

# PENGARUH pH TERHADAP BIODEGRADASI ZAT WARNA AZO MENGGUNAKAN BIOREAKTOR MEMBRAN AEROB-ANAEROB

## EFFECT OF pH ON AZO DYE BIODEGRADATION BY USING AEROBIC-ANAEROBIC MEMBRANE BIOREACTOR

Puti Sri Komala<sup>1)</sup>, Agus Jatnika Effendi<sup>2)</sup>, I.G. Wenten<sup>3)</sup>, dan Wisjnuaprpto<sup>4)</sup>

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

<sup>2,4)</sup> Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

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

Jalan Ganesha Bandung

Email: putisrikomala@ft.unand.ac.id

**Abstrak:** Dalam penelitian ini diamati pengaruh pH 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 tepe sebagai ko-substrat. Selama percobaan waktu retensi hidrolis tangki anoksik, kontak dan stabilisasi dijaga konstan yaitu 3, 2 dan 4 jam. Pengaturan pH dilakukan dengan NaOH untuk mendapatkan variasi pH. Percobaan dilakukan pada waktu retensi hidrolis tangki kontak, stabilisasi dan anoksik konstan yaitu 2, 4 dan 3 jam. Pertumbuhan biomassa pada bioreaktor lebih baik pada kondisi basa pH >8, namun penyisihan warna optimum pada kondisi netral (7-8). Meskipun pertumbuhan mikroorganisme yang rendah di tangki anoksik dibandingkan konsentrasi biomassa di tangki yang lain akibat DO dan pH yang rendah, namun sebaliknya pada kondisi inilah zat warna tertinggi dapat diputuskan oleh mikroorganisme. Tingkat penyisihan warna dan senyawa organik yang dicapai pada kondisi pH optimum adalah 70% dan 72%. Peningkatan pH pada tangki anoksik, kontak, permeate dan stabilisasi terjadi baik tanpa maupun dengan penambahan basa pada umpan. Peningkatan pH sampai ke rentang basa terjadi di tangki stabilisasi baik melalui penambahan atau tanpa penambahan basa pada umpan, akibat terbentuknya produk-produk degradasi warna maupun senyawa organik yang terbentuk.

**Kata kunci:** membran eksternal, kontak-stabilisasi, pH, dan zat warna azo.

**Abstract:** In this study the effect of pH on azo dye removal by using a modification of the activated sludge process, contact-stabilization 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 tepe industry wastewaters as co-substrate. In the experiment the hydraulic retention time (HRT) of contact, stabilization and anoxic tank are kept in 2, 4 and 3 hours respectively. pH arrangements made by NaOH addition to obtain the pH the variation. Biomass growth in the bioreactor were better at pH >8, but the optimum color removal in the neutral condition (7-8). Although lower biomass concentration in anoxic tank than that in the other tanks due to low DO level and pH, on the contrary in this condition most of dye decolorized by microorganisms. Organics and color removal achieved in optimum pH condition was 70% and 72%. Increased pH in anoxic tank, contacts, permeate and stabilization occurred either without or with the basic addition on the feed. pH increase in the basic range occurred in stabilization tank both with or without basic addition on feed, due to the formation of dye- and organics degradation products.

**Keywords:** azo dye, external membrane, contact-stabilization, and pH.

## PENDAHULUAN

Air buangan tekstil merupakan campuran dari beberapa substansi penyebab polusi yang kompleks dan sangat bervariasi mulai dari komponen dan elemen anorganik sampai produk polimer dan organik. 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, dikenal sebagai rantai azo (-N = N-), di dalam satu jenis zat warna 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. Oligaard *et al.* (1999) menyatakan bahwa 4% produksi zat warna azo hilang ke dalam air buangan domestik dan industri.

Pengolahan zat warna azo secara biologiumumnya 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 besar dan penanganan khusus. Sebaliknya pengolahan dengan sistem aerob-fakultatif anaerob/anoksik lebih mudah dilakukan, karena bakteri aerob lebih mudah dibiakkan. Selain itu pengolahan anoksik dapat dilakukan pada kondisi operasi yang sama dengan pengolahan aerob (Smith, 2007).

