

JURNAL SKRIPSI

**PEMANFAATAN BAKTERI INDIGENUS PADA REMEDIASI LIMBAH CAIR
BATIK PEWARNAAN REMAZOL HITAM DENGAN MEDIUM LUMPUR AKTIF**

Disusun oleh:
DISA MAYLA
NPM : 120801245



**UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNOBIOLOGI
PROGRAM STUDI BIOLOGI
YOGYAKARTA
2017**

PEMANFAATAN BAKTERI INDIGENUS PADA REMEDIASI LIMBAH CAIR BATIK PEWARNAAN REMAZOL HITAM DENGAN MEDIUM LUMPUR AKTIF

Disa Mayla¹, Wibowo Nugroho Jati², Indah Muwarni Yulianti³
Fakultas Teknobiologi,
Universitas Atma Jaya Yogyakarta,
Jl. Babarsari No.44, Sleman, Yogyakarta,
disamayla@yahoo.co.id

INTISARI

Industri batik merupakan salah satu penghasil limbah cair yang berasal dari proses pewarnaan. Pada penelitian ini akan dilakukan pengolahan limbah cair industri batik secara biologis atau lebih dikenal dengan bioremediasi. Salah satu pengolahan yang dilakukan dengan metode biologi adalah metode yang memanfaatkan agen biologi seperti mikroorganisme untuk menguraikan material yang terkandung didalam air limbah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan bakteri indigenus dalam meremediasi limbah cair pewarna remazol hitam pada industri batik melalui metode lumpur aktif. Isolasi dan karakterisasi bakteri yang berasal dari limbah cair remazol hitam menghasilkan 2 isolat dominan yang dinamakan bakteri DM₁ dan DM₂. Isolat bakteri DM₁ yang termasuk ciri-ciri genus *Bacillus* dan DM₂ cenderung termasuk genus *Pseudomonas*. Hasil yang didapatkan selama penelitian delapan hari proses degradasi limbah cair batik remazol hitam dengan empat perlakuan (DM₁, DM₂, campuran dan kontrol) mampu meremediasi limbah cair batik remazol hitam yang masing-masing memiliki kemampuan berbeda. Isolat bakteri DM campuran paling efektif dalam mendegradasi limbah cair batik remazol hitam. DM campuran mampu menurunkan konsentrasi TSS sebesar 53,26%, TDS sebesar 66,78%, BOD sebesar 66,52%, logam Zn yaitu sebesar 95,26% dan logam Cr yaitu sebesar 61,53%. Parameter logam berat Zn dan Cr sudah berada dibawah baku mutu.

Kata kunci: Limbah cair industri batik, limbah cair remazol hitam, lumpur aktif, bakteri indigenus, bioremediasi

PENDAHULUAN

Batik merupakan suatu seni dan cara menghias kain dengan penutup lilin untuk membentuk corak hiasannya, membentuk sebuah bidang pewarnaan. Batik merupakan salah satu kekayaan budaya bangsa Indonesia yang telah mendapatkan pengakuan Internasional dari UNESCO pada tahun 2009 (Ninggar, 2014). Industri batik merupakan salah satu penghasil limbah cair yang berasal dari proses pewarnaan. Selain kandungan zat warnanya yang tinggi, limbah batik mengandung bahan-bahan sintetik yang sukar larut atau sukar diuraikan setelah proses pewarnaan selesai, akan dihasilkan limbah cair yang berwarna keruh dan pekat. Biasanya warna air limbah tergantung pada zat warna yang digunakan, limbah yang dihasilkan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan perairan (Ninggar, 2014).

Pewarnaan batik dengan remazol dapat digunakan dengan cara pencelupan, coletan maupun kuwasan. Zat warna ini memiliki sifat larut dalam air dan berwarna pekat

(Daranindra, 2010). Salah satu contoh zat warna yang banyak dipakai industri tekstil adalah remazol *black*, *red* dan *golden yellow*. Dalam pewarnaan, senyawa ini hanya digunakan sekitar 5% sedangkan sisanya yaitu 95% akan dibuang sebagai limbah. Senyawa ini cukup stabil sehingga sangat sulit untuk terdegradasi di alam dan berbahaya bagi lingkungan apalagi dalam konsentrasi yang sangat besar karena dapat menaikkan COD (*Chemical Oxygen Demand*) (Setyaningsih, 2007).

Industri batik merupakan industri yang potensial mengandung logam berat yang merupakan limbah berbahaya, sehingga dapat menyebabkan rusaknya lingkungan. Keberadaan limbah pada industri dapat diketahui dengan adanya pencemaran berupa pencemaran fisik, seperti berbau menyengat dan kontaminan akan membuat air menjadi keruh. Timbulnya gejala tersebut secara mutlak dapat dipakai sebagai salah satu tanda terjadinya tingkat pencemaran air yang cukup tinggi (Wardhana, 2004).

