

Perbandingan Ko-substrat Optimum pada Sistem Batch dan Bioreaktor Membran Anoksik-oksik Kontinu dalam Biodegradasi Zat Warna Azo

^{1,2}Puti Sri Komala, ²Agus Jatnika Effendi, ³IG. Wenten & ²Wisjnuaprpto

¹Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Andalas

²Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

³Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung

¹Kampus Limau Manis Universitas Andalas, Padang

^{2,3}Jalan Ganesha 10 Bandung 40132

email: putisrikomala@ft.unand.ac.id

Abstrak. Dalam penelitian ini konsentrasi limbah tepe optimum untuk biodegradasi zat warna azo Remazol Black-5 sebagai ko-substrat dalam percobaan batch aerob dibandingkan dengan bioreaktor membran (BRM) anoksik-oksik kontinu. Bioreaktor terdiri dari kontak-stabilisasi serta reaktor anoksik yang dikombinasikan dengan membran ultrafiltrasi eksternal yang beroperasi dengan waktu retensi hidrolis tangki anoksik, kontak dan stabilisasi konstan yaitu 4, 2 dan 4 jam. Penggunaan limbah tepe optimum pada proses batch tanpa dan dengan penambahan zat warna secara aerob nilainya tidak jauh berbeda, demikian juga pada proses kontinu menggunakan bioreaktor membran anoksik-oksik yaitu sekitar 2080-2400 mg/L dengan penyisihan warna dan senyawa organik sebesar 63% dan 81%. Pada percobaan seeding secara batch aerob selama waktu percobaan 48 jam tidak terjadi penyisihan warna yang signifikan, meskipun pertumbuhan biomassa cukup tinggi. Namun dengan kombinasi anoksik-oksik dengan waktu retensi hidrolis yang lebih singkat sehingga penyisihan warna dan senyawa organik terjadi sekaligus, lebih efektif dibandingkan proses aerob yang dilakukan pada waktu yang jauh lebih panjang. Terdapat korelasi yang erat antara besarnya zat warna yang disisihkan dengan ko-substrat yang dibutuhkan biomassa untuk proses penyisihan warna tersebut. Diperkirakan bahwa metabolit yang terbentuk pada fase anoksik berperan pada penggunaan ko-substrat pada fase aerob di tangki kontak dan stabilisasi berikutnya.

Kata kunci: *batch, kontinu, ko-substrat, bioreaktor membran, kontak-stabilisasi, zat warna azo.*

1 Pendahuluan

Salah satu zat warna yang sering digunakan pada industri tekstil adalah zat warna azo. Zat warna azo mempunyai karakteristik utama yaitu terdapatnya gugus nitrogen yang berikatan ganda dengan nitrogen, yang dikenal sebagai rantai azo (- N = N -). Di dalam satu jenis zat warna gugus ini bisa terdiri dari satu atau lebih rantai ini. 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/atau mutagenik bagi kehidupan. Pengolahan senyawa toksik seperti zat warna azo secara biologi umumnya dilakukan dengan kombinasi proses anaerob-aerob (Tan et al., 2000; Isik dan Sponza, 2004; Ong, 2005; Van der Zee, 2005), namun proses anaerob

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).

Zat warna hanya mengandung sedikit senyawa karbon, sehingga biodegradasi tanpa penambahan senyawa karbon ekstra akan sulit (Padmavaty, 2003). Limbah tempe digunakan dalam percobaan ini sebagai ko-substrat, karena mempunyai kandungan sumber karbon organik dan nutrient yang cukup untuk pertumbuhan mikroorganisme (Komala, 2009). Dalam penelitian tersebut limbah tempe dibandingkan dengan *yeast extract*, terlihat bahwa beberapa parameter organik dan anorganik dalam limbah tempe seperti COD, BOD, nitrat, K, Na, Mg, Ca, Fe dan Al menunjukkan nilai yang lebih tinggi. Dengan demikian limbah tempe dianggap layak untuk menggantikan yeast extract sebagai sumber karbon dan nutrient yang digunakan dalam biodegradasi zat warna azo. Kosubstrat limbah tempe berperan untuk menginduksi azoreduktase, enzim yang berperan dalam pemutusan warna yang aktif dalam keadaan anaerob untuk pengolahan zat warna azo RO16 dengan menggunakan proses kontak-stabilisasi (Wisjnuprpto, 1999).

