

PENGARUH AERASI TERHADAP BIOREAKTOR MEMBRAN EXTERNAL UNTUK BIODEGRADASI ZAT WARNA AZO

Puti Sri Komala¹⁾, Agus Jatnika Effendi¹⁾, IG. Wenten²⁾, Wisjnuaprpto¹⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

²⁾ Program Studi 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

ABSTRAK

Dalam penelitian ini digunakan bioreaktor membran (BRM) konsekutif aerob-anaerob untuk biodegradasi zat warna azo. Bioreaktor terdiri dari modifikasi proses lumpur aktif kontak-stabilisasi yang dihubungkan dengan reaktor anoksik dan dikombinasikan dengan membran ultrafiltrasi secara eksternal. Untuk meminimalisasi *fouling* pada membran pemberian aerasi dilakukan pada umpan membran. Percobaan menggunakan dua instalasi BRM secara parallel, dengan dan tanpa pemberian aerasi pada membran menggunakan umpan berupa campuran limbah tempe sebagai ko-substrat dan zat warna azo Remazol Black 5 dengan konsentrasi sekitar 120 mg/L. Waktu retensi hidrolis tangki anoksik, kontak dan stabilisasi kedua reaktor dijaga konstan yaitu 3, 2 dan 4 jam. Dari percobaan didapatkan, bahwa dengan pemberian aerasi antara 0.7-1 bar pada aliran masuk membran serta kombinasi waktu filtrasi dan pencucian 3 jam-1 menit selain dapat menjaga fluks permeate lebih stabil dan menghasilkan tingkat penyisihan warna 45% dan senyawa organik 75%, sedangkan sistem tanpa aerasi menghasilkan 46% penyisihan warna dan 55% senyawa organik. Pemberian aerasi pada umpan membran dapat meningkatkan pertumbuhan biomassa aerob yang melekat pada membran untuk memanfaatkan ko-substrat yang ada, sehingga kinerja BRM meningkat.

Kata kunci: aerasi, bioreaktor membran (BRM), kontak-stabilisasi, zat warna azo

INFLUENCE OF AERATION ON EXTERNAL MEMBRANE BIOREACTOR FOR AZO DYE BIODEGRADATION

ABSTRACT

In this research a consecutive aerobic-anaerobic membrane bioreactor (MBR) is used for azo dye biodegradation. The bioreactor consists of modified activated sludge process, contact stabilization coupled with anoxic reactor which is combined with the external ultrafiltration membrane. To mitigate membrane fouling, the membrane feed was aerated. The experimental study used two parallel MBRs, with and without aeration on membrane by using feed mixed of tempe industry wastewater and azo dye Remazol Black 5 in concentration about 120 mg/L. The hydraulic retention time of anoxic, contact and stabilization was kept constant in 3, 2 and 4 hours respectively. It shown that the aeration of the incoming feed between 0.7-1 bar into the membrane and combined filtration and backwash time 3 hrs-1 min arrangement allow to the stable permeate flux and reduced color- and organics 45% and 75%, while that without aeration, was 46% and 55% respectively. Introduction of aeration of membrane feed increased attached biomass on membrane surface, that the aerobic microorganism growth shall utilize the co-substrate lead to increase membrane bioreactor performance.

Key words: aeration, azo dye, membrane bioreactor (MBR), contact-stabilization

PENDAHULUAN

Teknologi bioreaktor membran (BRM) merupakan teknologi pengolahan limbah yang menggabungkan proses membran ke dalam sistem pengolahan biologis lumpur aktif. BRM menawarkan keuntungan lebih dibandingkan teknologi konvensional proses biologi lumpur aktif, dimana BRM dapat beroperasi pada beban organik yang tinggi namun lahan yang dibutuhkan lebih sedikit. Namun, tidak dapat dihindarkan kinerja filtrasi BRM menurun terhadap waktu filtrasi. Penurunan fluks disertai dengan peningkatan tekanan (TMP) mengindikasikan terjadinya *fouling*. *Fouling* dalam proses membran dapat bersifat tidak dapat berbalik atau dapat berbalik, dimana terjadi deposisi spesies yang tertahan pada permukaan atau ke dalam bagian membran (Fane dan Cho, 2001). Banyak cara yang telah dilakukan untuk mereduksi *fouling*. Sejauh ini aerasi merupakan metoda yang paling umum yang sering digunakan untuk meminimasi *fouling*, sehubungan dengan kemampuannya untuk menghasilkan tegangan geser pada permukaan membran. Aerasi dalam sistem BRM mempunyai tiga fungsi, yaitu menyediakan oksigen bagi biomassa, menjaga lumpur aktif dalam suspensi dan mengurangi *fouling* melalui *scouring* konstan pada permukaan membran (Le-Clech dkk, 2006). Strategi pencucian baik fisika maupun kimia merupakan cara lain untuk mereduksi *fouling*. Pencucian diketahui mampu mengatasi kasus *fouling* yang dapat berbalik akibat penyumbatan pori, mengembalikan *foulant* ke dalam bioreaktor dan mengeluarkan sebagian lapisan *cake* lumpur yang menempel bebas dari permukaan membran.