Pengolahan air limbah dapat dilakukan dengan menggunakan metode biologi. Proses pengolahan limbah dengan metode biologi adalah metode yang memanfaatkan mikroorganisme sebagai katalis untuk menguraikan material yang terkandung di dalam air limbah. Mikroorganisme sendiri selain menguraikan dan menghilangkan kandungan material, juga menjadikan material yang terurai tadi sebagai tempat perkembangbiakan. Metode pengolahan lumpur aktif (*activated sludge*) merupakan proses pengolahan air limbah yang memanfaatkan proses mikroorganisme tersebut (Megasari, 2012).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang telah dilaksanakan pada bulan September 2016 hingga Januari 2017. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknobiologi Industri, Laboratorium Teknobiologi Lingkungan dan Laboratorium Pengolahan Limbah, Fakultas Teknobiologi Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Pengambilan sampel dilakukan di Batik "X" yang terletak di kota Yogyakarta. Pengujian logam Cr (Krom), Zn (Seng), BOD, dan TSS dilakukan di Laboratorium Fisika Kimia Air, Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit Yogyakarta. Dalam penelitian ini digunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan variasi penambahan isolat bakteri yaitu isolat bakteri 1 (DM₁), isolat bakteri 2 (DM₂), dan isolat bakteri campuran (campuran DM₁ dan DM₂). Tiga kali pengulangan pada setiap perlakuan.

Penelitian dilakukan terdiri dari 7 tahapan utama yaitu pengambilan sampel limbah cair pewarna remazol hitam dan karakterisasi sampel yang terdiri dari 7 parameter pH, TSS, TDS, BOD, Suhu, logam Zn dan logam Cr, isolasi mikroba, karakterisasi dan identifikasi

bakteri dominan, pembuatan starter, pengolahan limbah menggunakan lumpur aktif, uji aktivitas degradasi dengan 7 parameter dan analisis data menggunakan ANAVA untuk mengetahui letak beda nyata antar perlakuan digunakan *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) dengan tingkat kepercayaan 95 %.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Isolasi dan Pemurnian Bakteri Dominan

Bakteri dominan diisolasi secara langsung dari limbah cair industri batik pewarnaan remazol hitam dengan seri pengenceran penambahan akuades steril pada sampel limbah cair batik pewarnaan remazol hitam dengan seri pengenceran dibuat dari 10^{-1} hingga 10^{-8} . Penentuan koloni bakteri dominan dihitung dengan menggunakan metode *plate count* serta dilihat dari keseragaman bentuk, warna, tepian, elevasi, dan jumlah koloni.

Berdasarkan jumlah koloni bakteri yang tumbuh pada medium Agar, pada pengenceran 10^{-3} didapatkan jumlah koloni bakteri sebanyak 211. Isolat bakteri dominan diambil dari seri pengenceran 10^{-3} , isolat bakteri dominan 1 diberi nama DM₁ sedangkan isolat bakteri dominan 2 diberi nama DM₂. Kedua koloni bakteri memiliki jumlah yang berbeda, jumlah koloni bakteri DM₁ berjumlah 119 koloni dan jumlah koloni bakteri DM₂ yaitu 92 koloni. Koloni bakteri dominan DM₁ memiliki bentuk *circulair*, tepian *erose* dan elevasi *crateriform*. Koloni bakteri dominan DM₁ berwarna putih. Pada bakteri dominan DM₂ memiliki bentuk *circulair*, tepian *entire*, elevasi *convex* dengan warna koloni putih kekuningan. Sebelum dilakukan karakterisasi, perlu dilakukan pemurnian isolat. Isolat DM₁ dan DM₂ di subkultur sebanyak 3 kali, kedua isolat bakteri murni dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Isolat Murni DM₁(Kiri) berwarna putih dan Isolat Murni DM₂(Kanan) berwarna putih kekuningan

B. Karakterisasi dan Identifikasi Bakteri Dominan

Isolat murni bakteri DM₁ dan DM₂ akan diuji karakterisasi isolat bakteri, yang dilakukan menjadi 2 yaitu karakterisasi morfologi dan pengujian fisiologi dengan reaksi

biokimia. Karakterisasi morfologi yaitu pengamatan morfologi sel bakteri yang terdiri dari pengecatan gram dan bentuk sel, pengamatan morfologi koloni bakteri dan uji motilitas. Pengujian fisiologi dengan reaksi biokimia yaitu terdiri dari uji fermentasi karbohidrat, uji katalase, uji pembentukan indol, dan uji reduksi nitrat,

Hasil karakterisasi isolat bakteri DM₁ dan DM₂ dapat dilihat pada Tabel 1. Hasil uji karakteristik isolat bakteri DM₁ dan DM₂ kemudian dicocokkan dengan menggunakan buku *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology 7th Edition*. Isolat bakteri DM₁ menyerupai sifat karakteristik genus *Bacillus* dan isolat DM₂ menyerupai sifat karakteristik genus *Pseudomonas*. Jenis bakteri yang sudah diidentifikasi berdasarkan karakteristiknya yaitu ada dua jenis bakteri yang sering muncul pada limbah batik dan memiliki kemampuan untuk mendegradasi limbah batik. Nurbidayah dkk (2014) *Bacillus* dan *Pseudomonas* memiliki kemampuan yang tinggi dalam mendegradasi zat warna.

