

PENGOLAHAN LIMBAH TEKSTIL SISTEM KOMBINASI ANAEROBIK-AEROBIK MENGGUNAKAN BIOFILM BAKTERI KONSORSIUM DARI LUMPUR LIMBAH TEKSTIL

I DEWA K. SASTRAWIDANA¹⁾, BIBIANA W. LAY²⁾, ANAS MIFTAH FAUZI³⁾ DWI ANDREAS SANTOSA⁴⁾

¹⁾Mahasiswa Program Doktor Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan Institut Pertanian Bogor,
dan Jurusan Pend. Kimia FPMIPA Undiksha.

²⁾ Fakultas Kedokteran Hewan dan Prog. Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan IPB

³⁾ Fakultas Pertanian dan Prog. Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan IPB

⁴⁾Fakultas Pertanian dan Prog. Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan IPB

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji efisiensi perombakan zat warna tekstil menggunakan biofilm bakteri konsorsium sistem kombinasi anaerobik-aerobik serta mengkaji kemungkinan penerapannya di industri pencelupan tekstil. Limbah tekstil yang digunakan adalah limbah tekstil buatan yang dibuat dengan mencampurkan zat warna azo remazol yellow, remazol red, remazol black dan remazol blue dengan konsentrasi total 200 mg/L. Perombakan pada tahap anaerobik menggunakan bakteri konsorsium yang diisolasi dari instalasi pengolahan limbah tekstil Mama&Leon sedangkan pada tahap aerobik menggunakan bakteri konsorsium yang diisolasi dari lumpur sungai Badung. Konsorsium bakteri dari lumpur limbah tekstil Mama&Leon terdiri dari *Aeromonas* sp ML6., *Aeromonas* sp. ML14, *Aeromonas* sp. ML24, *Pseudomonas* sp. ML8 dan *Flavobacterium* Sp.ML20 sedangkan bakteri konsorsium dari lumpur sungai badung terdiri dari *Vibrio* sp. dan *Plesiomonas* sp. Bakteri konsorsium sebelum digunakan untuk perombakan zat warna, di buat biofilm dengan mengamobilkannya pada batu vulkanik selama 3 hari dan selanjutnya ditentukan jumlah bakteri yang teramobil dengan metode *four plate count*. Perombakan limbah tekstil artifisial sistem kombinasi anaerobik-aerobik dilakukan pada selang waktu 6 hari pengolahan dan selanjutnya dianalisis kualitasnya dengan parameter yang diukur meliputi warna, TSS, TDS, BOD dan COD.

Hasil penelitian menunjukkan efisiensi penurunan warna, TDS, TSS, COD dan BOD setelah dilakukan pengolahan selang waktu 6 hari secara berturut-turut sebesar 96,94%, 75,73%, 68,03%, 97,68% dan 94,60%. Dengan demikian, penggunaan sistem kombinasi anaerobik-aerobik menggunakan biofilm bakteri konsorsium yang adapted dengan lingkungan limbah potensial digunakan untuk pengolahan limbah industri tekstil.

Kata Kunci: Bakteri konsorsium, limbah tekstil buatan, sistem kombinasi anaerobik-aerobik

ABSTRACT

The objective of this research are to assess the efficiency of biodegradation of textile dyes by using bacteria consortium biofilm on combined anaerobic-aerobic system and also to assess the possibility for applying this technology in textile dyeing industry. Textile wastewater that used in this research are azo dyes total concentration 200 mg/L which is consist of remazol yellow, remazol red, remazol black and remazol blue. For anaerobic condition step, by using bacteria consortium selected from sludge of textile wastewater plant of Mama & Leon consist of *Aeromonas* sp ML6., *Aeromonas* sp. ML14, *Aeromonas* sp. ML24, *Pseudomonas* sp. ML8 and *Flavobacterium* Sp ML20 whereas aerobic condition step, using bacteria consortium selected from Badung river sludge consist of *Vibrio* sp. and *Plesiomonas* sp. Both bacteria consortium is immobilized separately on volcanic stone for 3 days in each reactor before used to treatment of syntetic dyeswater (SDW). Further more, immobilized bacteria consortium on volcanic stone is determined by *four plate count* method.

The result of this research showed the efficiency process in decreasing color, TDS, TSS, COD and BOD was 96,94%, 75,73%, 68,03%, 97,68% dan 94,60% respectively. So, wastewater treatment by using combined anaerobic-aerobic system is potential to applied on wastewater treatment in textile industry.