Dalam penelitian ini digunakan bioreaktor membran dengan modifikasi proses lumpur aktif kontak stabilisasi dengan reaktor anoksik yang dikombinasikan dengan sistem membran untuk biodegradasi zat warna azo. Zat warna azo yang mempunyai karakteristik utama ikatan ganda nitrogen (-N=N-), merupakan grup zat warna sintesis organik yang paling banyak digunakan di industri-industri tekstil, pembuatan kertas, kosmetik serta pangan. Sekitar 60-70% pemakaian zat warna azo digunakan pada industri tekstil di dunia. Beberapa zat warna azo dan produk penguraiannya bersifat toksik dan/atau mutagenik bagi kehidupan (Van der Zee, 2002). Ollgaard et al. (1999) menyatakan bahwa 4% produksi zat warna azo hilang ke dalam air buangan domestik dan industri. Pengolahan zat warna azo secara biologi umumnya dilakukan dengan kombinasi proses anaerob-aerob, 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 atau fakultatif anaerob lebih mudah dilakukan, karena pengolahan anoksik dapat dilakukan pada kondisi operasi yang sama dengan pengolahan aerob (Smith, 2007).

Pada percobaan ini reaktor anoksik digunakan untuk proses pemotongan gugus azo oleh mikroorganisme aerob yang terlebih dahulu diaerasi dan distabilisasi pada proses kontak-stabilisasi, sedangkan membran ultrafiltrasi secara eksternal digunakan untuk menggantikan proses sedimentasi pada proses lumpur aktif konvensional. Pada penelitian yang dilakukan oleh Komala dkk (2008) sebelumnya menggunakan modifikasi kontak-stabilisasi dan tangki anoksik yang dihubungkan dengan membran eksternal untuk penyisihan zat warna azo Remazol Black V pada waktu retensi hidrolis (HRT) tangki anoksik ½ jam sampai 3 jam diperoleh penurunan fluks yang signifikan meskipun dilakukan pencucian setiap hari. Demikian juga penelitian Ananthi dkk (2008) pada HRT tangki anoksik yang lebih panjang (sampai 3 jam), terjadi penurunan fluks akibat *fouling* biomassa pada permukaan dan pori membran sehingga waktu retensi biomassa yang diperoleh menjadi sangat rendah. Dari penelitian tersebut diperoleh HRT 3 jam di tangki anoksik sebagai HRT optimum untuk penyisihan warna. Berdasarkan hasil penelitian tersebut dalam penelitian ini penambahan aerasi pada membran akan dievaluasi

pengaruhnya terhadap kontinuitas fluks permeate, penyisihan warna dan senyawa organik dan dibandingkan dengan aliran umpan membran tanpa penambahan aerasi.

BAHAN DAN METODA

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 kemudian diaerasi.

Ko-substrat dan zat warna

Ko-substrat yang digunakan adalah limbah industri tempe yang mempunyai kandungan sumber karbon organik dan nutrient yang cukup untuk pertumbuhan mikroorganisme. Ko-substrat diperlukan dalam proses pemutusan warna, karena zat warna merupakan senyawa toksik yang tidak dapat digunakan langsung sebagai substrat. Jenis zat warna yang digunakan dalam penelitian ini adalah zat warna azo reaktif Remazol Black-5 yang mempunyai panjang gelombang 609 nm dengan konsentrasi berkisar antara 120 mg/L. Ko-substrat dan zat warna azo reaktif Remazol Black-5 selanjutnya digunakan untuk seeding mikroorganisme dan sebagai umpan dalam percobaan. Pada percobaan batch sebelumnya diperoleh ko-substrat optimum, berkisar antara 8%-10% v/v limbah industri tempe terhadap larutan total (Komala, 2008). Kandungan yang ada dalam 10% limbah industri tempe dibandingkan dengan *yeast extract* yang sering digunakan sebagai sumber organik dengan kandungan nutrient yang tinggi, dapat dilihat 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 yaitu 3.167 mg/L.