Tabel 1. Hasil Karakterisasi Isolat Bakteri dari Limbah Cair Pewarna Indigosol

Parameter		Isolat Bakteri		
		DM ₁	DM ₂	
Morfologi Sel	Pengecatan Gram	+	-	
	Bentuk Sel	<i>Bacil</i>	<i>Rod</i>	
Morfologi Koloni	Warna	Kekuningan Tipis	Putih Pekat	
	Bentuk	<i>Circular</i>	<i>Curled</i>	
	Tepian	<i>Entire</i>	<i>Erose</i>	
	Motilitas	Motil	Motil	
	Sifat Terhadap Udara	Aerob	Aerob	
Uji Biokimia	Fermentasi Karbohidrat	Glukosa	+ (A)	+
		Laktosa	-	-
		Sukrosa	+ (A)	-
	Reduksi Nitrat		+	+
	Pembentukan Indol		+	+
	Katalase		+	+

Keterangan : (+) Positif; (-) Negatif

C. Kualitas Limbah Cair Batik Remazol Hitam

Limbah yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari industri batik "X" yang berada di Yogyakarta. Pengukuran kandungan logam dan cemaran lainnya perlu diketahui sebelum melakukan remediasi pada limbah cair batik tersebut dan setelah pengolahan menggunakan metode lumpur aktif. Pengukuran kualitas awal sampel limbah menggunakan parameter sebagai berikut BOD (*Biological Oxygen Demand*), kadar TSS (*Total Dissolved Solid*), kadar TSS (*Total Suspended Solid*), suhu dan derajat keasaman (pH), berdasarkan

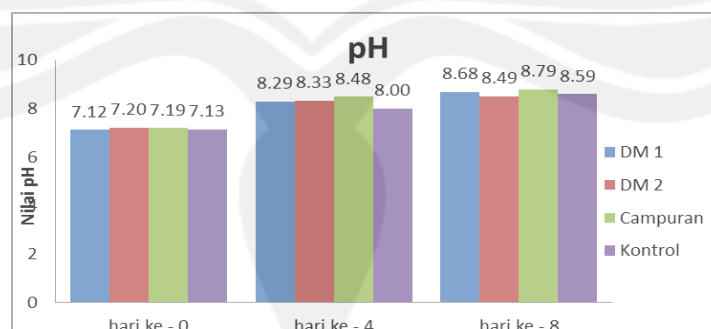
peraturan BLH Propinsi DIY (2010), kadar logam Seng (Zn), kadar logam Krom total (Cr total), berdasarkan Pemerintah Republik Indonesia (2001).

Kadar Zn pada limbah cair batik pewarnaan remazol hitam yaitu sebesar 2,6451 mg/L dengan baku mutu 2 mg/L. Kadar Cr total sebesar 1,2212 mg/L dengan baku mutu 1 mg/L. Kadar BOD sebesar 3.600,0 mg/L dengan baku mutu 50 mg/L. Kadar TDS sebesar 1,230 mg/L dengan baku mutu 1000 mg/L. Kadar TSS sebesar 560 mg/L dengan baku mutu 200 mg/L. Kadar pH sebesar 7,02 dengan baku mutu 6.0-9.0. Kadar suhu sebesar 28° dengan baku mutu $\pm 3^{\circ}\text{C}$ terhadap suhu udara. Industri batik merupakan industri yang potensial mengandung logam berat dan cemaran lainnya yang merupakan limbah berbahaya, sehingga dapat menyebabkan rusaknya lingkungan.

D. Pengukuran Aktivitas Degradasi

1. Derajat Keasaman (pH)

Pengukuran awal sampel limbah cair batik pewarnaan remazol hitam dapat dilihat pada Gambar 2. Pada hari ke-0 perlakuan dengan isolat bakteri DM₁ dengan kadar pH 7,14, pada perlakuan isolat bakteri DM₂ dengan kadar pH 7,20, perlakuan isolat bakteri campuran dengan kadar pH 7,19 dan kontrol dengan kadar pH sebesar 7,13. Pada hari ke-4 pH dengan perlakuan isolat bakteri DM₁ dengan kadar pH 8,29, pada perlakuan isolat bakteri DM₂ dengan kadar pH 8,33, perlakuan isolat bakteri campuran dengan kadar pH 8,46 dan kontrol dengan kadar pH sebesar 8,00. Pada hari ke-8 pH dengan perlakuan isolat bakteri DM₁ dengan kadar pH 8,68, pada perlakuan isolat bakteri DM₂ dengan kadar pH 8,49, perlakuan isolat bakteri campuran dengan kadar pH 8,79 dan kontrol dengan kadar pH sebesar 8,59.



