

# KINERJA BIODEGRADASI ZAT WARNA AZO MENGUNAKAN BIOREAKTOR MEMBRAN ANOKSIK-OKSIK KONTINU PADA UMUR LUMPUR YANG BERBEDA

Puti Sri Komala<sup>1)</sup>, Agus Jatnika Effendi<sup>2)</sup>, IG. Wenten<sup>3)</sup>, Wisjnuaprpto<sup>2)</sup>,

<sup>1)</sup> Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Andalas

<sup>2)</sup> Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

<sup>3)</sup> Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung

Jalan Ganesha 10 Bandung 40132

Telp.: 62-22-253 4105/250 2647, Fax.: 62-22-253 0704,

email: putisrikomala@ft.unand.ac.id

## Abstak

*Umur lumpur dalam bioreaktor merupakan salah satu parameter kontrol yang penting terutama untuk penyisihan senyawa toksik, salah satunya adalah zat warna azo. Dalam penelitian ini akan diamati pengaruh umur lumpur terhadap penyisihan zat warna azo menggunakan modifikasi proses lumpur aktif kontak-stabilisasi serta reaktor anoksik yang dikombinasikan dengan membran ultrafiltrasi eksternal. Umpan terdiri dari campuran zat warna azo Remazol Black-5 pada konsentrasi 110-120 mg/L dan limbah tempe sebagai ko-substrat. Variasi umur lumpur 1,2 dan 5 hari dilakukan pada HRT tangki kontak, stabilisasi dan anoksik konstan yaitu 2, 4 dan 4 jam. Dari percobaan diperoleh umur lumpur 5 hari merupakan umur lumpur yang optimal dengan penyisihan warna dan senyawa organik sampai 64% dan 81%. Tangki anoksik berkontribusi paling tinggi pada penyisihan warna dan COD terhadap penyisihan keseluruhan, diikuti oleh tangki stabilisasi, sedangkan tangki kontak tidak terlalu signifikan pada penyisihan warna maupun senyawa organik sebaliknya membran eksternal sebagai pengganti proses sedimentasi pada proses lumpur aktif konvensional berperan cukup signifikan dalam penyisihan warna keseluruhan, namun kontribusinya terhadap penyisihan COD total tidak terlalu signifikan.*

**Kata kunci:** bioreaktor membran, kontak-stabilisasi, zat warna azo, umur lumpur

## Abstract

*Solid retention time in bioreactor is one of the most important control parameters especially for toxic compounds removal, one of which is azo dyes. In this study the influence of solid retention time against the removal of azo dye using a modification of the process of contact-stabilization activated sludge and anoxic reactor combined with an external ultrafiltration membrane was observed. Feed consists of a mixture of Remazol Black-5 at a concentration of 110-120 mg / L and tempe industry waste waters as co-substrate. The sludge retention time (SRT) varried in 1, 2 and 5 days conducted at constant HRT of contact-, anoxic-, stabilization tanks ie 2, 4 and 4 hours respectively. From the experiment was obtained 5 days sludge age is the optimum sludge age with the color removal and organic compounds up to 64% and 81%. Anoxic tank contributed to the highest color- and COD removal of the entirely removal, followed by stabilization tank, while the contact tank is not too significant either on color- or on COD removal, as replacement of sedimentation in the conventional activated sludge process external membrane plays a significant role in the overall color removal, but its contribution to the total COD removal is not too significant.*

