

BIOREMEDIASI LIMBAH TERCEMAR KADMIUM (Cd) PADA PERAIRAN DI KABUPATEN PASURUAN MENGUNAKAN BAKTERI INDIGEN SECARA *EX-SITU*

Titik Wijayanti ⁽¹⁾ dan Dinna Eka Graha Lestari ⁽²⁾

1) Program Studi Pendidikan Biologi IKIP Budi Utomo Malang
Jl. Citandui No.46 Malang (Kampus C)
kititn71@gmail.com

2) Program Studi Pendidikan Sejarah dan Sosiologi IKIP Budi Utomo Malang
Jl. Citandui No.46 Malang (Kampus C)
dinna_lestari@yahoo.com

Abstrak

Teknik bioremediasi limbah cair terkontaminasi logam berat dengan menggunakan bakteri indigen merupakan langkah alternatif yang strategis untuk terus dikembangkan. Penelitian bertujuan mengetahui efektifitas konsorsium bakteri indigen dalam bioremediasi limbah cair terkontaminasi kadmium (Cd) secara *ex-situ*. Eksperimen yang disusun secara RAL dilakukan secara *ex-situ* dimana limbah cair industri diberi lima perlakuan, yakni kontrol dan empat konsorsium bakteri indigen (A, D, E, dan J) yang diperoleh dari isolasi bakteri yang berasal dari perairan tercemar limbah kadmium kabupaten Pasuruan. Selanjutnya dilakukan pengamatan BOD₅, COD, DO dan Cd selama tujuh hari untuk mengetahui efektifitas bioremediasi. Hasil penelitian menunjukkan keempat konsorsium bakteri mempunyai kemampuan bioremediasi limbah dengan menurunkan kadar kadmium, BOD₅, COD, dan meningkatkan kadar DO. Konsorsium bakteri indigen D mempunyai kemampuan bioremediasi limbah industri cair secara *ex-situ* yang lebih baik diantara ketiga konsorsium bakteri indigen yang lain. Sedangkan konsorsium bakteri indigen J mempunyai kemampuan reduksi kadar kadmium yang lebih baik diantara ketiga konsorsium bakteri indigen yang lain.

Kata kunci: bakteri indigen, bioremediasi, *ex-situ*, kadmium, limbah cair.

Abstract

The bioremediation technique for contaminated liquid waste of heavy metals using indigenous bacteria is a convenient alternative to steps continue to be developed. The research aims to find out the effectiveness of a indigenous bacterial consortia in bioremediation of contaminated liquid waste by cadmium by ex situ. Experiments was arranged in RAL made in ex-situ where liquid waste industry were given five treatments, namely control and four indigenous bacterial consortia (A, D, E, and J) obtained from the isolation of bacteria originating from cadmium contaminated of waste in Pasuruan district. Furthermore conducted observations of BOD₅, COD, d.o. and Cd for seven days to find out the effectiveness of bioremediation. The results showed the four indigenous bacteria consortia have the bioremediation ability to reduce levels of cadmium, BOD₅, COD, and increasing levels of DO. Indigenous bacterial consortia D has the best ability of liquid industrial waste bioremediation by ex-situ. Indigenous bacterial consortia J has the best of capacity reduction levels of cadmium, than the other of indigenous bacterial consortia.

Keywords: indigenous bacterial, bioremediation, *ex-situ*, cadmium, liquid waste.

Pendahuluan

Keberadaan logam berat di lingkungan dengan konsentrasi tinggi merupakan pencemar dan masalah lingkungan yang sangat penting sehingga dapat menimbulkan permasalahan ekologi yang serius (Chovanova, et al., 2004; Velasques & Dussan, 2009; Kermani, et al. 2010; Istarani dan Ellina S. Pandebesie, 2015). Peningkatan jumlah limbah yang mengandung logam berat yang tidak terkendali menyebabkan peningkatan beban ekonomis dan kerugian kesehatan yang besar terutama untuk orang-orang tinggal di dekat daerah itu. Hal ini dikarenakan limbah industri dikeluarkan ke lingkungan dari berbagai sumber antropogenik seperti limbah industri, otomotif emisi, kegiatan pertambangan dan praktek-praktek pertanian dan melalui rantai makanan mempengaruhi manusia dan hewan, serta merusak kualitas lingkungan (Denise et al., 1989; Ajmal et al. 1998; Istarani dan Ellina S. Pandebesie, 2015; Darmono, 1999).