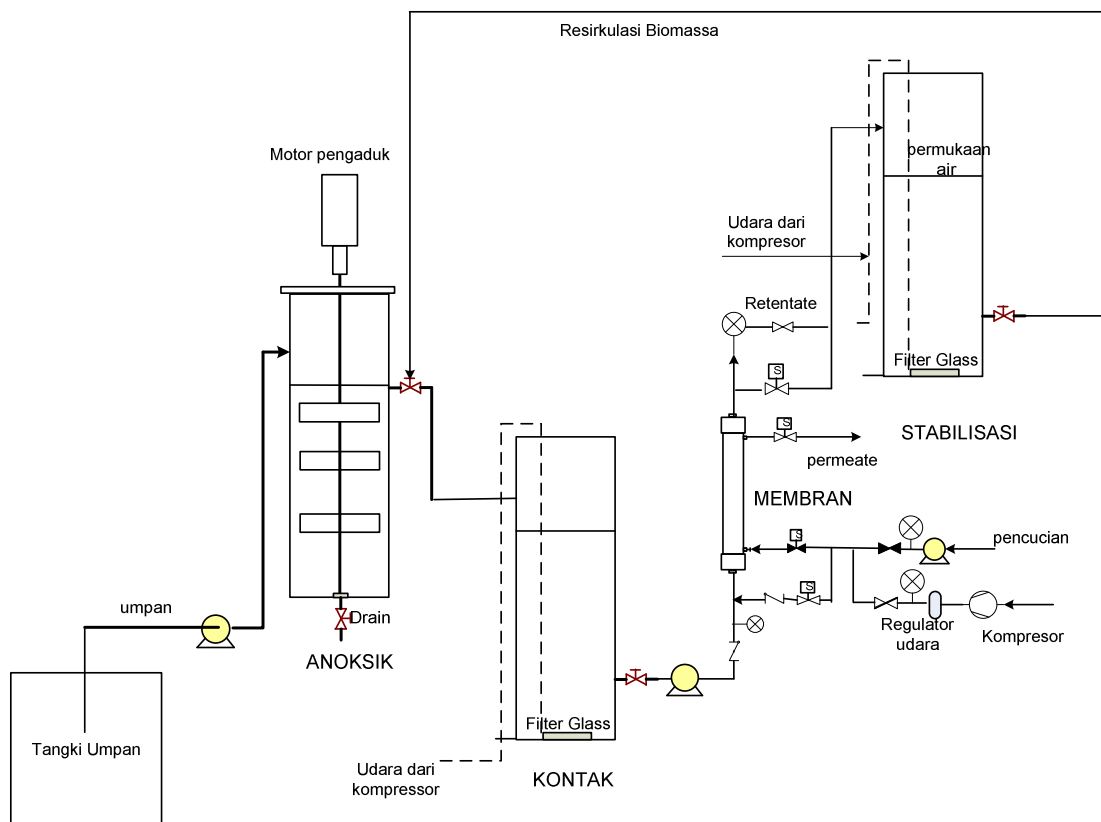
Tabel 1. Konsentrasi parameter dalam yeast extract dan limbah tempe

Parameter	Yeast Extract 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
NO2	14,2129	39,1161
NO3	1,0766	1,1919
PO4	65,0570	42,2659
SO4	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

Kondisi Operasional Percobaan

Percobaan menggunakan 2 instalasi BRM secara paralel. Bioreaktor terdiri dari tangki anoksik, kontak dan tangki stabilisasi yang dihubungkan dengan membran eksternal yang

terletak diantara tangki kontak dan stabilisasi menggantikan proses sedimentasi pada proses lumpur aktif konvensional. Pada reaktor pertama, pada umpan membran tidak diberikan aerasi. Larutan yang berasal dari tangki kontak dialirkan begitu saja melalui tekanan pompa ke membran tanpa penambahan aerasi. Pada reaktor kedua pada umpan membran dimasukkan aliran udara yang berasal dari kompresor agar terjadi turbulensi biomassa dengan udara. Waktu retensi hidrolis (HRT) tangki anoksik, kontak dan stabilisasi dijaga konstan yaitu 2, 4 dan 3 jam di kedua reaktor. Umpan dialirkan melalui pompa dengan laju aliran 2 L/jam ke dalam reaktor anoksik yang dilengkapi mixer dengan putaran 40 rpm untuk mengaduk larutan. 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. Jenis membran yang digunakan adalah jenis ultrafiltrasi hollow fiber terbuat dari bahan PAN (poly acrolonitrile) yang memiliki MWCO 20 kDa (BRM1) dan 100 kDa (BRM2) dan luas membran 0.53 m². Pengaliran dalam membran dilakukan secara *crossflow* yaitu aliran air yang sejajar permukaan membran sehingga diharapkan dapat mempercepat penyisihan material yang terakumulasi pada membran; Biomassa dari tangki stabilisasi diresirkulasikan ke tangki anoksik dan bercampur kembali dengan umpan yang masuk. Skema instalasi bioreaktor membran konsektif aerob anaerob dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Skema Instalasi Bioreaktor Membran Konsektif Aerob-anaerob

