

KAJIAN PUSTAKA : PEMANFAATAN MIKROBA YANG BERPOTENSI SEBAGAI AGEN BIOREMEDIASI LIMBAH PEWARNA TEKSTIL

*[A REVIEW : UTILIZATION OF POTENTIAL MICROBES AS BIOREMEDIATION
AGENT FOR TEXTILE DYES WASTEWATER]*

Valerie¹, Joan C. Wijaya¹, dan Reinhard Pinontoan^{1*}

¹Jurusan Biologi, Universitas Pelita Harapan

Jln. Thamrin Boulevard 0-0, Lippo Karawaci, Tangerang 15811

*Korespondensi : reinhard.pinontoan@uph.edu

ABSTRACT

The rapid expansion of textile industry in Indonesia raises substantial concerns with regard to the disposal of excess dyes into the environment. The deleterious consequences of such issue can be alleviated through wastewater management by combining physical, chemical and biological approach. Biological treatment through bioremediation needs to be thoroughly considered and developed as it offers favorable attributes by being sustainable, inexpensive and environmentally friendly. In Indonesia, the employment of bioremediation technique, to treat textile dye effluent, has been extensively applied through the use of activated sludge. Apparently, studies describing the potential of various indigenous microorganisms to degrade textile dyes have continuously been reported. This paper proposed practical methods to isolate and select for potential indigenous microbes as well as their employment as bioremediation agent on dye contamination. Selections can be enhanced through the incorporation of bioinformatics analysis on the approach of microbiology. Appropriate systems are required to be carefully designed to optimized application on-site.

Keywords: *bioinformatic approaches; bioremediation; microbe; microbiological approach textile dye wastewater*

ABSTRAK

Perkembangan industri tekstil yang pesat di Indonesia menimbulkan masalah terkait pembuangan limbah pewarna tekstil ke badan air. Pencemaran limbah pewarna tekstil tersebut dapat ditanggulangi dengan penerapan kombinasi metode pengolahan limbah secara fisik, kimiawi dan biologi. Metode secara biologis dengan bioremediasi memiliki prospek yang menjanjikan sehingga perlu dikembangkan karena sifatnya yang berkelanjutan, ramah lingkungan dan ekonomis. Di Indonesia, metode bioremediasi untuk pengolahan limbah pewarna tekstil sudah diterapkan dengan menggunakan sistem lumpur aktif. Hasil penelitian melaporkan bahwa berbagai jenis mikroba indigenous memiliki potensi dalam mendegradasi pewarna tekstil. Makalah ini membahas metode seleksi mikroba yang berpotensi menjadi agen bioremediasi. Seleksi tersebut dapat dilakukan melalui pendekatan secara mikrobiologis maupun secara bioinformatik. Dalam penerapannya di lapangan, sistem yang sesuai juga perlu dikembangkan agar proses bioremediasi dapat menunjukkan hasil yang maksimal.

Kata kunci: bioremediasi; limbah pewarna tekstil; mikroba; pendekatan bioinformatik; pendekatan mikrobiologis

PENDAHULUAN

Industri tekstil merupakan salah satu sektor industri terbesar di Indonesia. Namun demikian, industri yang berkontribusi besar terhadap perekonomian dan kesejahteraan rakyat ini berpotensi merusak lingkungan dan kesehatan karena menghasilkan limbah yang sulit terdegradasi secara alami serta mengandung komponen yang berbahaya dan beracun bagi makhluk hidup (Ogugbue and Sawidis, 2011; Ratna and Padhi, 2012).

Limbah cair dari industri tekstil yang dibuang ke badan-badan air tanpa pengolahan yang memadai dapat menimbulkan berbagai efek negatif, seperti mengganggu transparansi air, mengganggu proses fotosintesis yang berujung pada defisiensi oksigen, meningkatkan *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD), mengakibatkan masyarakat kekurangan sumber air bersih, menyebabkan tumor ataupun kematian pada organisme akuatik, serta mengakibatkan iritasi, keracunan, mutasi dan kanker pada manusia yang menggunakan air dari sumber-sumber yang tercemar (Ogugbue and Sawidis, 2011; Ratna and Padhi, 2012).

Berbagai metode dekolorisasi dan degradasi pewarna tekstil baik secara fisik maupun kimiawi sudah diterapkan dan dikembangkan dalam sistem pengolahan

limbah untuk mengeliminasi dampak negatif pewarna tekstil. Namun demikian, berbagai faktor mulai dari keefektifan, keekonomisan, maupun dampak penerapan metode tersebut terhadap lingkungan, masih memerlukan perhatian khusus dan perbaikan (Gül, 2013; Hadibarata *et al.*, 2013). Oleh sebab itu, pendekatan secara biologis dengan menggunakan mikroorganisme sebagai agen bioremediasi menjadi solusi yang menjanjikan karena sifatnya yang berkelanjutan, ramah lingkungan dan ekonomis. Untuk menggunakan metode bioremediasi tersebut perlu dilakukan seleksi terhadap kandidat mikroorganisme yang berpotensi menjadi agen bioremediasi. Seleksi tersebut dapat dilakukan melalui pendekatan secara mikrobiologis maupun secara bioinformatik. Dalam penerapannya di lapangan, sistem yang sesuai juga perlu dikembangkan agar metode bioremediasi dapat menunjukkan hasil yang maksimal (Bayoumi *et al.*, 2014; Lade *et al.*, 2015).

Metode bioremediasi dapat diterapkan untuk mendekolorisasi limbah pewarna tekstil dengan memanfaatkan berbagai mikroba *endogenous*. Bagaimanapun juga, Indonesia yang kaya akan keanekaragaman hayati masih belum banyak mengeksplor dan memanfaatkan mikrobanya untuk mendekolorisasi dan mendegradasi limbah

pewarna tekstil. Meskipun pendekatan penyeleksian kandidat mikroorganisme dapat diterapkan di Indonesia, namun belum ada tulisan yang sistematis mengenai hal tersebut. Oleh karenanya, tulisan ini membahas metode seleksi mikroba yang memiliki potensi untuk mendegradasi limbah pewarna tekstil dengan pendekatan mikrobiologis dan bioinformatik, serta usaha pemanfaatan mikroba potensial di lapangan untuk mendegradasi limbah pewarna tekstil.