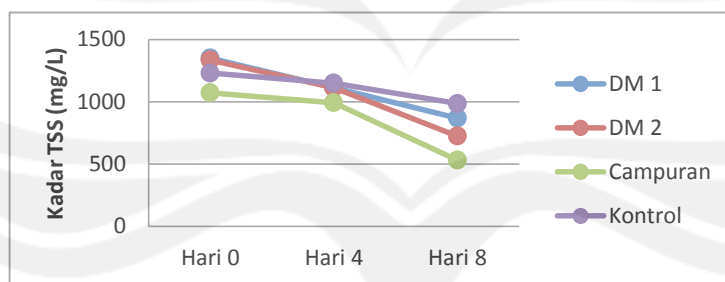
Gambar 2. Kurva Penurunan Nilai pH selama Delapan hari Aktivitas Degradasi

Menurut Effendi (2003), peningkatan nilai pH pada penelitian ini disebabkan karena adanya aktivitas degradasi bakteri selama delapan hari. Pada masing-masing keempat perlakuan isolat bakteri mampu berkembang biak pada pH netral hingga pH basa (alkalis). Adanya faktor lain yang dapat mengubah nilai pH yaitu reaksi biologis oleh

mikroorganisme terhadap nutrien yang ditambahkan pada aplikasi lumpur aktif seperti urea dan glukosa yang sebagian besar bersifat basa ke dalam lumpur aktif. (Agustiyanidkk., 2004). Berdasarkan hasil yang diperoleh, peningkatan nilai pH yang paling tinggi yaitu pada perlakuan isolat campuran yaitu sebesar 22,25% dengan nilai pH 8,79. Peningkatan nilai pH yang cukup tinggi ini masih menunjukkan nilai tersebut masih berada bawah baku mutu.

2. TSS (*Total Suspended Solid*)

Hasil pengukuran TSS yang dilakukan terhadap keempat isolat perlakuan DM₁, DM₂, campuran dan kontrol dapat dilihat pada Gambar 3. Pada perlakuan dengan isolat DM₁ pada hari ke-0 memiliki peningkatan nilai TSS sebesar 1351,00 mg/L, isolat DM₂ memiliki nilai TSS sebesar 1333,00 mg/L, isolat campuran memiliki nilai TSS sebesar 1071,67 mg/L dan kontrol memiliki nilai TSS sebesar 1230,00 mg/L. Pada perlakuan dengan isolat DM₁ pada hari ke-4 memiliki penurunan nilai TSS sebesar 1113,67 mg/L, isolat DM₂ memiliki nilai TSS sebesar 1113,67 mg/L, isolat campuran memiliki nilai TSS sebesar 990,67 mg/L dan kontrol memiliki nilai TSS sebesar 1148,00 mg/L. Pada perlakuan dengan isolat DM₁ pada hari ke-8 memiliki penurunan nilai TSS sebesar 868,00 mg/L, isolat DM₂ memiliki nilai TSS sebesar 724,33 mg/L, isolat campuran memiliki nilai TSS sebesar 529,67 mg/L dan kontrol memiliki nilai TSS sebesar 985,33 mg/L.



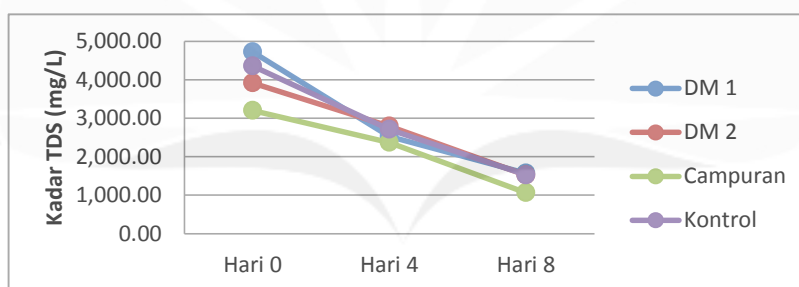
Gambar 3. Kurva Penurunan kadar TSS selama Delapan hari Aktivitas Degradasi

Berdasarkan hasil yang diperoleh isolat yang paling baik untuk menurunkan kadar TSS yaitu isolat campuran yang mengalami penurunan sebanyak 53,26 % dengan nilai 529,67 mg/L. Menurut Alaerts dan Santika (1984), penurunan kadar TSS pada air limbah terjadi karena adanya penambahan bakteri ke dalam air sampel mampu menyerap (mengabsorpsi) bahan-bahan organik pada limbah cair batik. Konsentrasi padatan tersuspensi limbah cair menurun dengan adanya penambahan isolat bakteri. Kadar TSS yang dihasilkan masih di atas baku mutu limbah, hal ini terjadi karena adanya kehadiran

bakteri tersebut yang juga mempengaruhi konsentrasi padatan tersuspensi karena ukuran sel bakteri termasuk kedalam kategori partikel tersuspensi halus (McKinney, 1965).

