PEMANFAATAN KONSORSIUM BAKTERI LOKAL UNTUK BIOREMEDIASI LIMBAH TEKSTIL MENGGUNAKAN SISTEM KOMBINASI ANAEROBIK-AEROBIK[1]

[The Utilizing of Local Bacteria Consortia for Bioremediation of Textile Wastewater Under Combined Anaerobic-Aerobic System]

I Dewa K Sastrawidana[1)], Bibiana W Lay[2)], Anas Miftah Fauzi[3)], Dwi Andreas Santosa[4)]

[1)] Mahasiswa Program Doktor Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan serta Staf Dosen Jurusan Pendidikan Kimia FP-MIPA Universitas Pendidikan Ganesha, Singaraja

[2)] Fakultas Kedokteran Hewan dan Prodi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan IPB

[3)] Fakultas Pertanian dan Prodi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan IPB

[4)] Fakultas Pertanian dan Prodi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan IPB

ABSTRACT

The objective of this research is to study the potential use microorganisms which are identified as *Aeromonas* sp., *Pseudomonas* sp., *Flavobacterium* sp., *Plesiomonas* sp. and *Vibrio* sp. Five bacteria strains from sludge of Badung river were identified as *Vibrio* sp. and *Plesiomonas* sp. Two anaerobic-aerobic reactors were operated to treat textile waste water. Each reactor contained vulcanic stone to increase spesific surface of media for attachment of bacteria. Bacteria consortia used for anaerobic process consist of *Aeromonas* sp. (ML6), *Aeromonas* sp. (ML14), *Aeromonas* sp. 9ML24), *Pseudomonas* sp. (ML8) and *Flavobacterium* sp. (ML20). Whereas, bacteria consortia for aerobic process consist of *Plesiomonas* sp. (SB1), *Plesiomonas* sp. (SB2), *Vibrio* sp. (SB1), *Vibrio* sp. (SB2) and *Vibrio* sp. (SB3). The system was operated for 3 day in each reactor. The result showed, biodegradation of textile waste water in combined anaerobic-aerobic system by attached growth process is potential for treatment of textile waste water.This technology is effective to decrease COD value up to 98.38%, BOD_5 93.90%, TDS 80.87%, TSS 87.50% and decolorization of textile dyes up to 95.57%.

Kata Kunci: Konsorsium bakteri lokal, biofilm, sistem kombinasi anaerobik-aerobik.

PENDAHULUAN

Zat warna reaktif azo merupakan salah satu zat warna sintetik yang sangat umum digunakan dalam industri pencelupan tekstil. Zat warna ini terikat kuat pada kain, memberikan warna yang baik dan tidak mudah luntur terutama untuk pencelupan serat selulosa, rayon dan wool (Blackburn dan Burkinshaw, 2002). Zat warna reaktif azo mengandung paling sedikit satu ikatan ganda N=N dan mempunyai gugus reaktif yang dapat membentuk ikatan kovalen dengan gugus -OH, -NH atau –SH pada serat. Zat warna azo bila terbuang ke perairan tetap bertahan dalam jangka waktu yang sangat lama dan mengalami akumulasi yang nantinya memberikan efek toksik bagi organisme akuatik (Pandey *et al.*, 2007). Toksisitas zat warna reaktif azo menurut kriteria Uni Eropa untuk bahan berbahaya adalah tergolong rendah, akan tetapi keberadaannya dalam air dapat menghambat penetrasi sinar matahari ke dalam air sehingga mengganggu aktivitas fotosintesis mikroalga. Dampak lanjutannya adalah pasokan oksigen dalam air menjadi berkurang dan akhirnya memicu aktivitas mikrob anoksik-anaerobik yang menghasilkan produk berbau tak sedap. Di samping itu, perombakan zat warna azo secara anaerobik di dasar perairan menghasilkan senyawa amina aromatik yang lebih toksik dibandingkan dengan zat warna azo itu sendiri (Van der Zee, 2002).

Bioremediasi limbah tekstil menggunakan bakteri saat ini terus dikembangkan karena diyakini sebagai strategi penanganan limbah yang efektif, murah dan ramah lingkungan (Yoo, 2000). Beberapa jenis bakteri yang digunakan untuk merombak limbah tekstil pada kondisi anaerobik adalah *Sphingomonas* sp. (BN6) (Russ *et al.*, 2000), *Rhizobium Radiobacter* (MTCC 8161) (Telke *et al.*, 2008). Sedangkan bakteri aerobik yang digunakan di antaranya *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli* (Ajibola *et al.*, 2005; Mona and Yusef, 2008), *Enterobacter agglomerans* (Moutaouakkil *et al.*, 2003) dan konsorsium bakteri yang terdiri dari *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Halomonas* sp. dan

[1]*Diterima: 5 Mei 2008 - Disetujui: 25 Juli 2008*

Micrococcus sp. (Padmavathy *et al.*, 2003). Hasil kajian tersebut melaporkan bahwa zat warna tekstil lebih sulit mengalami perombakan pada kondisi aerobik dibandingkan dengan kondisi anaerobik. Namun, perombakan pada kondisi anaerobik hanya mampu menguraikan zat warna menjadi senyawa yang lebih sederhana yang siap dirombak lebih lanjut pada kondisi aerobik Melgoza *et al.* (2004). Bioremediasi limbah tekstil menggunakan konsorsium bakteri lokal pada sistem kombinasi anaerobik-aerobik belum banyak dilakukan. Untuk itu, tujuan penelitian ini adalah mengkaji pemanfaatan konsorsium bakteri lokal untuk bioremediasi limbah tekstil. Bakteri yang digunakan diisolasi dari lumpur tempat penampungan limbah tekstil, bakteri-bakteri potensial dikonsorsiumkan dan dilekatkan pada batu vulkanik membentuk lapisan tipis yang disebut biofilm. Bioremediasi limbah menggunakan pertumbuhan terlekat mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan pertumbuhan tersuspensi. Keunggulan tersebut di antaranya dapat digunakan secara berulang, densitas populasi lebih tinggi dan stabil, serta lebih tahan terhadap perubahan kondisi lingkungan (Misson and Razali, 2007).