PEWARNA DALAM INDUSTRI TEKSTIL

Pewarna merupakan senyawa alami dan sintetis yang memiliki warna dan dapat berikatan dengan substratnya (Carmen and Daniela, 2012). Secara umum, pewarna dapat dibagi menjadi pewarna alami dan pewarna sintetis. Pewarna alami berasal dari tumbuhan dan hewan, seperti tarum (*Indigofera tinctoria*) yang menghasilkan warna biru indigo, kuma-kuma (safron/ *Crocus sativus*) yang menghasilkan warna kuning, siput laut yang menghasilkan warna ungu dan serangga Kermes yang menghasilkan warna merah. Pewarna sintetis adalah pewarna buatan yang berasal dari sumber sintetis seperti produk sekunder petroleum dan mineral bumi. Saat ini, pewarna alami sudah sangat jarang digunakan dibandingkan dengan pewarna sintetis karena memerlukan bahan baku dalam

jumlah yang besar, harga yang lebih mahal serta menghasilkan warna yang kurang tajam (Purwar, 2016).

Berdasarkan metode aplikasinya, pewarna sintetis dapat dikelompokkan menjadi pewarna asidik, pewarna alkalin, pewarna langsung, pewarna *disperse*, pewarna *mordant*, pewarna reaktif, pewarna sulfur, pewarna vat dan pewarna azo yang tidak larut (Carmen and Daniela, 2012). Meskipun mampu menghasilkan warna dengan kualitas yang baik, pewarna-pewarna sintetis tersebut memiliki efek samping yang berbahaya terhadap hewan air maupun manusia.

Saat ini sekitar 10.000 jenis pewarna tersedia secara komersial dan sekitar 800.000 ton pewarna sintetis diproduksi setiap tahunnya untuk memenuhi kebutuhan industri tekstil di seluruh dunia. Namun, akibat proses pewarnaan yang tidak efektif, sekitar 10 - 15 % pewarna terbuang ke lingkungan menghasilkan limbah yang berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan makhluk hidup (Chequer *et al.*, 2013). Dengan demikian, metode pengolahan limbah pewarna tekstil yang efektif perlu segera dikembangkan dan diterapkan.

METODE-METODE PENGOLAHAN LIMBAH PEWARNA TEKSTIL

Sebelum metode pengolahan limbah berbasis mikroba mulai dikembangkan,

limbah pewarna tekstil umumnya diolah secara fisik dan kimiawi. Metode dekolorisasi secara fisik meliputi adsorpsi (menggunakan karbon aktif, gambut, kayu, batu bara atau silika), proses filtrasi membran, kromatografi penukar ion, dan *reverse osmosis*. Metode lain berupa *biosorption* (penyerapan pewarna dengan adsorben alami) dengan memanfaatkan limbah pertanian seperti sekam padi, ampas tebu, kayu pinus atau tongkol jagung serta koagulasi (penggumpalan) juga banyak diterapkan dalam pengolahan limbah pewarna tekstil. Namun demikian, metode dekolorisasi secara fisik tersebut masih kurang efektif karena menghasilkan produk samping berupa lumpur yang berlebihan dan masih mengandung berbagai zat yang berbahaya bagi lingkungan. Metode ini juga hanya efektif untuk volume limbah yang relatif kecil (Ratna and Padhi, 2012).

Secara kimiawi, dekolorisasi juga dapat dilakukan dengan menggunakan metode oksidasi dengan agen pengoksidasi seperti reagen Fenton, ozon, natrium hipoklorit, ataupun metode fotokimia dan degradasi elektrokimia. Ozonisasi secara luas telah banyak digunakan untuk remediasi karena ozon terbukti mampu memotong ikatan ganda konjugasi pada kromofor pewarna yang menyebabkan pewarna terdegradasi, namun ozonisasi diketahui dapat membentuk produk

samping yang beracun. *Titanium dioxide* (TiO_2) yang diimmobilisasi juga banyak diterapkan untuk mendegradasi pewarna. Oksidasi fotokatalitik pada TiO_2 yang diimmobilisasi bersama dengan iradiasi matahari yang dilanjutkan dengan elektroklorinasi diketahui berhasil mendekolorisasi pewarna dan mengurangi tingkat toksisitas produk akhir. Namun demikian, metode dekolorisasi secara kimiawi membutuhkan biaya operasional yang tinggi (Ratna and Padhi, 2012).

METODE DEKOLORISASI SECARA BIOLOGIS: MIKROBA *ENDOGENOUS* SEBAGAI AGEN BIOREMEDIASI

Bioremediasi adalah penggunaan sistem biologi untuk mengurangi polusi udara, air atau sistem terestrial. Pemanfaatan mikroorganisme sebagai agen bioremediasi memiliki prospek yang menjanjikan karena mikroorganisme diketahui dapat memecah molekul polutan melalui jalur metabolisme yang biasanya digunakan organisme untuk pasokan energi dan pertumbuhan-nya (Marimuthu *et al.*, 2013).

Bioremediasi dapat dilakukan dengan melibatkan proses degradasi secara aerobik dan anaerobik oleh mikroorganisme. Pengolahan limbah pewarna tekstil secara anaerobik akan menghasilkan pemotongan reduktif ikatan senyawa pewarna, sedangkan pengolahan secara aerobik akan mendegradasi

produk yang terbentuk pada langkah pertama dan menghasilkan produk akhir yang tidak berbahaya lagi (Ratna and Padhi, 2012).

Sebagai contoh, dalam pengolahan limbah berbasis mikroba yang mengandung pewarna tekstil jenis azo, mekanisme degradasi yang banyak digunakan melibatkan pemotongan ikatan azo (-N=N-) dengan bantuan enzim *azoreductase* dalam kondisi anaerob. Pemotongan ikatan azo tersebut berlangsung dalam dua tahap. Dalam setiap tahap, dua elektron akan ditransfer ke pewarna azo yang bertindak sebagai akseptor elektron terakhir sehingga pewarna terdekolorisasi. Metabolit yang dihasilkan, misalnya berupa amina aromatik, selanjutnya akan didegradasi lebih lanjut baik secara aerobik maupun anaerobik (Shah, 2014).

