

PENGGUNAAN LIMBAH TEMPE DALAM BIODEGRADASI ZAT WARNA AZO MENGGUNAKAN BIOREAKTOR MEMBRAN AEROB-ANAEROB

Puti Sri Komala^{1*}, Agus Jatnika Effendi¹, I G. Wenten², dan Wisjnuprpto¹

¹ Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

² Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung

Jalan Ganesha 10 Bandung 40132

Email : putisrikomala@ft.unand.ac.id

Abstrak

Limbah tempe merupakan salah satu limbah yang masih memiliki nilai ekonomis, karena kandungan senyawa organik dan nutrisi yang terdapat didalamnya masih relatif tinggi jika dibandingkan dengan *yeast extract*. Dalam penelitian ini limbah tempe digunakan sebagai ko-substrat untuk penyisihan zat warna azo dari industri tekstil dengan menggunakan bioreaktor membran aerob-anaerob. Bioreaktor terdiri dari modifikasi proses lumpur aktif yaitu proses kontak-stabilisasi yang dihubungkan dengan reaktor anoksik dan dikombinasikan dengan membran ultrafiltrasi secara eksternal. Umpan terdiri dari zat warna azo Remazol Black-5 pada konsentrasi 110-120 mg/L dan limbah tempe sebagai sumber organik dan nutrisi dengan konsentrasi 8-10% v/v. Percobaan dilakukan untuk mengamati pengaruh waktu retensi hidrolis (*hydraulic retention time*, HRT) tangki kontak terhadap penyisihan warna dengan variasi HRT tangki kontak antara 1, 1½, 2, 2½ dan 3 jam, sedangkan tangki stabilisasi dan anoksik pada HRT konstan 4 dan 3 jam. Dari percobaan dihasilkan penyisihan warna berkisar antara 41-51% dan penyisihan senyawa organik antara 46-65%. Baik penyisihan warna maupun senyawa organik terbesar dihasilkan pada HRT kontak 2 jam yaitu 51% untuk penyisihan warna dan 65% untuk penyisihan senyawa organik. Pada tangki kontak terjadi autoksidasi yang menyebabkan kenaikan konsentrasi warna.

Kata Kunci: limbah tempe, bioreaktor membran, waktu retensi hidrolis (HRT), tangki kontak, zat warna azo.

Abstract

Tempeh waste is a form of waste that still has an economic value, due to its relatively high organic and nutrient content compared to yeast extract. In this research, tempeh waste was used as a co-substrate for the removal of azo dye from textile industry effluent using an aerobic-anaerobic membrane bioreactor. The bioreactor consists of a modified activated sludge process, i.e. a contact-stabilization process coupled with anoxic reactor and combined with an external ultrafiltration membrane to replace the sedimentation process in conventional activated sludge process. The feed consists of Remazol Black-5 azo dye at a concentration of 110-120 mg/L, and tempeh waste as an organic and nutrient source at 8-10% v/v concentration. An experiment was done to measure the effect of hydraulic retention time on dye removal, by varying the HRT in the contact tank at 1, 1.5, 2, 2.5, and 3 hours, and that of stabilization- and anoxic tanks kept constant at 4 and 3 hours. From the experiment a 41-51% removal of the dye and 46-65% removal of organic compounds were obtained. The highest dye and organic compound removal was obtained at a contact HRT of 2 hours, namely 51% of dye removal and 65% of organic removal efficiencies. An auto-oxidation process occurs in the contact tank, resulting in an increase in the dye concentration.

Keywords: tempeh waste, membrane bioreactor, Hydraulic Retention Time (HRT), contact tank, azo dye.