Kadmium adalah ion logam berat paling berbahaya yang dicirikan dengan stabilitas dan toksisitas tinggi. Tidak terdegradasi di alam dan sekali dilepaskan ke lingkungan, tetap dalam sirkulasi. Kadmium dapat mengikat enzim penting pernapasan (Nies, 2003), menyebabkan stres oksidatif dan kanker (Banjerdkji et al, 2005), mengganggu pengikatan Zn pada tubuh, peningkatan tekanan darah, menyebabkan kerusakan ginjal, jaringan testis, sel darah merah dan toksik bagi biota perairan (Donald, 2003). Kadmium (Cd) merupakan jenis logam yang banyak ditemukan di perairan. Kadmium berasal dari limbah berbagai industri seperti industri pelapisan, pewarna, pembuatan plastik, baterai dan campuran, limbah rumah sakit, serta kegiatan pertanian (Borkar, et al., 2006; Herrero, et al, 2005;

Donald, 2003, Mamoribo, et al, 2015; Subowo et al, 1999).

Pendekatan secara mikrobiologis dengan menggunakan bakteri merupakan alternatif yang dapat dilakukan untuk masa yang akan datang dan merupakan rekayasa yang cukup menjanjikan, sebab secara teknis maupun ekonomis sangat menguntungkan (Malik, 2004; Vijayaraghavan & Yun, 2008; Chovanova, et al., 2004; Kermani, et al. 2010; Shakibaie et al., 2008; Vieira and Volesky, 2000; Kapoor et al., 1995). Berbagai upaya telah dilakukan untuk isolasi logam berat-tahan strain bakteri selama tahun. *Staphylococcus aureus* (Novick dan Roth, 1968) *Escherichia coli* (Mitra et al., 1975) ditemukan untuk menurunkan ion kadmium (Cd^{2+}) dari sel permukaan. Katarina et al., (2004) mempelajari sekumpulan bakteri tahan kadmium yang diisolasi dari lumpur limbah yang terkontaminasi oleh ion kadmium.

Daerah pasuruan sebagai daerah dengan pertumbuhan industri yang pesat juga memiliki permasalahan limbah industri yang cukup rumit. Berbagai kajian menunjukkan bahwa sebagian besar perairan di daerah Pasuruan tercemar logam berat, khususnya kadmium. Upaya pengendalian logam berat dengan pengembangan konsorsium bakteri indigen sebagai agen bioremediasi pencemaran logam kadmium (Cd) pada perairan tercemar limbah industri di Kabupaten Pasuruan merupakan langkah yang strategis. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektifitas konsorsium bakteri indigen dalam bioremediasi limbah cair industri terkontaminasi kadmium secara *ex-situ*.

Metode Penelitian

Pengambilan Limbah Cair

Limbah cair diambil dari berbagai perairan yang tercemar limbah kadmium di Kabupaten Pasuruan pada bulan Maret 2017. Limbah cair sebanyak 200 ml diletakkan dalam botol kaca steril volum 250 ml dan disimpan pada suhu 4 °C sebelum dilakukan proses lanjut di laboratorium. Botol diberi kode sesuai dengan lokasi pengambilan limbah.

Isolasi Bakteri Indigen

Isolasi menggunakan media LB, bahan-bahan pembuatan media terdiri dari yeast ekstrak, tripton, NaCl dan dilarutkan dalam 750 ml akuades, kemudian direbus hingga bening. Pada tempat terpisah serbuk sebanyak Na+Cd(NO₃) 250 mg dan serbuk agar sebanyak 1 g dilarutkan dalam 350 ml akuades kemudian direbus hingga mendidih. Selanjutnya memindahkan media padat Na+Cd(NO₃) sebanyak 10 ml ke dalam cawan petri dan 5 ml larutan ke dalam tabung reaksi dengan pengenceran 9 kali. Selanjutnya dilakukan sterilisasi dengan autoklaf selama 15 menit dengan tekanan 15 atm. Sampel limbah dari berbagai tempat dicampur secara homogen menjadi satu diambil dalam kondisi dingin dari lemari pendingin sebanyak 10 ml diletakkan media LB sebanyak 450 ml. Kemudian dilakukan pengocokan dengan shaker selama 5 hari. Larutan hasil shaker dilakukan pengenceran 9 kali selanjutnya diinokulasi pada media padat Na+Cd(NO₃) dalam cawan petri lalu diinkubasi selanjutnya dilakukan pengamatan 1x24 jam hingga 3x24 jam. Kemudian dipilih empat bakter dominan pada media tersebut. Empat bakteri terpilih dibiakkan pada media miring. Empat bakteri terpilih adalah: konsorsium kode A, D, E dan J.