Salah satu karakteristik khas yang terdapat pada mikroorganisme yang mampu mendekolorisasi pewarna tekstil adalah kemampuan mikroorganisme tersebut untuk mensekresikan enzim-enzim seperti *azoreductase*, *laccase* atau *peroxidase*. Enzim-enzim tersebut diketahui dapat mendegradasi struktur kimia pewarna tekstil dan menghasilkan produk yang tidak berwarna, lebih tidak beracun dan aman untuk dibuang ke badan-badan air dengan berbagai

mekanisme, tergantung pada struktur kimia dari masing-masing pewarna (Sudha *et al.*, 2014).

Wang *et al.* (2012) melaporkan bahwa degradasi *Malachite Green* (MG), yang tergolong dalam jenis pewarna alkalin, oleh enzim *laccase* terjadi dengan melibatkan beberapa tahapan, yaitu demetilasi N, reduksi, penghilangan cincin benzena, dan oksidasi. Reaksi demetilasi N mengubah MG menjadi *desmethyl* MG dan *leuco malachite green* (LMG) menjadi *desmethyl*-LMG. Reaksi reduksi mengubah MG menjadi LMG, sedangkan penghilangan cincin benzena menyebabkan terjadinya pembelahan *desmethyl*-LMG menjadi (*4-dimethylamino-phenyl*)-*phenyl-methanone* dan benzena, yang juga melibatkan reaksi oksidasi dan pemecahan ikatan C-C. Senyawa *3-dimethylamino-phenol* dan benzaldehida kemudian muncul sebagai hasil pemotongan ikatan C-C tersebut, sedangkan senyawa *N,N-dimethylaniline* terbentuk akibat reaksi penghilangan gugus hidroksil. Berbagai jenis mikroorganisme mulai dari bakteri baik Gram negatif maupun Gram positif serta jamur dilaporkan mampu mendegradasi pewarna tekstil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi pewarna berdasarkan metode aplikasi

Jenis Pewarna	Contoh Pewarna	Efek Samping	Mikroba Pendekolorisasi Pewarna Tekstil
Pewarna Asidik	<i>Nigrosine, Acid Orange II</i> ^[9]	Iritasi kulit dan mata, karsinogenik ^[13]	<i>Aeromonas hydrophila, Pseudomonas aeruginosa, Bacillus cereus, Staphylococcus hominis</i> ^{[3], [14], [18]}
Pewarna Azo	<i>Reactive Black 5, Congo Red</i> ^[9]	Alergi, mutagenik, karsinogenik, teratogenik ^[8]	<i>Aeromonas hydrophila, Bacillus amyloliquefaciens</i> ^{[5], [22]}
Pewarna Alkalin	<i>Malachite Green, Methylene Blue</i> ^[9]	Iritasi kulit dan mata, keracunan, mutagenik, karsinogenik ^[2]	<i>Bacillus thuringiensis, Achromobacter xylosoxidans</i> ^{[16], [21]}
Pewarna Reaktif	<i>Reactive Yellow 4, Reactive Violet 2</i> ^[9]	Reaksi alergi, iritasi kulit, membran mukus dan saluran pernapasan ^[10]	<i>Bacillus subtilis, Leptosphaerulina sp., Serratia marcescens, Penicillium simplicissimum</i> ^{[4], [11], [17], [20]}
Pewarna Sulfur	<i>Sulphur Black 1, Sulphur Orange 1</i> ^[9]	Menyebabkan iritasi dan toksik bagi hewan perairan ^[23]	-
Pewarna Langsung	<i>Direct Red 23, Direct Yellow 12</i> ^[9]	Iritasi kulit, karsinogenik ^[13]	<i>Aspergillus oryzae</i> ^[7]
Pewarna Disperse	<i>Disperse Blue 60, Disperse Red 60</i> ^[9]	Iritasi kulit, keracunan, mutagenik, karsinogenik ^[6]	-
Pewarna Mordant	<i>Mordant Yellow 1, Mordant Black 1</i> ^[9] , ^[15]	Mutagenik ^[19]	-
Pewarna Vat	<i>Vat Black 8, Vat Brown 1</i> ^[9]	Menyebabkan iritasi dan toksik bagi hewan perairan ^[12]	<i>Bacillus macerans, Staphylococcus aureus</i> ^[11]

Sumber: 1. Adebajo *et al.* (2017); 2. Arabi and Sohrabi (2014); 3. Bayoumi *et al.* (2014); 4. Bergsten-Torralba *et al.* (2009); 5. Bouraie and El Din (2016); 6. Carneiro *et al.* (2010); 7. Corso *et al.* (2012); 8. Gudelj *et al.* (2011); 9. Hunger (2003); 10. Kaisa *et al.* (2007); 11. Kamat and Kamat (2015); 12. Kant (2012); 13. Lacasse and Baumann (2004); 14. Ogugbue and Sawidis (2011); 15. Olanathan and Patterson (2013); 16. Olukanni *et al.* (2013); 17. Placido *et al.* (2016); 18. Singh *et al.* (2014); 19. Slater (2003); 20. Velmurugan and Ravikumar (2014); 21. Wang *et al.* (2011); 22. Wang *et al.* (2013); 23. Zouhaier *et al.* (2014).