*korespondensi

1. Pendahuluan

Tempe merupakan salah satu dari makanan tradisional Indonesia yang sangat dikenal sebagai sumber protein yang kaya akan lemak sehat, vitamin dan lain-lain (Murata dkk., 1967). Limbah yang dihasilkan masih dapat dimanfaatkan untuk pengolahan biologi yang membutuhkan penambahan senyawa organik dan nutrien eksternal. Zat warna merupakan senyawa rekalsitran dan tidak mudah digunakan sebagai sumber karbon oleh mikroorganisme untuk pertumbuhan (Hsueh dkk., 2009). Oleh karena itu penambahan sumber karbon eksternal sebagai ko-substrat diperlukan untuk mendukung pertumbuhan dalam proses dekolonisasi warna (Padmavathy dkk., 2003). Pada proses pematuan warna diperlukan substrat-substrat sederhana seperti glukosa, pati, asetat, etanol serta sumber organik kompleks, seperti *yeast extract*, pepton atau kombinasi sumber organik kompleks dan karbohidrat (Pandey dkk., 2007). *Yeast extract* merupakan suplemen yang paling efektif untuk mendapatkan efisiensi penyisihan warna yang lebih tinggi (Khehra dkk., 2005). Namun biaya *yeast extract* ini sangat mahal terutama jika digunakan dalam percobaan kontinu terlebih pada skala industri. Untuk itu diperlukan bahan pengganti yang lebih murah namun dengan kandungan yang tidak jauh berbeda.

Limbah tempe telah digunakan sebagai kosubstrat pada pengolahan zat warna azo RO16 menggunakan modifikasi proses kontak-stabilisasi (Wisjnuaprpto dkk., 1999) dan Reactive Black V menggunakan proses *sequencing batch biofilm reactor* (SBBR) (Wahyuni dkk., 2003). Berdasarkan hasil penelitian tersebut dalam penelitian ini dikembangkan bioreaktor membran (BRM) aerob-anaerob untuk penyisihan zat warna azo. Bioreaktor terdiri dari modifikasi proses lumpur aktif kontak-stabilisasi yang dihubungkan dengan reaktor anoksik dan dikombinasikan dengan membran ultrafiltrasi secara eksternal. Kinerja bioreaktor membran aerob-anaerob menggunakan limbah tempe sebagai ko-substrat untuk penyisihan zat warna azo diuji. Selain itu juga diamati pengaruh perubahan HRT tangki kontak terhadap kinerja BRM pada HRT anoksik dan stabilisasi yang konstan.

2. Metodologi

Mikroorganisme

Percobaan ini menggunakan mikroorganisme tercampur yang berasal dari instalasi pengolahan air buangan industri tekstil Daliatex Bandung dan industri warna. Dystar Cilegon.

Ko-substrat dan zat warna

Pada percobaan batch sebelumnya diperoleh kosubstrat limbah tempe optimum berkisar antara 8%-10% v/v limbah industri tempe terhadap larutan substrat total (Komala dkk., 2008). Kisaran ini disebabkan oleh variasi kekentalan limbah tempe yang dihasilkan pabrik. Hasil penelitian Komala dkk. (2009) tentang kandungan yang ada dalam limbah industri tempe berkadar 10% v/v dibandingkan dengan *yeast extract* 4 gr/L diperlihatkan pada Tabel 1. Konsentrasi parameter organik COD yang ada dalam limbah industri tempe yaitu 5.508 mg/L, dimana kandungan ini dapat menggantikan *yeast extract* (4 gr/L) dengan konsentrasi COD 3.167 mg/L. Zat warna yang digunakan adalah zat warna azo reaktif Remazol Black-5 yang mempunyai panjang gelombang 609 nm dengan konsentrasi berkisar antara 110-120 mg/L. Kosubstrat dan zat warna azo reaktif Remazol Black-5 selanjutnya digunakan untuk seeding mikroorganisme dan sebagai umpan dalam percobaan.

Tabel 1. Konsentrasi parameter dalam *yeast extract* dan limbah tempe

Parameter	<i>Yeast Extract</i> 4 g/L	Limbah Tempe (10% v/v)
pH	6,64	4,20
COD	3.167	5.508
TOC	1.208	1.692
F	0,1165	0,5577
Cl	15,4186	8,2314
NO ₂	14,2129	39,1161
NO ₃	1,0766	1,1919
PO ₄	65,0570	42,2659
SO ₄	23,8860	34,1298
K	159,5	248,2
Na	7,6870	8,9310
Mg	1,1560	40,28
Ca	1,9470	12,25
Fe	0,0929	1,9880
Al	0,0353	0,1260

Sumber: Komala dkk. (2009)