Pencucian dengan air bersih dilakukan pada reaktor pertama secara periodik seminggu sekali dengan memasukkan aliran air bersih berlawanan arah aliran normal dari arah sel ke lumen membran. Pencucian mingguan ini dilakukan selama 21 hari pada BRM 1 tanpa aerasi pada membran. Pada reaktor ke dua mulai hari pertama sampai hari ke 22

dioperasikan dengan aerasi pada dan pencucian mingguan. Hari ke 23 sampai hari ke 33 berikutnya digunakan kombinasi waktu filtrasi dan pencucian dengan waktu 3 jam dan 1 menit. Interval pencucian dikontrol dengan pengatur waktu dan katup solenoid. Secara keseluruhan kondisi operasional pada reaktor 1 dan reaktor 2 diperlihatkan pada **Tabel 2**. Fluks secara periodik diukur dengan menghitung waktu yang diperlukan untuk volume filtrat tertentu. 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.

Metoda Analisis

Kinerja bioreaktor membran aerob-anaerob dimonitor melalui hasil analisis sampel dari tangki umpan, anoksik, kontak, stabilisasi dan permeat 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* (APHA, 1995).

Tabel 2 Kondisi operasional percobaan pada BRM

Parameter	Membran tanpa aerasi (BRM 1)	Membran dg aerasi (BRM 2)
Debit, kons.warna dan % limbah tempe	2 L/jam, 100-120 ppm dan 8-10% limbah tempe	
Membran ultrafiltrasi PAN	20 kDa, 0.38 m ²	100 kDa, 0.53 m ²
Waktu operasi (hari)/ dan perioda pencucian	1-23 Mingguan/ 2x seminggu, air	Hari 1-22 (pencucian mingguan) Hari 23-33 (Filtrasi/pencucian 3 jam/1 mnt)
Tekanan • Umpan/Retentate • Aerasi kompresor	0.4-2 -	0.4-1.5 5-15 lb/in ² (0.25-7.5) kg/cm ²
Debit Backwash (L)	15 mnt, 3 L	7 L/hari
HRT (jam)	Kontak = 2 jam, Stabilisasi = 4 jam Anoksik = 3 jam	
Resirkulasi lumpur	100% (2 L/jam)	

HASIL DAN PEMBAHASAN

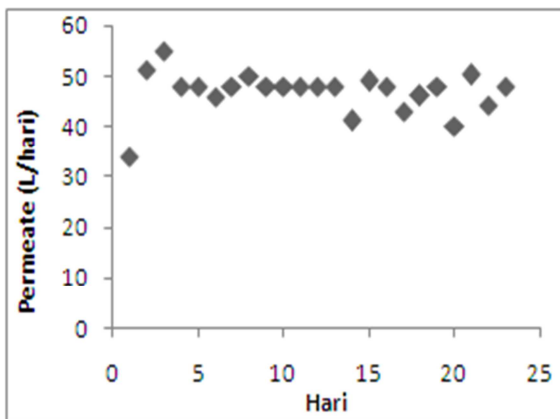
Debit Permeate

Salah tujuan dari pemberian aerasi adalah mencegah *fouling* sehingga didapatkan permeate yang stabil dan kontinu sebesar 2 L/jam atau 48 L/hari. Selain itu dengan permeate serta retentate yang stabil, maka HRT tangki kontak dan stabilisasi yang diinginkan dapat tercapai. Dari kedua BRM baik dengan pemberian aerasi maupun tanpa aerasi pada membran rata-rata debit permeate dapat mendekati jumlah yang diinginkan yaitu 2 L/jam atau 48 L/hari (**Gambar 2 dan 3**). Namun peningkatan biomassa dalam bioreaktor maupun di permukaan membran serta adanya material polimer ekstraseluler (EPS) dari agregat mikroba seperti biofilm (Le-Clech, 2006) dalam medium yang berperan sebagai penyebab *fouling* menyebabkan permeate menurun drastis pada BRM1 setelah hari ke 15, sehingga diperlukan pencucian lebih sering yang awalnya hanya seminggu sekali.