Key words: Bacteria consortium, syntetic dyeswater, combined anaerobic-aerobic system

PENDAHULUAN

Zat warna reaktif azo banyak digunakan dalam industri pencelupan tekstil karena zat warna ini dapat terikat kuat pada kain dan tidak mudah luntur. Zat

warna reaktif azo disintesis untuk tidak mudah rusak oleh perlakuan kimia maupun perlakuan potolitik. Untuk itu, bila terbuang ke perairan dapat bertahan dalam jangka waktu yang cukup lama dan mengalami akumulasi sampai pada tingkat konsentrasi tertentu

dapat menimbulkan dampak negatif terhadap daya dukung lingkungan. Zat warna reaktif azo menurut kriteria Uni Eropa untuk bahan berbahaya adalah tergolong rendah. Zat warna azo umumnya mempunyai LD_{50} sebesar 250-200 mg/kg berat badan dan hanya sedikit yang mempunyai LD_{50} di bawah 250 mg/kg berat badan (Clarke dan Anliker, 1980). Walaupun toksisitas akut zat warna azo relatif rendah, akan tetapi keberadaannya dalam air dapat menghambat penetrasi sinar matahari ke dalam air sehingga mengganggu aktifitas fotosintesis mikroalga. Dampak lanjutannya adalah pasokan oksigen dalam air menjadi berkurang dan akhirnya memicu aktifitas mikroorganisme anoksik-anaerobik yang menghasilkan produk berbau tak sedap. Disamping itu, perombakan zat warna azo secara anaerobik pada dasar perairan menghasilkan senyawa amina aromatik yang kemungkinan lebih toksik dibandingkan dengan zat warna azo itu sendiri (Van der Zee, 2002).

Karakteristik air limbah tekstil adalah mempunyai intensitas warna berkisar 50-2500 skala Pt-Co, nilai COD 150-12000 mg/L dan nilai BOD mencapai 80-6000 mg/L (Azbar, 2004). Tingginya intensitas warna pada air limbah tekstil disebabkan karena sekitar 40% dari zat warna reaktif azo yang digunakan dalam proses pencelupan kain terbuang sebagai limbah sedangkan kandungan bahan organik sangat tinggi terkait dengan bahan-bahan yang digunakan dalam proses tekstil seperti enzim, detergen, zat warna dan bahan-bahan tambahan lainnya. Parameter COD dan BOD yang dimiliki air limbah tekstil jauh di atas baku mutu jika ditinjau dari KepMen LH No.51/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri yaitu 100-300 mg/L untuk COD dan 50-150 mg/L untuk BOD. Untuk itu, air limbah industri tekstil harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan.

Penggunaan mikroorganisme untuk mengolah limbah tekstil sangat potensial untuk dikembangkan karena limbah tekstil dengan kandungan bahan organik yang tinggi dapat dimanfaatkan secara langsung maupun tidak langsung oleh mikroorganisme sebagai nutrisi untuk pertumbuhannya. Pada kondisi anaerobik, mikroorganisme dengan bantuan kosubstrat seperti glukosa, sukrosa, maltosa berfungsi sebagai donor elektron ke zat warna azo yang dikatalisis oleh enzim *azoreductase* sehingga terjadi pemutusan ikatan azo menghasilkan amina aromatik.

Pengolahan limbah tekstil dengan proses pertumbuhan terlekat (*attached growth treatment processes*) mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan menggunakan proses pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth treatment processes*). Pada proses pertumbuhan terlekat, mikroorganisme diamobilkan pada permukaan padatan membentuk lapisan tipis yang disebut biofilm. Biofilm merupakan komunitas bakteri yang terstruktur dengan ketebalan tertentu sehingga dapat digunakan untuk mempertahankan diri akibat perubahan kondisi lingkungan yang

tidak menguntungkan bagi pertumbuhan bakteri. Biofilm menghasilkan densitas populasi lebih tinggi dan stabil, lebih tahan terhadap perubahan kondisi lingkungan sehingga dalam penggunaannya dalam pengolahan limbah mampu menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi (HeFang *et al.* 2004). Dalam penelitian ini dikaji perombakan zat warna reaktif azo dengan sistem kombinasi anaerobik-aerobik menggunakan biofilm bakteri konsorsium yang berasal dari lumpur limbah tekstil serta mengkaji kemungkinannya diterapkan pada pengolahan limbah tekstil. Pada sistem kombinasi anaerobik-aerobik, pada proses anaerobik terjadi dibiotransformasi zat warna reaktif azo menjadi amina aromatik sehingga warna menjadi hilang namun kandungan bahan organik biasanya masih tinggi sedangkan pada proses aerobik terjadi mineralisasi amina aromatik disertai penghilangan bau sehingga diharapkan nilai COD dan BODnya menjadi rendah.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Bakteri diisolasi dari lumpur yang diambil dari instalasi pengolahan limbah tekstil Mama&Leon dan lumpur sungai Badung Denpasar. Kegiatan isolasi sampai uji efisiensi perombakan pada reaktor dilakukan di laboratorium bioteknologi lingkungan *Indonesian Center for Biodiversity and biotechnology* (ICBB) Bogor, laboratorium Jurusan Pendidikan Kimia dan Jurusan Pendidikan Biologi UNDIKSHA Singaraja-Bali. Sedangkan identifikasi bakteri hasil isolasi dilakukan di laboratorium mikrobiologi Fakultas Kedokteran Hewan IPB. Seluruh kegiatan penelitian dilaksanakan selama 10 bulan yaitu, mulai Mei 2007 sampai Maret 2008.