Uji kemampuan reduksi Cd

Empat jenis bakteri yang telah terpilih diuji kemampuan bioremediasi limbah cair Cd secara ex situ yang diambil dari limbah industri di daerah Pasuruan. Limbah cair diambil dari lokasi kemudian disimpan pada suhu 4 °C sebelum digunakan dalam penelitian. Limbah cair dilakukan sterilisasi terlebih dahulu untuk menghilangkan mikroorganisme lain dalam media. Dilakukan penentuan kadar kadmium mula-mula, untuk kemudian diatur kadar kadmiumnya awal pada konsentrasi 10 ppm dengan penambahan Cd(NO₃)₂.4H₂O. Selanjutnya ditentukan kadar kadmium aktual setelah penambahan Cd(NO₃)₂.4H₂O. Isolat bakteri diambil dari media padat dalam tabung reaksi dengan menggunakan jarum ose bentuk bulat kemudian disuspensikan pada media cair LB. Limbah cair yang telah siap, ditempatkan pada botol kaca ukuran 200 ml kemudian diinokulasi dengan larutan suspensi konsorsium bakteri dalam media cair LB. Larutan kemudian ditempatkan pada shaker selama 7 hari dan dilakukan pengamatan pada parameter BOD₅, COD, DO, dan Cd setiap selama 7 hari. Pengamatan BOD₅ menggunakan metode pengukuran oksigen terlarut pada sampel yang telah ditambah inokulum dan diinkubasi selama 5 hari (Alaert, 1987). Penentuan COD menggunakan metode oksidasi K₂Cr₂O₇ dan H₂SO₄ (Alaert, 1987). Penentuan oksigen terlarut menggunakan metode titrasi winkler H₂SO₄ (Alaert, 1987), Penentuan kadmium (Cd) menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis (Merck, 2017).

Analisis Data

Penelitian disusun menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri dari lima perlakuan, yaitu perlakuan kontrol, perlakuan konsorsium bakteri A, konsorsium bakteri D, konsorsium bakteri E dan konsorsium bakteri J dengan ulangan sebanyak 4 kali. Limbah cair yang telah diberi perlakuan, diamati mulai hari ke 0 sampai dengan hari ke 7 pada parameter BOD₅, COD, DO, dan Cd. Data yang diperoleh selanjutnya dilakukan uji statistik anova satu jalur dan uji lanjut Duncan 5%. Uji statistik menggunakan program komputasi SPSS v 23.

Hasil Penelitian dan Pembahasan

Hasil isolasi bakteri yang diperoleh dari perairan terkontaminasi limbah kadmium di daerah Pasuruan menghasilkan empat konsorsium bakteri indigen dengan kode A, D, E dan J. Keempat konsorsium bakteri indigen yang telah dipilih selanjutnya diuji kemampuan bioremediasi limbah industri cair yang diambil secara *ex-situ*. Data Penelitian pengamatan kadar BOD₅ limbah cair selama penelitian tersaji pada tabel 1.

Tabel 1. Kadar BOD₅ limbah selama penelitian pada berbagai perlakuan konsorsium bakteri

Perlakuan	BOD ₅ (mg/l) hari ke							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Kontrol	209,21 a	230,61 b	235,85 c	241,09 d	243,33 d	245,57 d	247,81 d	250,05 d
Konsorsium A	213,35 a	200,04 a	189,59 b	179,14 c	166,69 c	144,24 c	121,79 c	109,34 c
Konsorsium D	208,62 a	189,77 a	174,32 a	151,87 a	126,42 a	90,97 a	62,52 a	54,07 a
Konsorsium E	213,78 a	199,51 a	191,06 b	182,61 c	170,16 c	147,71 c	125,26 c	112,81 c
Konsorsium J	211,11 a	196,68 a	184,42 b	168,16 b	148,90 b	119,64 b	90,38 b	81,12 b

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama, tidak berbeda nyata pada uji Duncan 5%