Kondisi Operasional Percobaan

Bioreaktor yang terbuat dari bahan *acrylic* terdiri dari tangki kontak, tangki

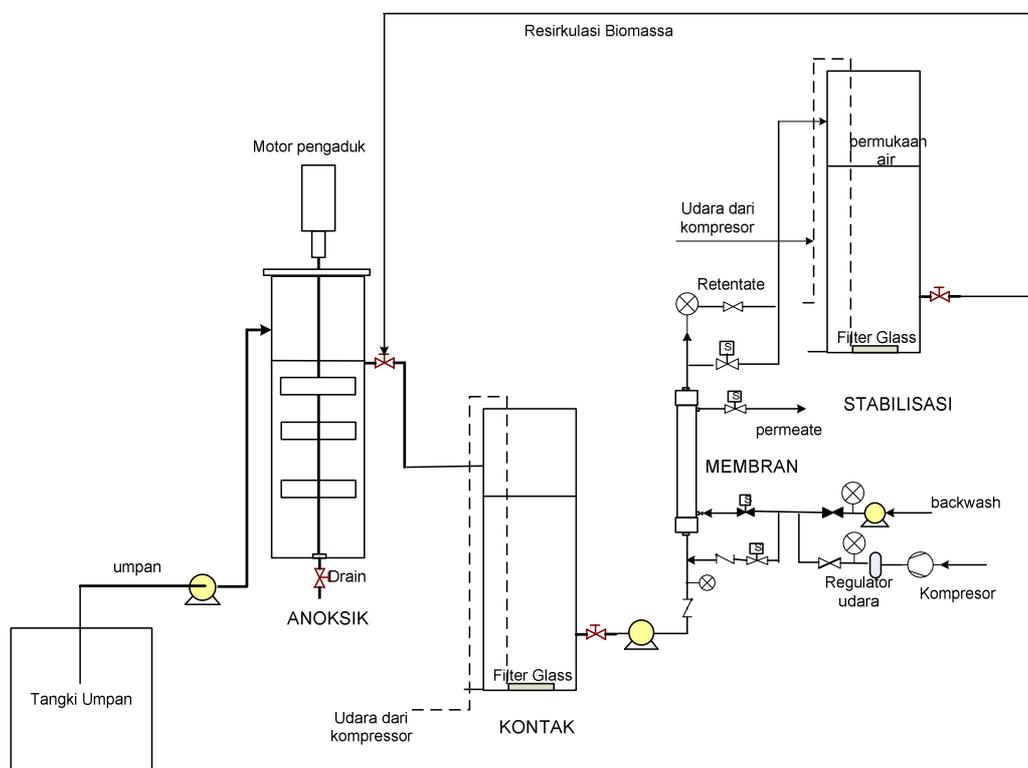
stabilisasi dan anoksik yang dihubungkan dengan membran ultrafiltrasi eksternal. Umpan terdiri dari zat warna azo Remazol Black-5 dan ko-substrat berupa limbah industri tempe sebagai sumber organik. Umpan dengan laju aliran 2 L/jam dialirkan melalui pompa ke dalam reaktor anoksik, kemudian secara gravitasi larutan biomassa dialirkan ke dalam tangki kontak. Tangki anoksik dilengkapi *mixer* yang digerakkan motor dengan putaran 40 rpm. Pada bagian dasar tangki kontak dan stabilisasi dilengkapi dengan difuser untuk pengaliran udara yang berasal dari kompresor. Dari tangki kontak larutan dipompakan ke membran dengan tekanan yang berkisar antara 0,4-1 bar, menghasilkan permeate sebagai hasil penyaringan dan retentate berupa konsentrasi biomassa yang dialirkan ke tangki stabilisasi. Jenis membran yang digunakan adalah jenis ultrafiltrasi hollow fiber terbuat dari bahan PAN (*poly acrolonitrile*) yang memiliki MWCO 100 kDa dan luas membran 0,538 m². Pengaliran dalam membran dilakukan secara *crossflow* yaitu pengaliran umpan sejajar (*axial*) dengan permukaan membran. Aliran tangki kontak ke membran dimasukkan udara dari kompresor agar

terjadi turbulensi biomassa dengan udara. *Backwash* air bersih dialirkan berlawanan arah aliran normal secara *out -in mode* dari sel ke lumen secara periodik. Interval *backwash* dikontrol dengan pengatur waktu dan katup solenoid. Biomassa dari tangki stabilisasi diresirkulasikan ke tangki anoksik bercampur kembali dengan umpan yang masuk. Perbandingan waktu filtrasi dan *backwash* diatur pada waktu 1 jam filtrasi dan 10 menit *backwash* untuk memberikan fluks yang stabil, sehingga HRT pada bioreaktor dapat dijaga pada kondisi yang diinginkan.