BAHAN DAN METODE

Kultivasi dan Seleksi Bakteri dari Sampel Lumpur

Sampel lumpur untuk isolasi bakteri diambil dari instalasi pengolahan air limbah tekstil CV Mama & Leon dan dari sungai Badung, Bali. Komposisi media cair mengikuti metode yang dilakukan Khehra *et al.* (2006). Dalam satu liter media cair tersebut terdiri dari $(NH_4)_2SO_4$ (1,0 g), KH_2PO_4 (1,0 g), Na_2HPO_4 (3,6 g), $MgSO_4.7H_2O$ (1,0 g), $Fe(NH_4)$sitrat (0,01 g), $CaCl_2.2H_2O$ (0,1 g), 0,05% *yeast extract* dan 10 mL larutan *trace element*. Satu liter *trace element* terdiri dari $ZnSO_4.7H_2O$ (10,0 mg), $MnCl_2.4H_2O$ (3,0 mg), $CoCl_2.6H_2O$ (1,0 mg), $NiCl_2.6H_2O$ (2,0 mg), $Na_2MoO_4.2H_2O$ (3,0 mg), H_3BO_3 (3,0 mg), $CuCl_2.2H_2O$ (1,0 mg). Sebanyak 1 g sampel lumpur divortex dengan 10 mL garam fisiologis. Ke dalam 5 buah tabung ulir ukuran 10 mL (untuk kultivasi anaerobik) dan 5 buah erlenmeyer ukuran 100 mL (untuk kultivasi aerobik) yang telah berisi 50 mg/L zat warna *remazol* yellow, *remazol red, remazol black, remazol blue* dan campuran keempat zat warna remazol tersebut ditambahkan 1 mL suspensi lumpur kemudian ditambahkan 20 mg glukosa dan media cair steril hingga volume 10 mL. Suspensi dalam tabung ulir dan erlenmeyer dikondisikan pada pH 7 selanjutnya diinkubasi pada suhu 30°C dalam inkubator selama 3 hari. Bakteri yang tumbuh diseleksi secara bertahap dengan menumbuhkan kembali pada media cair yang sama dengan kandungan zat warna semakin tinggi yaitu rentang konsentrasi 50-400 mg/L untuk seleksi bakteri pada kondisi anaerobik dan 50-150 mg/L untuk seleksi bakteri pada kondisi aerobik. Bakteri yang tumbuh pada media cair yang mengandung zat warna dengan konsentrasi paling tinggi dimurnikan menggunakan media agar.

Pemurnian Bakteri Menggunakan Media Agar

Sebanyak 1 mL suspensi bakteri dituangkan secara aseptik ke dalam cawan petri berisi media agar steril dalam kondisi hangat (suhu sekitar 40°C). Komposisi media agar terdiri dari media cair yang ditambahkan 1% bacto agar. Cawan petri berisi bakteri perlakuan anaerobik disimpan dalam toples kaca yang disemprot gas nitrogen untuk menghalau udara yang ada dalam toples tersebut sedangkan cawan petri berisi suspensi bakteri perlakuan aerobik ditempatkan dalam inkubator. Kedua perlakuan tersebut diinkubasi selama 2 hari, kemudian koloni yang tumbuh diidentifikasi mengacu pada *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology* (Holt *et al.*, 1994)

Perombakan Zat Warna pada Variasi pH dan Konsentrasi Glukosa

Uji perombakan zat warna pada variasi pH dan penambahan glukosa hanya difokuskan pada kondisi anaerobik karena hasil kultivasi bakteri pada kondisi anaerobik menghasilkan efisiensi perombakan zat warna jauh lebih tinggi dibandingkan pada kondisi aerobik. Setiap perlakuan perombakan zat warna diulang 3 kali.

Perombakan Pada Variasi pH

Ke dalam 5 buah tabung ulir ukuran 10 mL berturut-turut diisi 1 mL zat warna *remazol yellow, remazol red, remazol black, remazol blue* serta campuran keempat zat warna remazol tersebut dengan konsentrasi 2000 mg/L (setara dengan 200 mg/L). Tabung ulir ditambahkan 5 mL media cair dan 2 g/L glukosa steril kemudian diatur pada pH 5 dengan menambahkan larutan HCl. Tabung ulir diisi dengan 1 mL suspensi bakteri dan ditambahkan kembali media cair hingga mencapai 10 mL dan ditutup rapat. Campuran diinkubasi pada suhu 30°C selama 5 hari selanjutnya dipipet 10 mL untuk disentrifugasi pada 4000 rpm selama 30 menit. Penurunan konsentrasi zat warna diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Dengan cara yang sama, dilakukan perombakan zat warna pada pH 6, 7, 8 dan 9. Masing-masing zat warna yang diuji dilakukan optimasi absorbansi maksimum dan diperoleh panjang gelombang maksimum untuk *remazol yellow* 424 nm, *remazol red* 526 nm, *remazol black* 598 nm, *remazol blue* 602,5 nm dan campuran keempat zat warna dengan rasio berat yang sama adalah 579,5 nm.

Perombakan pada Variasi Konsentrasi Glukosa

Ke dalam 5 buah tabung ulir ukuran 10 mL berturut-turut ditambahkan 1 mL zat warna *remazol yellow, remazol red, remazol black, remazol blue* serta campuran keempat zat warna remazol tersebut dengan konsentrasi 2000 mg/L(setara 200 mg/L). Tabung ulir tersebut diisi dengan 5 mL media cair dan 1 g/L glukosa kemudian diatur pHnya pada pH optimum yang diperoleh dari perlakuan variasi pH. Sebanyak 1 mL suspensi bakteri dimasukkan ke dalam masing-masing tabung tabung ulir dan ditambahkan kembali media cair hingga mencapai 10 mL. Campuran diinkubasi pada suhu 30°C selama 5 hari, kemudian dipipet 10 mL untuk disentrifugasi pada 4000 rpm selama 30 menit. Penurunan masing-masing konsentrasi zat warna diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimumnya. Dengan cara yang sama, dilakukan perombakan zat warna dengan penambahan 0, 2, 3 dan 4 g/L glukosa.