**Keywords:** azo dye, membrane bioreactor, contact stabilization, solid retention time

## 1. PENDAHULUAN

Umur lumpur merupakan salah satu parameter kontrol yang penting dalam proses lumpur aktif, tidak hanya untuk mengontrol karakteristik fisik dan biologi lumpur tetapi juga mengontrol efisiensi pengolahan air limbah. Teknologi bioreaktor membran (BRM) merupakan pengolahan limbah dengan kombinasi proses lumpur aktif dan teknologi membran dapat beroperasi pada umur lumpur yang panjang, Selain itu kelebihan BRM dibanding dengan proses lumpur aktif konvensional adalah (i) kebutuhan lahan yang lebih sedikit, (ii) penyisihan solid yang tinggi dan disinfeksi yang mendekati sempurna, (iii) penyisihan tinggi pada kebanyakan kontaminan, (iv) mengurangi produksi lumpur dan (v) awal proses biologi lebih cepat (Stephenson, 2000). BRM yang beroperasi pada umur lumpur panjang berpengaruh positif terhadap aktivitas mikroorganisme dengan pertumbuhan lambat misalnya mikroorganisme yang berperan pada proses nitrifikasi atau degradasi polutan toksik atau yang sulit diuraikan (Sipma, 2010). Secara teoritis, semakin panjang umur lumpur semakin besar derajat penyisihan substrat. Zat warna azo merupakan grup zat warna sintesis organik yang paling banyak digunakan di industri tekstil, yaitu sekitar 60-70%. Beberapa zat warna azo dan produk penguraiannya bersifat toksik dan/atau mutagenik bagi kehidupan (Van der Zee, 2002). Dalam penelitian ini biodegradasi zat warna azo dilakukan dengan proses aerob-anaerob, dimana pada proses aerob mikroorganisme lebih mudah dibiakkan dibanding dengan mikroorganisme anaerob. Pada penelitian ini digunakan bioreaktor membran aerob-anaerob yang terdiri dari modifikasi proses lumpur aktif kontak-stabilisasi serta reaktor anoksik yang dikombinasikan dengan membran ultrafiltrasi secara eksternal menggantikan proses sedimentasi pada proses lumpur aktif konvensional. Berdasarkan penelitian sebelumnya, penyisihan zat warna azo Remazol Black V menggunakan proses kontak-stabilisasi-anoksik yang dikombinasikan dengan membran diperoleh HRT tangki anoksik, kontak dan stabilisasi optimum adalah 4, 2 dan 4 jam, namun SRT yang diperoleh masih rendah < 1 hari. Untuk meningkatkan kinerja bioreaktor dalam percobaan ini dilakukan variasi umur lumpur pada kondisi operasional HRT tangki kontak, stabilisasi dan anoksik yang digunakan adalah 2, 4 dan 4 jam konstan. Distribusi konsentrasi biomassa, kontribusi penyisihan warna dan senyawa organik pada masing-masing tangki pada setiap umur lumpur diamati.

## 2. METODOLOGI

### **Mikroorganisme**

Percobaan ini menggunakan mikroorganisme tercampur yang berasal dari instalasi pengolahan air buangan industri tekstil dan industri zat warna. Mikroorganisme ditumbuhkan dalam campuran air limbah industri tempe sebagai ko-substrat dan zat warna secara aerob.

### **Ko-substrat dan zat warna**

Ko-substrat limbah tempe yang digunakan sebagai sumber organik, bersifat asam dengan pH antara 4-5, berasal dari limbah hasil perebusan tempe. Pada percobaan batch sebelumnya diperoleh ko-substrat limbah tempe optimum berkisar antara 8%-10% v/v

limbah industri tempe terhadap larutan substrat total (Komala, 2008), namun dengan bervariasinya konsentrasi limbah tempe yang dihasilkan oleh pabrik diperoleh konsentrasi COD optimum yang berkisar antara 2000-2500 mg COD/L (Komala, 2010). 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. Pembubuhan NaOH pada umpan berupa campuran limbah tempe dan zat warna diberikan agar diperoleh pH dengan kisaran netral (Komala, 2010).

### **Bioreaktor membran**

Percobaan ini dilakukan dengan skala laboratorium. Bioreaktor terdiri dari tangki anoksik, tangki kontak dan tangki stabilisasi yang terbuat dari acrylic. Membran eksternal berada di antara tangki kontak dan stabilisasi menggantikan bak sedimentasi pada proses lumpur aktif konvensional. Waktu retensi hidrolis (HRT) tangki anoksik, kontak dan stabilisasi dijaga konstan yaitu 4, 2 dan 4 jam.

Umpan dialirkan ke dalam tangki anoksik yang dilengkapi dengan pengaduk mekanis berkecepatan 40-60 rpm. Kemudian secara gravitasi larutan biomassa dialirkan ke dalam tangki kontak dan diaerasi. Dari tangki kontak larutan dipompakan ke membran eksternal dengan tekanan operasi yang berkisar antara 0.2-0.4 bar, menghasilkan permeate sebagai hasil penyaringan dan retentate berupa konsentrasi biomassa yang kemudian dialirkan ke tangki stabilisasi. Membran yang digunakan dalam penelitian ini adalah membran hollow fiber polysulfone (PS) jenis ultrafiltrasi dengan luas permukaan 0,538 m<sup>2</sup> serta diameter pori 0.01 mikrometer. Pada aliran masuk membran diberikan udara yang berasal dari kompresor, tekanan aerasi dari kompresor dikontrol agar tidak terjadi aliran balik ke arah pompa umpan jika terlalu besar namun sebaliknya jika terlalu kecil turbulensi tidak terjadi sehingga fouling mudah terjadi.

