

**Seleksi Konsorsium Mikroorganisme untuk Pembenah Lumpur Sidoarjo sebagai Media Tanam  
(Selection of Microbial Consortia to improve Sidoarjo Mud as Plant Growth Media)**

**Megga Ratnasari Pikoli<sup>1\*</sup>, Ade Puji Setyawati<sup>1</sup>, Tri Retno Dyah Larasati<sup>2</sup>, & Nana Mulyana<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Syarif Hidayatullah Jakarta Jl. Ir. H. Juanda No. 95 Ciputat Tangerang Selatan 15412

<sup>2</sup>Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN Jl. Lebak Bulus Raya No. 49 Jakarta Selatan 12440

\*Penulis korespondensi: meggapikoli@uinjkt.ac.id

**Memasukkan:** Agustus 2017, **Diterima:** Januari 2018

**ABSTRACT**

The mud that erupted in Sidoarjo, East Java, has been known from several studies can be used as plant growth media. However, its ability has limitations, particularly due to the very high heavy metal content and phenol will gradually poison the plants. Therefore, a study has been conducted in order to obtain a consortium of microorganisms which have ability to support plants growth and remediate the mud so that further can be used as a growth media. The selected microorganisms consist of *Azotobacter* sp. KDB2, *Bacillus* sp. KLBN1, *Bacillus* sp. BMC4, *Pseudomonas* sp. BMC6, *Trichoderma* sp. PJF6 and *Trichoderma* sp. PJF7F7, which were combined in five consortia, namely K1, K2, K3, K4, and K5. The selection was performed on the ability to produce *indole acetic acid*, dissolve phosphate, decrease phenol concentration, and decrease the concentration of Pb and Cd ion metals. The results showed that the five consortia have capacity in the five parameters examined. The ability to remove Pb by microbial consortia which consist of *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, and *Trichoderma* is a new information of the role of microorganism on heavy metal removal. The existence of positive and negative interactions within each consortium lead to differences in the kind of superior consortium generated from each parameter. The consortium K4 showed advantages in 3 parameters, that were in the indole acetic acid production and the Pb and Cd decreases, while the other consortia showed the best capacity only on one of the parameter examined. Therefore, the selected consortium recommended for fixing the Sidoarjo mud is K4, which consists of *Azotobacter* sp., *Bacillus* sp. BMC4, *Pseudomonas* sp. BMC6, *Trichoderma* sp. PJF6 dan *Trichoderma* sp. PJF7.

**Keywords:** biofertilizer, bioremediation, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Trichoderma*

**ABSTRAK**

Lumpur yang tersembur di Sidoarjo, Jawa Timur, telah diketahui dari beberapa penelitian dapat digunakan sebagai media tanam. Namun demikian, kemampuannya memiliki keterbatasan, terutama karena kandungan logam berat dan fenol di dalamnya yang sangat tinggi akan meracuni tanaman. Oleh karena itu, penelitian yang dilakukan bertujuan memperoleh konsorsium mikroorganisme yang memiliki sifat-sifat yang mendukung pertumbuhan tanaman dan meremediasi lumpur sehingga nantinya dapat digunakan sebagai media tanam. Mikroorganisme yang diseleksi terdiri dari *Azotobacter* sp. KDB2, *Bacillus* sp. KLBN1, *Bacillus* sp. BMC4, *Pseudomonas* sp. BMC6, *Trichoderma* sp. PJF6 dan *Trichoderma* sp. PJF7, yang dikombinasikan dalam lima konsorsium, yaitu K1, K2, K3, K4, dan K5. Seleksi dilakukan pada kemampuan menghasilkan *indole acetic acid*, melarutkan fosfat, menurunkan konsentrasi fenol, serta menurunkan konsentrasi logam Pb dan Cd. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelima konsorsium memiliki kemampuan dalam kelima parameter yang diperiksa. Kemampuan membuang Pb oleh konsorsium yang terdiri atas *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, dan *Trichoderma* merupakan sumbangsih pengetahuan yang baru. Adanya interaksi-interaksi positif dan negatif dalam setiap konsorsium menyebabkan perbedaan pada macam konsorsium unggul yang dihasilkan dari setiap parameter. Konsorsium K4 memiliki keunggulan dalam 3 parameter, yaitu menghasilkan *indole acetic acid* dan menurunkan logam berat Pb serta Cd, sedangkan konsorsium lainnya menunjukkan kemampuan terbaik hanya pada salah satu parameter uji. Oleh karena itu, konsorsium terseleksi yang direkomendasikan untuk membenahi lumpur Sidoarjo adalah K4, yang terdiri atas *Azotobacter* sp., *Bacillus* sp. BMC4, *Pseudomonas* sp. BMC6, *Trichoderma* sp. PJF6 dan *Trichoderma* sp. PJF7.