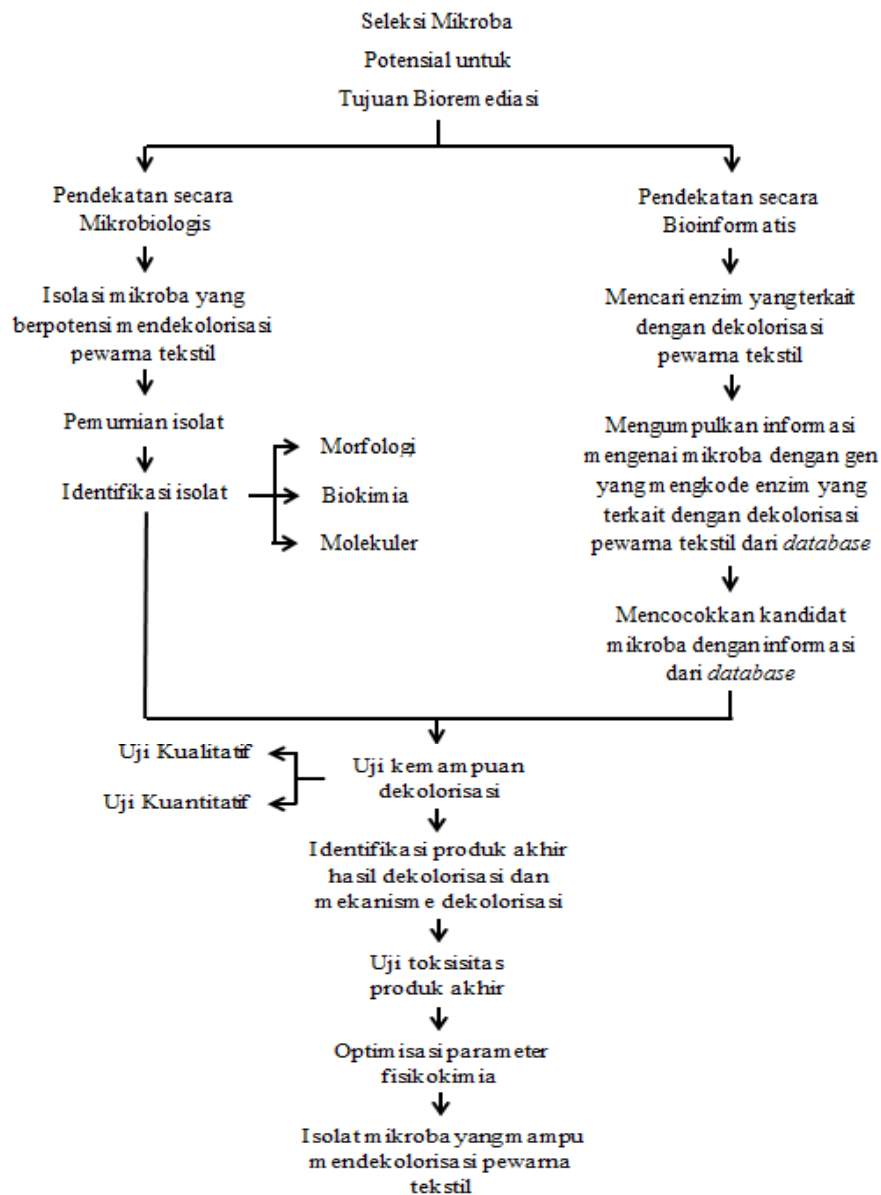
SELEKSI MIKROBA POTENSIAL UNTUK TUJUAN BIOREMEDIASI

Langkah awal dalam proses bioremediasi limbah tekstil berbasis mikroba adalah menyeleksi mikroba yang mampu

mendekolorisasi pewarna tekstil secara efektif dan efisien. Proses seleksi mikroorganisme potensial untuk tujuan bioremediasi ini dapat dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu pendekatan secara mikrobiologis di

laboratorium dan pendekatan dengan analisa bioinformatik, yang memadukan antara analisis *database* gen/protein dengan

eksperimen di laborato-rium. Diagram alur kedua jenis pendekatan tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses seleksi mikroba sebagai agen bioremediasi dengan pendekatan mikrobiologis dan bioinformatik

Pendekatan Mikrobiologis

Pendekatan secara mikrobiologis dilakukan dengan berbagai tahapan, mulai dari isolasi dan seleksi mikroorganisme

potensial yang diperoleh dari sampel di lapangan hingga uji toksisitas produk akhir yang dihasilkan terhadap makhluk hidup. Sampel yang digunakan dapat diambil dari

berbagai sumber, dengan sumber yang paling umum berupa air atau tanah dari tempat yang tercemar oleh limbah pewarna tekstil. Sampel yang diperoleh selanjutnya diinokulasikan pada media seleksi padat yang sudah ditambah dengan pewarna tekstil yang akan diuji. Koloni mikroba yang mampu menghasilkan zona bening di sekitar wilayah tumbuhnya selama waktu inkubasi kemudian dimurnikan sebagai kandidat potensial untuk diidentifikasi lebih lanjut (Bayoumi *et al.*, 2014).

Identifikasi terhadap isolat mikroorganisme potensial dilakukan melalui karakterisasi morfologi sel dan koloni, karakterisasi aktivitas biokimia, serta identifikasi molekuler isolate (Bayoumi *et al.*, 2014; Shah *et al.*, 2013). Isolat mikroorganisme yang sudah diidentifikasi, kemudian diuji kemampuan dekolorisasinya pada media tumbuh padat dan media tumbuh cair untuk mengevaluasi isolat mikroorganisme dengan kemampuan dekolorasi yang terbaik. Uji kemampuan dekolorasi secara kualitatif dapat dilakukan dengan mengamati pembentukan zona bening pada media tumbuh padat dan perubahan warna media tumbuh pada media tumbuh cair. Uji kuantitatif dilakukan dengan mengukur diameter zona bening pada media tumbuh padat dan menghitung persentase dekolorasi

pewarna pada media tumbuh cair dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Bayoumi *et al.*, 2014; Rani *et al.*, 2014; Shah *et al.*, 2013).

Identifikasi produk akhir dari proses degradasi dan dekolorasi pewarna tekstil dapat dianalisis dengan berbagai metode, mulai dari metode kromatografi seperti *Thin Layer Chromatography* (TLC) hingga metode spektrometri seperti spektrofotometer UV-Vis dan FTIR. Hasil yang diperoleh dari metode-metode tersebut lalu dibandingkan dengan referensi yang ada sehingga produk akhir yang terbentuk dari proses degradasi dan dekolorasi pewarna tekstil tersebut dapat diidentifikasi. Informasi mengenai produk akhir yang terbentuk tersebut bermanfaat untuk memperkirakan mekanisme yang digunakan oleh isolat mikroorganisme dalam mendegradasi dan mendekolorasi pewarna tekstil yang diuji (Lal and Srivastava, 2011; Olukanni *et al.*, 2013; Wanyonyi *et al.*, 2014).