Retentate berupa konsentrat biomassa dialirkan melalui lumen membran ke dalam tangki stabilisasi kemudian dari tangki ini biomassa diresirkulasi ke tangki anoksik. Pembuangan lumpur dilakukan di tangki stabilisasi, namun jika kadar lumpur di permeate cukup tinggi, maka pembuangan lumpur di tangki stabilisasi tidak dilakukan. Pada dasar tangki kontak dan stabilisasi dilengkapi dengan diffuser yang dihubungkan dengan kompresor untuk mencampur biomassa dan larutan dalam tangki. Pencucian dengan air bersih dilakukan pada membran dengan memasukkan aliran air bersih berlawanan arah aliran normal dari arah sel ke lumen membran. Permeate dan fluks dihitung dengan mengukur waktu yang diperlukan untuk menampung filtrat pada volume tertentu. Tekanan pada saluran umpan, retentate dan aliran kompresor dimonitor oleh *pressure gauge*. Konsentrasi warna umpan, bak anoksik, kontak, stabilisasi dan permeat membran diamati setiap hari. Setelah kondisi tunak MLVSS, konsentrasi warna, dan COD berturut-turut di setiap reaktor diukur.

Skema instalasi bioreaktor membran aerob-anaerob dapat dilihat pada **Gambar 1**, sedangkan kondisi operasional masing-masing bioreaktor ditunjukkan pada **Tabel 1**.

### **Variasi Umur Lumpur (SRT)**

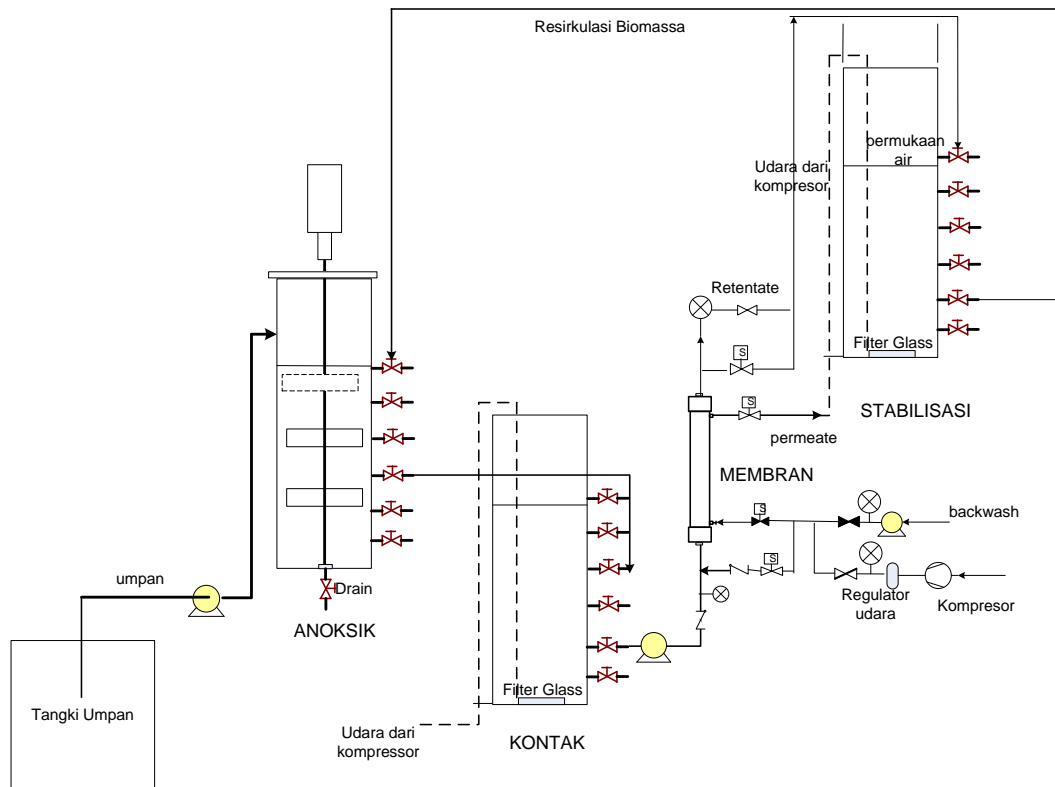
Percobaan variasi umur 1, 2 dan 5 hari dilakukan pada kondisi HRT anoksik, kontak dan stabilisasi konstan yaitu 4, 2 dan 4 jam. Umur lumpur dihitung dari perbandingan jumlah biomassa dalam bioreaktor dengan jumlah biomassa yang meninggalkan bioreaktor (persamaan 1). Pembuangan lumpur dapat dilakukan di tangki stabilisasi, namun jika kadar

lumpur di permeate cukup tinggi, maka pembuangan lumpur di tangki stabilisasi dilakukan dengan memperhitungkan kadar lumpur di permeate.