Pengolahan Limbah Tekstil Sistem Kombinasi Anaerobik-Aerobik Menggunakan Konsorsium Bakteri Lokal

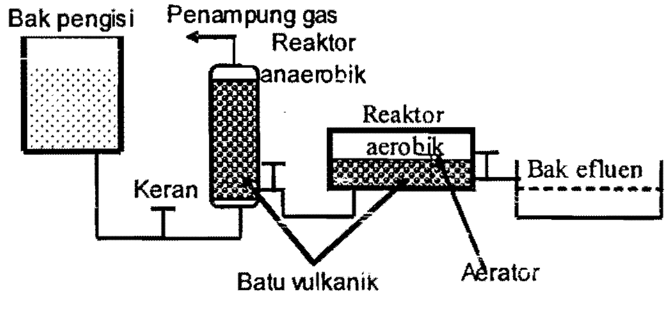
Perancangan Bioreaktor

Unit pengolahan limbah tekstil kombinasi anaerobik-aerobik terdiri dari 4 bak yang terbuat dari kaca yaitu, bak pengisi, reaktor anaerobik, reaktor aerobik dan bak penampung efluen dengan dimensi 11 x 7 x 20 cm (1.540 mL). Volume efektif untuk limbah dari reaktor anaerobik dan aerobik setelah ditambahkan 757 gram batu vulkanik menjadi 900 mL.

Perlakuan kontrol negatif diperoleh bahwa batu vulkanik yang digunakan sebagai media pengamobil bakteri mampu menyerap zat warna sebesar 5,6%. Kemampuan batu vulkanik mengadsorpsi zat warna disebabkan oleh adanya interaksi fisika antara pori denga zat warna.

Amobilisasi Konsorsium Bakteri pada Batu Vulkanik

Batu vulkanik yang digunakan sebagai media pengamobil bakteri diambil dari lereng gunung Batur, Kintamani, Bali. Batu vulkanik dihancurkan untuk memperoleh ukuran diameter 0,1-0,2 cm kemudian dicuci dengan akuades sebanyak 3 kali dan dikeringkan dalam oven suhu 105°C selama 1 jam. Batu vulkanik diautoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit. Amobilisasi konsorsium bakteri pada batu vulkanik mengikuti metode yang dilakukan Castilla *et al.* (2003). Ke dalam



Gambar 1. Rancangan reaktor pengolahan limbah tekstil sistem kombinasi anaerobik-aerobik menggunakan biofilm konsorsium bakteri

reaktor anaerobik ditambah 100 mL konsorsium bakteri dari lumpur limbah tekstil Mama & Leon, Tabanan, Bali sedangkan reaktor aerobik ditambahkan 100 mL konsorsium bakteri dari lumpur sungai Badung, Denpasar, Bali. Kedua reaktor tersebut masing-masing ditambahkan nutrisi untuk pertumbuhan bakteri, 2 g/L glukosa kemudian dibiarkan selama 3 hari untuk pembentukan biofilm. Nutrien yang ditambahkan berupa media cair dengan komposisi yang sama seperti tahap kultivasi bakteri. Pelekatan konsorsium bakteri pada reaktor aerobik selama pendiaman dilakukan aerasi menggunakan aerator. Setelah 3 hari cairan dalam bioreaktor dialirkan ke luar melalui keran untuk mengeluarkan bakteri yang tidak melekat pada batu vulkanik. Pengamatan visual pelekatan konsorsium bakteri pada batu vulkanik menggunakan *scanning electron microscope* (SEM) sedangkan jumlah koloni yang melekat pada batu vulkanik dihitung menggunakan metode *total plate count* (TPC). Koloni yang melekat pada batu vulkanik dilepaskan dengan cara yang telah dilakukan oleh Taoufik *et al.* (2004). 25 gram batu vulkanik divortex dengan 5 mL air steril. Supernatan dipisahkan dan batu vulkaniknya ditambahkan 5 mL air steril dan divortex kembali. Supernatan digabung kemudian diambil 1 mL untuk diencerkan sampai 10^{6}-10^{10} kali dan ditumbuhkan pada media agar menggunakan cawan petri. Media agar yang digunakan untuk penumbuhan bakteri mempunyai komposisi yang sama seperti pada tahap pemurnian bakteri. Cawan petri yang telah berisi suspensi bakteri diinkubasi selama dua hari kemudian dihitung jumlah koloni yang tumbuh.

Proses Pengolahan Limbah Tekstil

Reaktor anaerobik-aerobik berisi konsorsium bakteri lokal digunakan untuk mengolah limbah tekstil buatan. Hal ini ditujukan untuk mencari waktu tinggal limbah optimum dalam masing-masing reaktor. Waktu tinggal limbah optimum ini nantinya digunakan sebagai waktu tinggal limbah pada pengolahan limbah yang diambil dari industri tekstil. Limbah tekstil buatan (artifisial) dibuat dengan cara mencampurkan zat warna *remazol red*, *remazol blue*, *remazol yellow* dan *remazol black* dengan konsentrasi total 200 mg/L. Proses pengolahan limbah tekstil buatan dilakukan sebagai berikut: 1000 mL limbah pada bak pengisi ditambahkan 50 mL media cair dan 2 g glukosa, kemudian dikondisikan pada pH 7. Limbah dialirkan ke reaktor anaerobik secara *upflow* dengan laju alir 15 mL/menit selama 1 jam. Limbah dalam reaktor anaerobik didiamkan dengan variasi waktu tinggal 1, 2, 3 dan 4 hari. Efluen dari masing-masing waktu tinggal limbah diukur konsentrasi zat warna menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 579,5 nm. Hasil pengolahan pada reaktor anaerobik selanjutnya dialirkan ke reaktor aerobik untuk dilakukan pengolahan lanjutan pada kondisi aerobik dengan variasi waktu tinggal limbah 1, 2, 3 dan 4 hari sambil diaerasi menggunakan aerator. Efluen diukur konsentrasi warna menggunakan metode spektrofotometri, COD menggunakan metode refluks dan BOD_5 menggunakan metode titrasi Winkler. Perlakuan pengolahan limbah tekstil buatan diulang 3 kali.