Uji toksisitas selanjutnya juga dapat dilakukan pada larutan pewarna yang sudah terdegradasi. Hal ini penting untuk dilakukan agar saat mikroorganisme potensial diaplikasikan untuk mendegradasi limbah cair pewarna tekstil di lapangan, hasil degradasinya dapat dinyatakan benar-benar aman untuk dibuang ke lingkungan. Uji toksisitas yang umum dilakukan adalah uji

toksisitas larutan pewarna hasil degradasi pada perkecambahan biji dan pertumbuhan tanaman, pertumbuhan mikroorganisme dan pada tingkat kematian *brine shrimp* (*Artemia salina*) (Junior *et al.*, 2015; Rani *et al.*, 2014; Sneha *et al.*, 2014).

Terakhir, optimisasi parameter fisiko-kimia pada mikroorganisme potensial yang sudah didapatkan juga perlu dilakukan. Dengan mengetahui kondisi optimal untuk pertumbuhan mikroorganisme, diharapkan mikroorganisme tersebut dapat mendegradasi limbah cair pewarna tekstil secara optimal. Parameter fisikokimia yang perlu diperhatikan antara lain suhu, pH, konsentrasi pewarna, jumlah inokulum, kondisi statis atau teragitasi, waktu inkubasi, sumber karbon/nitrogen (Bayoumi *et al.*, 2014; Shah, 2014; Sneha *et al.*, 2014).

Pendekatan Bioinformatik

Pencarian kandidat mikroorganisme potensial untuk mendekolorisasi pewarna tekstil juga dapat dilakukan dengan pendekatan bioinformatik. Pendekatan secara bioinformatik dilakukan dengan mengumpulkan informasi dari *database* stok kultur dan *gene bank* untuk menganalisis mikroorganisme yang memiliki gen yang mengkode enzim-enzim yang terkait dengan dekolorisasi pewarna tekstil, seperti enzim *laccase*, *azoreductase* dan *peroxidase*.

Kandidat mikroorganisme yang berpotensi untuk mendekolorisasi pewarna tekstil diuji secara kualitatif dan kuantitatif di laboratorium dalam media tumbuh padat dan media tumbuh cair untuk memverifikasi kemampuan kandidat mikroorganisme yang diketahui memiliki gen yang mengkode enzim pendekolorisasi pewarna tekstil tersebut (Ausec *et al.*, 2011; Rani *et al.*, 2014). Selanjutnya, serangkaian uji laboratorium seperti yang dilakukan dalam pendekatan secara mikrobiologis, seperti identifikasi produk akhir yang terbentuk, analisis kemungkinan mekanisme dekolorisasi, uji toksisitas produk akhir dan optimisasi parameter fisikokimia juga tetap perlu dilakukan untuk mengkonfirmasi dan mengukur kemampuan dekolorisasi kandidat mikroorganisme tersebut secara nyata.

PEMANFAATAN MIKROBA POTENSIAL DI LAPANGAN UNTUK DEKOLORISASI PEWARNA TEKSTIL

Mikroorganisme yang sudah diketahui mampu mendekolorisasi pewarna tekstil kemudian dapat dimanfaatkan lebih lanjut di lapangan. Mikroorganisme potensial yang diperoleh dapat digunakan sebagai kultur awal (*starter culture*) dalam berbagai jenis metode pengolahan limbah cair di lapangan. Dalam mengolah limbah cair pewarna tekstil di lapangan, mikroorganisme potensial dapat

digunakan dalam bentuk mikroba tunggal maupun konsorsium (kumpulan berbagai jenis mikroba) (Karthikeyan and Sahu, 2014; Lade *et al.*, 2015).

Sistem pengolahan limbah cair pewarna tekstil secara biologis yang diketahui telah berhasil diterapkan adalah *Rotating Biological Contactor* (RBC). Karthikeyan dan Sahu (2014) menggunakan sistem RBC dengan jamur *Phanerochaete chrysosporium* yang diimobilisasi pada *polyurethane foam disks* untuk mendekolorisasi pewarna tekstil. Penelitian Karthikeyan and Sahu (2014) tersebut menunjukkan hasil dekolorisasi pewarna tekstil yang memuaskan sehingga sistem ini ke depannya dinilai berpotensi digunakan untuk mengolah limbah cair pewarna tekstil pada skala besar di sektor industri.

Lade *et al.* (2015) juga melaporkan penggunaan konsorsium mikroorganisme seperti kombinasi bakteri Gram negatif *Providencia rettgeri* strain HSL1 dan *Pseudomonas* sp. SUK1 sebagai kultur awal untuk mendegradasi limbah cair pewarna tekstil pada kondisi mikroaerofilik yang dilanjutkan dengan inkubasi pada kondisi aerobik. Penelitian Lade *et al.* (2015) menggunakan konsorsium mikroorganisme tersebut diketahui mampu mendegradasi

limbah cair pewarna tekstil dengan hasil yang memuaskan.

PEMBAHASAN

Menurut Kementerian Perindustrian RI, industri tekstil merupakan salah satu penyumbang devisa ekspor tertinggi. Pada tahun 2010, industri tekstil menyumbang sekitar 8,9% terhadap total ekspor Indonesia. Indonesia juga merupakan eksportir tekstil terbesar ke-11 pada tahun 2011 (Greenpeace, 2013). Di Indonesia, industri tekstil terpusat di Pulau Jawa dengan persentase sebesar 90% dengan 55% industri tekstil tersebut terpusat di Provinsi Jawa Barat (Better Work Indonesia, 2012). Namun demikian, industri tekstil di Indonesia tersebut dalam perjalanannya menimbulkan banyak masalah. Masalah paling umum yang ditimbulkan dari menjamurnya industri tekstil di Indonesia adalah masalah pembuangan limbah cair industri tekstil ke badan-badan air tanpa pengolahan yang memadai. Limbah cair industri tekstil tersebut mengandung berbagai komponen yang berbahaya baik bagi lingkungan maupun bagi manusia yang memanfaatkan badan-badan air di sekitar industri tekstil (Greenpeace, 2013).