Tabel 1 menunjukkan bahwa pada pada hari ke-0, tidak terdapat perbedaan perlakuan yang nyata pada parameter BOD₅. Perbedaan kadar BOD₅ antar perlakuan secara signifikan ditunjukkan pada pengamatan hari ke 1 sampai dengan hari ke 7. Pada hari ke-1, semua konsorsium menunjukkan perbedaan kadar BOD₅ dengan perlakuan kontrol secara signifikan, namun tidak terdapat perbedaan antar konsorsium bakteri. Pada hari ke-2 sampai dengan ke

7, kadar BOD₅ pada konsorsium D paling rendah dan berbeda nyata dengan ketiga konsorsium bakteri lainnya. Pada pengamatan hari ke-2 sampai dengan hari ke-7 juga menunjukkan bahwa konsorsium bakteri E, kadar BOD₅ nya paling tinggi diantara dan berbeda nyata dengan konsorsium bakteri D dan J, namun tidak berbeda nyata dengan konsorsium bakteri A. Data Penelitian pengamatan kadar COD limbah cair selama penelitian tersaji pada tabel 2.

Tabel 2. Kadar COD limbah selama penelitian pada berbagai perlakuan konsorsium bakteri

Perlakuan	COD (mg/l) hari ke							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Kontrol	397,49 a	415,09 b	424,53 c	385,74 d	389,32 d	392,91 d	396,49 d	400,08 d
Konsorsium A	405,36 a	360,07 a	322,30 b	286,62 c	266,70 c	201,93 c	170,50 c	153,07 c
Konsorsium D	396,38 a	341,59 a	296,35 a	243,00 a	202,28 a	127,36 a	87,53 a	75,70 a
Konsorsium E	406,18 a	359,12 a	324,81 b	292,18 c	272,26 c	206,80 c	175,37 c	157,94 c
Konsorsium J	401,10 a	354,02 a	313,51 b	269,05 b	238,23 b	167,49 b	126,53 b	113,56 b

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama, tidak berbeda nyata pada uji Duncan 5%

Tabel 2 menunjukkan bahwa pada pada hari ke-0, tidak terdapat perbedaan perlakuan yang nyata pada parameter COD. Perbedaan kadar COD antar perlakuan secara signifikan ditunjukkan pada pengamatan hari ke 1 sampai dengan hari ke 7. Pada hari ke-1, semua konsorsium menunjukkan perbedaan kadar COD dengan perlakuan kontrol secara signifikan, namun tidak terdapat perbedaan antar konsorsium bakteri. Pada hari ke-2 sampai dengan ke

7, kadar COD pada konsorsium D paling rendah dan berbeda nyata dengan ketiga konsorsium bakteri lainnya. Pada pengamatan hari ke-2 sampai dengan hari ke-7 juga menunjukkan bahwa konsorsium bakteri E, kadar BOD5nya paling tinggi dan berbeda nyata dengan konsorsium bakteri D dan J, namun tidak berbeda nyata dengan konsorsium bakteri A. Data Penelitian pengamatan kadar DO limbah cair selama penelitian tersaji pada tabel 3.

Tabel 3. Kadar DO limbah selama penelitian pada berbagai perlakuan konsorsium bakteri

Perlakuan	DO (mg/l) hari ke							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Kontrol	4,11 a	3,73 a	3,65 a	3,57 a	3,54 a	3,18 a	2,82 a	2,46 a
Konsorsium A	4,03 a	5,80 b	7,17 b	9,83 b	10,56 b	11,75 b	12,94 b	14,13 b
Konsorsium D	4,12 a	6,12 c	7,81 c	11,61 c	13,96 d	15,15 d	16,34 d	17,53 d
Konsorsium E	4,02 a	5,82 b	7,12 b	9,64 b	10,35 b	11,54 b	12,73 b	13,92 b
Konsorsium J	4,08 a	5,90 bc	7,38 b	10,48 c	11,84 c	13,03 c	14,22 c	15,41 c

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama, tidak berbeda nyata pada uji Duncan 5%