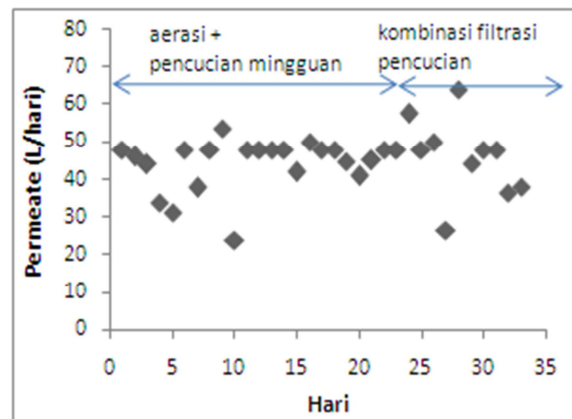
Pada BRM aerasi diikuti dengan pencucian mingguan (Gambar 3), laju permeate pada awalnya bervariasi, karena tekanan udara dari kompresor belum diatur dengan tepat agar tekanan tidak terlalu besar atau terlalu kecil terhadap tekanan pompa umpan dari tangki kontak. Jika udara kompresor terlalu besar, dapat terjadi aliran balik larutan menuju arah pompa kontak, namun jika terlalu kecil tidak terjadi aerasi pada membran sama sekali. Setelah intensitas aerasi diatur antara 10-15 lb/in², dihasilkan tekanan yang relatif stabil, sehingga diperoleh aliran permeate dan retentate yang juga stabil. Namun seiring berjalannya waktu aerasi dengan pencucian mingguan tidak dapat menjaga permeate konstan akibat adanya penyumbatan pori membran, sehingga kombinasi waktu filtrasi-pencucian dengan campuran air dan udara 3 jam-1menit diaplikasikan pada hari ke 23. Kombinasi waktu filtrasi/pencucian dalam penelitian ini masih cukup besar jika dibandingkan penelitian Schoeberl (2005) yang menggunakan BRM terendam untuk pengolahan limbah industri tekstil dengan rentang waktu filtrasi 8-14,2 menit dan pencucian (campuran udara dan air) berkisar antara 25.3 dan 45 detik. Diperkirakan dengan berjalannya waktu filtrasi/periode filtrasi/pencucian pada penelitian ini akan berkurang karena terjadinya penyumbatan di dalam dan permukaan pori membrane oleh biomassa dan produk-produk metabolitnya.

Variasi permeate masih terjadi meskipun setelah dilakukan pengaturan waktu filtrasi/pencucian, meskipun demikian volume permeate total yang dihasilkan masih relatif stabil. Menurut Chang (2002) variasi tekanan dalam saluran membran diakibatkan oleh pusingan air dapat menaikkan fluks permeate, sementara penurunan tekanan menyebabkan transport balik permeate dapat membuat lapisan *cake* lepas dari membran. Chang juga melaporkan, bahwa fluks naik sebesar 34% jika aerasi dalirkan pada modul *air lift*.

Fluktuasi debit permeate pada masing-masing instalasi tanpa aerasi dan dengan aerasi dapat dilihat pada **Tabel 3**.



Gambar 2 Permeate BRM tanpa aerasi pada membran (BRM 1)



Gambar 3 Permeate BRM dengan aerasi pada membran (BRM 2)

Tabel 3 Rata-rata Permeate pada BRM

Reaktor	Aerasi dan pencucian	Permeate rata-rata (L)
BRM 1	Tanpa aerasi	47
BRM 2	Aerasi umpan membran, pencucian mingguan	44
	Aerasi pada umpan membran, kombinasi filtrasi/pencucian 3 jam/1 menit	47

Aerasi

Pada BRM1 tekanan yang diberikan pompa pada membran berkisar antara 0.4-0.8 bar. Tekanan ini pada awalnya mampu memberikan efek *scouring* pada membran, sehingga penyumbatan pada pori membran dapat direduksi. Namun dengan berjalannya waktu terjadi peningkatan tekanan karena pori membran mulai tersumbat, sehingga diperlukan pencucian membran yang lebih sering.

Tekanan aerasi dari kompresor pada umpan membran BRM2 berkisar antara (5-15) lb/in² atau 0.3-1 bar. Akan tetapi pada tekanan aerasi 5 lb/in² (0.3 bar), meskipun permeate dapat mengalir retentate berhenti setelah beberapa saat. Pada tekanan aerasi lebih besar antara 10-15 lb/in² (0.7-1 bar), aliran retentate maupun permeate relatif stabil.

Tekanan dan Debit pencucian

Tekanan pompa pencucian perlu dijaga agar tidak melebihi 2 bar, sehingga membran tidak pecah dan modul membran pada dudukannya (*membrane potting*) tidak terlepas. Volume air yang digunakan untuk pencucian reaktor 1 berkisar pada 3 L dengan lama waktu pencucian 15 menit. Kapasitas air yang diukur adalah besarnya air yang digunakan selama pencucian membran sampai air hasil pencucian relatif tidak berlumpur lagi. Reaktor 2 membutuhkan volume air sekitar 3 L untuk setiap kali pencucian mingguan di awal percobaan. Selanjutnya pada hari ke 23 dengan kombinasi waktu filtrasi-pencucian 3 jam-1 menit, dibutuhkan volume air 7 L/hari.