Kasus pembuangan limbah cair industri tekstil ke badan-badan air di Indonesia dilaporkan banyak terjadi di Jawa Barat, yaitu di Sungai Citarum, Sungai Citarik, Sungai

Cikijing, Sungai Cicalengka, Sungai Cimande, dan Sungai Cisunggalah (Greenpeace, 2013). Pencemaran limbah cair industri tekstil di keenam sungai tersebut membawa berbagai dampak negatif, seperti perubahan warna air akibat limbah pewarna tekstil, mengganggu ekosistem sungai, menimbulkan kerugian finansial bagi masyarakat sekitar sungai, sampai terakumulasinya logam-logam berat di sedimen sungai (Birry dan Meutia, 2012; Febriani, 2012; Greenpeace, 2013).

Metode bioremediasi memiliki prospek yang cukup menjanjikan untuk diterapkan di berbagai wilayah di Indonesia karena sifatnya yang ramah lingkungan (proses produksinya tidak membutuhkan reagen kimia yang bersifat toksik dan dapat mengeliminasi produk akhir yang bersifat toksik), berkelanjutan (mikroorganisme dapat terus diperbanyak dengan metode yang relatif

seederhana) dan ekonomis (proses pemeliharaan mikroba dapat dilakukan dengan media alami berbasis limbah agrikultur sehingga dapat menekan biaya produksi). Selain itu, Indonesia juga memiliki kekayaan keanekaragaman hayati mikroba yang tinggi yang belum sepenuhnya dieksplorasi untuk tujuan bioremediasi. Penelitian mengenai kandidat mikroorganisme yang memiliki potensi sebagai agen bioremediasi dapat dilakukan baik dengan pendekatan mikrobiologis dengan isolasi secara langsung dari sumber lapangan maupun dengan pendekatan bioinformatik dengan mengevaluasi sekuens gen yang berperan dalam dekolorisasi dan degradasi dari kandidat mikroorganisme. Kedua pendekatan tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing dalam penerapannya yang dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Perbandingan pendekatan secara mikrobiologis dan secara bioinformatik

Pendekatan Secara Mikrobiologis	Pendekatan Secara Bioinformatik
Waktu lebih lama	Waktu lebih singkat
Tidak memerlukan informasi <i>database</i>	Memerlukan informasi <i>database</i> mikroba dan gen
Potensi penemuan mikroorganisme baru yang memiliki kemampuan untuk mendekolorisasi pewarna tekstil besar	Hanya mengeksplorasi mikroba dari stok kultur yang tersedia

Sebagai contoh, di Indonesia, pengembangan pengolahan limbah pewarna tekstil secara mikrobiologis sudah diterapkan

dengan menggunakan *activated sludge*. Indonesia, dengan kekayaan keanekaragaman hayatinya yang tinggi memiliki banyak

mikroba potensial yang dapat dimanfaatkan sebagai kultur awal bagi *activated sludge* untuk mengolah limbah pewarna tekstil di Indonesia. Walaupun informasinya terbatas, beberapa penelitian yang dilakukan di Indonesia terhadap mikroba *endogenous* yang memiliki potensi untuk mendekolorisasi pewarna tekstil telah dilaporkan. Dewi dan Lestari (2010) melaporkan fungi seperti *Fusarium* sp. dan *Aspergillus* sp. yang diisolasi dari limbah warna batik tulis asal Banyumas memiliki kemampuan untuk mendekolorisasi pewarna batik. Selain itu, fungi *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp. dan *Stachybotrys* sp. yang diisolasi dari tanah di sekitar pembuangan limbah industri tekstil di Yogyakarta dan Jawa Tengah juga mampu mendekolorisasi berbagai pewarna tekstil (Martani *et al.*, 2011). Utari *et al.* (2015) juga melaporkan bakteri *Pseudomonas* sp., *Shigella* sp., *Stenotrophomonas* sp., *Pasteurella* sp. dan *Proteus* sp. yang diisolasi dari sampel tanah mampu mendekolorisasi pewarna tekstil *Rhodamin B*. Selain itu, hasil penelitian penulis menunjukkan bahwa *Enterobacter* sp. dan *Bacillus* sp. (data tidak dipublikasi-kan) dapat mendekolorisasi pewarna tekstil MG dan *Reactive Black B*. Bagaimanapun juga, berbagai uji lebih lanjut perlu dilakukan untuk aplikasi di lapangan sehingga hasil dekolourisasi yang maksimal

dan produk akhir yang aman bagi kesehatan lingkungan dapat diperoleh. Untuk itu, sistem yang mampu menerapkan kombinasi pengolahan limbah pewarna tekstil baik secara fisik, kimia dan biologi (melalui pendekatan mikrobiologis dan bioinforma-tik) perlu segera dikembangkan.