Dalam penelitian ini akan dibandingkan berbagai konsentrasi limbah tempe pada proses seeding secara batch aerob, kemudian setelah ditambahkan zat warna ke dalam medium dan terakhir dibandingkan dengan penggunaan limbah tempe pada percobaan kontinu yaitu proses kontak-stabilisasi yang dihubungkan dengan tangki anoksik yang dikombinasikan dengan membran eksternal pada kondisi HRT dan SRT konstan. Konsentrasi biomassa maksimum, penurunan senyawa organik dan zat warna terhadap waktu dalam proses seeding secara batch maupun dalam bioreaktor diamati. Kinerja penyisihan warna dan senyawa organik bioreaktor membran juga dibandingkan pada berbagai variasi konsentrasi limbah tempe.

2 Metoda

2.1 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.

2.2 Zat warna

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.

Perbandingan Ko-substrat Optimum pada Sistem Batch dan Bioreaktor Membran Anoksik-oksik Kontinu dalam Biodegradasi Zat Warna Azo

2.3 Seeding

Proses seeding dilakukan dengan menggunakan mikroorganisme yang berasal dari campuran lumpur dari pengolahan biologis instalasi pengolahan air limbah industri tekstil dan industri warna. Mikroorganisme sebanyak 10%v/v ini kemudian dibiakkan menggunakan limbah tempe sebagai sumber karbon dan zat warna secara aerob dalam reaktor batch dengan volume 5 L. Pembubuhan NaOH diberikan sedemikian rupa, sehingga diperoleh pH umpan yang diinginkan. Variasi konsentrasi limbah tempe antara sebesar 10%, 15%, 20%, 25% dan 30% v/v (10 % limbah tempe dari 5L volume media keseluruhan) dimasukkan ke dalam 5 buah reaktor yang mengandung larutan biomassa dan diaerasi secara batch. Percobaan dilakukan selama 24 jam, sampel diambil setiap empat jam untuk pemeriksaan VSS dan COD. Salah satu kriteria pemilihan ko-substrat optimum adalah, COD di akhir percobaan tidak terlalu tinggi dibandingkan standard efluen yang diijinkan (150 mg COD/L, menurut Kep.51/MenLH/10/1995 Baku mutu limbah cair industri tekstil).

2.4 Optimasi ko-substrat Limbah Tempe secara Batch

Percobaan optimasi ko-substrat limbah tempe dilakukan untuk mengetahui konsentrasi ko-substrat optimum untuk mencapai pertumbuhan biomassa tertinggi dalam medium yang mengandung zat warna. Dalam percobaan ini ko-substrat limbah tempe pada rentang di bawah optimum yang diperoleh pada percobaan seeding sebelumnya, ditambahkan ke dalam reaktor yang mengandung zat warna Remazol Black 5 120 ppm dan 10% larutan biomassa kemudian ditambahkan aquadest sampai volume 5 L kemudian diaerasi secara batch. Rentang konsentrasi ko-substrat di bawah optimum digunakan untuk menghindari COD setelah pengolahan berada di atas standard effluent yang diijinkan. Konsentrasi ko-substrat optimum pada percobaan selanjutnya akan digunakan sebagai dasar penambahan ko-substrat dalam percobaan BRM anoksik-oksik kontinu. Percobaan dilakukan selama 48 jam, sampel diambil setiap empat jam untuk pemeriksaan VSS, COD dan warna. COD terolah yaitu COD pada jam tertentu diamati penurunannya, serta COD akhir yaitu COD setelah akhir percobaan (48 jam) juga dievaluasi.

2.5 Bioreaktor membran

Instalasi BRM dengan kapasitas 1 L/jam dioperasikan secara kontinu. Bioreaktor terdiri dari tangki anoksik, tangki kontak dan tangki stabilisasi yang terbuat dari acrylic. Membran eksternal berada di antara tangki kontak dan stabilisasi. Waktu retensi hidrolis pada tangki kontak, stabilisasi dan anoksik konstan yaitu 2, 4 dan 4 jam. Umpan berupa campuran zat warna dan limbah tempe dialirkan ke dalam tangki anoksik yang dilengkapi dengan pengaduk mekanis berkecepatan 40-60 rpm. Ke dalam umpan ditambahkan NaOH sampai kondisi netral. Kemudian secara gravitasi larutan biomassa dari tangki anoksik dialirkan ke dalam tangki kontak dan diaerasi. Dari tangki kontak larutan dipompakan ke membran eksternal sesuai dengan tekanan operasi membran, 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 aliran crossflow. 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. Pada dasar tangki kontak dan stabilisasi dilengkapi dengan diffuser yang dihubungkan dengan kompresor untuk mencampur biomassa dan larutan dalam tangki. Setelah kondisi tunak VSS, konsentrasi warna, dan COD berturut-turut di setiap reaktor diukur. Skema instalasi bioreaktor membran aerob-anaerob dapat dilihat pada **Gambar 1**.