Konsentrasi Biomassa pada Bioreaktor

Konsentrasi biomassa yang dinyatakan dalam parameter VSS baik di tangki anoksik, kontak maupun stabilisasi pada BRM tanpa aerasi pada BRM 1 maupun BRM 2 jumlahnya tidak jauh berbeda dibandingkan dengan BRM dengan aerasi (**Tabel 4**). Tanpa ataupun dengan pemberian aerasi pada membran tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap pertumbuhan biomassa pada masing-masing reaktor. Di tangki kontak maupun tangki stabilisasi masing-masing telah dilengkapi oleh sistem aerasi, sehingga pemberian aerasi pada membran tidak terlalu berpengaruh terhadap pertumbuhan pada tangki-tangki tersebut. Namun, pemberian aerasi pada umpan membran berpengaruh terhadap pertumbuhan biomassa yang melekat pada membran, dimana pertumbuhan mikroorganisme aerob ini akan memanfaatkan ko-substrat yang ada. Hal ini diperlihatkan melalui tingkat penyisihan organik BRM aerasi yang lebih besar dibanding pada BRM tanpa aerasi. Gong (2007) memperkuat hal ini dengan melaporkan bakteri yang melekat pada material membran sebagai biofilm dapat memanfaatkan oksigen yang ditransfer langsung, sehingga kinerja BRM meningkat.

Tabel 4 Biomassa pada BRM

Reaktor	Tangki Anoksik VSS (mg/L)	Tangki Kontak VSS (mg/L)	Tangki Stabilisasi VSS (mg/L)
Tanpa aerasi	515-2026	921-1964	466-1548
Aerasi	734-1420	716-1526	673-1243

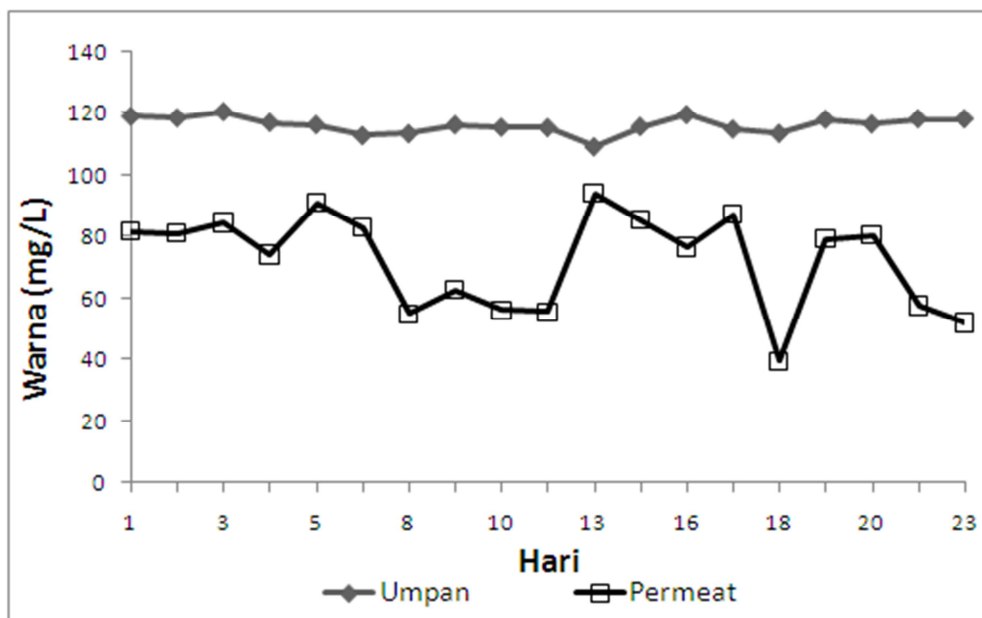
Pada tangki stabilisasi terdapat penurunan biomassa (Tabel 4), hal ini terjadi karena aliran retentat yang tidak stabil akibat tekanan di dalam membran yang tidak stabil pula, sehingga biomassa yang dialirkan membran dari tangki kontak tidak ditransfer dengan sempurna ke tangki stabilisasi. Transfer biomassa yang tidak sempurna akan berpengaruh terhadap distribusi pengaliran biomassa secara kontinu di seluruh tangki kontak, stabilisasi maupun

anoksik, sehingga secara tidak langsung mempengaruhi proses biodegradasi warna. Hal ini terjadi baik di reaktor tanpa maupun dengan aerasi. Hal ini dilaporkan juga Chang (2002), bahwa variasi tekanan di dalam saluran membran yang disebabkan oleh pusaran tekanan dapat menaikkan fluks permeat, sehingga kebalikannya menurunkan retentate yang mengalirkan biomassa ke tangki stabilisasi.