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. Limbah tempe yang digunakan sebagai ko-substrat dalam percobaan penyisihan warna azo Remazol Black 5 dengan bioreaktor tersebut menyisihkan warna dan senyawa organik sebesar 51% dan 72% pada kondisi HRT anoksik, kontak dan stabilisasi 3, 2 dan 4 jam. Di lain pihak limbah tempe mempunyai pH rendah 4-5 (Komala, 2009), dimana kondisi ini tidak sesuai untuk pertumbuhan mikroorganisme aerob yang digunakan. Selain itu pada proses pewarnaan di industri tekstil perubahan pH dapat terjadi tergantung dari kelas warna asam atau basa yang digunakan dalam proses. Penambahan basa dalam konsentrasi yang besar sering digunakan pada proses-proses di industri tekstil (Dellee, 1998). Perubahan pH yang ekstrim ini akan mempengaruhi kinerja bioreaktor, khususnya mikroorganisme aerob yang bekerja optimum pada kondisi pH netral.

Untuk meningkatkan kinerja bioreaktor dalam percobaan ini dilakukan pengaturan pH umpan untuk mendapatkan tingkat penyisihan zat warna dan senyawa organik yang lebih baik pada kondisi operasional HRT tangki kontak, stabilisasi dan anoksik konstan 2, 4 dan 3 jam. Perubahan pH dalam bioreaktor serta pertumbuhan biomassa yang terjadi akan diamati seiring dengan variasi pH pada umpan.

## **METODA PENELITIAN**

### **Mikroorganisme**

Percobaan ini menggunakan mikroorganisme tercampur yang berasal dari instalasi pengolahan air buangan industri tekstil dan industri zat warna. Mikroorganisme sebanyak 10%v/v ini kemudian dibiakkan menggunakan limbah tempe sebagai sumber karbon dan zat warna dalam reaktor batch dengan volume 5 L dan diaerasi secara aerob. Pemberian aerasi ke reaktor diatur agar kandungan DO dalam medium tidak kurang dari 2 mg/L.

Pembubuhan NaOH diberikan ke dalam medium sampai diperoleh pH yang netral. Kultur mikroorganisme ini kemudian digunakan sebagai biomassa tersuspensi pada tangki-tangki anoksik, kontak dan stabilisasi dalam percobaan kontinu.