$$\theta_c = \frac{(X_{an} \cdot V_{an}) + (X_k \cdot V_k) + (X_s \cdot V_s)}{(q_w \cdot X_s) + (Q - q_w) X_e} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

- Q = Debit yang masuk (L/hari)
- X<sub>k</sub> = Konsentrasi biomassa di tangki kontak (mg/L)
- V<sub>k</sub> = Volume tangki kontak ( L )
- X<sub>s</sub> = Konsentrasi biomassa di tangki stabilisasi ( mg/L )
- V<sub>s</sub> = Volume tangki stabilisasi ( L )
- X<sub>e</sub> = Konsentrasi biomassa di permeate ( mg/L )
- q<sub>w</sub> = Debit lumpur yang dibuang ( L/hari )



**Gambar 1. Skema Instalasi Bioreaktor Membran Konsektif Aerob-anaerob**

**Tabel 1 Kondisi operasional percobaan pada BRM**

Parameter	Nilai
Debit	1 L/jam
Kons.warna dan % limbah tempe	100-120 ppm dan 8-10% limbah tempe
Membran ultrafiltrasi PAN	100 kDa, 0.53 m2
Waktu filtrasi/backwash	1 jam/1 menit
Tekanan (bar)	
• Umpan/Retentate	0.2-0.8

• Aerasi kompresor	0.2-0.5
• Backwash	0.4-0.6
Volume Backwash (L/hari)	3 L
HRT (jam)	Kontak 2 jam, Stabilisasi 4 jam, Anoksik 4 jam
Resirkulasi lumpur	100%

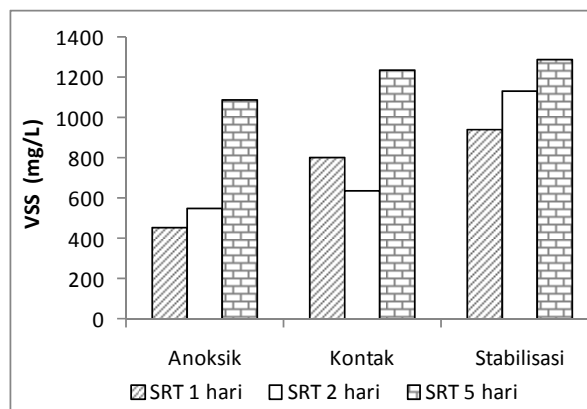
**Metoda Analisis**

Kinerja bioreaktor membran aerob-anaerob dimonitor melalui hasil analisis sampel dari tangki umpan, anoksik, kontak, stabilisasi dan permeat membran. Parameter yang diukur adalah konsentrasi warna, COD dan MLVSS. Untuk parameter warna dan COD sampel yang diukur adalah sampel terlarut dari hasil pemisahan dengan penyaringan, sedangkan filtrate hasil penyaringan diukur kadar MLVSSnya. 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* (APHA, 1995). Permukaan membran diamati dengan menggunakan *Scanning electronic microscopy* (SEM) JEOL-JSM-6063LA dengan Coating-Fine Coat Ionsputter JFC-1100.

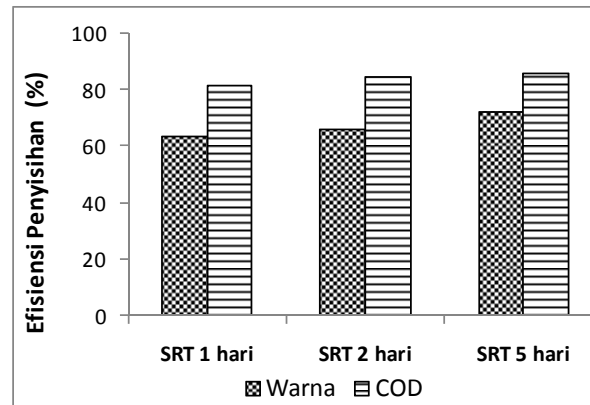
**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Pengaruh Umur lumpur (SRT) terhadap biomassa**

Meningkatnya umur lumpur 1 hari menjadi 5 hari pada BRM diikuti dengan peningkatan biomassa di setiap tangki (**Gambar 2**), peningkatan ini mengakibatkan juga naiknya tingkat penyisihan warna dari penyisihan warna 63% menjadi 72% dan COD dari penyisihan 81% meningkat menjadi 85% (**Gambar 3**). Hal ini diungkapkan pula oleh Brik (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 mendegradasi warna.