Selama distribusi aliran biomassa dari satu tangki ke tangki lainnya dapat berjalan dengan lancar, pertumbuhan biomassa meningkat seiring dengan pertambahan waktu. Selama ko substrat tersedia adanya warna di dalam medium tidak mempengaruhi pertumbuhan mikroba. Hal ini pun dikemukakan oleh Sponza (2002), Méndez-Paz (2005), serta Lodato (2007) pada proses anaerob maupun kombinasi anaerob-aerob.

Penyisihan Warna

Tingkat penyisihan warna di akhir percobaan pada reaktor tanpa aerasi pada membran sedikit lebih tinggi yaitu 46% (**Gambar 4**) dibandingkan dengan aerasi yaitu 45% (**Gambar 5**). Hal ini diperkirakan karena jumlah biomassa di kedua reaktor tidak jauh berbeda (Tabel 4) serta HRT masing-masing reaktor yang juga sama. Mikroorganisme berperan utama dalam mekanisme pemutusan warna melalui biodegradasi maupun adsorpsi. Dalam percobaan ini konsentrasi biomassa penyisihan warna dalam bioreaktor berfluktuasi sesuai dengan kestabilan operasi membran. Adanya konsentrasi biomassa yang rendah dalam bioreaktor baik tanpa maupun dengan sistem aerasi menyebabkan tingkat penyisihan warna masih rendah baik oleh biodegradasi maupun adsorpsi. 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 warna.

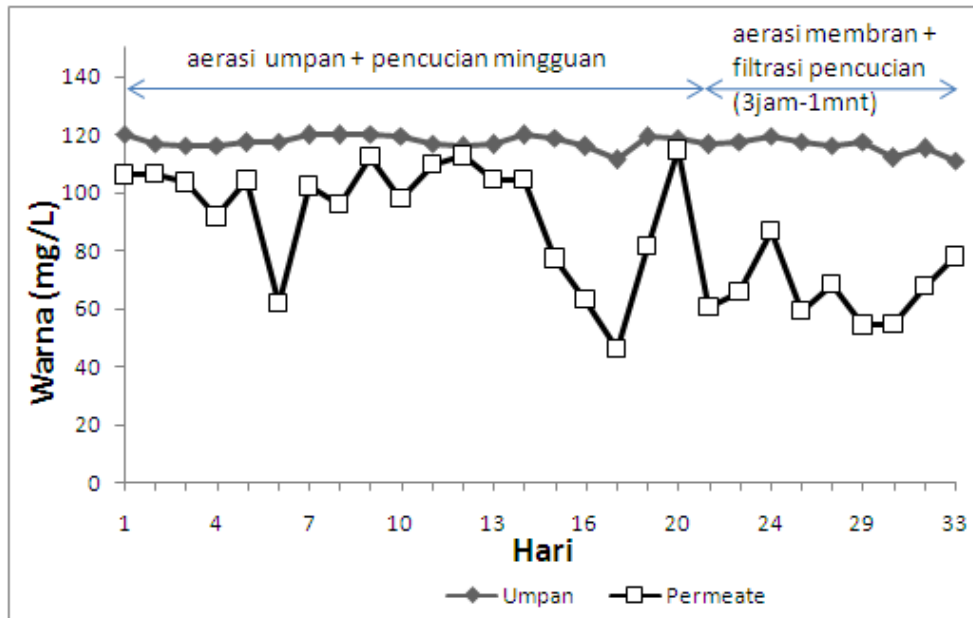


Gambar 4. Penyisihan warna BRM tanpa aerasi pada membran (BRM 1)

Penyisihan COD

Bertolak belakang dengan penyisihan warna yang tidak terlalu jauh berbeda pada kedua BRM, tingkat penyisihan COD pada membran yang diaerasi jauh lebih besar yaitu 75% dibanding 55% pada reaktor tanpa aerasi. Mikroorganisme berperan utama dalam

mekanisme penyisihan senyawa organik melalui biodegradasi maupun adsorpsi, semakin meningkatnya konsentrasi biomassa di setiap reaktor tingkat penyisihan senyawa organikpun makin tinggi. Dengan adanya transfer oksigen langsung ke biomassa yang melekat pada membran, maka laju transfer massa oksigen pada mikroba lebih tinggi dibanding pada membran tanpa penambahan aerasi yang hanya memanfaatkan tekanan dari pompa, sehingga penyisihan organik pada BRM dengan aerasi pada membran lebih tinggi.