Tabel 3 menunjukkan bahwa pada pada hari ke-0, tidak terdapat perbedaan perlakuan yang nyata pada parameter DO. Perbedaan kadar DO antar perlakuan secara signifikan ditunjukkan pada pengamatan hari ke 1 sampai dengan hari ke 7. Pada hari ke-1 sampai dengan

hari ke-7, semua konsorsium menunjukkan perbedaan kadar COD dengan perlakuan kontrol secara signifikan. Tabel 3 juga menunjukkan bahwa pada pengamatan hari ke 1 konsorsium D menghasilkan kadar DO yang paling tinggi dan berbeda nyata

dengan konsorsium bakteri A dan E, namun tidak berbeda nyata dengan konsorsium bakteri J. Pengamatan DO pada hari ke-1 juga menunjukkan bahwa konsorsium bakteri A menghasilkan kadar DO yang paling rendah dan tidak berbeda nyata dengan konsorsium bakteri E. Pengamatan DO pada hari ke-2 menunjukkan bahwa konsorsium bakteri D menghasilkan kadar DO yang paling tinggi dan berbeda nyata dengan ketiga konsorsium bakteri lainnya. Konsorsium bakteri E menghasilkan kadar DO yang paling rendah dan tidak berbeda nyata dengan konsorsium bakteri A dan J pada pengamatan hari ke-2. Pengamatan pada hari ke-3 menunjukkan konsorsium bakteri D menghasilkan kadar DO yang paling tinggi dan tidak berbeda nyata

dengan konsorsium bakteri J. Konsorsium bakteri E menghasilkan kadar DO yang paling rendah dan tidak berbeda nyata dengan konsorsium bakteri A pada pengamatan hari ke-2. Pengamatan pada hari ke-4 sampai dengan hari ke-7 menunjukkan konsorsium bakteri D menghasilkan kadar DO yang paling tinggi dan berbeda nyata dengan ketiga konsorsium bakteri lainnya. Konsorsium bakteri E menghasilkan kadar DO yang paling rendah dan tidak berbeda nyata dengan konsorsium bakteri A, namun berbeda nyata dengan konsorsium bakteri J pada pengamatan hari ke-4 sampai dengan hari ke-7. Data Penelitian pengamatan kadar Cd limbah cair selama penelitian tersaji pada tabel 4.

Tabel 4. Kadar Cd limbah selama penelitian pada berbagai perlakuan konsorsium bakteri

Perlakuan	Cd (mg/l) hari ke							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Kontrol	9,87 a	9,86 c	9,83 b	9,81 c	9,79 d	9,77 d	9,75 e	9,73 d
Konsorsium A	9,68 a	8,95 a	8,28 a	7,74 a	7,20 b	5,46 b	3,72 c	0,74 b
Konsorsium D	9,90 a	9,59 bc	8,72 a	7,88 a	7,04 ab	5,00 b	2,96 b	0,59 ab
Konsorsium E	9,66 a	9,22 ab	8,65 a	8,41 b	8,17 c	6,73 c	5,29 d	1,06 c
Konsorsium J	9,78 a	9,45 bc	8,48 a	7,54 a	6,60 a	4,46 a	2,32 a	0,46 a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama, tidak berbeda nyata pada uji Duncan 5%

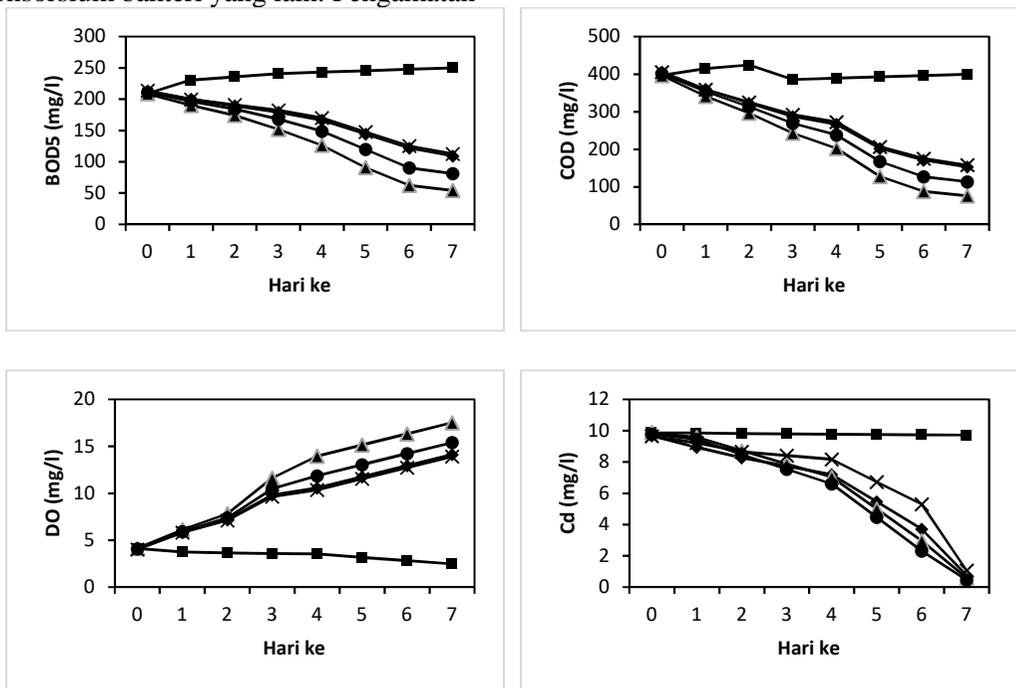
Tabel 4 menunjukkan bahwa pada pada hari ke-0, tidak terdapat perbedaan perlakuan yang nyata pada parameter Cd. Perbedaan kadar Cd antar perlakuan secara signifikan ditunjukkan pada pengamatan hari ke 1 sampai dengan hari ke 7. Pada hari ke-1 sampai dengan hari ke-7, semua konsorsium menunjukkan perbedaan kadar Cd dengan perlakuan kontrol secara signifikan. Tabel 4 juga menunjukkan bahwa pada pengamatan hari ke 1 konsorsium A menghasilkan kadar Cd yang paling rendah dan berbeda nyata