**Gambar 2. Pengaruh umur lumpur terhadap konsentrasi biomassa dalam BRM (HRT Anoksik, kontak dan stabilisasi 4, 2 dan 4 jam)**



**Gambar 3. Pengaruh umur lumpur terhadap penyisihan warna dan COD (HRT Anoksik, kontak dan stabilisasi 4, 2 dan 4 jam)**

Sipma (2010) menyatakan, konsentrasi biomassa yang tinggi pada BRM tidak hanya menguntungkan bagi biodegradasi senyawa toksik seperti limbah farmasi, juga mempunyai pengaruh positif bagi efisiensi penyisihan mikropolutan yang cenderung berakumulasi dalam lumpur apakah melalui hidrofobisitas intrinsik ataupun melalui interaksi elektrostatis dengan biomassa. Biomassa tertinggi terdapat pada tangki stabilisasi, dibandingkan dengan biomassa di tangki kontak pada umur lumpur rendah (1 dan 2 hari), konsentrasi biomassa di tangki stabilisasi jauh lebih besar. Hal ini dikarenakan HRT di tangki kontak jauh lebih rendah (2 jam) dibandingkan dengan HRT di tangki stabilisasi (4 jam), selain itu biomassa yang berasal dari tangki anoksik masih mengalami *shock* dengan kondisi DO yang rendah (0,3 mg/L) sehingga pertumbuhan biomassa tidak terlalu baik. Pertambahan waktu aerasi di tangki stabilisasi setelah di tangki kontak berpengaruh positif terhadap pertumbuhan biomassa. Konsentrasi biomassa di tangki anoksik mengalami penurunan dibanding dengan jumlah konsentrasi biomassa di tangki kontak dan stabilisasi, hal yang serupa dilaporkan oleh Isik (2003), Kalme (2007), Asad (2007) bahwa pertumbuhan biomassa pada kondisi statik lebih rendah dibandingkan dengan kondisi aerasi. Pertumbuhan bakteri aerob tersebut terhambat dalam kondisi DO yang sangat rendah. Meskipun demikian, umur lumpur 5 hari ini sulit dipertahankan karena biomassa pada permeate cukup tinggi (100-200 mg/L), sebaliknya BRM dapat dipertahankan dalam jangka panjang pada umur lumpur 2 hari. Kinerja penyisihan warna dan COD meningkat seiring dengan meningkatnya umur lumpur, Cirja (2008) menyatakan beberapa aktivitas enzimatis meningkat sebanding dengan luas permukaan spesifik MLSS yang lebih tinggi yang berbanding langsung dengan struktur flok.

#### **Pengaruh Umur lumpur terhadap penyisihan senyawa organik dalam bioreaktor**

Pada umur lumpur rendah kontribusi penyisihan senyawa organik dalam tangki anoksik paling tinggi yaitu sekitar 60%, sedangkan kontribusi tangki kontak, stabilisasi dan membran masing-masing merata, sekitar 14-24% dari penyisihan COD total (**Gambar 4**). Sebaliknya pada kondisi umur lumpur tinggi kontribusi tangki anoksik menurun, di bawah 30% sedangkan kontribusi tangki kontak meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi biomassa di tangki tersebut (62%). Penyisihan COD di tangki atabilisasi tidak terlalu signifikan, yaitu sekitar 5%, bahkan pada membran konsentrasi COD sedikit meningkat dibanding pada tangki kontak.