2.6 Metoda Analisis

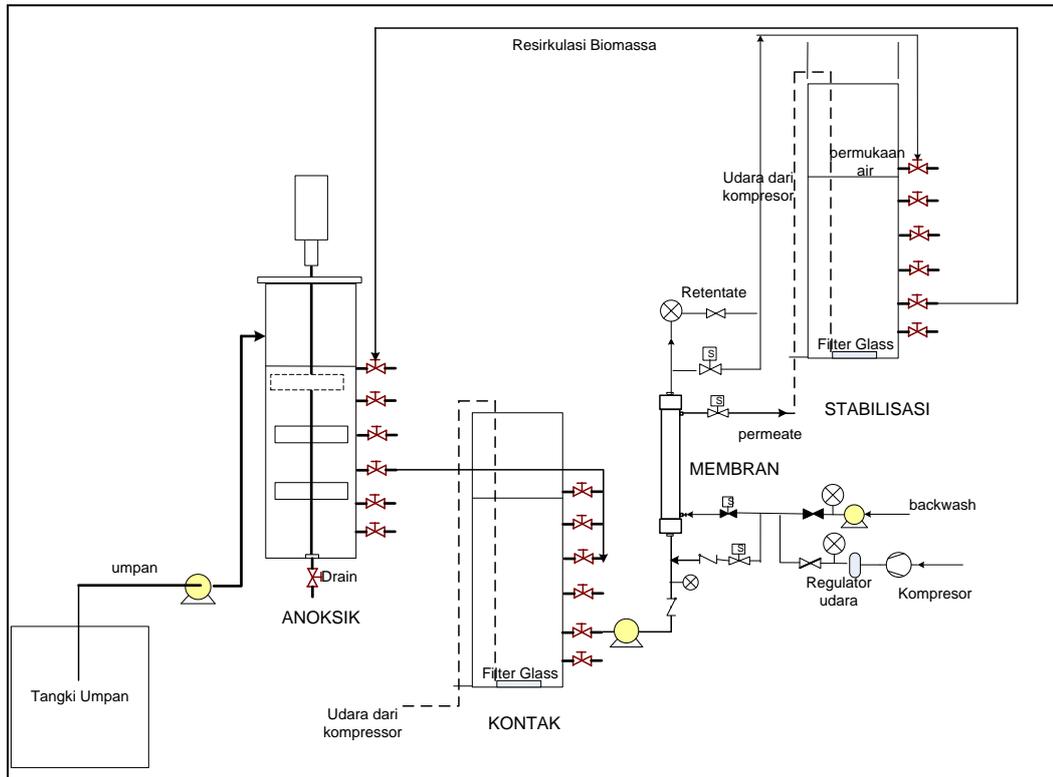
Kinerja bioreaktor membran aerob-anaerob dimonitor melalui hasil analisis sampel dari tangki umpan, anoksik, kontak, stabilisasi dan permeat membran. Parameter yang diukur adalah pH, konsentrasi warna, COD dan MLVSS. pH diukur langsung dari sampel yang diambil dari masing-masing tangki bioreaktor, sedangkan pengukuran warna dan COD dari sampel supernatan hasil pemisahan dengan kertas saring, dan MLVSS berasal dari filtrat hasil penyaringan. 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).

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Seeding

Dari percobaan penambahan konsentrasi limbah tempe 10%, 15%, 20%, 25% dan 30% v/v, terlihat bahwa konsentrasi limbah tempe lebih besar dari 15% v/v mengandung COD awal > 6.000 mg/L, setelah 24 jam diaerasi secara batch umumnya menghasilkan konsentrasi COD akhir yang relatif masih tinggi (sekitar 3000 mg/L). Tingkat pertumbuhan biomassa dengan penambahan konsentrasi limbah tempe tinggi 20% dan 25% hampir mencapai 2.000 mg/L VSS. Pada konsentrasi ko-substrat rendah (10% dan 15%) pertumbuhan biomassa mencapai nilai maksimum setelah 9 jam percobaan, sedangkan pada konsentrasi ko-substrat 20% dan 25% pertumbuhan biomassa maksimum setelah 15 jam. Penambahan ko-substrat yang terlalu tinggi bagi mikroorganisme tidak memberikan pengaruh positif terhadap pertumbuhan bahkan dapat bersifat toksik. Variasi konsentrasi ko-substrat, COD yang dihasilkan dan konsentrasi biomassa terhadap waktu dapat dilihat pada Tabel 1.