Kultivasi dan Isolasi

Komposisi media cair yang digunakan untuk kegiatan isolasi mengikuti metode isolasi yang telah dilakukan Khehra *et al.* (2006) di mana dalam 1 liter terdiri dari: $(NH_4)_2SO_4$ (1,0 g), KH_2PO_4 (1,0 g), Na_2HPO_4 (3,6 g), $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ (1,0 g), $Fe(NH_4)_{12}citrat$ (0,01 g), $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ (0,1 g), 0,05% *yeast extract* dan 10 mL larutan *trace element* yang dalam 1 liter terdiri dari $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ (10,0 mg), $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ (3,0 mg), $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ (1,0 mg), $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ (2,0 mg), $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$ (3,0 mg), H_3BO_3 (3,0 mg), $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ (1,0 mg).

Preparasi suspensi bakteri dibuat dengan cara mengekstraks lumpur dengan garam fisiologis dan dihomogenisasi menggunakan vortek. Suspensi bakteri selanjutnya ditambahkan pada media cair secara terpisah yang masing-masing mengandung zat warna *Remazol Yellow*, *Remazol Red*, *Remazol Blue*, *Remazol Black* dan campuran dari keempat zat warna remazol tersebut dengan konsentrasi 50 mg/L pada kondisi anaerobik dan aerobik. Bakteri yang tumbuh diseleksi lebih lanjut dengan menumbuhkan kembali

secara bertahap pada media cair yang mengandung zat warna dengan konsentrasi lebih tinggi (100-400 mg/L). Bakteri yang tumbuh pada konsentrasi zat warna tertinggi diisolasi dengan menumbuhkannya pada media agar dan diinkubasi selama 2 hari. Untuk bakteri anaerobik, toples tempat inkubasi sebelumnya disemprot dengan gas nitrogen untuk menghalau oksigen yang ada dalam toples. Koloni yang tumbuh selanjutnya dilakukan identifikasi morfologi dan uji aktifitas biokimia.

Efisiensi Perombakan Pada Variasi Kondisi Lingkungan

Uji aktifitas perombakan zat warna oleh bakteri dilakukan untuk mengetahui kondisi lingkungan optimum yang diperlukan bakteri dalam proses perombakan zat warna reaktif azo. Uji efisiensi perombakan ini difokuskan untuk bakteri yang diisolasi dari lumpur limbah Mama&Leon dengan faktor lingkungan yang dikaji antara lain pengaruh pH, konsentrasi glukosa, konsentrasi zat warna dan pengaruh lama waktu inkubasi.

Efisiensi perombakan pada variasi pH

Uji efisiensi perombakan dari masing-masing bakteri diberbagai kondisi pH dilakukan dengan cara memindahkan secara aseptik sebanyak 1 ml suspensi bakteri pada tabung ulir 10 mL yang telah berisi media cair steril, zat warna 200 mg/L dan glukosa 2 g/L. Tabung ulir tersebut ditambahkan media cair hingga penuh. Campuran dibuat dalam variasi kondisi pH 5 sampai 9 kemudian diinkubasi dalam inkubator selama 5 hari pada suhu 30°C pada kondisi anaerobik. Setelah 5 hari, konsentrasi zat warna diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimumnya.

Efisiensi perombakan pada variasi konsentrasi glukosa

Uji efisiensi perombakan diberbagai konsentrasi glukosa dilakukan dengan cara memindahkan secara aseptik sebanyak 1 mL suspensi bakteri pada tabung ulir yang telah media cair steril, zat warna 200 mg/L dan variasi konsentrasi glukosa 0-4 g/L. Campuran dalam tabung ulir ditambahkan kembali media cair hingga penuh dan dikondisikan pada pH optimum kemudian diinkubasi selama 5 hari pada suhu 30°C pada kondisi anaerobik. Setelah 5 hari, konsentrasi zat warna diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimumnya

Efisiensi perombakan pada variasi konsentrasi zat warna

Uji efisiensi perombakan diberbagai konsentrasi zat warna dilakukan dengan cara memindahkan secara aseptik sebanyak 1 mL suspensi bakteri pada tabung ulir yang telah berisi media cair steril, glukosa dan variasi konsentrasi zat warna 50-400 mg/L. Campuran dalam tabung ulir ditambahkan kembali media cair hingga penuh dan dikondisikan pada pH optimum kemudian diinkubasi selama 5 hari pada suhu 30°C pada kondisi anaerobik. Setelah 5 hari, konsentrasi zat

warna diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimumnya

Efisiensi perombakan pada variasi lama inkubasi

Uji efisiensi perombakan pada variasi lama waktu inkubasi dilakukan dengan cara memindahkan secara aseptik sebanyak 1 mL suspensi bakteri dalam tabung ulir yang berisi media cair steril, zat warna 200 mg/L dan glukosa. Campuran tersebut dikondisikan pada pH optimum kemudian diinkubasi selang waktu 1-10 hari pada suhu 30°C pada kondisi anaerobik. Selanjutnya diukur konsentrasi zat warna menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimumnya

Pengolahan Limbah Tekstil Buatan Sistem Kombinasi Anaerobik-Aerobik Menggunakan Biofilm Bakteri Konsorsium

Limbah tekstil buatan (artifisial) yang digunakan terdiri dari campuran zat warna *Remazol Yellow*, *Remazol Red*, *Remazol Black* dan *Remazol Blue* dengan konsentrasi total 200 mg/L. Bakteri konsorsium yang digunakan pada tahap pengolahan anaerobik adalah hasil isolasi dari lumpur limbah tekstil CV. Mama&Leon sedangkan pada tahap aerobik menggunakan bakteri konsorsium hasil isolasi dari sungai Badung.

1. Pemilihan Bakteri

Berdasarkan kemampuan bakteri hasil isolasi dalam merombak zat warna di berbagai kondisi lingkungan pada kondisi anaerobik selanjutnya dipilih masing-masing 1 isolat yang menghasilkan efisiensi perombakan tertinggi dari 5 zat warna azo yang dicobakan untuk digunakan pada pengolahan tahap anaerobik. Sedangkan bakteri pada tahap aerobik dipilih yang mempunyai adaptasi terbaik pada limbah tekstil. Isolat anaerobik dan aerobik yang terseleksi masing-masing dikonsorsiumkan dan diamobilisasikan pada batu vulkanik untuk pengolahan limbah

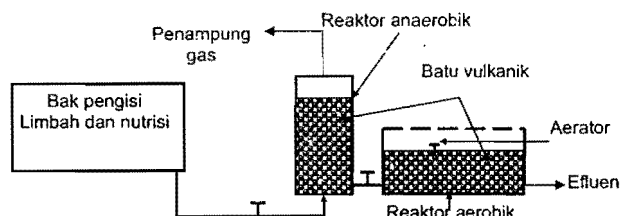
2. Amobilisasi Bakteri Konsorsium Pada Batu Vulkanik

Amobilisasi bakteri konsorsium mengikuti metode yang telah dilakukan Castilla, *et. al.* (2003) yaitu, Sebanyak 757 g batu vulkanik steril dimasukkan ke dalam bioreaktor anaerobik volume 1540 mL kemudian ditambahkan media cair dan 100 mL kultur bakteri konsorsium. Bakteri konsorsium dalam bioreaktor dibiarkan tumbuh selama 3 hari. Selanjutnya cairan dalam bioreaktor dialirkan melalui keran untuk mengeluarkan kultur bakteri yang tidak terikat pada batu vulkanik. Dengan cara yang sama dilakukan pula amobilisasi bakteri konsorsium dalam bioreaktor aerobik dan dilakukan aerasi menggunakan aerator. Jumlah bakteri yang teramobil pada batu vulkanik dilepaskan kemudian ditentukan jumlah koloni menggunakan metode *Four Plate Count*.

3. Proses Pengolahan Limbah Kombinasi Anaerobik-Aerobik

Unit Pengolahan limbah tekstil sistem kombinasi anaerobik-aerobik terdiri dari 4 bak yang terbuat dari kaca yaitu, bak pengisi, bak pengolah anaerobik

(reaktor anaerobik) volume total 1540 mL dengan dimensi ukuran panjang x lebar x tinggi internalnya masing-masing 11 x 7 x 20 cm. Setelah ditambahkan batu vulkanik 757 gram, volume efektif reaktor untuk limbah adalah 900 mL, bak pengolah aerobik (reaktor aerobik) dan bak penampung efluen berdimensi yang sama dengan bak pengolah anaerobik.



Gambar 1. Reaktor pengolahan limbah tekstil sistem kombinasi anaerobik-aerobik menggunakan proses pertumbuhan terlekat

Air limbah tekstil pada bak pengisi ditambahkan nutrisi dan 2 gram/L glukosa kemudian dikondisikan pH 7. Limbah dialirkan ke bioreaktor anaerobik secara *upflow* dengan laju alir sekitar 15 mL/menit selama 1 jam. Proses perombakan anaerobik dibiarkan selama 3 hari kemudian dialirkan ke bioreaktor aerobik dan dibiarkan 3 hari sambil diaerasi. Efluen hasil pengolahan anaerobik maupun aerobik dianalisis parameter warna, TDS, TSS, BOD dan COD.