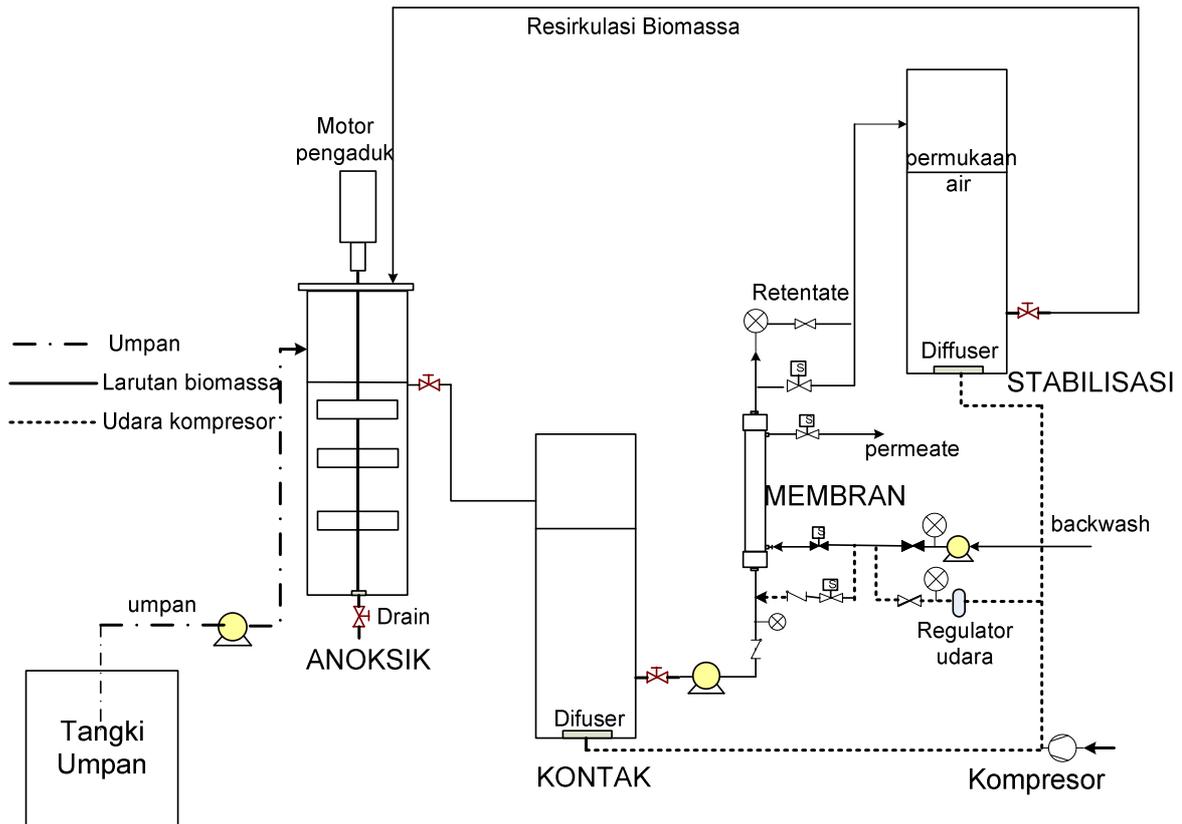
### **Ko-substrat dan zat warna**

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). 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. Variasi pembubuhan NaOH dan tanpa NaOH dilakukankedalamumpun berupa campuran limbah tempe dan zat warna diberikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap penyisihan warna dan senyawa organik. Pembubuhan NaOH diberikan sedemikian rupa, sehingga diperoleh pH umpun yang diinginkan.

### **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. Umpun berupa campuran zat warna dan limbah tempe dialirkan ke dalam tangki anoksik yang dilengkapi dengan pengaduk mekanis berkecepatan 40-60 rpm. Ke dalam umpun tanpa dan dengan penambahan NaOH dilakukan sesuai pH yang diinginkan. Kemudian secara gravitasi larutan biomassa dari tangki anoksik dialirkan ke dalam tangki kontak dan diaerasi. Dari tangki kontak larutan dipompakan ke membran eksternal dengan tekanan operasi yang berkisar antara 0.2-0.7 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 0,65 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 umpun jika terlalu besar namun sebaliknya jika terlalu kecil turbulensi tidak terjadi sehingga *fouling* mudah terjadi.

Retentate berupa konsentrasi 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 umpun, retentate dan aliran kompresor dimonitor oleh *pressure gauge*. pH, konsentrasi warna umpun, bak anoksik, kontak, stabilisasi dan permeate 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 bioreaktor ditunjukkan pada tabel 1.



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

**Tabel 1.**Kondisi operasional percobaan pada BRM .

Parameter	Keterangan
Debit	2 L/jam
Kons.warna dan %limbah tempe	100-120 ppm dan 8-10% limbah tempe (2000-2500 mg COD/L)
Membran ultrafiltrasi PS	100 kDa, 0.65 m <sup>2</sup>
Waktu operasi (hari)	
Waktu filtrasi/backwash	1 jam/1 menit
Tekanan (bar)	
• Umpan/Retentate	0.4-1.5
• Aerasi kompresor	0.7-1
• Backwash	0.4-0.8
Volume Backwash (L/hari)	5 L
HRT (jam)	Kontak 2 jam, Stabilisasi 4 jam, Anoksik 3 jam
Resirkulasi lumpur	100%