Pengolahan Limbah yang Diambil dari Industri Pencelupan Tekstil

Pada pengolahan limbah tekstil buatan diperoleh waktu tinggal limbah optimum pada masing-masing reaktor adalah 3 hari. Dengan demikian, waktu tinggal limbah ini digunakan sebagai waktu tinggal limbah untuk pengolahan air limbah dari industri pencelupan tekstil CV Mama & Leon. Proses pengolahan limbah dilakukan dengan cara sebagai berikut: 1000 mL limbah pada bak pengisi ditambahkan 50 mL media cair dan 2 g/L glukosa, kemudian diatur pH 7 dengan menambahkan HCl. Limbah dialirkan ke reaktor anaerobik secara *upflow* dengan laju alir 15 mL/menit selama 1 jam kemudian dibiarkan selama 3 hari. Setelah itu, limbah dialirkan reaktor aerobik dan dibiarkan 3 hari sambil diaerasi menggunakan aerator. Efluen hasil pengolahan diukur parameter kualitas limbah mengacu pada baku mutu air limbah industri dalam KepMen LH No. 51/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri. Beberapa parameter yang diukur meliputi pH, warna, residu terlarut, residu tersuspensi, nitrat, nitrit, BOD_5 dan COD. Pengolahan limbah tekstil diulang 3 kali.

HASIL

Foto 1 memperlihatkan kultivasi suspensi lumpur pada tabung ulir (kondisi anaerobik) selama 3

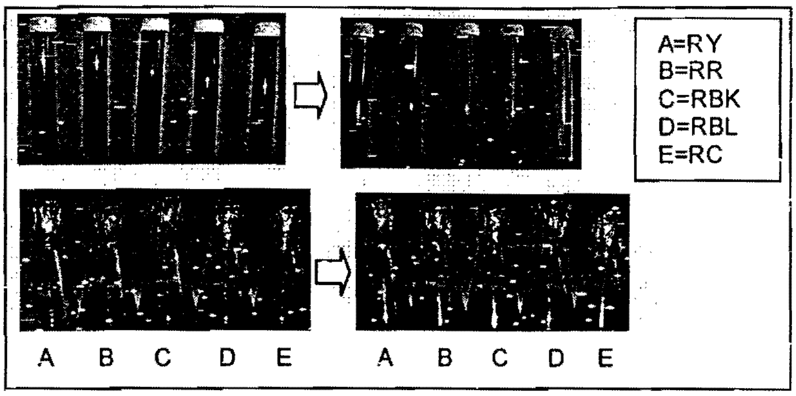
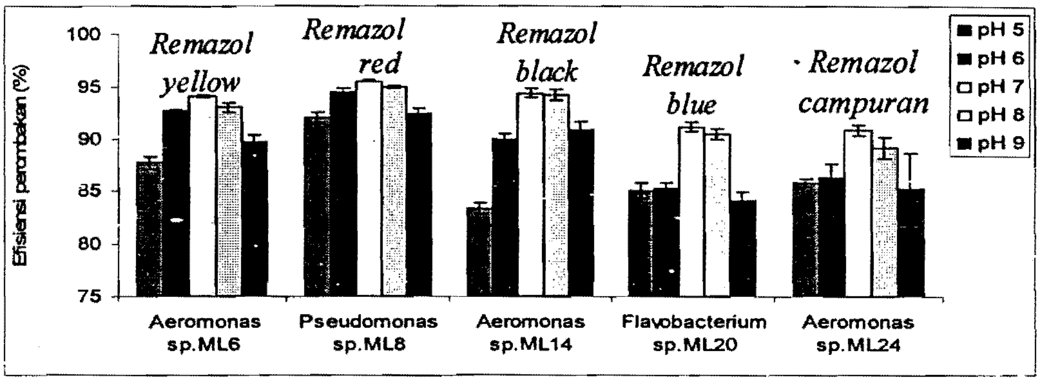


Foto 1. Perombakan zat warna pada kultivasi suspensi lumpur selama 3 hari pada kondisi anaerobik (tabung ulir) dan kondisi aerobik (erlenmeyer)



Gambar 2. Perombakan zat warna pada kondisi anaerobik selama 5 hari inkubasi diberbagai pH.

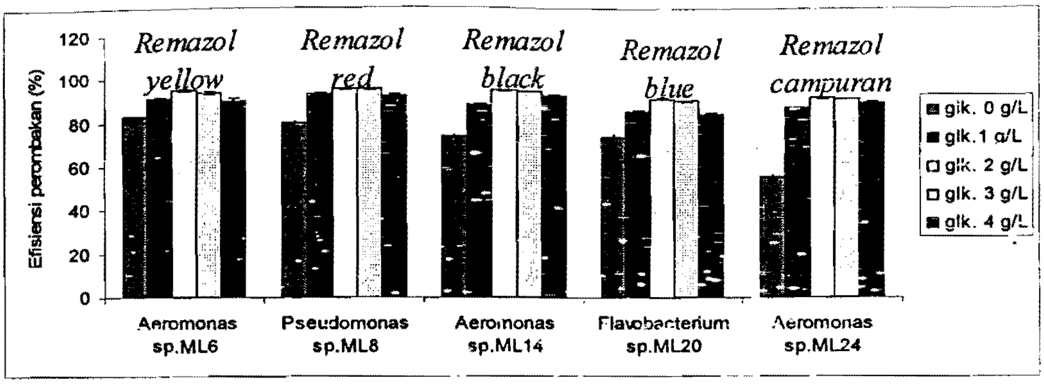
hari berisi 10 mL media cair, zat warna *remazol yellow* (RY), *remazol red* (RR), *remazol black* (RBK), *remazol blue* (RBL) dan remazol campuran (RC) dengan konsentrasi 400 mg/L dan 2 g/L glukosa. Sedangkan kultivasi suspensi lumpur menggunakan erlenmeyer 100 mL (kondisi aerobik) selama 3 hari juga berisi 10 mL media cair, zat warna dengan konsentrasi 150 mg/L dan 2 g/L glukosa. Kultivasi pada kondisi anaerobik terjadi perombakan warna yang sangat tinggi sedangkan kondisi aerobik hampir tidak terjadi pemudaran warna tetapi media cair menjadi lebih keruh.