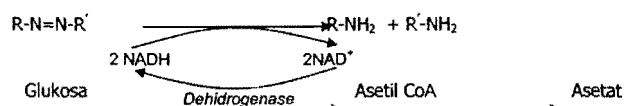
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kultivasi, Isolasi dan Identifikasi

Pengamatan secara kualitatif memperlihatkan suspensi lumpur yang berisi zat warna setelah dikultivasi pada kondisi anaerobik warnanya menjadi pudar dan agak keruh sedangkan yang dikultivasi pada kondisi aerobik warnanya tidak berubah dan keruh. Hal ini menggambarkan bahwa zat warna azo sangat sulit dirombak pada kondisi aerobik akan tetapi relatif mudah dirombak secara biologis pada kondisi anaerobik dengan menggunakan glukosa sebagai kosubstrat. Bakteri yang terdapat pada lumpur limbah tekstil Mama & Leon pada kondisi anaerobik mempunyai kemampuan lebih tinggi dalam merombak zat warna tekstil dibandingkan dengan bakteri dari lumpur sungai Badung. Sedangkan adaptasi dan pertumbuhan bakteri dari lumpur sungai Badung pada kondisi aerobik lebih baik dibandingkan dengan bakteri dari lumpur Mama & Leon.

Proses perombakan zat warna azo oleh bakteri pada dasarnya merupakan reaksi redoks yang dikatalisis oleh enzim. Koenzim nikotinamida adenin dinukleotida (NAD^+) yang dibebaskan pada proses glikolisis glukosa dengan bantuan enzim *dehidrogenase* berperan sebagai pembawa elektron dan terlibat dalam reaksi enzimatik. Pada kondisi tidak ada oksigen, NADH mengalami reaksi oksidasi menghasilkan NAD^+ sedangkan zat warna azo mengalami reaksi reduksi menghasilkan amina-amina aromatik yang

bersesuaian. Putusnya ikatan azo pada zat warna azo menyebabkan warna menjadi hilang. Jika terdapat oksigen, maka 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 sehingga terjadi transfer elektron dari NADH ke oksigen melalui rantai transport elektron (rantai pernapasan). Dengan demikian, pada kondisi aerobik zat warna azo sulit direduksi sehingga warnanya tetap. Hipotesis perombakan zat warna azo dengan adanya kosubstrat dilaporkan oleh Van der Zee, (2002) disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Mekanisme perombakan zat warna azo secara *direct enzymatic*

Uji morfologi terhadap 32 koloni yang terseleksi dari lumpur Mama&leon dan sungai Badung menunjukkan bahwa semua isolat merupakan bakteri Gram negatif dan berbentuk batang. Berdasarkan uji aktivitas biokimia yang merujuk pada *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*, dari 27 koloni yang berasal dari lumpur limbah tekstil Mama&Leon, sebanyak 10 isolat teridentifikasi bakteri *Aeromonas* sp., 6 isolat *Pseudomonas* sp., 5 isolat *Flavobacterium* sp., 3 isolat *Plesiomonas* sp. dan 3 isolat *Vibrio* sp. Sedangkan 5 koloni yang terisolasi dari lumpur sungai Badung sebanyak 2 koloni teridentifikasi *Plesiomonas* sp dan 3 koloni *Vibrio* sp.

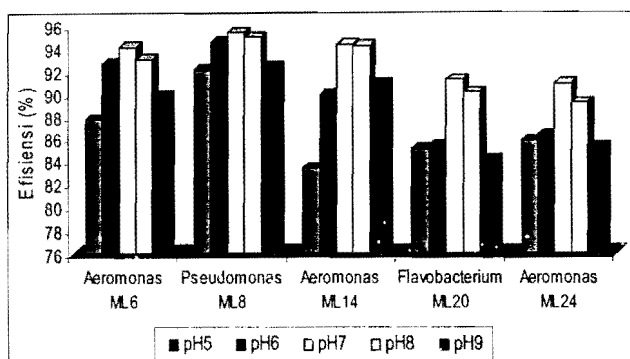
Efisiensi Perombakan Zat Warna Pada Variasi Kondisi Lingkungan

Efisiensi perombakan zat warna reaktif azo pada berbagai kondisi lingkungan (pH, konsentrasi kosubstrat, konsentrasi zat warna dan lama inkubasi) dianalisis menggunakan *One-Way Anova*. Dari analisis tersebut masing-masing bakteri mempunyai kemampuan yang berbeda-beda dalam merombak zat warna azo dan efisiensinya sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Berdasarkan hasil uji tersebut diperoleh 5 isolat masing-masing *Aeromonas* sp. ML6, *Aeromonas* sp. ML14, *Aeromonas* sp. ML24, *Pseudomonas* sp. ML8 dan *Flavobacterium* sp. ML20 menghasilkan efisiensi perombakan yang tinggi.