### Metoda Analisis

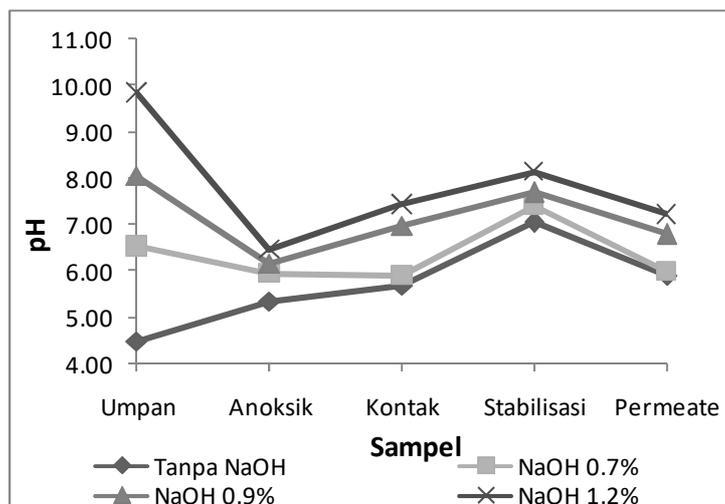
Kinerja bioreaktor membran aerob-anaerob dimonitor melalui hasil analisis sampel dari tangki umpan, anoksik, kontak, stabilisasi dan permeat membran. Parameter yang diukur adalah pH, konsentrasi warna, COD dan MLVSS. pH diukur langsung dari sampel yang diambil dari masing-masing tangki bioreaktor, sedangkan 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* (American Public Health Association, 1995).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengaruh pH pada bioreaktor

Secara keseluruhan pengaruh variasi pH umpan terhadap penyisihan warna dan senyawa organik diperlihatkan pada gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh pH umpan terhadap pH bioreaktor.

### pH optimum

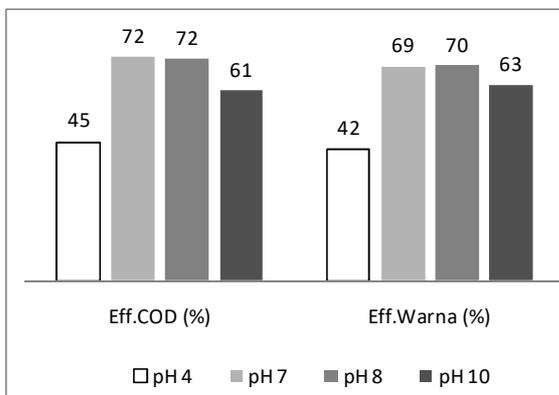
Secara keseluruhan pH umpan kisaran antara 6 sampai 10 merupakan kondisi yang baik untuk penyisihan warna, sedangkan pada pH umpan tanpa perlakuan/tanpa pembubuhan NaOH bersifat asam dihasilkan tingkat penyisihan warna maupun senyawa organik yang rendah. Meskipun tanpa penambahan NaOH pH umpan yang awalnya bersifat asam (pH sekitar 4-5) setelah masuk ke dalam bioreaktor pada tangki anoksik pH sedikit meningkat (5,35), demikian juga setelah masuk ke tangki kontak pH naik meskipun tidak terlalu besar (5,68) juga setelah keluar dari tangki kontak melalui membran pH permeate sedikit meningkat menjadi 6. Kenaikan pH yang cukup tinggi terjadi setelah melewati tangki stabilisasi, pH dapat dinetralisir menjadi 7.05.

Kecenderungan yang sama diperlihatkan pada percobaan penambahan NaOH pada umpan, setelah masuk ke tangki anoksik dengan kondisi DO < 0,5 mg/L umumnya pH mengalami penurunan, sehingga pH reaktor berubah menjadi asam (sekitar 6). Meskipun demikian setelah ditambahkan aerasi pada tangki kontak pH mengalami kenaikan yang berkisar antara 6-7, pada permeate umumnya pH tidak mengalami perubahan yang berarti dibanding dengan tangki kontak. Namun pH mengalami kenaikan yang berarti pada tangki stabilisasi (pH >7). Menurut Oranusi (2005) peningkatan pH pada rentang basa diakibatkan akumulasi amina aromatik dan/atau metabolit lain yang terbentuk pada proses biodegradasi warna.