Skema instalasi bioreaktor membran konsektif aerob anaerob dapat dilihat pada Gambar 1.

Metoda Analisis

Kinerja bioreaktor membran aerob-anaerob dimonitor melalui hasil analisis sampel dari tangki umpan, anoksik, kontak, stabilisasi dan permeate membran. Pengukuran COD dilakukan dengan metoda refluks tertutup, MLVSS secara gravimetri dan warna dengan spektrofotometer UV-vis, sesuai dengan *Standard Method for the Examination of Water and Wastewater* (Eaton dkk., 1995).

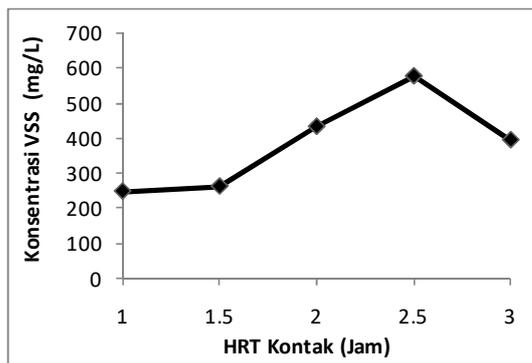


Gambar 1. Skema instalasi bioreaktor membran konsektif aerob-anaerob

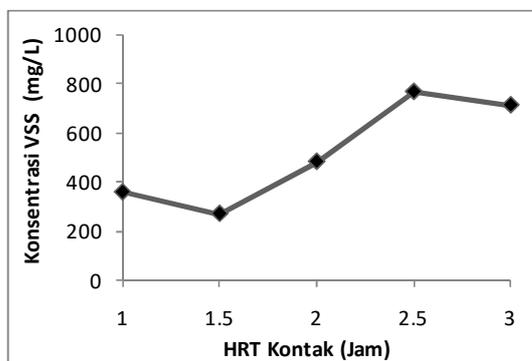
3. Hasil dan Pembahasan

Konsentrasi Biomassa pada Bioreaktor

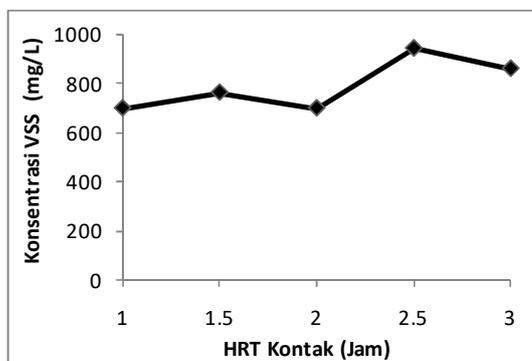
Konsentrasi biomassa yang dinyatakan dalam parameter VSS baik di tangki anoksik, kontak dan stabilisasi pada bioreaktor membran (BRM) dapat dilihat pada Gambar 2 sampai 4. Konsentrasi biomassa mulai dari tangki anoksik, kontak dan stabilisasi mengalami peningkatan demikian juga dengan peningkatan HRT sampai 2,5 jam.



Gambar 2. Konsentrasi biomassa pada tangki anoksik (pada HRT Anoksik dan Stabilisasi 3 dan 4 jam)



Gambar 3. Konsentrasi biomassa pada tangki kontak (pada HRT Anoksik dan Stabilisasi 3 dan 4 jam)



Gambar 4. Konsentrasi biomassa pada tangki stabilisasi (pada HRT Anoksik dan Stabilisasi 3 dan 4 jam)

Setelah HRT 3 jam konsentrasi biomassa mulai mengalami penurunan. Semakin singkat HRT, maka waktu kontak antara substrat dan biomassa semakin pendek. Akibatnya tidak semua substrat terserap dan dapat dioksidasi, sehingga penyisihan COD menjadi rendah.