dengan konsorsium bakteri D dan J, namun tidak berbeda nyata dengan konsorsium bakteri J. Pengamatan kadar Cd pada hari ke-1 juga menunjukkan bahwa konsorsium bakteri D menghasilkan kadar Cd yang paling tinggi dan tidak berbeda nyata dengan konsorsium bakteri D, E dan J. Pengamatan Cd pada hari ke-2 menunjukkan bahwa keempat konsorsium bakteri tidak berbeda nyata secara signifikan. Pengamatan Cd pada hari ke-3 menunjukkan bahwa ketiga konsorsium bakteri, yaitu A, D, dan J menghasilkan

kadar Cd yang rendah tidak berbeda nyata secara signifikan, namun berbeda nyata dengan konsorsium bakteri E. Pengamatan Cd pada hari ke-4 menunjukkan bahwa konsorsium bakteri J menghasilkan kadar Cd yang paling rendah dan berbeda nyata dengan konsorsium bakteri A dan E, namun tidak berbeda nyata dengan konsorsium bakteri D. Konsorsium bakteri E menghasilkan kadar Cd yang paling tinggi diantara ketiga konsorsium bakteri yang lain. Pengamatan Cd pada hari ke-5 dan 6 menunjukkan bahwa konsorsium bakteri J menghasilkan kadar Cd yang paling rendah dan berbeda nyata dengan ketiga konsorsium bakteri lainnya. Konsorsium bakteri E menghasilkan kadar Cd yang paling tinggi diantara ketiga konsorsium bakteri yang lain. Pengamatan

Cd pada hari ke-7 menunjukkan bahwa konsorsium bakteri J menghasilkan kadar Cd yang paling rendah dan tidak berbeda nyata dengan konsorsium bakteri D, namun berbeda nyata dengan konsorsium bakteri A dan E. Konsorsium bakteri E menghasilkan kadar Cd yang paling tinggi diantara ketiganya.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara umum, keempat konsorsium bakteri menunjukkan kemampuan reduksi kadar Cd yang baik serta menciptakan perbaikan limbah yang ditandai dengan turunnya kadar BOD dan COD serta naiknya kadar DO. Gambaran secara umum kinerja keempat konsorsium bakteri pada bioremediasi limbah cair secara *ex-situ* dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Grafik kinerja bioremediasi limbah cair keempat konsorsium bakteri

Keterangan: —■— : kontrol; —●— : Konsorsium A; —▲— : Konsorsium D; —×— : Konsorsium E; —●— : Konsorsium J

Gambar 1 menunjukkan bahwa pada perlakuan kontrol (tanpa pemberian konsorsium, kondisi limbah cair semakin memburuk yang ditandai dengan kenaikan nilai BOD, COD, menurunnya nilai DO dan tidak ada perubahan kadar Cd. Keempat konsorsium bakteri menunjukkan adanya kemampuan yang tidak terlalu berbeda dalam bioremediasi limbah cair secara *ex situ*. Hal tersebut ditandai dengan penurunan nilai BOD₅, COD, kenaikan nilai DO dan penurunan kadar Cd secara signifikan. Penurunan nilai BOD dan COD serta kenaikan kadar DO secara signifikan dimulai pada hari ke-3. Sedangkan penurunan Cd secara tajam terjadi dimulai dari hari ke-4.