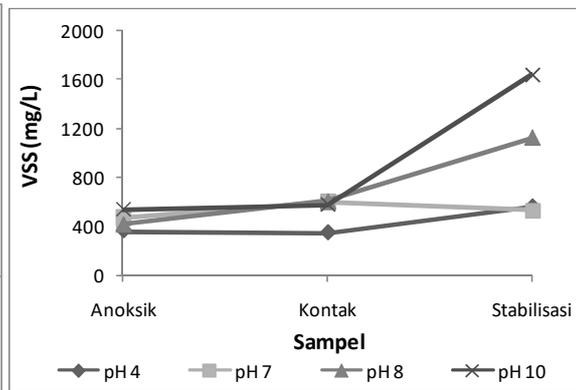
Tingkat penyisihan warna dan senyawa organik yang dicapai pada pH umpan tanpa penambahan NaOH adalah 42% dan 45%, sedangkan pH optimum umpan untuk mendapatkan tingkat penyisihan warna dan senyawa organik terbesar yaitu 70% dan 72%

berkisar antara 7-8 (gambar 3). Dari umpan dengan pH tersebut dihasilkan pH yang netral di keseluruhan reaktor maupun permeate membran. Untuk mencapai pH umpan 7-8 diperlukan dosis NaOH sebesar 14 gr/48 L umpan.

Kisaran pH optimal yang berada pada rentang netral ini juga diperoleh oleh Chen (1999), Oranusi (2005), dan Kumar (2009) dengan tingkat penyisihan warna tertinggi. Namun, kondisi basa merupakan kondisi yang baik bagi pertumbuhan biomassa (gambar 4) terlihat dari peningkatan konsentrasi biomassa di seluruh tangki, di lain pihak pada kondisi basa ini (pH > 7) tingkat penyisihan warna tidak jauh berbeda. Hal ini juga dilaporkan oleh Liu (2007) bahwa pH 8 merupakan kondisi optimal bagi E.Coli YB untuk penyisihan zat warna ARB. Demikian juga diungkapkan oleh Dafale (2008) pH netral dan sedikit basa (pH 7-8) merupakan nilai pH yang paling optimum pada pemutusan warna RB-B. Perbedaan pH optimal ini dapat dikarenakan oleh faktor genetik yang berperan untuk pemutusan warna dan fisiologi bakteri yang berbeda.



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



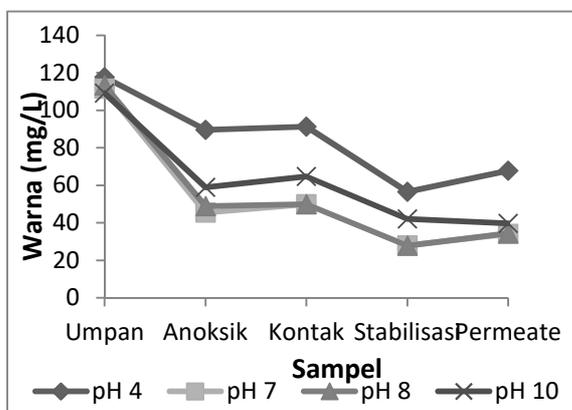
**Gambar 4.** Konsentrasi biomassa dalam masing-masing tangki bioreaktor (HRT Anoksik, kontak dan stabilisasi 3, 2 dan 4 jam).