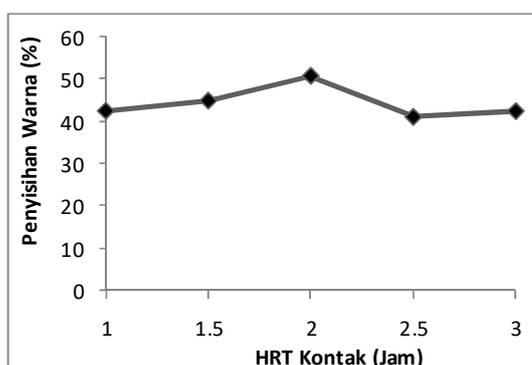
Kenaikan biomassa bertahap dari tangki anoksik ke kontak dan stabilisasi sesuai dengan kondisi oksigen terlarut (*dissolved oxygen* atau DO) rendah <0,5 mg/L ke DO yang tinggi (>1 mg/L). Diperkirakan kondisi anoksik bukan merupakan kondisi menyenangkan untuk pertumbuhan bakteri aerob, namun pada kondisi inilah zat warna dapat diputuskan oleh mikroorganisme. Seperti juga ditegaskan oleh Lodato dkk. (2007) bahwa pertumbuhan dan metabolisme karbon pada *Pseudomonas* sp.OX1 terhambat pada kondisi anaerob, namun dekolonisasi warna oleh mikroorganisme dapat dieksploitasi sepenuhnya hanya pada kondisi tanpa oksigen.

Penyisihan Warna

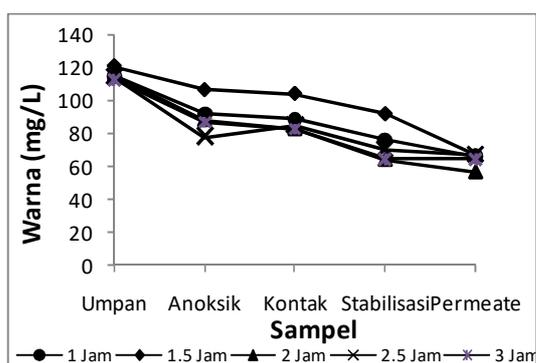
Dari tingkat penyisihan warna pada variasi HRT kontak 1 jam sampai dengan 3 jam, diperoleh HRT kontak 2 jam menghasilkan penyisihan warna optimum yaitu 51% (Gambar 5). Penyisihan warna terbesar terjadi pada tangki anoksik dan membran (Gambar 6), sedangkan pada tangki kontak penurunan warna tidak terlalu signifikan. Hasil ini juga dipertegas oleh Wisjnuprpto dkk. (2002), Khehra dkk. (2005), Smith dkk. (2007) dan Lodato dkk. (2007), bahwa mikroorganisme aerob dapat memutuskan warna dalam kondisi anaerob atau anoksik.

Mikroorganisme berperan utama dalam mekanisme pemutusan warna melalui biodegradasi maupun adsorpsi, semakin meningkatnya konsentrasi biomassa tingkat penyisihan warna pun makin tinggi baik melalui biodegradasi maupun adsorpsi. Hal ini diungkapkan pula oleh Brik dkk. (2006), bahwa terdapat hubungan yang erat antara pertumbuhan biomassa dan penyisihan warna, peningkatan laju pertumbuhan mikroorganisme menghasilkan efisiensi penyisihan warna yang lebih tinggi akibat lebih banyaknya biomassa yang dihasilkan untuk mengadsorpsi dan biodegradasi warna. Konsentrasi biomassa yang tinggi akan meningkatkan waktu retensi solid (SRT)

sistem. SRT tinggi diketahui dapat meningkatkan kinerja proses biologi, dalam penyisihan senyawa-senyawa toksik seperti nitrobenzene (Kuscu dan Sponza, 2007) dan limbah farmasi (Sipma, 2010). Konsentrasi biomassa yang tinggi pada tangki stabilisasi memperlihatkan tingkat penyisihan warna yang cukup signifikan. Sebaliknya di tangki anoksik meskipun jumlah biomassa terkecil namun penyisihan warna terbesar terjadi di tangki ini. Kejadian ini menegaskan bahwa konsentrasi biomassa yang lebih kecil dapat melakukan biodegradasi warna yang signifikan pada kondisi anoksik dibandingkan sorpsi oleh biomassa berkonsentrasi tinggi. Mohanty dkk. (2006) mengungkapkan bahwa dekolonisasi warna pada DO >1 mg/L menghasilkan penyisihan warna hanya 15%, namun pada DO 0,5 mg/L penyisihan warna hampir sempurna.



