa dengan udara yang dapat menimbulkan *scouring* pada permukaan membran, sehingga fouling dapat diminimasi. Hasil penyaringan membran keluar sebagai permeat dan retentat berupa konsentrasi biomassa dialirkan ke dalam tangki stabilisasi dimana dalam tangki ini biomassa kembali diaerasi dengan HRT 4 jam dan DO berkisar antara 5-6 mg/L. Pembuangan biomassa sebesar 125 mg/L dilakukan setiap hari pada tangki stabilisasi untuk menjaga agar waktu retensi solid konstan. Terakhir, larutan biomassa dari tangki stabilisasi diresirkulasikan kembali dengan pompa ke dalam tangki anoksik, demikian seterusnya secara kontinu. Skema instalasi bioreaktor membran konsektif aerob anoksik dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Backwash, yaitu pengaliran berlawanan arah aliran normal dengan memasukkan air bersih dari permeat ke arah umpan yang dilakukan setiap harian. Fluks setelah pencucian secara periodik diukur. Pengamatan dilakukan setiap hari dengan mengukur DO, pH, temperatur, MLVSS dan konsentrasi warna pada masing-masing bak anoksik, kontak, stabilisasi dan permeat dari membran. Setelah kondisi tunak MLVSS, konsentrasi warna, dan TOC berturut-turut di setiap reaktor diukur.

Metoda Analisis. Kinerja bioreaktor membran aerob-anoksik dimonitor melalui hasil analisis sampel-sampel influen, efluen dan larutan tercampur yang diambil dari tangki umpan, anoksik, kontak, stabilisasi dan permeat membran berturut-turut. Pengukuran TOC, COD,

MLVSS dan warna dilakukan dengan kombusi 600°C, metoda refluks terbuka, gravimetri (dikeringkan pada suhu 105°C kemudian dilanjutkan pada suhu 600°C) dan spektrofotometer UV-vis pada warna, sesuai dengan Standard Method for the Examination of Water and Wastewater [1].

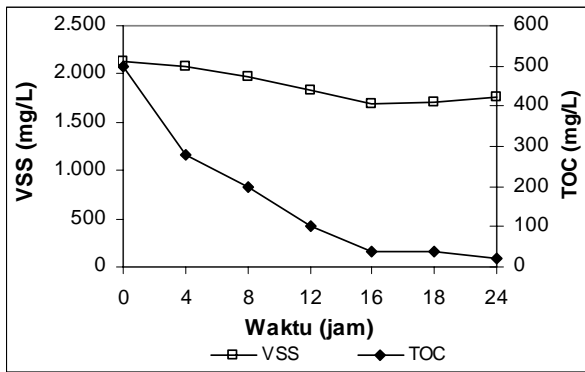


Gambar 1. Skema instalasi bioreaktor membran konsektif aerob-anoksik

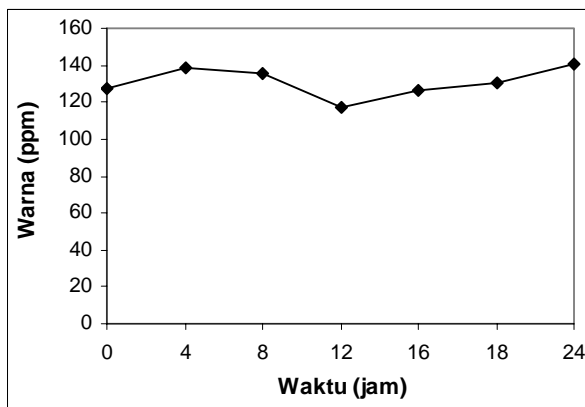
3. Hasil dan Pembahasan

Optimasi ko-substrat. Ko-substrat limbah industri tempe optimum sebesar 8% v/v (TOC 500 mg/L) diperoleh dengan pertumbuhan biomassa (VSS) mencapai 1.754 mg/L dan penyisihan TOC 96% (20 mg/L) setelah 24 jam dibubuhkan zat warna dengan konsentrasi 120 mg/L (Gambar 2), sedangkan penambahan ko-substrat 10% v/v limbah industri tempe (TOV 700 mg/L) menghasilkan VSS sebesar 2.117 mg/L dan penyisihan TOC 90% (60 mg/L) (Gambar 3). Meskipun pada awal percobaan (0-16 jam) terjadi penurunan biomassa setelah pembubuhan warna, namun setelah itu biomassa mulai beradaptasi terhadap warna yang ditandai dengan peningkatan jumlah biomassa. Sebaliknya, terjadi fluktuasi penyisihan warna selama 24 jam dan tidak terjadi penyisihan warna yang signifikan selama percobaan.