3. TDS (*Total Dissolved Solid*)

Pengukuran kadar TDS pada limbah cair batik remazol pewarnaan hitam mengalami penurunan dilihat pada Gambar 4 pada hari ke-0 kadar TDS sebesar 4720,33 mg/L dengan isolat DM₁, isolat DM₂ memiliki kadar TDS 3919,33 mg/L, isolat campuran memiliki kadar TDS 3199,00 mg/L dan kontrol memiliki kadar TDS 4355,00 mg/L. Pada hari ke-4 kadar TDS mengalami penurunan kembali menjadi 2529,67 mg/L dengan isolat DM₁, isolat DM₂ memiliki kadar TDS 2791,67 mg/L, isolat campuran memiliki kadar TDS 2368,00 mg/L dan kontrol memiliki kadar TDS 2707,33 mg/L. Pengukuran pada hari ke-8 kadar TDS mengalami penurunan menjadi 1571,00 mg/L dengan isolat DM₁, isolat DM₂ memiliki kadar TDS 1519,67 mg/L, isolat campuran memiliki kadar TDS 1062,67 mg/L dan kontrol memiliki kadar TDS 1523,33 mg/L. Dari hasil pengukuran selama delapan hari mengalami penurunan yang terjadi karena adanya proses bioremediasi, TDS memiliki kandungan partikel terlarut dapat berupa partikel padatan (aluminium, tembaga, fosfat, dll) dan bisa berupa partikel padatan seperti mikroorganisme.



Gambar 4. Kurva Penurunan kadar TDS selama Delapan hari Aktivitas Degradasi

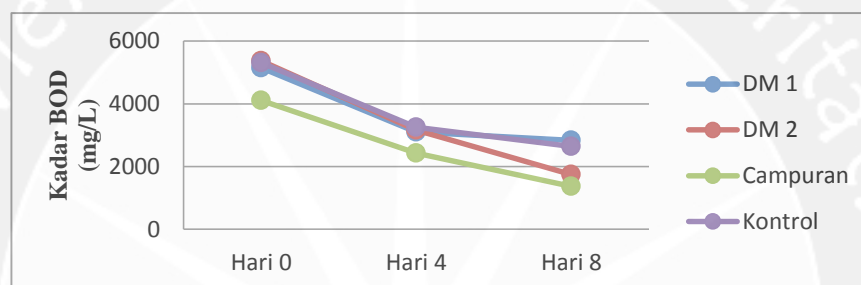
Berdasarkan hasil yang sudah tersaji, nilai TDS yang paling baik mengalami penurunan yaitu dengan penambahan isolat campuran dengan penurunan menjadi 1062,67 mg/L (66,78%). Angka tersebut berada disedikit diatas baku mutu yang ditetapkan oleh Badan Lingkungan Hidup Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, baku mutunya yaitu 1000 mg/L. Hal ini disebabkan akibat tingginya kandungan bahan-bahan organik dan hasil penguraiannya, mineral dan garam-garam yang terlarut didalam air limbah Effendi (2003).

4. BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Hasil pengukuran BOD oleh keempat perlakuan DM₁, DM₂, Campuran, dan Kontrol selama delapan hari dapat dilihat pada Gambar 5. Kadar BOD pada hari ke-0 yaitu 5150,67 mg/L dengan isolat DM₁, 5373,00 mg/L isolat DM₂, campuran dengan kadar 4104,67 mg/L

dan kontrol 5313,33 mg/L. Pengukuran kadar BOD pada hari ke-4 dengan isolat DM₁ yaitu 3096,00 mg/L, isolat DM₂ sebesar 3161,33 mg/L, campuran dengan kadar 2432,00 mg/L dan kontrol 3,2513 mg/L. Pada hari ke-8 dengan isolat DM₁ yaitu 2838,00 mg/L, isolat DM₂ sebesar 1747,00 mg/L, campuran dengan kadar 1371,00 mg/L dan kontrol 2637,33 mg/L

Proses degradasi selama delapan hari dengan aplikasi lumpur aktif dengan menggunakan empat perlakuan mampu mendegradasi senyawa organik toksis yang terkandung pada limbah cair batik pewarnaan ramazol hitam. Adanya proses degradasi yaitu dengan adanya penurunan pada kadar BOD dari hari ke-0 sampai hari ke-8. Adanya penurunan kadar BOD membuktikan bahwa oksigen yang diperlukan untuk merombak senyawa organik toksik semakin sedikit. Proses perombakan ini senyawa organik diubah menjadi senyawa organik sederhana seperti karbondioksida, air dan amonia (Salimin, 2016).



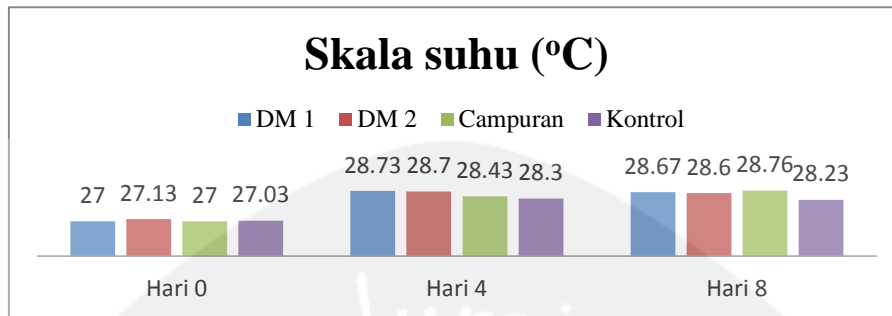
Gambar 5. Kurva Penurunan Kadar BOD selama Delapan Hari Aktivitas Degradasi