Hasil isolasi bakteri dari lumpur limbah tekstil CV. Mama & Leon diperoleh 27 isolat berbentuk batang dan merupakan bakteri Gram negatif. Hasil identifikasi diduga bahwa 10 isolat termasuk *Aeromonas* sp., 6 isolat *Pseudomonas* sp., 5 isolat *Flavobacterium* sp., 3 isolat *Plesiomonas* sp. dan 3 isolat *Vibrio* sp. Sedangkan dari lumpur sungai Badung diperoleh 5 isolat yaitu, 3 isolat teridentifikasi *Vibrio* sp. dan 2 isolat *Plesiomonas* sp. Bakteri-bakteri tersebut adalah gram negatif berbentuk batang.

Gambar 2 memperlihatkan efisiensi perombakan 200 mg/L zat warna tekstil pada rentang pH 5-9 pada kondisi anaerobik menggunakan *Aeromonas* sp. (ML6), *Aeromonas* sp. (ML14), *Aeromonas* sp. (ML24), *Pseudomonas* sp. (ML8) dan *Flavobacterium* sp. (ML20). Efisiensi perombakan terlihat meningkat dari pH 5 sampai pH 7, cendrung stabil pada pH 7-8 dan menurun pada pH 9.

Gambar 3 memperlihatkan efisiensi perombakan 200 mg/L zat warna pada kondisi anaerobik tanpa glukosa dan penambahan 1-4 g/L glukosa. Efisiensi perombakan tanpa glukosa berkisar 55,40-82,78%, penambahan 2 g/L glukosa naik menjadi 90,90-95,17%, dan 4 g/L glukosa efisiensinya turun menjadi 84,11-92,38%.

Foto 2 memperlihatkan permukaan batu vulkanik yang digunakan sebagai media pendukung dalam



Gambar 3. Efisiensi perombakan zat warna azo pada kondisi anaerobik selama 5 hari inkubasi diberbagai konsentrasi glukosa.

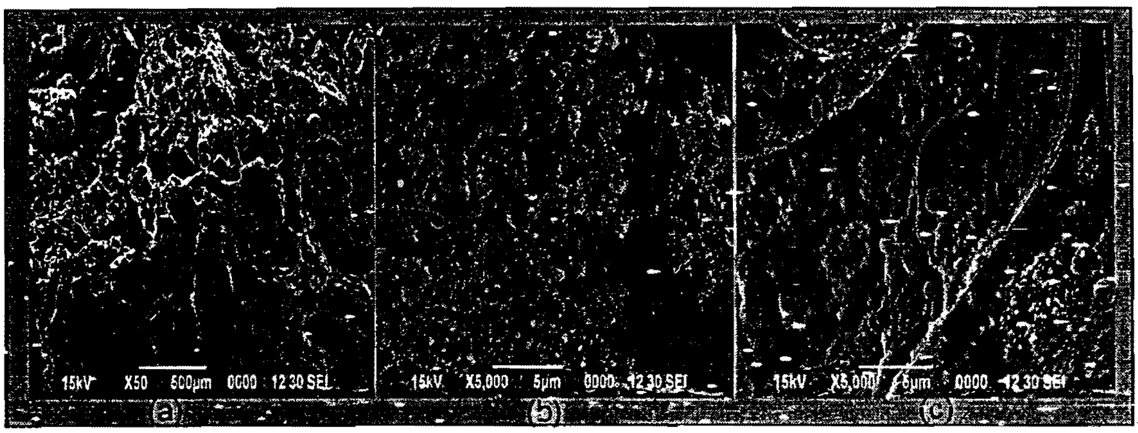
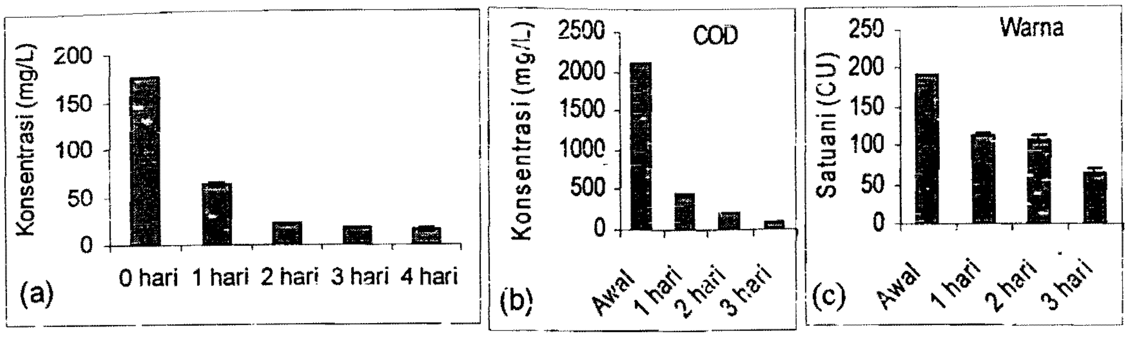


Foto 2. *Scanning Electron Micrograph* permukaan batu vulkanik pembesaran 5.000 x (a) batu vulkanik awal, (b) batu vulkanik diamobilisasi konsorsium bakteri anaerobik dan (c) batu vulkanik diamobilisasi konsorsium bakteri aerobik.