Pengaruh Variasi Waktu Retensi Hidrolis (HRT) Anoksik. Pada percobaan ini digunakan tiga variasi waktu retensi hidrolis reaktor anoksik yaitu ½, 1 dan 1½ jam pada HRT tangki kontak dan stabilisasi 2 dan 4 jam. Percobaan dilakukan secara kontinu pada masing-masing HRT sampai tercapai kondisi tunak. Pengamatan harian dilakukan untuk parameter MLVSS dan konsentrasi warna pada masing-masing bak anoksik, kontak, stabilisasi dan permeat dari membran. Setelah kondisi tunak selain parameter MLVSS dan konsentrasi warna, juga dilakukan pengukuran TOC berturut-turut di setiap reaktor sampai besarnya perbedaan konsentrasi tidak signifikan lagi.



(a)



(b)

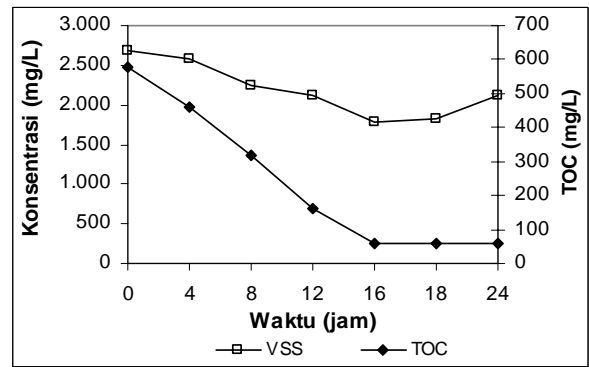
Gambar 2.(a) Pertumbuhan mikroorganisme (VSS) dan penyisihan TOC serta penyisihan warna (b) pada konsentrasi zat warna awal 120 mg/L dengan ko-substrat limbah industri tempe 8% v/v

Pada tekanan operasi yang relatif rendah yaitu 0,1 bar, fluks pada awal percobaan (HRT ½ jam) adalah 1,53 L/m² jam, setelah HRT 1 jam fluks turun menjadi 1,48 L/m² jam dan pada HRT terakhir (1½ jam) fluks menjadi 0,84 L/m² jam, sedangkan permeabilitas membran yang pada awalnya 15,28 L/m²jam.bar menjadi 8,47 L/m²jam.bar pada akhir percobaan. Jika dibandingkan dengan fluks membran dengan menggunakan air bersih yaitu sekitar 22 L/m²jam, maka fluks percobaan telah mengalami penurunan meskipun dilakukan backwash dengan air bersih setiap hari. Hal ini diperkirakan karena masuknya solid dari biomassa ke lapisan pori atau bagian dalam membran, sehingga terjadi penyumbatan yang dapat menurunkan fluks dan tidak dapat dihilangkan hanya dengan backwash.

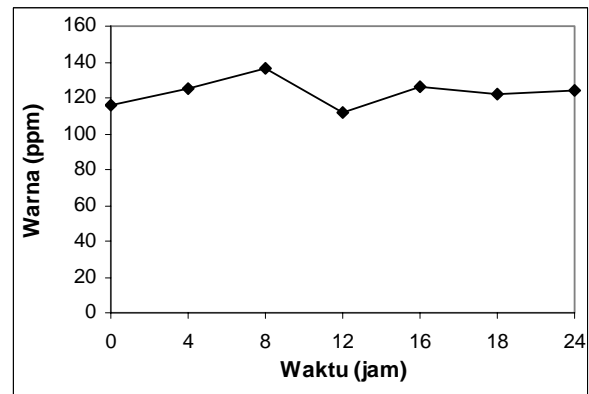
Konsentrasi Biomassa pada Bioreaktor Membran.

Konsentrasi biomassa yang dinyatakan dalam parameter VSS jumlahnya relatif meningkat dengan meningkatnya waktu retensi hidrolis (HRT) baik di tangki anoksik, kontak maupun stabilisasi. Ko-substrat

limbah industri tempe terdiri dari campuran material koloid, tersuspensi dan terlarut.