Berdasarkan hasil yang diperoleh, isolat bakteri yang paling efektif untuk menurunkan kadar BOD yaitu isolat campuran yang mengalami penurunan menjadi 1,3710 mg/L (66,52%). Kadar BOD yang dihasilkan masih berada diatas baku mutu yang telah ditetapkan oleh Badan Lingkungan Hidup Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, baku mutunya yaitu 50 mg/L. Hal ini disebabkan karena terjadinya kepadatan populasi mikrobial yang sedikit sedangkan beban pencemarnya terlalu besar dan nutrisi yang diberikan tidak tercukupi sebagai energi.

5. Suhu

Pada keempat perlakuan mengalami peningkatan suhu selama delapan hari perlakuan dari ke-0 hingga hari ke-8, dapat dilihat pada Gambar 6. Berdasarkan pengukuran suhu yang telah dilakukan, pengukuran pada hari ke-0 dengan isolat bakteri DM₁ dengan skala suhu 27°C, pada hari ke-4 dengan skala suhu 28,73°C dan pada hari ke-8 kadar suhunya yaitu 28,67°C. Isolat bakteri DM₂ pada hari ke-0 dengan skala suhu 27,13°C, pada hari ke-4 dengan skala suhu 28,7°C dan pada hari ke-8 kadar suhunya yaitu 28,6°C. Isolat campuran pada hari ke-0 dengan skala suhu 27°C, pada hari ke-4 dengan skala suhu 28,43°C dan pada hari ke-8

dengan kadar suhu 28,76°C. Kontrol pada hari ke-0 dengan skala suhu 27,03°C, pada hari ke-4 dengan skala suhu 28,3°C dan pada hari ke-8 dengan kadar suhu 28,23°C.

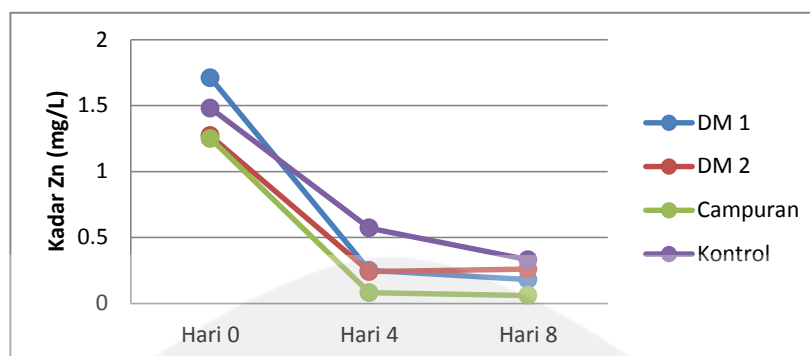


Gambar 6. Kurva Penurunan Kadar Suhu selama Delapan Hari Aktivitas Degradasi

Berdasarkan hasil yang diperoleh, peningkatan suhu tertinggi terjadi pada isolat DM₂ sebesar 28,6°C (5,4%) skala suhu yang dihasilkan masih berada dibawah baku mutu limbah cair industri batik oleh Badan Lingkungan Hidup Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yaitu sebesar $\pm 3^{\circ}\text{C}$ terhadap suhu udara. Menurut Muchtadi dan Betty (1980), aktivitas enzim meningkat dengan bertambahnya skala suhu yang membuktikan proses oksidasi dan respirasi berguna untuk menguraikan bahan organik. Suhu memiliki peran penting terhadap fase adaptasi pertumbuhan mikroorganismenya. Terjadinya peningkatan suhu pada perlakuan keempat isolat ini dikarenakan adanya peningkatan aktivitas mikroorganismenya untuk melakukan proses penguraian bahan organik pada perairan.

6. Logam Berat Zn

Pada penelitian yang telah dilakukan selama delapan hari, menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar logam berat Zn dapat dilihat pada Gambar 7. Perlakuan pertama pada hari ke-0 dengan penambahan isolat bakteri DM₁ memiliki kadar logam berat Zn sebesar 1,7092 mg/l, pada hari ke-4 dengan kadar logam berat Zn sebesar 0,2514 mg/L dan pada hari ke-8 kadar logam berat Zn sebesar 0,1752 mg/L. Perlakuan kedua pada hari ke-0 dengan penambahan isolat bakteri DM₁ memiliki kadar logam berat Zn sebesar 1,2665 mg/l, pada hari ke-4 dengan kadar logam berat Zn sebesar 0,2397 mg/L dan pada hari ke-8 kadar logam berat Zn sebesar 0,2613 mg/L. Perlakuan ketiga pada hari ke-0 dengan penambahan isolat campuran memiliki kadar logam berat Zn sebesar 1,2542 mg/l, pada hari ke-4 dengan kadar logam berat Zn sebesar 0,0840 mg/L dan pada hari ke-8 kadar logam berat Zn sebesar 0,0594 mg/L. Perlakuan terakhir yaitu pada hari ke-0 dengan indikator kontrol memiliki kadar logam berat Zn sebesar 1,4833 mg/l, pada hari ke-4 dengan kadar logam berat Zn sebesar 0,5748 mg/L dan pada hari ke-8 kadar logam berat Zn sebesar 0,3257 mg/L.