pembentukan biofilm bakteri. Foto 2a, menunjukkan permukaan batu vulkanik yang tidak diamobilisasi dengan bakteri, Foto 2b menunjukkan pelekatan konsorsium bakteri pada kondisi anaerobik dan foto 2c menunjukkan pelekatan konsorsium bakteri pada kondisi aerobik. Konsorsium bakteri yang diamobilkan pada reaktor anaerobik terdiri dari *Aeromonas* sp. (ML6), *Aeromonas* sp. (ML14), *Aeromonas* sp. (ML24), *Pseudomonas* sp. ML8 dan *Flavobacterium* sp. ML20. Sedangkan konsorsium bakteri yang diamobilkan pada reaktor aerobik terdiri dari *Plesiomonas* sp. (SB1), *Plesiomonas* sp. (SB2), *Vibrio* sp. 9SB1), *Vibrio* sp. (SB20 dan *Vibrio* sp. (SB3). Batu vulkanik tanpa diamobilisasi bakteri mempunyai permukaan yang kasar dan banyak rongga-rongga. Namun, setelah diamobilisasi bakteri, bakteri melekat pada permukaan batu vulkanik membentuk lapisan tipis (biofilm) sehingga panampakan permukaannya menjadi semakin tertutup. Jumlah koloni bakteri yang melekat pada batu vulkanik dalam reaktor anaerobik dan aerobik setelah ditentukan menggunakan metode *total plate count* adalah 20,50 x 10^9 cfu/g dan 1,702 x 10^{10} cfu/g. Menurut Cutright (2001), jumlah koloni yang memadai digunakan untuk mengolah limbah berkisar 10^4-10^7 cfu/g.

Gambar 4 menunjukkan perombakan limbah tekstil buatan pada tahap anaerobik dan tahap aerobik. Pada tahap anaerobik menggunakan rentang waktu tinggal limbah 1-4 hari (Gambar 4a). 175,18 mg/L zat warna setelah dirombak dengan waktu tinggal limbah 1; 2; 3 dan 4 hari secara berturut-turut menjadi 61, 57, 21,63, 17,59 dan 15,94 mg/L. Penurunan konsentrasi zat warna selang waktu 1-3 berlangsung cepat sedangkan selang waktu 3-4 hari berlangsung lambat. Pada tahap aerobik menggunakan waktu tinggal limbah



Gambar 4. Perombakan limbah tekstil buatan menggunakan biofilm konsorsium bakteri. (a) penurunan konsentrasi zat warna pada reaktor anaerobik sedangkan (b) dan (c) penurunan COD dan warna pada reaktor aerobik.

1, 2 dan 3 hari secara berturut-turut COD turun dari 2118 mg/L menjadi 447, 211 dan 93 mg/L sedangkan warna dari 195 CU menjadi 114, 108 dan 65 CU (Gambar 4b dan 4c)

Tabel 1 menunjukkan karakteristik limbah tekstil dari industri pencelupan tekstil CV Mama & Leon sebelum dan sesudah dirombak dengan sistem kombinasi anaerobik-aerobik menggunakan biofilm konsorsium bakteri dengan waktu tinggal limbah 3 hari pada masing-masing reaktor. Limbah tekstil sebelum diolah mempunyai nilai pH, TDS, TSS, BOD_5 dan COD di atas baku mutu air limbah ditinjau dari KepMen LH No. 51/MENLH/10/1995. Sedangkan setelah diolah semua parameter kualitas limbah tersebut mengalami penurunan sampai di bawah baku mutu.

PEMBAHASAN

Kultivasi suspensi lumpur pada kondisi anaerobik terjadi pemudaran warna. Sedangkan pada kondisi aerobik hampir tidak terjadi perubahan warna akan tetapi media menjadi keruh. Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi aktivitas mikrob yang terdapat dalam suspensi lumpur. Namun, perombakan zat warna azo oleh mikrob tersebut lebih optimal berlangsung pada kondisi anaerobik dibanding aerobik (Foto1). Glukosa mengalami proses glikolisis yang dikatalisis oleh enzim dehidrogenase menghasilkan koenzim nikotinamida adenin dinukleotida (NADH). NADH dengan bantuan enzim *azoreductase* mentransfer elektron ke zat warna azo sehingga terjadi pemutusan ikatan azo. Ikatan azo terputus membentuk amina aromatik yang tak berwarna. Pada kondisi ada oksigen, zat warna azo dan oksigen berkompetisi sebagai penerima elektron dari NADH. Ion Hidrogen pada NADH lebih mudah ditransfer ke oksigen dibandingkan dengan ke zat warna azo. Transfer elektron terjadi dari molekul NADH ke oksigen melalui rantai transport elektron (Van der Zee, 2002).

Efisiensi Perombakan pada Variasi pH dan Glukosa

Pertumbuhan bakteri sangat dipengaruhi oleh kondisi pH lingkungan (Cutright, 2001). Beberapa bakteri dapat tumbuh dan beraktivitas baik pada

Tabel 1. Karakteristik limbah tekstil sebelum dan setelah diolah menggunakan biofilm konsorsium bakteri pada reaktor kombinasi anaerobik-aerobik