Rendahnya biomassa di seluruh bioreaktor khususnya tangki anoksik dan kontak dikarenakan konsentrasi biomassa pada permeate membran masih relatif tinggi yaitu berkisar antara 100-200 mg/L, sehingga sulit mendapatkan konsentrasi biomassa dan SRT yang tinggi dalam sistem. Selain itu distribusi aliran retentate dan permeate yang konstan dan stabil mempengaruhi transfer biomassa dari tangki kontak ke dalam tangki stabilisasi yang baik pula. 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. Variasi tekanan di dalam saluran membran melalui penambahan aerasi dari kompresor pada umpan membran menyebabkan pusaran tekanan yang dapat menaikkan fluks permeate, sehingga aliran retentate yang mengalirkan biomassa ke tangki stabilisasi turun. Akibat penurunan biomassa dari retentate, resirkulasi biomassa ke tangki anoksik pun berkurang. Selain itu kondisi DO yang rendah di tangki anoksik berkontribusi untuk menurunkan konsentrasi mikroorganisme secara signifikan, kondisi anoksik bukan merupakan kondisi yang menyenangkan bagi pertumbuhan bakteri aerob, namun sebaliknya pada kondisi inilah zat warna dapat diputuskan oleh mikroorganisme. Seperti juga ditegaskan oleh Lodato (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. Adanya warna di dalam medium bioreaktor tidak mempengaruhi pertumbuhan

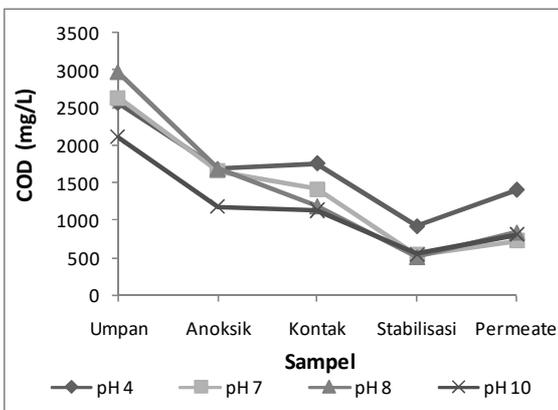
mikroba, selama ko-substrat tersedia. Hal ini pun dikemukakan oleh Sponza (2002), Méndez-Paz (2005), serta Lodato (2007) pada proses anaerob maupun kombinasi anaerob-aerob.

### Penyisihan warna dan COD dalam bioreaktor

Peningkatan pH ke kondisi basa pada umpan memberikan pengaruh meningkatnya penyisihan warna maupun COD pada bioreaktor secara keseluruhan (gambar 5 dan 6).



**Gambar 5.** Pengaruh pH terhadap penyisihan warna pada masing-masing tangki BRM (HRT Anoksik, kontak dan stabilisasi 3, 2 dan 4 jam).



**Gambar 6.** Pengaruh pH terhadap penyisihan COD pada masing-masing tangki BRM (HRT Anoksik, kontak dan stabilisasi 3, 2 dan 4 jam).

Peningkatan pH memberikan pengaruh yang signifikan khususnya pada tangki anoksik baik terhadap penyisihan warna maupun COD, namun tidak memberikan pengaruh yang berarti pada tangki kontak, stabilisasi maupun membran pada penyisihan warna. Peningkatan pH memberikan pengaruh positif terhadap penyisihan COD di tangki kontak, namun tidak memberikan dampak positif pada penyisihan COD di tangki stabilisasi dan membran. Tanpa penambahan basa pada umpan tidak terlalu berpengaruh terhadap proses netralisasi pH pada tangki stabilisasi. Produk-produk degradasi warna maupun senyawa organik dapat menetralkan pH larutan dalam tangki stabilisasi menjadi kondisi netral ke basa. Kenaikan konsentrasi warna di tangki kontak dikarenakan adanya proses autoksidasi amina aromatik yang ditandai oleh peningkatan konsentrasi warna, hal ini juga diungkapkan oleh Van der Zee (2005).