Gambar 7. Kurva Penurunan Kadar Zn selama Delapan Hari Aktivitas Degradasi

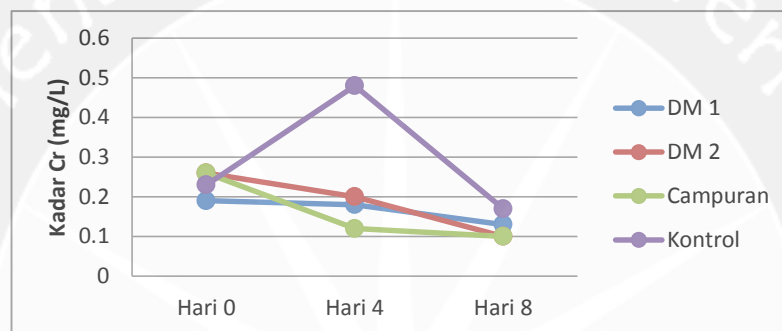
Berdasarkan hasil penelitian, penurunan kadar logam berat Zn yang paling efektif yaitu pada perlakuan isolat campuran yang mengalami penurunan hingga 0,0594 mg/L (95,26%). Hal ini terjadi akibat dari proses pewarnaan batik dengan sistem volume pewarna yang berbeda-beda, semakin banyak kain yang akan diwarnai dengan pewarna remazol hitam maka semakin banyak pula pewarna remazol hitam ditambahkan sehingga kadar logam berat Zn juga meningkat. Kadar logam Zn yang diolah dengan aplikasi lumpur aktif sudah berada dibawah baku mutu, kualitas air dan pengendalian pencemaran air yang telah ditetapkan oleh Pemerintah Republik Indonesia yaitu sebesar 2 mg/L. Isolat bakteri campuran (DM₁ dan DM₂) diperkirakan masuk kedalam genus *Bacillus* (DM₁) *Pseudomonas* (DM₂). Dua jenis genus tersebut memiliki keunggulan metabolisme dalam mengakumulasi senyawa organik, yang dapat digunakan dalam bioremediasi berbagai pencemar di lingkungan khususnya berperan sangat penting dalam biodegradasi (Suhardjono, 2010).

Logam berat Zn berfungsi sebagai mikronutrien, senyawa logam berat Zn memiliki daya larut yang tinggi sehingga tersebar luas diperairan dan berinteraksi dengan deposit dasar dan partikel yang terlarut didalam lumpur aktif, yang kemudian teradsorpsi material organik. Isolat bakteri campuran yang terdiri dari DM₁ dan DM₂ merupakan Gram Positif yang menyatakan bahwa bakteri Gram positif umumnya lebih toleran terhadap pengaruh logam berat dibandingkan bakteri Gram negatif. Hal ini disebabkan karena struktur dinding selnya yang kompleks mampu mengikat sebagian besar ion logam. Logam berat tersebut terikat pada gugus karboksil pada rantai peptida dari peptidoglikan dan gugus fosfat dari lipopolisakarida (Hughes dan Poole, 1989).

7. Logam Berat Cr

Pada penelitian yang telah dilakukan selama delapan hari, menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar logam berat Cr dapat dilihat pada Gambar 8. Perlakuan pertama pada hari ke-0 dengan penambahan isolat bakteri DM₁ memiliki kadar logam berat Cr sebesar 1,19

mg/l, pada hari ke-4 dengan kadar logam berat Cr sebesar 0,18 mg/L dan pada hari ke-8 kadar logam berat Cr sebesar 0,13 mg/L. Perlakuan kedua pada hari ke-0 dengan penambahan isolat bakteri DM₂ memiliki kadar logam berat sebesar 0,26 mg/l, pada hari ke-4 dengan kadar logam berat Cr sebesar 0,20 mg/L dan pada hari ke-8 kadar logam berat Cr sebesar 0,10 mg/L. Perlakuan ketiga pada hari ke-0 dengan penambahan isolat campuran memiliki kadar logam berat Cr sebesar 0,26 mg/l, pada hari ke-4 dengan kadar logam berat Cr sebesar 0,12 mg/L dan pada hari ke-8 kadar logam berat Cr sebesar 0,10 mg/L. Perlakuan terakhir yaitu pada hari ke-0 dengan indikator kontrol memiliki kadar logam berat Cr sebesar 0,23 mg/l, pada hari ke-4 dengan kadar logam berat Cr sebesar 0,48 mg/L dan pada hari ke-8 kadar logam berat Cr sebesar 0,17 mg/L.