Perbandingan Ko-substrat Optimum pada Sistem Batch dan Bioreaktor Membran Anoksik-oksik Kontinu dalam Biodegradasi Zat Warna Azo



Gambar 1 Skema Instalasi Bioreaktor Membran Anoksik-oksik

Tabel 1 Konsentrasi biomassa, efluent yang dihasilkan oleh berbagai konsentrasi ko-substrat pada proses seeding

% konsentrasi ko-substrat	COD (mg/L)			Efisiensi penurunan COD (%)	VSS (mg/L)	
	awal	terolah	Jam COD terolah		maksimum	Jam VSS maks
10%	5,416	2,083	21	62	2,613	9
15%	6,249	1,250	18	80	2,590	9
20%	9,582	2,916	24	70	2,797	15
25%	15,831	2,916	24	82	3,213	18
30%	15,831	2,916	24	82	3,357	9

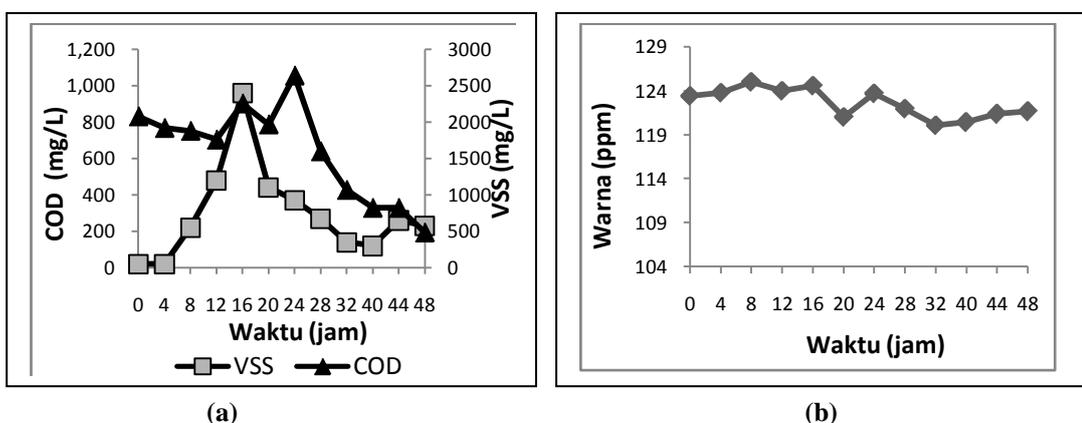
Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa untuk seeding dengan pertumbuhan biomassa maksimum, konsentrasi limbah tepe antara 10% dan 15% v/v merupakan konsentrasi ko-substrat optimum, dimana COD akhir yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan ko-substrat lainnya. Kisaran yang digunakan dalam rentang 10%-15% karena limbah tepe yang dihasilkan pabrik dapat berfluktuasi tergantung kekentalan yang dihasilkan. Dalam percobaan seeding dengan zat warna digunakan variasi limbah tepe antara 3-15% v/v dengan kandungan COD < 6000 mg/L, diharapkan COD akhir tidak terlalu tinggi, namun pertumbuhan biomassa optimum.

3.2 Optimasi ko-substrat Limbah Tempe secara batch

Dari percobaan variasi ko-substrat dengan 3%, 4%, 5%, 6%, 8%, 10%, 12% dan 15% dengan konsentrasi COD awal di antara 3142 mg/L sampai 4934 mg/L menghasilkan VSS yang tinggi yaitu 2100 mg/L (pada ko-substrat 6%) sampai 3727 mg/L (pada ko-substrat 15%) dari VSS awal 673 - 1300 mg/L. COD minimum yang dihasilkan antara 700 mg/L (ko-substrat 6%) sampai 1000 mg/L (ko-substrat 15%). Maka, pemberian ko-substrat 8% sampai 15% kurang ekonomis, karena COD akhir masih cukup tinggi yaitu di atas 800 mg/L meskipun dihasilkan VSS yang tinggi. Penurunan COD yang signifikan pada seluruh percobaan penambahan ko-substrat umumnya terjadi setelah jam ke-32.