(a)



(b)

Gambar 3.(a) Pertumbuhan mikroorganisme (VSS) dan penyisihan TOC serta penyisihan warna (b) pada konsentrasi zat warna awal 120 mg/L dengan ko-substrat limbah industri tempe 10% v/v

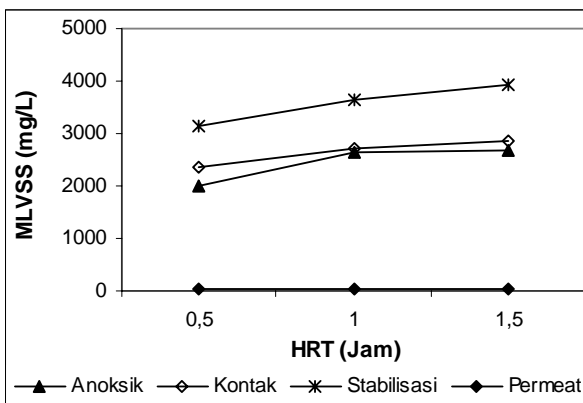
Fluks dan Permeabilitas Membran

Material tersuspensi dan koloid dalam umpan atau limbah industri tempe ini turut berkontribusi terhadap konsentrasi MLVSS dalam tangki anoksik, dimana material tidak terlarut ini disisihkan melalui adsorpsi pada permukaan flok dan terperangkap dalam struktur flok. Setelah beberapa saat diaerasi material tidak terlarut disolubilisasi dan selanjutnya dimetabolisasi. Meskipun DO pada tangki anoksik sangat rendah, namun dengan peningkatan HRT kandungan oksigen yang ada cukup untuk memetabolisasi ko-substrat terlarut untuk pertumbuhan, namun laju pertumbuhan di tangki anoksik tidak setinggi pertumbuhan dalam tangki kontak serta tangki stabilisasi. Menurut Benefield dan Randall (1980) diasumsikan bahwa seluruh material tidak terlarut diadsorbsi pada tangki kontak dan dimetabolisasi di tangki stabilisasi. Adanya pertumbuhan biomassa di masing-masing reaktor tersebut karena adanya degradasi material biodegradabel baik terlarut maupun tidak terlarut dari ko-substrat oleh biomassa. Adanya warna di dalam

medium tidak mempengaruhi pertumbuhan mikroba, selama ko substrat tersedia. Hal ini pun dikemukakan oleh Lodato [6], Méndez-Paz [7], Sponza [10] pada proses anaerob maupun kombinasi anaerob-aerob. Konsentrasi biomassa di tangki kontak maupun tangki stabilisasi secara keseluruhan mengalami peningkatan dibandingkan konsentrasi biomassa di tangki anoksik (Gambar 4).

Peningkatan signifikan terjadi di tangki stabilisasi yang mencapai MLVSS 3.900 mg/L, sedangkan konsentrasi biomassa di tangki anoksik dan tangki kontak lebih kecil dari 3.000 mg VSS/L. Diperkirakan karena masih besarnya fraksi tidak terlarut ko-substrat yang belum disolubilisasi di tangki kontak oleh biomassa yang ada.

Biomassa yang disisihkan setelah melalui membran dapat dikatakan hampir stabil, meskipun konsentrasi biomassa umpan sebelum masuk ke dalam membran cukup berfluktuasi. Rejeksi biomassa tertinggi berkisar antara 98-99%, yang tertinggi dicapai pada HRT anoksik 1½ jam dengan konsentrasi VSS permeat 28 mg/L. Efisiensi penyisihan VSS yang tinggi pada BRM diperoleh karena membran mempunyai ukuran pori efektif <1 µm yang jauh lebih kecil dari bakteri patogen dan virus dalam lumpur.