Efisiensi perombakan pada variasi pH

Kemampuan kelima isolat hasil isolasi dari lumpur limbah tekstil Mama&Leon dalam merombak zat warna reaktif azo pada kondisi anaerobik diberbagai pH disajikan pada Gambar 3.

Gambar 3 memperlihatkan efisiensi perombakan masing-masing zat warna semakin meningkat mulai dari pH 5 sampai pH 7, sedangkan pada kondisi pH 7-8 kecenderungan stabil dan pada pH 9

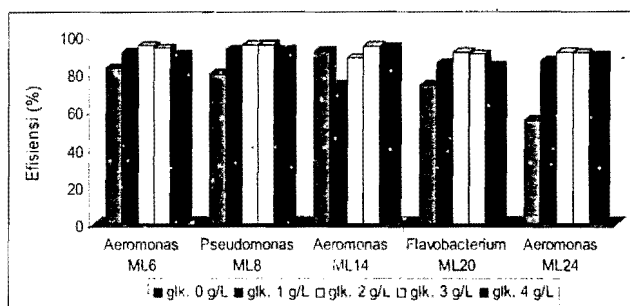


Gambar 3. Perombakan zat warna reaktif azo 200 mg/L selang waktu 5 hari inkubasi diberbagai kondisi pH.

mengalami penurunan. Kondisi pH optimum untuk berlangsungnya proses perombakan zat warna dicapai pada pH 7-8 dengan efisiensi perombakan berkisar 90-95%. Kebanyakan bakteri hidup dan beraktifitas baik pada kondisi pH netral. Bila kondisi lingkungan tidak menguntungkan, pertumbuhan mikroorganisme menjadi terganggu bahkan menyebabkan kematian.

Efisiensi perombakan pada variasi Konsentrasi Glukosa

Perombakan zat warna reaktif azo 200 mg/L oleh kelima isolat pada kondisi anaerobik dengan menggunakan bantuan glukosa sebagai kosubstrat disajikan pada Gambar 4.



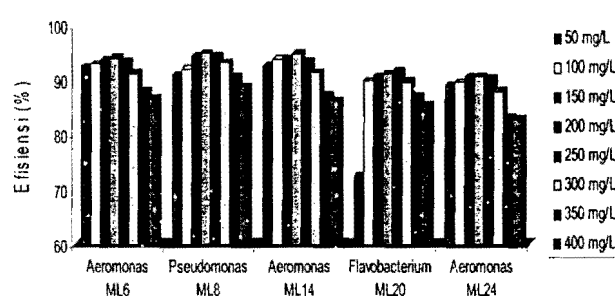
Gambar 4. Perombakan zat warna reaktif azo 200 mg/L selang waktu 5 hari inkubasi diberbagai konsentrasi glukosa.

Gambar 4 memperlihatkan bahwa penambahan glukosa berfungsi sebagai elektron donor untuk menstimulasi proses pemecahan ikatan azo. Kehadiran glukosa sebagai karbon eksternal mempercepat proses reaksi karena koenzim NADH yang terbentuk mampu mentransfer elektron baik secara langsung ke ikatan azo (N=N) atau melalui pembentukan flavin tereduksi sehingga terjadi proses reaksi reduksi dari zat warna azo. Jumlah penggunaan kosubstrat menjadi kontrol terhadap proses berlangsungnya perombakan. Penggunaan kosubstrat yang kurang memadai menghasilkan *reducing equivalents* yang kecil sehingga perombakan berlangsung kurang optimum, sedangkan bila penggunaan kosubstrat berlebih bisa menyebabkan efisiensi perombakan menjadi menurun. Hal ini disebabkan karena glukosa terurai

dalam sistem biologi menghasilkan asam-asam yang mengakibatkan terjadinya penurunan pH. Efisiensi perombakan maksimum sebesar 90-95% diperoleh pada penambahan glukosa 2 sampai 3 g/L untuk konsentrasi zat warna reaktif azo dengan konsentrasi 200 mg/L dan selang waktu inkubasi selama 5 hari.

Efisiensi perombakan pada variasi konsentrasi zat warna

Kemampuan isolat dalam merombak zat warna reaktif azo menggunakan bantuan glukosa selang waktu 5 hari inkubasi diberbagai konsentrasi zat warna disajikan pada Gambar 5.