KESIMPULAN

Seleksi terhadap mikroorganisme *endogenous* dari Indonesia sebagai agen bioremediasi dapat dilakukan secara maksimal dengan pendekatan mikrobiologis dan bioinformatik. Mikroorganisme potensial kemudian dapat diaplikasikan dalam berbagai bentuk, baik berupa pemberian mikroba tunggal maupun konsorsium. Metode pengolahan secara biologis bagaimanapun juga perlu dikombinasikan dengan metode pengolahan limbah secara fisik dan kimiawi untuk memperoleh hasil yang maksimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Makalah ini merupakan salah satu bagian dari proyek Hibah Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi RISTEKDIKTI 2017 yang berjudul “Eksplorasi dan Pemanfaatan Bakteri Pendekolorisasi Pewarna Tekstil sebagai Agen Bioremediasi Limbah Industri Tekstil” (0419/K3/KM/2017). Terima kasih kepada Tan, Steven Ryan Susanto yang telah membantu dalam pengecekan tulisan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adebajo, S. O., Balogun, S. A. and Akintokun, A. K. 2017. Decolourization of vat dyes by bacterial isolates recovered from local textile mills in Southwest, Nigeria. *Microbiology Research Journal International* 18: 1-8.
- Arabi, S. and Sohrabi, M. R. 2014. Removal of methylene blue, a basic dye, from aqueous solutions using nano-zerovalent iron. *Water Science & Technology* 70: 24-31.
- Ausec, L., Zakrzewski, M., Goesmann, A., Schlüter, A. and Mandic-Mulec, I. 2011. Bioinformatic analysis reveals high diversity of bacterial genes for laccase-like enzymes. *PloS ONE*, 6: 1-9.
- Bayoumi, M. N., Al-Wasify, R. S. and Hamed, S. R. 2014. Bioremediation of textile wastewater dyes using local bacterial isolates. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 3: 962-970.
- Better Work Indonesia. 2012. *Profil Industri*. Diambil dari: http://betterwork.org/indonesia/?page_id=272&lang=id (10 April 2017).
- Bergsten-Torralba, L. R., Nishikawa, M. M., Baptista, D. F., Magalhaes, D. P. and Silva, M. 2009. Decolorization of different textile dyes by *Penicillium simplicissimum* and toxicity evaluation after fungal treatment. *Brazilian Journal of Microbiology* 40: 808-817.
- Birry, A. A. dan Meutia, H. 2012. Solusi Produksi Bersih-Mengeliminasi Bahan Kimia Berbahaya dan Beracun. In A. A. Birry dan H. Meutia (ed.). *Bahan Beracun Lepas Kendali, Sebuah Potret Pencemaran Bahan Kimia Berbahaya dan Beracun di Badan Sungai Serta Beberapa Titik Pembuangan Industri Tak Bertuan, Studi Kasus Sungai Citarum*. Bandung: Greenpeace Asia Tenggara & WALHI Jawa Barat. pp. 30-35.
- Carmen, Z. and Daniela, S. 2012. Textile Organic Dyes - Characteristics, Polluting Effect and Separation/Elimination Procedures from Industrial Effluents - A Critical Overview. In T. Puzyn (ed.). *Organic Pollutants Ten Years After the Stockholm Convention - Environmental and Analytical Update*. Rijeka: InTech Europe.
- Carneiro, P. A., Umbuzeiro, G. A., Oliveira, D. P. and Zanoni, M. V. B. 2010. Assessment of water contamination caused by a mutagenic textile effluent/dyehouse effluent bearing disperse dyes. *Journal of Hazardous Materials*, 174: 694-699.
- Chequer, F. M. D., de Oliveira, G. A. R., Ferraz, E. R. A., Cardoso, J. C., Zanoni, M. V. B. and de Oliveira, D. P. 2013. Textile Dyes: Dyeing Process and Environmental Impact. In Gunay, M. (ed). *Eco-Friendly Textile Dyeing and Finishing*, InTech.
- Corso, C. R., Almeida, E. J., Santos, G. C., Morão, L. G., Fabris, G. S. and Mitter, E. K. 2012. Bioremediation of direct dyes in simulated textile effluents by a paramorphogenic form of *Aspergillus oryzae*. *Water Science & Technology* 65:1490-1495.
- Dewi, R. S. dan Lestari, S. 2010. Dekolorisasi limbah batik tulis menggunakan jamur indigenous hasil isolasi pada konsentrasi limbah yang berbeda. *Molekul* 5: 75-82.

- El Bouraie, M. and El Din, W. S. 2016. Biodegradation of Reactive Black 5 by *Aeromonas hydrophila* strain isolated from dye-contaminated textile wastewater. *Sustainable Environment Research* 26: 209–216.
- Febriani, R. 2012. Jejak Kontaminasi Limbah Berbahaya Industri di Sungai Citarum. In A. A. Birry dan H. Meutia : Bahan Beracun Lepas Kendali, Sebuah Potret Pencemaran Bahan Kimia Berbahaya dan Beracun di Badan Sungai Serta Beberapa Titik Pembuangan Industri Tak Bertuan, Studi Kasus Sungai Citarum. Bandung: Greenpeace Asia Tenggara & WALHI Jawa Barat. pp. 5-8.
- Greenpeace. 2013. Toxic Threads: Meracuni Surga-Kisah Merek-merek Ternama dan Polusi Air di Indonesia. Amsterdam: Greenpeace International.
- Gudelj, I., Hrenović, J., Dragičević, T. L., Delaš, F., Soljan, V. and Gudelj, H. 2011. Azo dyes, their environmental effects, and defining a strategy for their biodegradation and detoxification. *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology* 62: 91-101.
- Gül, Ü. D. 2013. Treatment of dyeing wastewater including reactive dyes (Reactive Red RB, Reactive Black B, Remazol Blue) and Methylene Blue by fungal biomass. *Water SA* 39: 593 - 598.
- Hadibarata, T., Adnan, L. A., Yusoff, A. R. M., Yuniarto, A., Rubiyatno., Zubir, M. M. F. A., Khudhair, A. B., Teh, Z. C. and Naser, M. A. 2013. Microbial decolorization of an azo dye Reactive Black 5 using white-rot fungus *Pleurotus eryngii* F032. *Journal Water, Air, & Soil Pollution* 224:1595.
- Hunger, K. 2003. *Industrial Dyes: Chemistry, Properties, Application*. Weinheim: WILEY-VCH.
- Junior, J. C. V., Cavalcanti, D. L., Alves da Silva, C. A., Andrade, R. F. S. and Campos-Takaki, G. M. 2015. Decolorization of Black B azo dye by *Pseudomonas aeruginosa*. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science* 7: 720-728.
- Kaisa, K., John, P. and Pirjo, L. S. 2007. Evaluating the toxicity of reactive dyes and dyed fabrics with the HaCaT cytotoxicity test. *AUTEX Research Journal* 7: 217-223.
- Kamat, D. V. and Kamat, S. D. 2015. Bioremediation of industrial effluent containing reactive dyes. *International Journal Of Environmental Sciences* 5: 1078-1084.
- Kant, R. 2012. Textile dyeing industry an environmental hazard. *Natural Science* 4: 22-26.
- Karthikeyan, M. R. and Sahu, O. 2014. Treatment of dye waste water by bioreactor. *International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation* 2: 25-29.
- Kementerian Perindustrian RI. Tanpa tahun. *Industri Tekstil Nasional Ingin Geser Dominasi India*. Diambil dari: [http://www.kemenperin.go.id/artikel/6858/ Industri-Tekstil-Nasional-Ingin-Geser-Dominasi-India](http://www.kemenperin.go.id/artikel/6858/Industri-Tekstil-Nasional-Ingin-Geser-Dominasi-India) (10 April 2017).
- Lacasse, K. and Baumann, W. 2004. *Textile Chemicals: Enviromental Data and*