Pada tangki stabilisasi konsentrasi COD yang masuk dari retentate membran sudah tidak tinggi lagi, sehingga tingkat penyisihan COD pada tangki ini menjadi rendah, sedangkan pada membran penyisihan COD juga tidak tinggi karena pada membran diperkirakan terjadi kondisi anoksik dengan DO rendah (Komala, 2009), sehingga degradasi senyawa

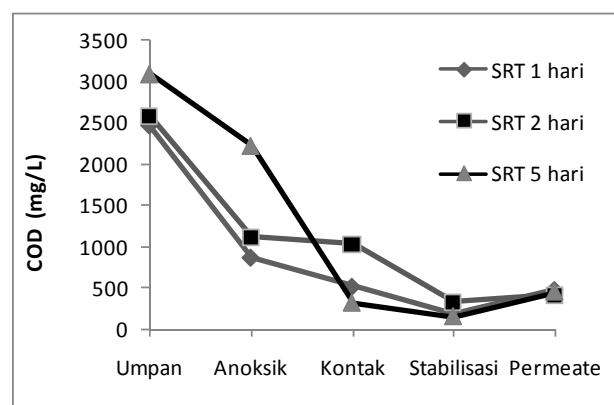
organik tidak optimal pada kondisi tersebut. Peningkatan COD pada permeate dapat terjadi akibat terbentuknya produk metabolit serta produk mikrobial pada degradasi warna. Beberapa bentuk group metabolite dari degradasi zat warna remazol Black 5 pada fase anaerob menghibisi dua kali lebih besar dari zat warna awal, sedangkan setelah fase aerob dapat berkurang sampai sepertiga dari zat warna semula (Libra, 2004). Dari percobaan Libra dkk menggunakan pengolahan dua tahap anaerob-aerob pada zat warna azo Remazol Black 5, pada efluen tahap aerob dengan influen zat warna yang dihidrolisis parsial menghibisi *V.fischeri* 80 kali lebih tinggi dibanding pada zat warna yang dihidrolisis sempurna.

### Pengaruh Umur lumpur terhadap penyisihan warna dalam bioreaktor

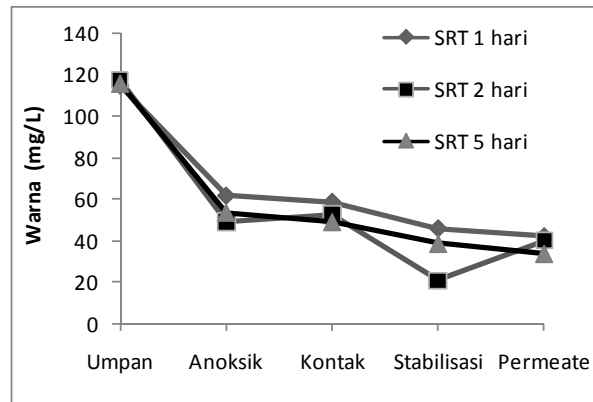
Seperti pada penyisihan COD, kontribusi tangki anoksik dalam penyisihan warna adalah yang terbesar >50%, kemudian di tangki stabilisasi dan membran penyisihan warna cukup signifikan > 10% (**Gambar 5**). Pada tangki kontak penurunan warna tidak terlalu signifikan <3%, bahkan dalam beberapa percobaan terjadi peningkatan warna. Pemaparan oleh udara ke dalam reaktor kontak/aerobik menyebabkan terjadinya autoksidasi metabolit warna menghasilkan metabolit yang dapat mengasorbsi dalam rentang visual (Libra, 2004; Van der Zee, 2001).

Pada konsentrasi biomassa yang cukup tinggi dapat terjadi zona mikro anoksik/anaerobik yang terbentuk di tangki stabilisasi, sedangkan pada membran pun dapat terjadi kondisi anoksik di bagian pori membran yang merupakan kondisi optimum untuk terjadinya pemutusan warna, hal ini dipertegas pula oleh Field (1995), Kudlich (1996), Coughlin (2002), Buitrón (2004) dan Barragán (2007) penyisihan warna dapat terjadi pada kondisi anoksik atau DO yang rendah.

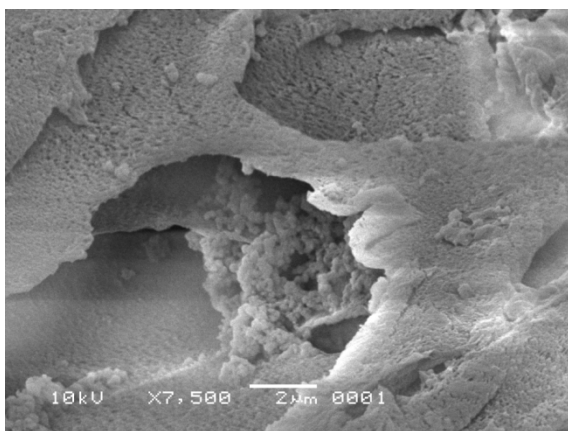
Hal ini diperlihatkan dari struktur membran yang telah mengalami perubahan, saat membrane bersih di awal percobaan (**Gambar 6**) dan setelah pemakaian (**Gambar 7**). Terdapat rongga-rongga membran yang dapat menciptakan kondisi anoksik, sehingga memungkinkan pemutusan warna terjadi meskipun HRT pada membran singkat yaitu sekitar 10-20 menit tergantung dari jumlah fiber yang digunakan. Pemutusan warna terjadi karena adanya enzim azoreductase yang aktif pada kondisi anoksik atau anaerob baik dihasilkan secara intraseluler maupun ekstraseluler.