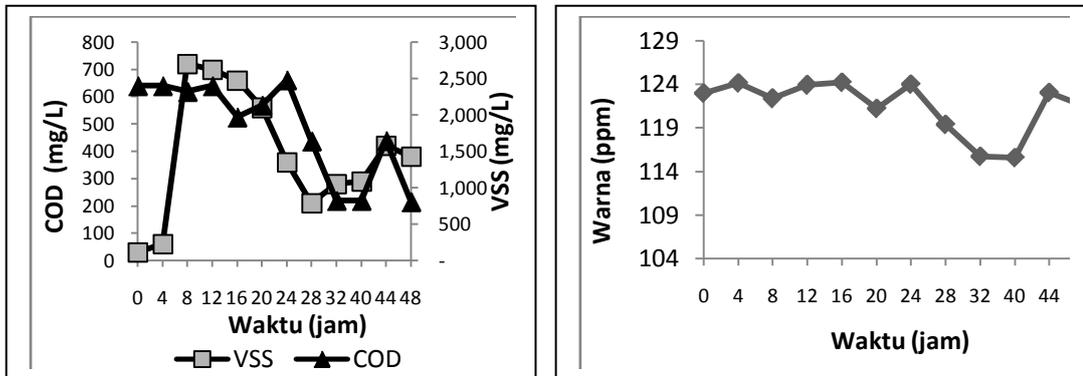
Selanjutnya ditinjau pemberian ko-substrat 3%, 4%, 5% dan 6% (COD awal berkisar antara 2080 mg/L-3140 mg/L), dengan pertimbangan pemberian ko-substrat ini akan menghasilkan COD akhir yang rendah. COD terolah yang dihasilkan setelah jam ke-32 pada pemberian ko-substrat 3-5% berkisar antara 576-823 mg COD/L, dibandingkan dengan pemberian ko-substrat 6% yaitu 700 mg COD/L. Dengan demikian, pemberian ko-substrat 6% tidak terlalu efektif dibandingkan pemberian ko-substrat yang lebih rendah (3-5%). Perbandingan nilai VSS, COD awal dan terolah serta konsentrasi warna terhadap waktu pada penambahan ko-substrat antara 3%, 4% dan 5 % dapat dilihat pada Gambar 2, 3 dan 4.

VSS awal yang digunakan pada penambahan ko-substrat antara 3%, 4% dan 5% (COD awal 2080-2720 mg/L) relatif lebih rendah (20-160 mg/L) jika dibandingkan percobaan variasi ko-substrat 6%-15%. Namun pada VSS yang rendah ini, umumnya setelah jam ke-8 terjadi kenaikan VSS yang drastis 10 sampai 18 kalinya, bahkan pada ko-substrat 4% (COD 2400 mg/L) sampai 120 kalinya dari 60 mg/L menjadi 720 mg/L. VSS maksimum yang dicapai pada konsentrasi ko-substrat 3-5% masih berada di bawah 1000 mg/L. Dilihat dari segi kenaikan biomassa, waktu berkembang biak yang singkat dan COD terolah yang relatif rendah, maka konsentrasi ko-substrat optimum berada pada rentang 3%-4% yaitu COD pada rentang antara 2080 mg/L- 2400 mg/L. Penurunan warna yang terjadi selama 48 jam percobaan ini tidak terlalu signifikan yaitu sekitar 1,2% - 3,1% dari konsentrasi warna awal yaitu 110 mg/L – 120 mg/L.