Walaupun keempat konsorsium bakteri indigen mampu mereduksi logam Cd, tampaknya konsorsium bakteri D memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menciptakan kondisi limbah yang lebih baik, dilihat dari penurunan nilai BOD, COD, dan peningkatan nilai DO yang lebih baik dari pada ketiga konsorsium bakteri yang lain. Sedangkan jika hanya dilihat dari kemampuan reduksi Cd, maka konsorsium bakteri J memiliki kemampuan reduksi Cd yang lebih baik dari ketiga konsorsium bakteri indigen yang lain.

Kemampuan reduksi kadmium pada keempat konsorsium bakteri indigen tersebut dikarenakan kemampuan dari bakteri tersebut dalam yang tahan terhadap kondisi tinggi kadmium atau bahkan mampu memanfaatkan logam berat kadmium sebagai salah satu unsur yang dimanfaatkan dalam kelangsungan hidupnya. Mekanisme ketahanan bakteri terhadap kadmium karena bakteri mampu memproduksi protein pengikat Cd secara intraseluler (Hassen, et al, 1998). Mekanisme lain berupa mengikat logam lain untuk menghambat masuknya logam berat Cd ke dalam sel atau mengikatnya

logam berat ke sel anionik. Gupta et al., (1993) menyatakan bahwa beberapa bakteri mampu menjalankan mekanisme metalotionin, yakni mekanisme pengkhelatan logam berat secara intraseluler dengan menggunakan protein.

Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan bahwa isolasi bakteri dari limbah cair yang berasal dari perairan tercemar kadmium (Cd) di perairan Kabupaten Pasuruan menghasilkan empat konsorsium bakteri indigen; Keempat konsorsium bakteri mempunyai kemampuan mereduksi kadar kadmium limbah industri cair secara *ex-situ* dan bioremediasi limbah dengan menurunkan kadar BOD₅, COD, dan meningkatkan kadar DO. Konsorsium bakteri indigen D mempunyai kemampuan bioremediasi limbah industri cair secara *ex-situ* selain menurunkan kadar kadmium yang paling baik diantara ketiga konsorsium bakteri indigen yang lain; dan Konsorsium bakteri indigen J mempunyai kemampuan reduksi kadar kadmium yang lebih baik diantara ketiga konsorsium bakteri indigen yang lain.

Sebagai langkah tindak lanjut maka disarankan untuk dilakukan penelitian lanjutan yaitu mengenai identifikasi keempat konsorsium bakteri indigen yang telah ditemukan, serta dilakukan pengujian efektifitas bioremediasi limbah cair multilokasi baik secara *ex-situ* maupun *in-situ*.

Daftar Pustaka

Ajmal, M., Mohammad, A., Yousuf, R., Ahmad, A. (1998). Adsorption behaviour of cadmium, zinc, nickel and lead from aqueous