- Facts. Berlin: Springer Science & Business Media.
- Lade, H., Kadam, A., Paul, D. and Govindwar, S. 2015. Biodegradation and detoxification of textile azo dyes by bacterial consortium under sequential microaerophilic/aerobic processes. *Experimental and Clinical Sciences International Online Journal for Advances in Science* 14: 158-174.
- Lal, N. and Srivastava, A. K. 2011. Decolorization of Malachite Green by newly isolated *Bacillus Strain* MTCC - 3330. *Archives of Environmental Science* 5: 71-76.
- Marimuthu, T., Rajendran, S. and Manivannan, M. 2013. A review on bacterial degradation of textile dyes. *Journal of Chemistry and Chemical Sciences* 3: 201-212.
- Martani, E., Margino, S. dan Nurnawati, E. 2011. Isolasi dan karakterisasi jamur pendegradasi zat pewarna tekstil. *Jurnal Manusia dan Lingkungan* 18: 127-136.
- Ogugbue, C. J. and Sawidis, T. 2011. Bioremediation and detoxification of synthetic wastewater containing triarylmethane dyes by *Aeromonas hydrophila* isolated from industrial effluent. *Biotechnology Research International* 2011: 1 – 11.
- Olaganathan, R. and Patterson, J. 2013. Effect of anthraquinone dyes on the carbohydrate, protein and lipid content in the muscle of *Channa punctatus* and *Cyprinus carpio*. *International Journal of Pharma-ceutical Applications* 4: 11-18.
- Olukanni, O. D., Adenopo, A., Awotula, A. O. and Osuntoki, A. A. 2013. Biodegradation of Malachite Green by extracellular laccase producing *Bacillus thuringiensis* RUN1. *Journal of Basic & Applied Sciences* 9: 543-549.
- Placido, J., Chanaga, X., Ortiz-Monsalve, S., Yepes, M. and Mora, A. 2016. Degradation and detoxification of synthetic dyes and textile industry effluents by newly isolated *Leptosphaerulina* sp. from Colombia. *Bio-resources and Bioprocessing* 3: 1-14.
- Purwar, S. 2016. Application of natural dye on synthetic fabrics: A review. *International Journal of Home Science* 2: 283-287.
- Rani, B., Kumar, V., Singh, J., Bisht, S., Teotia, P., Sharma, S. and Kela, R. 2014. Bioremediation of dyes by fungi isolated from contaminated dye effluent sites for bio-usability. *Brazilian Journal of Microbiology* 45: 1055-1063.
- Ratna and Padhi, B. S. 2012. Pollution due to synthetic dyes toxicity & carcinogenicity studies and remediation. *International Journal of Environmental Sciences* 3: 940-955.
- Shah, K. 2014. Biodegradation of azo dye compounds. *International Research Journal of Biochemistry and Biotechnology* 1: 5-13.
- Shah, M. P. 2014. Isolation and screening of dye decolorizing bacteria. *Journal of Applied & Environmental Microbiology* 2: 244-248.
- Shah, M. P., Patel, K. A., Nair, S. S. and Darji, A. M. 2013. Isolation, identification and screening of dye decolorizing bacteria. *American Journal of Microbiological Research* 1: 62-70.

- Singh, R. P., Singh, P. K. and Singh, R. L. 2014. Bacterial decolorization of textile dye Acid Orange by *Staphylococcus hominis* RMLRT03. *Toxicology International* 21: 160-166.
- Slater, K. 2003. *Environmental Impact of Textiles: Production, Processes and Protection*. Boca Raton: CRC Press LLC.
- Sneha, U., Poornima, R. and Sridhar, S. 2014. Optimization and decolorization of Malachite Green using *Pseudomonas putida*. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research* 12: 50-57.
- Sudha, M., Saranya, A., Selvakumar, G. and Sivakumar, N. 2014. Microbial degradation of azo dyes: A review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 3: 670-690.
- Utari, S. A. S. S. L., Darmayasa, I. B. G. dan Suyasa, I. W. B. 2015. Isolasi, identifikasi dan uji potensi bakteri yang berperan pada pengolahan air limbah yang mengandung Rhodamin B dalam biosistem tanaman. *Jurnal Simbiosis* 3: 301- 312.
- Velmurugan, S. and Ravikumar, R. 2014. Biodegradation and decolorization of reactive dye Red ME4BL by *Bacillus subtilis*. *International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation* 2: 250-255.
- Wang, J., Qiao, M., Wei, K., Ding, J., Liu, Z., Zhang, K. and Huang, X. 2011. Decolorizing activity of Malachite Green and its mechanisms involved in dye biodegradation by *Achromobacter xylosoxidans* MG1. *Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology* 20: 220-227.
- Wang, J., Gao, F., Liu, Z., Qiao, M., Niu, X., Zhang, K. Q. and Huang, X. 2012. Pathway and molecular mechanisms for Malachite Green biodegradation in *Exiguobacterium* sp. MG2. *PLoS ONE* 7: e51808.
- Wang, Z. W., Liang, J. S. and Liang, Y. 2013. Decolorization of Reactive Black 5 by a newly isolated bacterium *Bacillus* sp. YZU1. *International Biodeterioration & Biodegradation* 76: 41-48.
- Zouhaier, R., Sofière, D. and Faouzi, S. 2014. The use of glucose as ecological reducing agent for sulphur dyes: Optimization of experimental conditions. *European Scientific Journal* 10: 436-446.