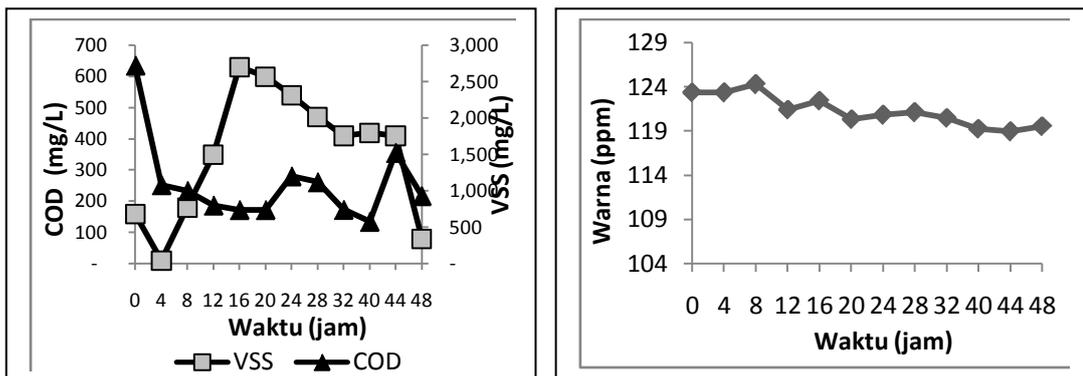
Gambar 2 a dan b. Ko-substrat limbah tempe 3% v/v dalam percobaan batch (a); konsentrasi warna selama percobaan (b)

Perbandingan Ko-substrat Optimum pada Sistem Batch dan Bioreaktor Membran Anoksik-oksik Kontinu dalam Biodegradasi Zat Warna Azo



(a) (b)
Gambar 3 a dan b. Ko-substrat limbah tempe 4% v/v dalam percobaan batch (a); konsentrasi warna selama percobaan (b)

Apabila dibandingkan pada proses seeding (Tabel 1) terdapat persamaan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai konsentrasi biomassa tertinggi yaitu dari 8-12 jam. Hal ini memperlihatkan bahwa selama substrat tersedia dalam medium, biomassa dapat tumbuh dan beradaptasi dengan baik. Hal ini bertolak belakang dengan Kim (2006) yang melaporkan pertumbuhan mikroorganisme anaerob pada pengolahan Reactive Black 5 dengan glukosa sebagai sumber karbon baik dengan/tanpa penambahan zat warna memperlihatkan pola penurunan glukosa yang sama, meskipun pertumbuhan biomassa terganggu secara signifikan akibat zat warna dan turunannya. Zat warna azo merupakan senyawa xenobiotik rekalsitran, sehingga proses pengolahan air buangan konvensional aerobik biasanya tidak efisien untuk mendegradasi efluen yang mengandung zat warna azo (Barragán, 2007), oleh karena itu kombinasi pengolahan anerob/anoksik-aerob lebih efektif untuk penghilangan warna.



Gambar 4 a dan b. Ko-substrat limbah tempe 5% v/v dalam percobaan batch (a); konsentrasi warna selama percobaan (b)

Dengan pertimbangan COD minimum yang dihasilkan serta jam terpendek untuk menghasilkan konsentrasi biomassa terbesar, maka rentang COD ko-substrat antara 2080-2400 mg/L (8%-10%) merupakan nilai konsentrasi ko-substrat limbah tempe optimum

yang ditambahkan pada percobaan pengolahan zat warna Remazol Black 5 selanjutnya, meskipun pada konsentrasi tersebut COD minimum masih relatif tinggi. Kesulitannya adalah menentukan konsentrasi awal limbah tepe secara tepat, karena konsentrasi limbah tepe dari pabrik berfluktuasi.

3.3 Optimasi ko-substrat limbah tepe pada BRM anoksik-oksik kontinu

Pada percobaan menggunakan BRM anoksik-oksik kontinu dengan HRT kontak, stabilisasi, dan anoksik optimum yaitu 2, 4 dan 4 jam yang dijaga konstan selama percobaan. Waktu total HRT pada reaktor kontinu adalah 10 jam untuk melakukan penyisihan warna dan senyawa organik sekaligus, dibandingkan pada percobaan batch dalam waktu yang sama penyisihan warna pada waktu tersebut belum terjadi. Pada proses batch secara aerob biomassa dapat tumbuh secara signifikan demikian juga penyisihan senyawa organik, namun penyisihan warna yang terjadi sangat kecil. Hal ini diperkirakan terjadi, karena sifat penarik elektron yang kuat dari senyawa azo, sehingga senyawa ini sulit diuraikan dengan proses pengolahan air limbah konvensional aerob (Supaka, 2004), namun jika mikroorganisme aerob dipaparkan pada kondisi mikroaerofilik mereka dapat memutuskan warna lebih cepat (Padmavaty, 2003).