Gambar 5. Penyisihan warna terhadap variasi HRT kontak (pada HRT Anoksik dan Stabilisasi 3 dan 4 jam)



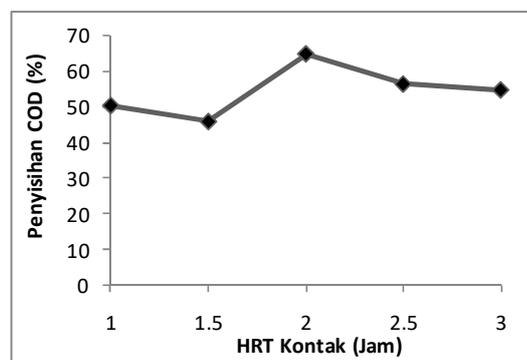
Gambar 6. Penyisihan warna pada setiap reaktor pada HRT Kontak berbeda (pada HRT Anoksik dan Stabilisasi 3 dan 4 jam)

Pada percobaan terdapat kenaikan konsentrasi warna di tangki kontak, hal ini dikarenakan terjadinya autoksidasi dari amina aromatik yang ditandai oleh peningkatan konsentrasi warna seperti juga

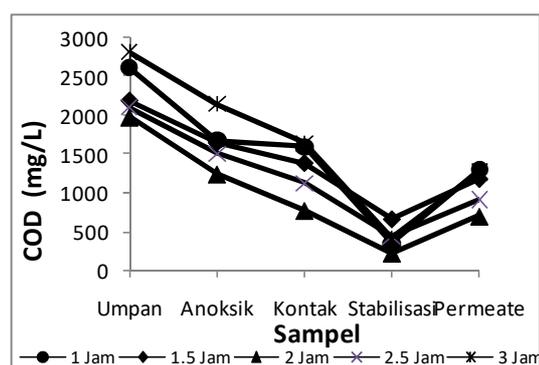
diungkapkan oleh Van der Zee dkk. (2005). Setelah melalui membran baik pada permeate maupun retentate di tangki stabilisasi konsentrasi warna kembali turun. Diperkirakan terdapat bagian membran yang berada dalam kondisi anoksik atau mempunyai DO yang rendah, sehingga memungkinkan pemutusan warna terjadi.

Penyisihan COD

Campuran limbah tempe dan zat warna yang dinyatakan dalam parameter COD dengan kisaran 2000-2800 mg COD/L dapat disisihkan dengan tingkat penyisihan COD terbesar pada HRT kontak 2 jam yaitu 65%. Penyisihan COD terjadi hampir di seluruh reaktor, termasuk membran (Gambar 7 dan Gambar 8). Pada pengolahan kombinasi anaerob-aerob umumnya penyisihan senyawa



Gambar 7. Penyisihan COD terhadap variasi HRT kontak (pada HRT Anoksik dan Stabilisasi 3 dan 4 jam)



Gambar 8. Penyisihan COD pada setiap reaktor (pada HRT Anoksik dan Stabilisasi 3 dan 4 jam)

organik terbesar terjadi pada kondisi aerob dibandingkan dengan kondisi anaerob. Namun pada percobaan ini penyisihan COD di tangki kontak tidak terlalu besar, karena COD sebelumnya telah diturunkan di tangki anoksik dengan kuantitas yang cukup

signifikan. Kalme dkk. (2007) mengungkapkan bahwa penurunan COD terbesar terjadi pada kondisi statik-anoksik saat pemutusan warna oleh bakteri *Pseudomonas desmolyticum* NCIM 2112. Penyisihan ini lebih besar dibandingkan penurunan COD pada kondisi aerob.