No	Parameter	Satuan	Karateristik limbah awal	Karakteristik limbah setelah diolah	Standar baku mutu limbah industri
1	Warna	CU	1.587	67,89 ± 2,38	-
2	pH	-	10,50	6,18 ± 0,06	6,0-9,0
3	TDS	mg/L	6.205	1.187 ± 15,28	4.000
4	TSS	mg/L	2.688	336 ± 6,03	400
5	Nitrat	mg/L	8,38	4,57 ± 0,06	30
6	Nitrit	mg/L	1,22	0,3 ± 0,02	3,0
7	BOD	mg/L	907	55,29 ± 4,76	150
8	COD	mg/L	6.000	97,13 ± 7,51	300

lingkungan asam dan beberapa bakteri juga tumbuh baik pada lingkungan basa. Namun, kebanyakan bakteri hidup dan beraktivitas baik pada kondisi pH netral. Pada kondisi lingkungan tidak menguntungkan, pertumbuhan bakteri menjadi terganggu bahkan mati. Terganggunya pertumbuhan bakteri menyebabkan efisiensi perombakan menjadi rendah. Perombakan 200 mg/L zat warna remazol yang dicobakan menggunakan bakteri selang waktu 5 hari berlangsung optimal pada pH 7-8 dengan efisiensi perombakan sebesar 89,19-94,38% (Gambar 2). Penelitian ini memperkuat simpulan HeFang *at al.* (2004) dan Moosvi *et al.* (2005) yang menyatakan bahwa perombakan zat warna azo secara biologis sangat dipengaruhi oleh kondisi pH lingkungan. Hasil kajian perombakan zat warna azo *direct fast scarlet* 4BS yang dilakukan HeFang *et al.* (2004) menunjukkan bahwa perombakan pada pH 3 efisiensinya sebesar 73%, pada pH 4 adalah 83%, pada pH 7 adalah 95% sedangkan pada pH 8 dan 10 adalah 90% dan 76%. Sedangkan hasil kajian perombakan zat warna azo *reactive violet* 5 menggunakan bakteri konsorsium RVM 11.1 yang dilakukan oleh Moosvi *et al.* (2005) melaporkan bahwa perombakan pada pH di bawah 5,5 efisiensinya sangat rendah sedangkan meningkat cepat pada kisaran pH 7 sampai 8,5.

Penambahan glukosa berfungsi sebagai elektron donor yang menstimulasi proses pemecahan ikatan azo. Kehadiran glukosa sebagai karbon eksternal mempercepat perombakan karena koenzim NADH yang terbentuk mampu mentransfer elektron baik secara langsung ke ikatan azo (N=N) atau melalui pembentukan flavin tereduksi. Jumlah glukosa yang digunakan menjadi kontrol terhadap proses berlangsungnya perombakan. Jumlah glukosa yang sedikit akan menghasilkan *reducing equivalents* yang kecil sehingga efisiensi perombakan rendah, sedangkan bila jumlah glukosa berlebih dapat menyebabkan efisiensi perombakan menjadi menurun. Penurunan efisiensi perombakan zat warna pada penambahan glukosa berlebih disebabkan karena glukosa terurai menghasilkan asam-asam yang mengakibatkan terjadinya penurunan pH sehingga aktivitas enzim menjadi tidak maksimum (Chen *et al.* 2003). Perombakan 200 mg/L zat warna remazol pada kondisi anaerobik selang waktu 5 hari inkubasi berlangsung maksimal pada penambahan 2-3 g/L glukosa dengan efisiensi berkisar 91,16-95,17% (Gambar 3).

Bioremediasi Limbah Tekstil dengan Kombinasi Anaerobik-Aerobik Menggunakan Biofilm Konsorsium Bakteri

Air limbah tekstil yang diambil dari industri tekstil sangat potensial mencemari perairan (Tabel 1). Hal ini disebabkan karena nilai parameter kualitas air seperti pH, TSS, TDS, COD dan BOD jauh di atas baku mutu limbah yang dipersyaratkan dalam KepMen LH No.51/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri. Bioremediasi limbah tekstil menggunakan biofilm konsorsium bakteri lokal dalam reaktor anaerobik-aerobik dengan waktu tinggal limbah 6 hari mampu menurunkan nilai *total dissolved solid* (TDS) dari 6.205 mg/L menjadi 1.187 mg/L atau efisiensi penurunan TDS sebesar 80,87%. Nilai padatan terlarut total jika ditinjau dari KepMen LH No. 51/MENLH/10/1995 sudah memenuhi syarat, karena nilai ambang batas yang diperkenankan untuk TDS dalam air limbah adalah 4000 mg/L. Sedangkan nilai *total suspended solid* (TSS) turun dari 2.688 mg/L menjadi 336 mg/L atau efisiensi penurunan TSS sebesar 87,50%. Nilai TSS dalam limbah juga telah memenuhi syarat, karena ambang batas yang diperkenankan sebesar 400 mg/L. Nilai BOD_5 dan COD limbah tekstil sebelum diolah sebesar 907 mg/L dan 6.000 mg/L. Namun, setelah diolah menggunakan biofilm konsorsium bakteri lokal dalam reaktor anaerobik-aerobik dengan waktu tinggal limbah 6 hari nilai BOD_5 dan COD turun menjadi 55,29 mg/L dan 97,13 mg/L atau efisiensi penurunan BOD_5 dan COD pada proses ini masing-masing sebesar 93,90% dan 98,38%. Nilai BOD_5 dan COD hasil pengolahan di bawah baku mutu limbah industri sehingga memenuhi syarat untuk bisa dibuang ke lingkungan.

Berdasarkan hasil kajian bioremediasi limbah tekstil ini, diperoleh bahwa bakteri lokal yang adapted dengan lingkungan limbah potensial digunakan untuk mengolah limbah tekstil. Dalam penelitian ini, mikrob memegang peranan yang sangat penting terhadap keberhasilan biodegradasi limbah tekstil. Kontaminasi mikrob dari luar sangat memungkinkan terjadi pada pengolahan limbah sistem terbuka, akan tetapi pengaruh kontaminasi mikrob dari luar mungkin relatif kecil karena jumlah mikrob melekat pada batu vulkanik dan digunakan untuk proses pengolahan limbah cukup tinggi yaitu 20,5 x 10^9 cfu/g batu vulkanik pada reaktor anaerobik dan 1,702 x 10^{10} cfu/g batu vulkanik pada reaktor aerobik.