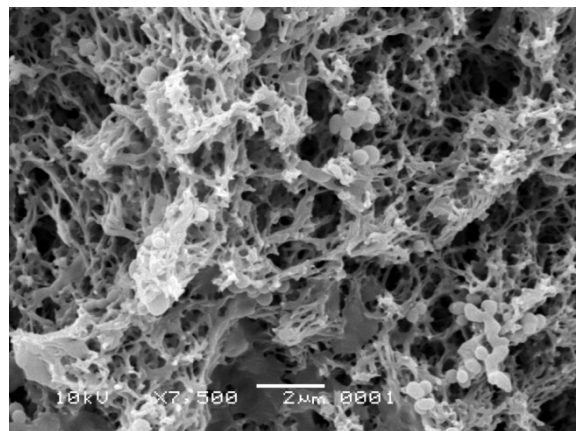
**Gambar 4. Pengaruh umur lumpur terhadap penyisihan COD (HRT Anoksik, kontak dan stabilisasi 4, 2 dan 4 jam)**



**Gambar 5. Pengaruh umur lumpur terhadap penyisihan warna (HRT Anoksik, kontak dan stabilisasi 4, 2 dan 4 jam)**



**Gambar 6. SEM Membran bersih PS 7500 x**



**Gambar 7. SEM Membran PS 7500 x (setelah 160 hari)**

Dibandingkan dengan percobaan Lourenco (2001) pada zat warna Remazol Black B konsentrasi 30 mg/L menggunakan *sequencing batch reactor* tidak ada peningkatan penyisihan warna ketika umur lumpur 15 hari ditingkatkan menjadi 20 hari, yaitu 75%, bahkan walaupun fase aerasi dinaikkan dari 8 jam sampai 10 jam. Jika dibandingkan dengan zat warna Remazol Brilliant Violet 5R pada SRT 15 hari dan waktu aerasi 10 jam diperoleh tingkat penyisihan warna lebih tinggi yaitu 90%, diperkirakan penyisihan warna dari struktur diazo Remazol Black B lebih kompleks dibandingkan struktur monoazo Remazol Brilliant Violet 5R.

#### 4. KESIMPULAN

Penyisihan zat warna azo Remazol Black V pada konsentrasi zat warna 110-120 mg/L dan ko-substrat limbah tempe 2000-2500 mg COD/L menggunakan bioreaktor membran anoksik-oksik pada kondisi HRT kontak, stabilisasi dan anoksik masing-masing 2, 4 dan 4 jam diperoleh pada umur lumpur optimum dengan efisiensi penyisihan warna dan COD 64% dan 81%. Dari percobaan diperoleh umur lumpur 5 hari merupakan umur lumpur yang optimal dengan penyisihan warna dan senyawa organik sampai 64% dan 81%. Tangki anoksik berkontribusi paling tinggi pada penyisihan warna dan COD terhadap penyisihan keseluruhan, diikuti oleh tangki stabilisasi, sedangkan tangki kontak tidak terlalu signifikan pada penyisihan warna maupun senyawa organik, sebaliknya membran eksternal sebagai pengganti proses sedimentasi pada proses lumpur aktif konvensional berperan cukup signifikan dalam penyisihan warna keseluruhan, namun kontribusinya terhadap penyisihan



COD total tidak terlalu signifikan. Adanya pertumbuhan biomassa yang melekat pada membran turut meningkatkan penyisihan warna dan senyawa organik. Diperkirakan terdapat bagian dalam membran yang berada dalam kondisi anoksik atau mempunyai DO yang rendah, sehingga memungkinkan pemutusan warna terjadi. Struktur diazo Remazol Black 5 serta produk metabolit degradasi warna diperkirakan berperan besar dalam penyisihan warna secara biologi dengan BRM.