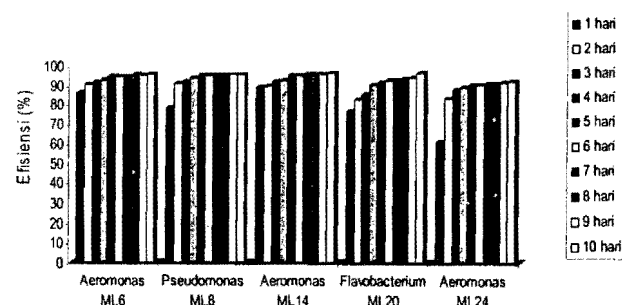


Gambar 5. Perombakan zat warna reaktif azo selang waktu 5 hari inkubasi diberbagai konsentrasi zat warna

Gambar 5 menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi zat warna dari 50 sampai 200 mg/L dengan jumlah glukosa yang konstan (2 g/L) menghasilkan efisiensi perombakan yang semakin meningkat. Penurunan efisiensi perombakan zat warna terjadi mulai pada konsentrasi 250 sampai 400 mg/L. Alasan yang mendasari terjadinya penurunan efisiensi perombakan pada konsentrasi tertentu adalah meningkatnya toksisitas zat warna terhadap bakteri yang merupakan racun bagi bakteri dan terblokirnya sisi aktif dari enzim azo reductase oleh molekul zat warna.

Efisiensi perombakan pada variasi lama waktu inkubasi

Efisiensi perombakan zat warna azo 200 mg/L oleh masing-masing isolat selang waktu 1-10 hari inkubasi disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Perombakan zat warna reaktif azo 200 mg/L selang waktu 5 hari inkubasi pada selang waktu 1-10 hari inkubasi.

Gambar 6 menunjukkan bahwa pada selang waktu 0-5 hari mula-mula bakteri melakukan fase adaptasi terhadap lingkungan limbah yang dilanjutkan dengan fase pertumbuhan eksponensial. Rendahnya peningkatan efisiensi perombakan selang waktu 5-10 hari karena aktifitas pertumbuhan bakteri menjadi terhambat dengan terbentuknya senyawa amina aromatik hasil perombakan anaerobik dari zat warna memberikan efek toksik bagi kehidupan bakteri

Pengolahan Limbah Tekstil Buatan Sistem Kombinasi Anaerobik-Aerobik Menggunakan Proses pertumbuhan Terlekat

Jumlah bakteri konsorsium pada kondisi anaerobik dan aerobik yang teramobil pada batu vulkanik adalah sebesar $20,5 \times 10^9$ cfu/gram dan $1,702 \times 10^{10}$ cfu/gram. Karakteristik limbah tekstil buatan sebelum dan setelah diolah dengan sistem kombinasi anaerobik-aerobik menggunakan bakteri konsorsium teramobil pada batu vulkanik disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik limbah tekstil buatan sebelum dan setelah pengolahan sistem kombinasi anaerobik-aerobik proses pertumbuhan terlekat selang waktu 6 hari inkubasi.

Parameter	Satuan	Karakteristik limbah tekstil buatan	Hasil pengolahan	
			Tahap anaerobik	Tahap aerobik
Warna	CU	2130	192	65
TDS	mg/L	4380	2157	1063
TSS	mg/L	1220	720	390
BOD	mg/L	945	452	51
COD	mg/L	4000	2117	93

Pengolahan limbah tekstil buatan sistem kombinasi anaerobik-aerobik dengan proses terlekat menggunakan biofilm bakteri konsorsium pada batu vulkanik selang waktu 6 hari mampu menurunkan warna dengan efisiensi 96,94%. Warna tidak tercantum sebagai salah satu syarat baku mutu ditinjau dari KepMen LH No. 51/MENLH/10/1995. Secara langsung, warna tidak tidak berbahaya bagi kehidupan ekosistem perairan, akan tetapi air berwarna secara tak langsung dapat memberikan dampak negatif terhadap kesehatan manusia maupun ekosistem air. warna menghambat penetrasi sinar matahari ke dalam air sehingga mengganggu aktifitas fotosintesis dalam ekosistem perairan menjadi terganggu yang mengakibatkan pasokan oksigen dalam air menjadi berkurang dan akhirnya memicu aktifitas mikroorganisme anoksik-anaerobik yang menghasilkan bahan-bahan yang toksik serta timbul bau yang tidak sedap.

Pengujian dengan selang waktu total 6 hari terjadinya penurunan TDS dari 4380 mg/L menjadi 1063 mg/L atau efisiensi penurunan sebesar 75,73%. Nilai padatan terlarut total hasil pengolahan jika ditinjau dari KepMen LH No. 51/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri sudah memenuhi syarat, karena nilai ambang batas yang diperkenankan berkisar 2000-4000 mg/L.

Pengukuran padatan tersuspensi total atau TSS air limbah tekstil yang digunakan sebesar 1220 mg/L. Dengan waktu pengolahan selama 6 hari, reaktor kombinasi anaerobik-aerobik yang berisi biofilm bakteri konsorsium mampu menurunkan nilai padatan tersuspensi total menjadi 390 mg/L atau terjadi efisiensi penurunan sebesar 68,03%. Nilai padatan tersuspensi total jika ditinjau dari KepMen LH No. 51/MENLH/10/1995 telah memenuhi syarat, karena ambang batas yang diperkenankan berkisar 200-400 mg/L.