- solution by *Mangifera indica* seed shell. *Indian. J. Environ. Health*, **40** (1): 5-26.
- Banjerdkij, P., Vattanaviboon, P. and Mongkolsuk, S. (2003). Cadmium-induced adaptive resistance and cross-resistance to zinc in *Xanthomonas campestris*. *Curr. Microbiol.* **47**, p260-262
- Borkar, M.U., R.P. Athalye dan G. Quadros. (2006). Occurrence of heavy metals in abiotic and biotic components of the mangrove ecosystem of Thane Creek. *J. Ecol. Env.& Cons.* **12(4)**: 723-728.
- Chanova, K, Sladekova, D, Harichova, J, Puskarova, A, Polek, B, Feriang P., (2004). Identification and characterization of eight cadmium resistant bacterial isolates from a cadmium contaminated sewage sludge. *Biologia, Bratislavia* **59/6**: 817-827.
- Darmono. (1999). Kadmiun (Cd) dalam lingkungan dan pengaruhnya terhadap kesehatan dan produktivitas ternak. *Wartazoa* Vol. **8** No. 1
- Denise, P., Higham, P., Sadler, J., Michael, D. (1989). Cadmium Resistance in *Pseudomonas putida*: Growth and Uptake of Cadmium. *J. General Microbiol.* **131**: 2539-2544.
- Donald, L. Spark, (2003). *Environmental Soil Chemistry*. Academic Press, San Diego, California, USA
- Gupta, A., Morby, A.P., Turner, J.S., Whitton, B.A. and Robinson, N.J. (1993). Deletion within the metallothionein locus of cadmium-tolerant *Synechococcus* PCC-6301 involving a highly iterated palindrome (hip1). *Mol Microbiol.* **7**, p189-195
- Hassen, A., Saidi, N., Cherif, M. and Boudabous, A. (1998). Effect of heavy metals on *Pseudomonas aeruginosa* and *B. thuringiensis*. *Biores. Technol.* **65**, p73-82
- Herrero, R., Lodeiro, P., Rey-Castro, C., Vilariño, T., Sastre de Vicente, M.E. (2005). Removal of inorganic mercury from aqueous solutions by biomass of the marine macroalga *Cystoseira baccata*. *Water. Res.* **39**:3199–3210.
- Istarani, F dan Pandebesie, E S. (2014). Studi dampak arsen (As) dan kadmiun (Cd) terhadap penurunan kualitas lingkungan. *Jurnal Teknik Pomits* Vol **3** No. 1
- Kapoor, A., and Viraraghavan, T. (1995). Fungal biosorption: an alternative treatment option for heavy metal bearing wastewaters. *Bioresour. Technol.* **53**:195–206.
- Katarina, C., Darina, S., Vladimir, K., Miloslava, P., Jana, H., Andrea Puškrov, B., Ferianc, P. (2004). Identification and characterization of eight cadmium resistant bacterial isolates from a cadmium-contaminated sewage sludge, *Biologia, Bratislava.* **59**: 817—827
- Kermani A J N, Ghasemi, M F, Khosravan, A, Farahmand, A, Shakibaie, M. R. (2010). Cadmium

- Bioremediation by metal resistant mutated bacteria isolated from active sludge of industrial effluent. *Iran J Environ. Health. Sci. Eng.*, Vol. 7 No 4 279-286.
- Malik, A. (2004). Metal bioremediation through growing cells. *J. Environment International*, **30**: 261-278.
- Mamaribo, H, Rompas R J, Kalesaran, O J. (2015). Determinasi Kandungan Kadmium (Cd) di Perairan Pantai Malalayang Sekitar Rumah Sakit Prof Kandou Manado. *Jurnal Budidaya Pertanian* Vol 3 No. 1, Januari 2015 114-118
- Merck, 2017. Cadmium test Spectroquant. Merck KGaA
- Mitra, R.S., Gray, R.H., Chin, B., Berstein, I.A. (1975). Molecular mechanisms of accumulation in *Escherichia coli* to toxic levels of cadmium. *Journal of Bacteriology*. **121**:1180-1188.
- Nies, D.H. (2003). Efflux mediated heavy metal resistance in prokaryotes. *FEMS Microbiol Rev.* **27**, p313-339
- Novick, R.P., Roth, C. (1968). Plasmid-linked resistance to inorganic salts in *Staphylococcus aureus*. *Bacteriology* **95**:1335-1342
- Shakibaie, M.R., Khosravan, A., Farmhand, A., Zare, S. (2008.) Application of metal resistant bacteria by mutational enhancement technique for bioremediation of copper and zinc from industrial wastes. *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.*, **5**: 251-256.
- Subowo, Mulyadi, S. Widodo, dan Asep Nugraha. (1999). *Status dan Penyebaran Pb, Cd, dan Pestisida pada Lahan Sawah Intensifikasi di Pinggir Jalan Raya*. Prosiding. Bidang Kimia dan Bioteknologi Tanah, Puslittanak, Bogor
- Velasques, L. & J. Dussan. (2009). Biosorption and bioaccumulation of heavy metals on dead and living biomass of *Bacillus sphaericus*. *Journal of Hazardous Materials*, **167**:713-716.
- Vieira, Regine HSF., Volesky, B. (2000). Biosorption: a solution to pollution. *International Microbiology* **3(1)**:17-24.
- Vijayaraghavan, K. & Yun, Y.S. (2008). Bacterial biosorbents and biosorption. *Biotechnology Advances*. **26**: 266-291.