KESIMPULAN DAN SARAN

Bakteri lokal yang diisolasi dari lumpur instalasi pengolahan air limbah tekstil dan lumpur sungai Badung yang sering menjadi tempat pembuangan limbah tekstil sangat potensial digunakan untuk merombak limbah tekstil. Pengolahan limbah tekstil dengan kombinasi anaerobik-aerobik menggunakan biofilm konsorsium bakteri lokal yang terdiri *Aeromonas* sp. ML6, *Aeromonas* sp. (ML14), *Aeromonas* sp. (ML24), *Pseudomonas* sp. (ML8) dan *Flavobacterium* sp. (ML20) pada reaktor anaerobik dan konsorsium *Plesiomonas* sp. SB1, *Plesiomonas* sp. (SB2), *Vibrio* sp. (SB1), *Vibrio* sp. (SB2) dan *Vibrio* sp. (SB3) pada reaktor aerobik berlangsung sangat efisien. Efisiensi penurunan COD, BOD, TDS, TSS dan perombakan warna pada pengolahan limbah tekstil dengan waktu tinggal limbah dalam reaktor 6 hari secara berturut-turut adalah 98,38%, 93,90%, 80,87%, 87,50% dan 95,72%.

Untuk memperkaya khasanah pemanfaatan sumberdaya potensi lokal dalam pengolahan limbah tekstil sangat perlu dilakukan ekplorasi bakteri dari sumber-sumber lain beserta modifikasi rancang bangun reaktor pengolah limbah sehingga nantinya dapat menghasilkan teknologi penanganan limbah yang efektif dan efisien.

UCAPAN TERIMA KASIH

Artkel ini merupakan bagian dari Disertasi IDK Sastrawidana dalam penyelesaian studi di Program studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor (IPB). Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr Ir Dwi Andreas Santosa, Prof Dr drh Bibiana W Lay, MSc dan Dr Ir Anas Miftah Fauzi, MEng selaku komisi pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, pengarahan, dorongan dan nasehat kepada penulis dalam menyelesaikan disertasi dan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

Ajibola VO, SJ Oney, CE Odeh, T Olugbodi and UG Umeh 2005. Biodegradation of indigo containing textile effluent using some strains of bacteria. *Appl Sci.* 5, 853-855.

Blackburn RS and SM Burkinshaw 2002. A Greener to Cotton Dyeing With Excellent Wash Fastness. *Green Chemistry* 4, 47-52.

Castilla CM, IB Toledo, MAF Garcia and JR Utrilla 2003. Influence of Support Surface Properties on Activity of Bacteria Immobilized on Activated Carbons for Water Denitrification. *Carbon* 41, 1743-1749.

Chen KC, JY Wu, DJ Liou and SJ Hwang 2003. Decolorization of textile dyes by newly isolated bacterial strains. *Biotechnol* 101, 57–68.

Cutright TJ 2001. Biotechnology Principles and Advances in Waste Control. Departement of Civil Engineering. University of Akron.

HeFang, HuWenrong and LiYuezhong 2004. Biodegradation Mechanisms and Kinetics of Azo Dys 4BS by a Micobial Consortia. *Chemosphere.* 57, 293-301.

Holt JG, NR Krieg, PHA Sneath, JT Staley and ST Williams 1994. Bergey's Manual of Determinative Bacteriology. Williams and Wilkins. Baltimore. USA.

Khehra MS, HS Saini, DK Sharma, BS Chada and SS Chimni 2006. Biodegradation of Azo Dye C.I Acid Red 88 by an Anoxic-Aerobic Sequential Bioreactor. *Dyes and Pigmens* 70, 1-7.

Melgoza RM, A Cruz and G Bultron 2004. Anaerobic-Aerobic Treatment of Colorants Present in Textile Effluents. *Water Sci. Technol.* 50, 149-155

Misson M and F Razali 2007. Immobilization of Phenol Degrader *Pseudomonas* sp. in Repeated Batch Culture Using Bioceramic and Sponge as Support Materials. J. Teknol. 46, 51-59.

Mona EM, Mabrouk and H Yusef 2008. Decolorization of Fast Red by *Bacillus Subtilis* HM. *Appl Sci Res.* 4(3), 262-269.

Moosvi S, H Keharia and D Madamwar 2005. Decolourization of textile dye reactive violet 5 by a newly isolated bacterial consortium RVM 11,1. *World J. Microbiol and Biotechnol.* 21, 667-672.

Moutaouakkil A, Y Zeroual, FZ Dzayri, M Talbi, K Lee and M Blaghen 2003. Bacterial Decolorization of The Azo Methyl Red by *Enterobacter agglomerans. Annal. Microbiol.* 53, 161-169

Padmavathy S, S Sandhya, K Swaminathan, YV Subrahmanyam, T Chakrabarti and S N Kaul 2003. Aerobic Decolorization of Reactive Azo Dyes in Presence of Various Cosubstrates. *Chem and Biochem. Eng.* 17(2), 147–151.

Pandey A, P Singh and L Iyengar 2007. Bacterial Decolorization and Degradation of Azo dyes. Review. *International Biodeterioration and Biodegradation* 59,73-84

Russ R, J Rau and A Stolz 2000. The function of Cytoplasmic Flavin Rreductases in The Reduction of Azo

Dyes by Bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* **66**, 1429-1434.

Taoufik J, Y Zeroual, A Moutaouakkil, S Moussaid, FZ Dzairi, M Talbi, A Hammoumi, K Belghmi, K Lee, M Loufi and M Blaghen 2004. Aromatichydrocarbons removal by immobilized bacteria (*Pseudomonas* sp., *Staphylococcus* sp.) in fluidized bed bioreactor. *Annals of Microbiol.* **54(2)**, 189-200.

Telke A, D Kalyani, J Jadhav and S Govindwar 2008. Kinetics and Mechanism of Reactive Red 141 Degradation by a Bacterial Isolat *Rhizobium Radiobacter* MTCC 8161. *Acta Chim. Slov.*55, 320-329.

Van der Zee 2002. Anaerobic Azo Dye Reduction [Thesis]. Wageningen University. Netherlands

Yoo ES 2000. Biological and Chemical Mechanisms of Reductive Decolorization of Azo Dyes [Dissertation] Genehmigte Berlin.