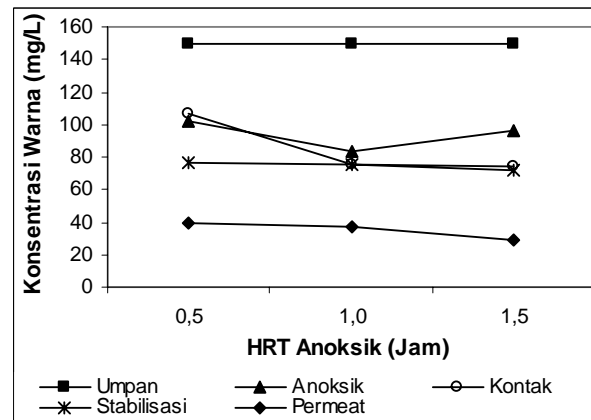


Gambar 4. Konsentrasi biomassa pada bioreaktor membran

Penyisihan Warna. Seperti pada rejeksi biomassa, konsentrasi warna Remazol Black-5 yang dihasilkan pada permeat membran relatif konstan yaitu berkisar antara 29-51 mg/L dari umpan awal 150 mg/L dengan penyisihan sebesar 74-81% (Gambar 5).

Pemutusan warna terbesar terjadi pada reaktor anoksik, namun di beberapa kasus terjadi kenaikan konsentrasi warna kembali di tangki kontak, terutama pada HRT ½, kemungkinan pada saat ini sebagian ko-substrat tidak terlarut di tangki kontak mulai disolubilisasi setelah adanya aerasi, sehingga zat warna yang terserap dan terperangkap pada ko-substrat dilepaskan ke

medium yang menyebabkan kenaikan konsentrasi warna.



Gambar 5. Penyisihan warna pada berbagai variasi HRT anoksik

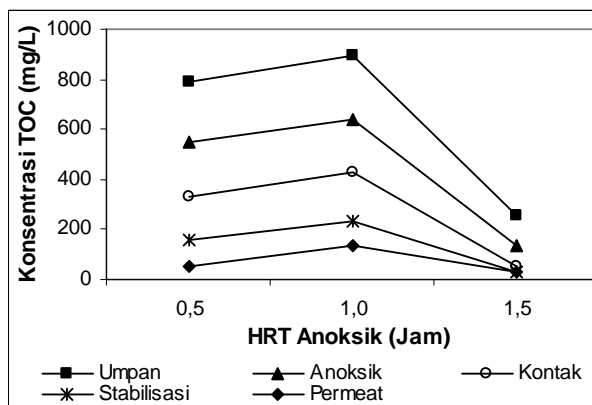
Pengolahan zat warna melalui proses aerob umumnya tidak dapat berlangsung dengan efisien karena senyawa ini seringkali bersifat rekalsitran bagi bakteri aerob, namun jika mikroorganisme aerob tersebut berada pada kondisi mikroaerofilik, zat warna tersebut dapat diputuskan lebih cepat [3]. Pada HRT 1½ jam penyisihan warna yang terjadi lebih stabil di setiap reaktor, namun penyisihan warna terbesar terjadi di reaktor anoksik. Selain pada tangki anoksik, pada tangki kontak dan tangki stabilisasi pun terjadi penyisihan warna meskipun besarnya penyisihan tidak sebesar pada tangki anoksik.

Pada awal percobaan backwash tidak dilakukan setiap hari, sehingga baik penyisihan warna maupun rejeksi solid yang dihasilkan kurang baik, namun setelah dilakukan *backwash* secara rutin setiap hari setelah minggu kedua, konsentrasi warna permeat turun secara signifikan. Diperlukan sistem *backwash* yang lebih baik dengan perioda yang lebih singkat, agar dihasilkan kualitas permeat yang lebih baik.

Penyisihan TOC. Konsentrasi TOC pada umpan bervariasi antara 253-893 mg/L tergantung dari kekentalan air limbah industri tempe. Pengukuran TOC di setiap percobaan HRT dilakukan setelah kondisi tunak, dimana konsentrasi warna di setiap reaktor telah relatif stabil selama tiga hari berturut-turut.

Efisiensi penyisihan bioreaktor membran berkisar antara 85-93%. Penyisihan TOC terjadi di seluruh tangki bioreaktor baik tangki anoksik, kontak maupun stabilisasi, namun rejeksi membran terutama pada konsentrasi TOC rendah tidak terlalu signifikan (Gambar 6).

Selama percobaan HRT 1½ jam terdapat rejeksi TOC yang mencapai 100% (data tidak diperlihatkan). Dengan semakin meningkatnya HRT tangki anoksik, waktu untuk melarutkan material ko-substrat tidak terlarut semakin tinggi, sehingga memungkinkan biomassa untuk mendegradasi senyawa terlarut tersebut.