Tidak jauh berbeda dengan penyisihan warna, di tangki anoksik dengan jumlah biomassa terkecil, namun penyisihan COD terbesar terjadi disini. Penyisihan COD terbesar berikutnya terjadi di tangki stabilisasi dengan konsentrasi biomassa yang lebih besar. Dapat disimpulkan bahwa pengaruh sorpsi biomassa lebih kecil dibandingkan biodegradasi yang terjadi dalam kondisi anoksik. Setelah melalui membran, penurunan senyawa organik di permeate kuantitasnya cukup tinggi terhadap penyisihan keseluruhan. Membran berperan penting baik dalam kinerja penyisihan warna maupun senyawa organik pada BRM. Pemberian aerasi pada umpan membran digunakan oleh bakteri yang tumbuh di permukaan membran untuk pertumbuhannya. Kondisi aerob dan anoksik dapat terjadi akibat adanya gradient konsentrasi DO dalam flok mikroba atau biofilm yang menempel pada membran. Berdasarkan hal tersebut lingkungan mikro anoksik dapat berkembang dalam flok/biofilm, sedangkan kondisi aerob mendominasi lapisan permukaan luar. Kondisi ini menyebabkan penyisihan karbon dan warna simultan dalam membran (Li dkk., 2008). Gong dkk. (2007) memperkuat hal ini dengan menyatakan bahwa bakteri yang melekat pada material membran sebagai biofilm dapat memanfaatkan oksigen yang ditransfer langsung, sehingga kinerja BRM meningkat.

Pada percobaan HRT kontak yang lebih tinggi dimana waktu aerasi diperpanjang, tidak meningkatkan kinerja BRM khususnya penyisihan warna. Zat warna azo memiliki grup-grup penarik elektron azo (N=N) dan sulfonat ($-SO_3^-$), sehingga menghasilkan defisiensi elektron pada molekul dan menyebabkan senyawa ini sulit untuk dikatabolisme oksidatif oleh bakteri (Barragán dkk., 2007). Akibatnya senyawa azo cenderung persisten pada kondisi aerob.

4. Kesimpulan

Limbah tempe (konsentrasi 2000-2800 mg COD/L) yang digunakan sebagai kosubstrat dalam biodegradasi zat warna azo menggunakan bioreaktor membran

konsekutif aerob-anaerob dapat menyisihkan warna antara 41-51% dan senyawa organik antara 46-65%. Percobaan ini dilakukan pada variasi HRT tangki kontak antara 1 sampai 3 jam pada HRT anoksik dan stabilisasi konstan yaitu 3 dan 4 jam. Baik penyisihan warna maupun senyawa organik terbesar dihasilkan pada HRT kontak 2 jam dengan penyisihan warna 65% dan penyisihan senyawa organik 51%. Penyisihan warna dan senyawa organik pada membran dapat terjadi secara simultan, karena diperkirakan terdapat bagian dalam membran yang berada dalam kondisi aerob maupun anoksik, sehingga memungkinkan pemutusan warna terjadi. Kenaikan konsentrasi warna pada tangki kontak dikarenakan terjadinya autoksidasi dari amina aromatik hasil degradasi zat warna azo.

Daftar Pustaka

Barragán, B. E.; Costa, C.; Marquez, M. C., *Biodegradation of azo dyes by bacteria inoculated on solid media*, Dyes and Pigments, 2007, Vol. 75(1), 73-81.

Brik, M.; Schoeberl, P.; Chamam, B.; Braun, R.; Fuchs, W., *Advanced treatment of textile wastewater towards reuse using a membrane bioreactor*, Process Biochemistry, 2006, Vol. 41(8), 1751-1757.

Eaton, A. D.; Clesceri, L. S.; Greenberg, A. E., *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*; 19th ed., American Public Health Association, Washington D.C., 1995.

Gong, Z.; Yang, F.; Liu, S.; Bao, H.; Hu, S.; Furukawa, K., *Feasibility of a membrane-aerated biofilm reactor to achieve single-stage autotrophic nitrogen removal based on Anammox*, Chemosphere, 2007, Vol. 69(5), 776-784.

Hsueh, C.; Chen, B.; Yen, C., *Understanding effects of chemical structure on azo dye decolorization characteristics by *Aeromonas hydrophila**, Journal of Hazardous Materials, 2009, Vol. 167(1-3), 995-1001.