Percobaan variasi konsentrasi ko-substrat limbah tepe antara 3-5% (COD antara 1607 mg/L – 2869 mg/L) digunakan pada kombinasi proses anoksik-oksik kontinu (Tabel 2). Pada rentang COD antara 1928-2869 mg/L dari sisi penyisihan warna tidak memberikan nilai yang jauh berbeda (60-63%) (Tabel 3), namun dari penyisihan organik pada permeate memperlihatkan nilai yang cukup berbeda. Konsentrasi ko-substrat optimum diperoleh sebesar 4% atau COD 2465 mg/L dengan penyisihan warna dan senyawa organik yang tertinggi yaitu 63% dan 81%. Terdapat korelasi yang kuat antara besarnya zat warna yang disisihkan dengan ko-substrat yang dibutuhkan biomassa untuk proses penyisihan warna tersebut, seperti yang diungkapkan oleh Lodato (2007) menggunakan *internal loop airlift bioreactor* dengan siklus aerob-anaerob berturut-turut 20 dan 100 jam dengan mikroorganisme *Pseudomonas* sp. OX1, bahwa dekolorisasi maksimum pada fase anaerob berhubungan erat dengan jumlah substrat pertumbuhan yang dikonversi pada fase aerob. Hubungan ini didefinisikan sebagai “kuota dekolorisasi” yaitu tingkat dekolorisasi maksimum yang dapat dicapai pada fase anaerob per unit massa substrat yang dikonversi selama fase aerob. Dalam percobaan ini diperkirakan bahwa metabolit yang terbentuk pada fase anoksik berperan pada penggunaan ko-substrat pada fase aerob di tangki kontak dan stabilisasi berikutnya.

Tabel 2 Konsentrasi COD pada bioreaktor yang dihasilkan oleh berbagai konsentrasi ko-substrat menggunakan bioreaktor membran anoksik-oksik

Ko-substrat (%)	COD (mg/L)					
	Umpan	Anoksik	Kontak	Stabilisasi	Permeate	Efisiensi
1%	1607	1182	990	480	758	53
2%	1754	1439	1045	524	718	59
3%	1928	1262	652	428	489	75
4%	2465	865	512	179	473	81
5%	2869	2138	1387	491	711	75

Perbandingan Ko-substrat Optimum pada Sistem Batch dan Bioreaktor Membran Anoksik-oksik Kontinu dalam Biodegradasi Zat Warna Azo

Tabel 3 Konsentrasi warna pada bioreaktor yang dihasilkan oleh berbagai konsentrasi ko-substrat menggunakan bioreaktor membran anoksik-oksik

Ko-substrat (%)	Warna (mg/L)					
	Umpan	Anoksik	Kontak	Stabilisasi	Permeate	Efisiensi
1%	125	74	73	57	56	56
2%	114	73	68	35	51	55
3%	113	67	63	34	46	60
4%	114	62	59	46	42	63
5%	123	85	77	50	47	62

Konsentrasi ko-substrat 4% tersebut dapat menumbuhkan biomassa pada tangki anoksik, kontak dan stabilisasi sebesar 956 mg/L, 1464 mg/L dan 1127 mg/L dengan SRT antara 1-2 hari (Tabel 4). Rendahnya nilai SRT ini, dikarenakan konsentrasi VSS pada permeate yang cukup tinggi yaitu antara 53-360 mg/L. Meskipun konsentrasi biomassa di tangki anoksik yang terkecil, namun pada tangki ini terjadi penyisihan warna dan COD yang signifikan, sedangkan pada tangki kontak penyisihan COD yang terjadi cukup signifikan dibanding penyisihan warna. Di tangki stabilisasi dan membran baik penyisihan warna dan organik besarnya cukup signifikan. 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.

Penurunan konsentrasi biomassa di tangki stabilisasi diakibatkan dari distribusi aliran retentate yang tidak lancar pada lumen membran akibat tekanan yang tinggi dan aerasi membran kurang besar, sehingga aliran lumpur biomassa dari tangki kontak tidak seluruhnya masuk.

Tabel 4 Konsentrasi VSS pada bioreaktor yang dihasilkan oleh berbagai konsentrasi ko-substrat menggunakan bioreaktor membran anoksik-oksik

Ko-substrat (%)	VSS (mg/L)		
	Anoksik	Kontak	Stabilisasi
1%	452	799	940
2%	489	691	902
3%	588	887	983
4%	778	1163	923
5%	893	1127	1300

Seperti pada proses seeding peningkatan ko-substrat pada umpan meskipun dapat meningkatkan biomassa dalam bioreaktor keseluruhan, namun tidak dapat meningkatkan penyisihan warna. Pada konsentrasi ko-substrat optimum, COD yang dihasilkan di permeate masih melebihi standard efuen yang diijinkan. Hal ini diperkirakan karena umur lumpur selama percobaan masih rendah, yaitu sekitar 1-2 hari. Perlu diupayakan peningkatan biomassa untuk menaikkan umur lumpur, sehingga kinerja bioreaktor dapat ditingkatkan.