## KESIMPULAN

Percobaan variasi pH pada 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 konsektif aerob-anaerob pada kondisi HRT anoksik, kontak dan stabilisasi 3, 2 dan 4 jam optimum pada pH netral ke basa (7-8) dengan efisiensi penyisihan warna dan COD 70% dan 72%. Pertumbuhan biomassa pada bioreaktor lebih baik pada kondisi basa pH>8, namun penyisihan warna optimum pada kondisi netral (7-8). Pada kondisi DO yang rendah dan pH<7 di tangki anoksik, kondisi ini bukan merupakan kondisi yang menyenangkan bagi pertumbuhan bakteri aerob sehingga konsentrasi mikroorganisme dalam tangki ini lebih rendah dibandingkan tangki yang lain, namun sebaliknya pada kondisi inilah zat warna dapat diputuskan oleh mikroorganisme. Peningkatan pH memberikan pengaruh yang signifikan khususnya pada tangki anoksik baik pada penyisihan warna

maupun COD, namun tidak memberikan pengaruh yang berarti pada tangki kontak, stabilisasi maupun membran pada penyisihan warna. Peningkatan pH sampai ke rentang basa terjadi di tangki stabilisasi baik melalui penambahan atau tanpa penambahan basa pada umpan, akibat terbentuknya produk-produk degradasi warna maupun senyawa organik yang terbentuk.

## Daftar Pustaka

- 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.
- Chen, K.C., Huang, W.T., Wu, J.Y. dan Houg, J.Y. "Microbial decolorization of azo dyes by *Proteus mirabilis*". Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology 23(1999): pp 686–690.
- Dafale, N., Wate, S., Meshram, S.dan Nandy, T. "Kinetic study approach of remazol black-B use for the development of two-stage anoxic–oxic reactor for decolorization/biodegradation of azo dyes by activated bacterial consortium". Journal of Hazardous Materials 159 (2008):pp 319-328.
- Isik, M. dan Sponza, D.T. "Decolorization of azo dyes under batch anaerobic and sequential anaerobic/aerobic conditions". Journal of Environment Science and Health. Part A 39 (2004): pp1107–1127.
- Komala, P.S., Effendi, AJ, Wenten, IG, Wisjnuprpto. "Pengaruh waktu retensi hidrolis reaktor anoksik terhadap biodegradasi zat warna azo reaktif menggunakan bioreaktor membran aerob-anoksik". Jurnal Teknologi Lingkungan, 4 No. 4(2008): pp 1829-6572.
- Komala, P.S., Effendi, A.J. dan Wisjnuprpto. "Penggunaan limbah tempe dalam biodegradasi zat warna azo menggunakan bioreaktor membran aerob-anaerob", Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia 2009, 19-20 Oktober 2009. Peran Teknik Kimia dalam Menjamin Ketahanan Pangan dan Energi Nasional.
- Kumar, K., Dastidar, M. G. dan Srekrishnan, T. R. "Effect of process parameters on aerobic decolourization of reactive azo dye using mixed culture",World Academy of Science, Engineering and Technology 58 (2009): pp 962-965.
- Liu, G.F., Zhou, J.T. dan Qu, Y.Y. "Decolorization of sulfonated azo dyes with two photosynthetic bacterial strains and a genetically engineered *Escherichia coli* strain",World J Microbiol Biotechnol., 23 (2007): pp 931–937.
- Lodato, A., F. Alfieri, G. Olivieri, A. dan 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.
- Ong, S., Toorisaka, E., Hirata, M. dan Hano, T. "Treatment of azo dye Orange II in a sequential anaerobic and aerobic-sequencing batch reactor system". Environ. Chem. Lett2 (2005): pp. 203–207. DOI 10.1007/s10311-004-0098-z.
- Oranusi, N.A., Ogugbue, C.J. "Effect of pH and nutrient starvation on biodegradation of azo dyes by *Pseudomonas sp*". J. Appl. Sci. Environ. Mgt. 91 (2005): pp 39 – 43.
- Smith, B., O'Neal, G., Boyter, H. and Piszczek, J. "Decolorizing textile dye wastewater by anoxic/aerobic treatment". Journal of Chemical Technology and Biotechnology 82 (2007):pp. 16–24.
- Van der Zee, F.P. dan Villaverde, S. "Combined anaerobic-aerobic treatment of azo dyes—a short review of bioreactor studies". Water Research 39 (2005): pp 1425–1440.