Gambar 8. Kurva Penurunan Kadar BOD selama Delapan Hari Aktivitas Degradasi

Berdasarkan hasil penelitian, penurunan kadar logam berat Cr yang paling efektif yaitu pada perlakuan isolat campuran yang mengalami penurunan hingga 0,10 mg/L (61,53%). Berdasarkan hasil yang diperoleh dengan adanya penurunan kadar logam berat krom (Cr) kemampuan bakteri untuk membentuk ikatan antara logam berat dengan selnya maka biosorpsi merupakan kemampuan material biologi untuk mengakumulasi logam berat melalui proses metabolisme. Proses biosorpsi ini terjadi karena adanya material biologi (biosorben) dan adanya larutan yang mengandung logam berat sehingga mudah terikat pada biosorben (Cossich dkk., 2002).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Bakteri indigenus dominan yang pada limbah cair batik remazol hitam yaitu isolat DM₁ yang menyerupai genus *Bacillus* dan isolat DM₂ yang menyerupai genus *Pseudomonas*.
2. Isolat bakteri campuran *Bacillus* dan *Pseudomonas* berdasarkan penelitian merupakan isolat bakteri yang efektif dalam remediasi limbah cair batik remazol hitam.

cenderung lebih baik dalam meremediasi limbah cair indigosol abu-abu

3. Lumpur aktif dengan penambahan isolat campuran mampu melakukan bioremediasi dengan menurunkan TSS sebesar 53,26%, TDS sebesar 66,78%, BOD sebesar 66,52%, logam Zn yaitu sebesar 95,26% dan logam Cr yaitu sebesar 61,53% serta penurunan suhu dengan isolat bakteri DM₂ yang paling efektif yaitu sebesar 5,4%.

Saran yang perlu diberikan setelah melihat dan membaca hasil penelitian ini adalah :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui jumlah penambahan mikrobia dan nutrisi yang optimal pada isolat bakteri DM₁ dan DM₂ untuk proses remediasi.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan lamanya waktu remediasi dengan penambahan isolat bakteri DM₁ dan DM₂ dalam proses remediasi.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengidentifikasi isolat bakteri DM₁ dan DM₂ dengan menggunakan metode molekuler.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustiyani, D., Imamuddin, H., Faridah, E. N. dan Oedjijono. 2004. Pengaruh Ph dan Substrat Organik Terhadap Pertumbuhan dan Aktivitas Bakteri Pengoksidasi Amonia. *Jurnal Biodiversitas*. 5 (2) : 42-50.
- Alaerts, G., dan Santika, S. S. 1984. *Metode Penelitian Air*. Penerbit Usaha Nasional, Surabaya. Halaman 149.
- Daranindra, R. F. 2010. Perencanaan Alat Bantu Proses Pencelupan Zat Warna dan Penguncian Warna Pada Kain Batik Sebagai Usaha Mengurangi Interaksi Dengan Zat Kimia dan Memperbaiki Postur Kerja (Studi Kasus di Perusahaan Batik Brotoseno, Masaran, Sragen). *Naskah Skripsi S-1* Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Kanisius, Yogyakarta. Halaman : 57-60, 176-180.
- Hughes, M. N. dan Poole, R. K. 1989. *Metals and Microorganism*. Chapman and Hall, New York. Halaman : 108.
- McKinney, R. 1965. *Telaah Kesuburan Tanah Edisi ke 10*. Angkasa, Bandung. Halaman : 34.
- Muchtadi, D. dan Betty, S. K. 1980. *Petunjuk Praktek Mikrobiologi Hasil Pertanian 2*. Departemen Pendidikan Tinggi dan Kebudayaan, Jakarta. Halaman : 41-43.
- Ninggar, R. D. 2014. Kajian Yuridis Tentang Pengendalian Limbah Batik Di Kota Yogyakarta. *Naskah Skripsi S-1*. Fakultas Hukum Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

- Nurbidayah., Suarsini, E. dan Hastuti, U. S. 2014. Biodegradasi dengan Isolat Bakteri Indigen pada Limbah Tekstil Sasirangan Di Banjarmasin. Dalam: *Prosiding Seminar Nasional Sinergi Pangan Pakan dan Energi Tebarukan*. 21-23 Oktober 2014. Yogyakarta. Hal 429-233.
- Salimin, Z. dan Nuraeni, E. 2016. Heavy Metals Biosorption Phenomena Of Cr, Fe, Zn, Cu, Ni, and Mn on the Biomass of Mixed Bacteria of *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, and *Aeromonas*. Dalam: *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*. 17 Maret 2016. Yogyakarta. Hal 1-7.
- Setyaningsih, H. 2007. Pengolahan Limbah Batik Dengan Proses Kimia dan Absorbansi Karbon Aktif. *Naskah Thesis S-2*. Pasca Sarjana Ilmu Lingkungan Universitas Indonesia, Jakarta.
- Suhardjono. 2010. Pemberdayaan Komunitas *Pseudomonas* Untuk Bioremediasi Ekosistem Air Sungai Tercemar Limbah Deterjen. Dalam *Seminar Nasional Biologi*. 9 Oktober 2001, Jakarta.
- Wardhana, W. A. 2004. *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Penerbit Andi, Yogyakarta.