4 Kesimpulan

Penggunaan limbah tempe optimum pada proses batch tanpa dan dengan penambahan zat warna secara aerob nilainya tidak jauh berbeda, demikian juga pada proses kontinu menggunakan bioreaktor membran anoksik-oksik yaitu sekitar 2080-2400 mg/L dengan penyisihan warna dan senyawa organik sebesar 63% dan 81%. Pada percobaan seeding secara batch aerob selama waktu percobaan 48 jam tidak terjadi penyisihan warna yang signifikan. Namun dengan kombinasi anoksik-oksik dengan waktu retensi hidrolis yang lebih singkat sehingga penyisihan warna dan senyawa organik terjadi sekaligus, lebih efektif dibandingkan proses aerob yang dilakukan pada waktu yang jauh lebih panjang. Terdapat korelasi yang erat antara besarnya zat warna yang disisihkan dengan ko-substrat yang dibutuhkan biomassa untuk proses penyisihan warna tersebut. Diperkirakan bahwa metabolit yang terbentuk pada fase anoksik berperan pada penggunaan ko-substrat pada fase aerob di tangki kontak dan stabilisasi berikutnya.

5 Notasi

- COD awal* = COD awal percobaan batch pada jam ke-
COD terolah = COD yang dihasilkan percobaan batch pada jam ke-
COD akhir = COD yang dihasilkan percobaan batch pada akhir percobaan

6 Daftar Pustaka

- [1] 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.
- [2] Barragán, B.E. Costa, C. Ma´rquez, M.C., Biodegradation of azo dyes by bacteria inoculated on solid media. *Dyes and Pigments*, 75, pp. 73-81, 2007.
- [3] Cirja, M. Ivashechkin, P. Schäffer, A. & Corvini, P.F.X., Factors affecting the removal of organic micropollutants from wastewater in conventional treatment plants (CTP) and membrane bioreactors (MBR), *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 7 (1), pp 61–78, 2008
- [4] Kementerian Lingkungan Hidup, Kep.51/MenLH/10/1995, Baku mutu limbah cair industri tekstil, 1995.
- [5] Kim, S.Y. An J.Y. & Kim, B.W., *The effects of reductant and carbon source on the microbial decolorization of azo dyes in an anaerobic sludge process.* *Dyes and Pigments* xx, pp 1-8, 2006.
- [6] Komala, P.S. Effendi, A.J. & Wisjnuprpto, *Penggunaan Limbah Tempe dalam Biodegradasi Zat Warna Azo Menggunakan Bioreaktor Membran Aerob-anaerob*, Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia, 19-20 Oktober 2009, Peran Teknik Kimia dalam Menjamin Ketahanan Pangan dan Energi Nasional.
- [7] Lodato, A. Alfieri, F. Olivieri, G. Di Donato, A. Marzocchella, A. & Salatino, P., *Azo-dye conversion by means of Pseudomonas sp.OX1*, *Enzyme and Microbial Technology*, doi:10.1016/j.enzmictec. 2007.05.017.
- [8] 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*, *Chem. Biochem. Eng. Q.* 17, 2, 147–151, 2003.

Perbandingan Ko-substrat Optimum pada Sistem Batch dan Bioreaktor Membran Anoksik-oksik Kontinu dalam Biodegradasi Zat Warna Azo

- [9] Smith, B. O'Neal, G. Boyter, H. & Piszczek, J., *Decolorizing textile dye wastewater by anoxic/aerobic treatment*, Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 82, pp. 16–24, 2007.
- [10] Van der Zee, F.P. & Villaverde, S., *Combined anaerobic-aerobic treatment of azo dyes—a short review of bioreactor studies*. Water Research, 39, pp 1425–1440, 2005.
- [11] Wisjnuprpto. Kardena, E. & Artha, W., *Penyisihan zat warna azo CIRO-16 dalam modifikasi proses kontak-stabilisasi menggunakan limbah cair industri tempe*, Jurnal Biosains, 4 (1), pp 26-30, ISSN 02159333, 7 PAU Biosains., 1999.