Air limbah tekstil yang digunakan mempunyai nilai BOD₅ sebesar 945 mg/L dan setelah dilakukan pengolahan dengan kombinasi anaerobik-aerobik selang waktu 6 hari nilai BOD₅ turun menjadi 51 mg/L atau efisiensi penurunan sebesar 94,60%. Nilai BOD₅ ini masih di bawah ambang batas yang disyaratkan dalam KepMen LH No. 51/MENLH/10/1995 yaitu 50-150 mg/L sehingga telah memenuhi syarat untuk dibuang ke lingkungan..

Nilai COD hasil pengolahan limbah tekstil dalam bioreaktor kombinasi anaerobik-aerobik berisi konsorsium bakteri yang diamobilkan pada batu vulkanik selama pengolahan dengan total waktu 6 hari dari 4000 mg/L turun menjadi 93 mg/L atau terjadi efisiensi penurunan 97,68%. Nilai COD hasil pengolahan ini sudah berada dibawah baku mutu air yang disyaratkan dalam KepMen LH No. 51/MENLH/10/1995 sebesar 100-300 mg/L sehingga telah memenuhi syarat untuk dibuang ke lingkungan.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

1. Beberapa bakteri yang telah lama hidup dan beradaptasi dengan lingkungan limbah tekstil mempunyai kemampuan untuk merombak zat warna tekstil dan sangat potensial digunakan untuk pengolahan limbah cair industri tekstil.
2. Hasil pengolahan limbah tekstil buatan dengan sistem kombinasi anaerobik-aerobik proses pertumbuhan terlekat menghasilkan efisiensi penurunan warna 96,94%, TDS 75,73%, TSS 68,03%, COD 97,68% dan BOD 94,60%.
3. Penggunaan sistem kombinasi anaerobik-aerobik dengan proses pertumbuhan terlekat menggunakan bakteri konsorsium dan batu vulkanik sebagai media pengamobil sangat potensial digunakan untuk pengolahan limbah industri tekstil.

Saran

1. Perlu dilakukan eksplorasi bakteri dari sumber-sumber lain untuk memperkaya khasanah pemanfaatan sumberdaya potensi lokal dalam pengolahan limbah tekstil
2. Pengaliran limbah ke dalam bioreaktor anaerobik-aerobik yang dilakukan secara *batch* pada sistem pengolahan limbah tekstil kombinasi anaerobik-

aerobik dengan proses pertumbuhan terlekat telah mampu memberikan efisiensi perombakan limbah yang tinggi. Penelitian ini perlu dikembangkan dengan studi yang lebih mendalam terhadap teknik pengaliran dengan *flow continous* sehingga memudahkan operasional

DAFTAR PUSTAKA

- Blackburn, R.S., and S.M. Burkinshaw. 2002. A Greener to cotton dyeing with excellent wash fastness. *Green Chemistry*. 4: 47-52.
- Borja, J.Q., J.L. Auresenia, and S.M. Gallardo. 2003. Biofilm reactor technology for hazardous wastewater treatment. College of Engineering Research, Training and Consultancy. De la Salle University. Manila. Philippines.
- Carliell, C.M., S.J. Barclay, Naido, C.A. Buckley, D.A. Mulholland, and E. Senior. 1995. Microbial decolorization of reactive red dye under anaerobic condition. *Water Science*. 21: 61-69.
- Chinwetkitvanich, S., M. Tuntoolvest, and T. Panswad. 2000. Anaerobic decolorization of reactive dyebath effluents by a two stage UASB system with Tapioca as co-substrate. *Water Research*. 34: 2223-2232.
- Chen, K.C., J.Y. Wu, D.J. Liou, and S.J. Hwang. 2003. Decolorization of textile dyes by newly isolated bacterial strains. *Journal of Biotechnology*. 101: 57-68.
- Ginting, P. 2007. Sistem pengelolaan lingkungan dan limbah industri. CV. Yrama Widya.
- HeFang., HuWenrong, and LiYuezhong. 2004. Biodegradation mechanisms and kinetics of azo dyes 4BS by a microbial consortium. *Chemosphere* 57:293-301.
- Khehra, M.S., H.S. Saini, D.K. Sharma, B.S. Chada, and S.S. Chimni. 2006. Biodegradation of azo dye C.I acid red 88 by an anoxic-aerobic sequential bioreactor. *Dyes and Pigments*. 70:1-7.
- Van der Zee. 2002. Anaerobic azo dye reduction [Thesis]. Wageningen University. Netherlands.