Gambar 6. Penyisihan TOC pada berbagai variasi HRT anoksik

Konsentrasi TOC permeat berkisar antara 27-133 mg/L, dimana HRT 1½ jam menghasilkan konsentrasi TOC yang terendah. Meskipun TOC awal lebih rendah (253 mg/L) pada HRT 1½ jam, namun konsentrasi warna yang dihasilkan pada permeat tidak jauh berbeda dengan TOC awal yang tinggi (893 mg/L). TOC umpan yang lebih tinggi tidak mempengaruhi tingkat penyisihan warna.

Percobaan saat ini masih dilanjutkan menggunakan variasi HRT anoksik lebih tinggi, selain itu pada percobaan berikutnya dapat digunakan konsentrasi TOC umpan dengan konsentrasi yang rendah.

4. Kesimpulan

Percobaan biodegradasi zat warna azo remazol black dengan konsentrasi 150 mg/L dan TOC antara 253-893 mg/L menggunakan bioreaktor membran aerob-anoksik menghasilkan efisiensi penyisihan warna yang berkisar antara 74-81% dan efisiensi TOC 85-93%. Penyisihan warna yang paling stabil terjadi pada percobaan dengan HRT tangki 1½ jam, selain itu melalui membran dihasilkan konsentrasi warna yang relatif konstan. Penyisihan TOC terjadi baik di tangki anoksik maupun tangki kontak maupun tangki stabilisasi. Pada HRT anoksik lebih lama menjadikan waktu untuk melarutkan material ko-substrat tidak terlarut semakin tinggi, sehingga memungkinkan biomassa untuk mendegradasi senyawa terlarut tersebut. Pencucian periodik pada modul membran dapat meningkatkan kualitas permeat. Dalam penelitian

ini diperlukan sistem backwashing dengan perioda yang lebih pendek.

DAFTAR ACUAN

- [1] American Public Health Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Eaton, A.D., Clesceri, L.S., Greenberg, A.E., (Eds.), 19th ed., Washington D.C, 1995.
- [2] Chung KT, Stevens SE., The reduction of azo dyes by the intestinal microflora. Crit Rev Microbiol; 18:175-90, 1992.
- [3] Hu, TL., Degradation of azo dyes RP2B by *Pseudomonas luteola*. Water Sci Technol; 38:299-306, 1998.
- [4] Keck, A., Klein, J., Kudlich, M., Stolz, A., Knackmuss, H.J., Mattes, R., Reduction of azo dyes by redox mediators originating in the naphthalenesulfonic acid degradation pathway of *Sphingomonas* sp. Strain BN6., Applied and Environmental Microbiology 63, 3684-3690, 1997.
- [5] Komala, P.S., Wisjnuaprpto, I.G. Wenten, Pengolahan zat warna azo menggunakan Bioreaktor membran konsekutif aerob anaerob. Prosiding Seminar Rekayasa Kimia dan Energi Alternatif, Semarang, 25 - 26 Juli 2007, 2007.
- [6] Lodato, A., Alfieri, F., Olivieri, G., Di Donato, A., Marzocchella, A. dan Salatino, P., Azo-dye conversion by means of *Pseudomonas sp.OX1*. Enzyme and Microbial Technology, doi:10.1016/j.enzmictec. 2007.05.017, 2007.
- [7] Méndez-Paz, D., Omil, F., Lema, J.M., Anaerobic treatment of azo dye Acid Orange 7 under batch conditions. Enzyme and Microbial Technology 36, 264-272, 2005
- [8] Shore J., Dyeing with reactive dyes. In Cellulosics Dyeing, ed. J. Shore. The Alden Press, Oxford, Manchester, UK, 1995.
- [9] Smith, B., O'Neal, G., Boyter, H. and Pisczek, J., Decolorizing textile dye wastewater by anoxic/aerobic treatment, Journal of Chemical Technology and Biotechnology 82, pp. 16-24, 2007.
- [10] Sponza, D.T., İşik, M., Decolorization and azo dye degradation by anaerobic/aerobic sequential process. Enzyme and Microbial Technology 31 (2002) 102-110, 2002.
- [11] Wisjnuaprpto, Kardena, E., Ali, A., Suhardi, S., Removal of Textile Azo Dyes using Bacteria and Activated Carbon. Workshop on Environmental Technology Diffusion in the Asia-Pacific Region, in Yokkaichi City-Japan, March 7 - 8, 2002.