Gambar 5. BRM dengan variasi pemberian aerasi pada membran (BRM 2)

KESIMPULAN

Biodegradasi zat warna Azo Remazol Black V dengan menggunakan bioreaktor membran konsekutif aerob-anaerob pada HRT anoksik, kontak dan stabilisasi 3, 2 dan 4 jam baik dengan pemberian aerasi maupun tanpa aerasi pada umpan membran mampu menghasilkan tegangan geser di permukaan membran sehingga dapat meminimasi *fouling* pada membran dan menjaga fluks permeate lebih stabil. Namun, peningkatan konsentrasi biomassa dan produk-produk mikrobial dalam medium reaktor mengakibatkan pencucian lebih sering, sehingga BRM aerasi menjadi lebih efektif. Kombinasi waktu filtrasi-pencucian 3 jam-1 menit dengan pemberian aerasi pada umpan sebesar 0.7-1 bar dapat menyisihkan warna dan senyawa organik 45% - 75%, sedangkan membran tanpa aerasi dihasilkan penyisihan warna 46% dan 55% senyawa organik. Adanya aerasi pada membran mendukung pertumbuhan mikroorganisme yang melekat pada membran dengan suplai oksigen untuk mendegradasi ko-substrat, sehingga kinerja BRM meningkat. Konsentrasi biomassa yang rendah dalam BRM baik tanpa maupun dengan sistem aerasi menyebabkan tingkat penyisihan warna rendah baik melalui proses biodegradasi maupun adsorpsi

DAFTAR PUSTAKA

Ananthi, N. Pengaruh waktu detensi hidrolis dalam tangki anoxic terhadap kinerja rangkaian bioreaktor membran kontak stabilisasi dalam penyisihan zat warna azo Remazol Black V. Thesis Magister Program Studi Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung, 2008

- American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. A.D. Eaton, L.S. Clesceri, A.E.Greenberg (Eds.), 19th ed., Washington D.C. 1995
- Brik, M., P. Schoeberl, B. Chamam, R. Braun, and W. Fuchs. "Advanced treatment of textile wastewater towards reuse using a membrane bioreactor", Process Biochemistry 41. (2006): pp 1751–1757
- Chang, I.S., S.J. Judd. "Air sparging of a submerged MBR for municipal wastewater treatment", Process Biochemistry 37 (2002): pp 915–920
- Fane, A.G., D. Cho. Membrane Bioreactors-Design Options and Operational Considerations: Fouling Control. Proceedings of Seminar on Membrane Bioreactors and Hybrid Systems. UTS. Sydney. Australia, 2001
- Gong, Z., F. Yang, S. Liu, H. Bao, S. Hu, and K. Furukawa. "Feasibility of a membrane-aerated biofilm reactor to achieve single-stage autotrophic nitrogen removal based on Anammox", Chemosphere 69 (2007): pp 776–784
- Komala, P.S., AJ Effendi, IG. Wenten, Wisjnuaprpto. "Pengaruh waktu retensi hidrolis reaktor anoksik terhadap biodegradasi zat warna azo reaktif menggunakan bioreaktormembran aerob-anoksik", Jurnal Teknologi Lingkungan Jurusan Teknik Lingkungan-Universitas Trisakti bekerja sama dengan Ikatan Ahli Teknik Penyehatan dan Teknik Lingkungan Indonesia (IATPI). Vol. 4 No. 4, Desember (2008), pp 91-96
- Le-Clech, P., V. Chen, and A.G. Fane. "Fouling in membrane bioreactors used in wastewater treatment" Journal of Membrane Science 284 (2006): pp 17–53
- Lodato, A., F. Alfieri, G. Olivieri, A. Di Donato, A. Marzocchella, and P. Salatino. "Azo-dye conversion by means of Pseudomonas sp.OX1", Enzyme and Microbial Technology. (2007). doi:10.1016/j.enzmictec. 2007.05.017.
- Méndez-Paz, D., F. Omil, J.M. Lema. "Anaerobic treatment of azo dye Acid Orange 7 under batch conditions", Enzyme and Microbial Technology 36 (2005): pp 264–272
- Ollgaard, H., L. Frost, J. Galster, and O.C. Hensen, Survey of Azocolorants on Denmark: Milgoproject 509. Danish Environmental Protection Agency, 1999
- Schoeberl, P., Brik, M., Bertoni, M., Braun, R. And Fuchs, W. "Optimization of operational parameters for a submerged membrane bioreactor treating dyehouse wastewater", Separation and Purification Technology 44 (2005): pp 61–68
- Smith, B., G. O'Neal, H. Boyter and J. Piszczek. "Decolorizing textile dye wastewater by anoxic/aerobic treatment", Journal of Chemical Technology and Biotechnology 82, (2007): pp 16–24.
- Sponza, D.T., M. Işik. "Decolorization and azo dye degradation by anaerobic/aerobic sequential process", Enzyme and Microbial Technology 31 (2002): pp 102–110