Kalme, S. D.; Parshetti, G. K.; Jadhav, S. U.; Govindwar, S. P., *Biodegradation of benzidine based dye Direct Blue-6 by *Pseudomonas desmolyticum* NCIM 2112*, Bioresource Technology, 2007, Vol. 98(7), 1405-1410.

- Komala, P. S.; Effendi, A. J.; Wenten, I. G.; Wisjnuprpto, *Pengaruh waktu retensi hidrolis reaktor anoksik terhadap biodegradasi zat warna azo reaktif menggunakan bioreaktor membran aerob anoksik*, Jurnal Teknologi Lingkungan, 2008, Vol. 4(4).
- Komala, P. S.; Effendi, A. J.; Wenten, I. G.; Wisjnuprpto, *Pengaruh Aerasi terhadap Membran Bioreaktor External untuk biodegradasi Zat Warna Azo*, Seminar Nasional Penelitian Masalah Lingkungan di Indonesia, Universitas Diponegoro, Semarang, 6 Agustus, 2009.
- Khehra, M. S.; Saini, H. S.; Sharma, D. K.; Chadha, B. S.; Chimni, S. S., *Decolorization of various azo dyes by bacterial consortium*, Dyes and Pigments, 2005, Vol. 67(1), 55-61.
- Kuscu, Ö. S.; Sponza, D. T., *Effects of Hydraulic Retention Time (HRT) and Sludge Retention Time (SRT) on the Treatment of Nitrobenzene in AMBR/CSTR Reactor Systems*, Environmental Technology, 2007, Vol. 28(3), 285- 296.
- Li, Y. Z.; He, Y. L.; Ohandja, D. G.; Ji, J.; Li, J. F.; Zhou, T., *Simultaneous nitrification-denitrification achieved by an innovative internal-loop airlift MBR: Comparative study*, Bioresource Technology, 2008, Vol. 99(13), 5867-5872.
- Lodato, A.; Alfieri, F.; Olivieri, G.; DiDonato, A.; Marzocchella, A.; Salatino, P., *Azo-dye conversion by means of Pseudomonas sp. OX1*, Enzyme and Microbial Technology, 2007, Vol. 41(5), 646-652.
- Mohanty, S.; Dafale, N.; Rao, N. N., *Microbial decolorization of reactive black-5 in a two-stage anaerobic-aerobic reactor using acclimatized activated textile sludge*, Biodegradation, 2006, Vol. 17(5), 403-413.
- Murata, K.; Ikehata, H.; Miyamoto, T., *Studies on the Nutritional Value of Tempeh*, Journal of Food Science, 1967, Vol. 32(5), 580-586.
- Pandey, A.; Singh, P.; Iyengar, L., *Bacterial decolorization and degradation of azo dyes*, International Biodeterioration & Biodegradation, 2007, Vol. 59(2), 73-84.
- Padmavathy, S.; Sandhya, S.; Swaminathan, K.; Subrahmanyam, Y. V.; Chakrabarti, T.; Kaul, S.N., *Aerobic Decolorization of Reactive Azo Dyes in Presence of Various Cosubstrates*, Chemical and Biochemical Engineering Quarterly, 2003, Vol. 17(2), 147-151.
- Smith, B.; O'Neal, G.; Boyter, H.; Piszczek, J., *Decolorizing textile dye wastewater by anoxic/aerobic treatment*, Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 2007, Vol. 82(1), 16-24.
- Van der Zee, F. P.; Villaverde, S., *Combined anaerobic-aerobic treatment of azo dyes—a short review of bioreactor studies*, Water Research, 2005, Vol. 39(8), 1425-1440.
- Wahyuni, S.; Mubiarti, E.; Yunita, R., *Pengukuran gas pada pengolahan limbah warna CIRB 5 dengan konsentrasi 60 mg/L dalam tahapan reaksi sequencing batch biofilm reactor (SBBR)*, Infomatek, 2003, Vol. 5(3), 153-160.
- Wisjnuprpto; Kardena, E.; Artha, W., *Penyisihan zat warna azo CIRO-16 dalam modifikasi proses kontak-stabilisasi menggunakan limbah cair industri tempe*, Jurnal Biosains, 1999, Vol. 4(1), 26-30.
- Wisjnuprpto; 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, Yokkaichi City, Japan, March 7-8, 2002.