### DAFTAR PUSTAKA

1. American Public Health Association (1995). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Eaton, A.D., Clesceri, L.S. Greenberg, A.E., (Eds.), 19th ed., Washington D.C.
2. Asad, S., Amoozegar, M.A., Pourbabaee, A.A., Sarbolouki, M.N., Dastgheib, S.M.M.. Decolorization of textile azo dyes by newly isolated halophilic and halotolerant bacteria. *Bioresource Technology* 98 (2007) 2082–2088
3. Barragán, B.E.; Costa, C.; Ma´rquez, M.C. (2007). Biodegradation of azo dyes by bacteria inoculated on solid media. *Dyes and Pigments*, 75, pp. 73-81
4. Brik, M., P. Schoeberl, B. Chamam, R. Braun, and W. Fuchs. (2006). Advanced treatment of textile wastewater towards reuse using a membrane bioreactor. *Process Biochemistry* 41: pp 1751–1757
5. Buitrón, G., Quezada, M., Moreno, G. (2004). Aerobic degradation of the azo dye acid red 151 in a sequencing batch biofilter. *Bioresource Technology* 92 143–149
6. Cirja, M., Ivashchkin, P., Schäffer, A., Corvini, P.F.X. (2008). Factors affecting the removal of organic micropollutants from wastewater in conventional treatment plants (CTP) and membrane bioreactors (MBR), *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 7 (1), 61–78.
7. Coughlin, M.F., Kinkle, B.K., Bishop, P.L. (2002) Degradation of acid orange 7 in an aerobic biofilm. *Chemosphere* 46, pp. 11-19.
8. Field, J.A., Stams, A.J.M., Kato, M. dan Schraa, G., (1995). Enhanced biodegradation of aromatic pollutant in coculture of anaerobic and aerobic bacterial consortia. *Antonie Van Leeuwenhoek* , 67, pp. 47–77.
9. Işik, M., Sponza ,D.T., (2003). Effect of oxygen on decolorization of azo dyes by *Escherichia coli* and *Pseudomonas* sp. and fate of aromatic amines. *Process Biochemistry* 38, 1183-1192
10. Kalme, S.D., Parshetti, G.K., Jadhav, S.U., Govindwar, S.P. (2007). Biodegradation of benzidine based dye Direct Blue-6 by *Pseudomonas desmolyticum* NCIM 2112, *Bioresource Technology* 98, pp. 1405–1410.
11. Komala, P.S., Effendi, AJ, Wenten, IG, Wisjnuaprpto (2008), Pengaruh waktu retensi hidrolis reaktor anoksik terhadap biodegradasi zat warna azo reaktif menggunakan bioreaktormembran aerob-anoksik, *Jurnal Teknologi Lingkungan*, Vol. 4 No. 4, Desember 2008, ISSN 1829-6572, Jurusan Teknik Lingkungan-Universitas Trisakti bekerja sama dengan Ikatan Ahli Teknik Penyehatan dan Teknik Lingkungan Indonesia (IATPI).
12. Komala, P.S., Effendi, AJ, Wenten, IG, Wisjnuaprpto (2010). Pengaruh pH terhadap biodegradasi zat warna Azo menggunakan bioreaktor membran aerob-anaerob. *Seminar Nasional Penelitian Masalah Lingkungan di Indonesia 2010*, Denpasar, 29 Juli 2010.
13. Kudlich, M., Bishop, P., Knackmuss, H.-J., dan Stolz, A., (1996), Synchronous anaerobic and aerobic degradation of the sulfonated azo dye Mordant Yellow 3 by immobilized cells from a naphthalene sulfonate-degrading mixed culture. *Applied Microbiology and Biotechnology* 46, pp. 597–603.

14. Libra, J.A., Borchert, M., Vigelahn, L., Storm, T., (2004). Two stage biological treatment of a diazo reactive textile dye and the fate of the dye metabolites. *Chemosphere* 56 (2), 167–180.
15. Lourenco, N.D., Novais, J.M., Pinheiro, H.M., 2001. Effect of some operational parameters on textile dye biodegradation in a sequential batch reactor. *Journal of Biotechnology* 89, 163–174
16. Sipma, J., Osuna, B., Collado, N., Monclús, H., Ferrero, G., Comas, J., Rodriguez-Roda, I., Comparison of removal of pharmaceuticals in MBR and activated sludge system. *Desalination* 250 (2010) 653–659.
17. Stephenson, T., Judd, S., Jefferson, B. dan Brindle, K., (2000), *Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment*, IWA Publishing Company. UK
18. Van der Zee, F.P., Lettinga, G. and Field, J.A. (2001). Azo dye decolourisation by anaerobic granular sludge. *Chemosphere* 44:1169-1176