**Kata Kunci:** pupuk hayati, bioremediasi, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Trichoderma*

## PENDAHULUAN

Lumpur, seperti bahan alami lainnya, memiliki potensi untuk dimanfaatkan untuk kepentingan manusia. Lumpur yang menyembur di wilayah Sidoarjo sejak 29 Mei 2006, yang semula sebagai bencana alam yang besar, telah dimanfaatkan oleh sebagian masyarakat, misalnya sebagai bahan baterai, bahan bangunan, bahan keramik, sumber iodium, dan media tanam. Namun demikian, lumpur ini mengandung logam-logam berat, seperti Pb dan Cd, yang melebihi ambang batas kandungan logam dalam air dan mencemari pertambakan di daerah sekitar luapan lumpur (Samsundari & Perwira 2011). Air lumpur Sidoarjo juga diketahui mengandung fenol yang melebihi ambang batas (1 mg/liter), yang bahkan telah merembes ke air tanah di permukiman sekitarnya. Kandungan logam berat dan fenol dalam lumpur Sidoarjo tersebut akan berdampak negatif jika digunakan sebagai media tanaman pangan. Oleh karena itu, upaya perbaikan kualitas lumpur sebagai media tanam sangat diperlukan.

Salah satu upaya perbaikan kualitas lumpur Sidoarjo adalah melalui bioremediasi yang menggunakan mikroorganisme yang mampu memperbaiki sifat-sifat lumpur. Bioremediasi dengan menggunakan mikroorganisme dalam bentuk konsorsium diyakini dapat memberikan hasil yang lebih baik daripada menggunakan mikroorganisme tunggal. Mikroorganisme dalam suatu konsorsium dapat bekerja secara sinergis sehingga meningkatkan efisiensi bioremediasi (Ma *et al.* 2016). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memformulasikan konsorsium mikroorganisme yang diseleksi berdasarkan sifat-sifat yang menguntungkan bagi pertumbuhan tanaman, yang nantinya digunakan sebagai pembenah lumpur Sidoarjo.

Anggota konsorsium mikroorganisme terdiri atas genera *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, dan *Trichoderma*, yang dipilih dari koleksi Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi Badan Tenaga Nuklir Nasional. Mikroorganisme dari genera *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, dan *Trichoderma*, telah dikenal sebagai *plant growth promoting microorganisms* yang memiliki sejumlah kemampuan, antara lain memproduksi hormon pertumbuhan dan melarutkan fosfat (Pérez-

Montaño *et al.* 2014). Banyak spesies dari genera *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas* menoleransi tekanan abiotik pada keadaan fisiologis yang berbeda-beda, sehingga mampu tumbuh pada kondisi lingkungan yang ekstrim (Gurikar *et al.* 2016). Sementara itu, *Trichoderma* telah luas diketahui menjadi pengaya pupuk hayati untuk meningkatkan kesuburan tanaman dan pengendali biologis yang melawan patogen tanaman (Molla *et al.* 2012; Pérez-Montaño *et al.* 2014). Pada penelitian ini konsorsium disusun dan diseleksi berdasarkan sifat-sifat yang mendukung pertumbuhan tanaman dan meremediasi lumpur, yaitu kemampuan menghasilkan *indole acetic acid*, melarutkan fosfat, menurunkan konsentrasi fenol, dan menurunkan konsentrasi logam Pb dan Cd.

## BAHAN DAN CARA KERJA

Bahan-bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel lumpur Sidoarjo, isolat-isolat *Azotobacter* sp. KDB2, *Bacillus* sp. KLBN1, *Bacillus* sp. BMC4, *Pseudomonas* sp. BMC6, *Trichoderma* sp. PJF6 dan *Trichoderma* sp. PJF7, Potato Dextrose Agar (PDA), Trypto Soya Agar (TSA), Trypto Soya Broth (TSB), Potato Dextrose Broth (PDB), medium Pikovskaya, larutan NaCl 0,85%, HCl 10 mM, ethanol 70%, 3-indoleacetic acid, pereaksi Salkowski (150 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat, 250 ml aquades dan 7,5 ml FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O 0,5 M), pereaksi fosfat pekat (larutan dari 12 g ammonium molibdat H<sub>8</sub>MoN<sub>2</sub>O<sub>4</sub> dan 0,277 g kalium antimonil tartrat C<sub>8</sub>H<sub>8</sub>KO<sub>12</sub>Sb per liter aquades), pereaksi uji fenol, larutan stok fenol, Pb, dan Cd.

Isolat-isolat tunggal diperbanyak dengan menginokulasi 1 loop koloni pada medium TSB untuk isolat-isolat bakteri, dan pada medium PDB untuk isolat-isolat fungi, kemudian seluruhnya dikocok dengan *shaker* pada kecepatan 100 rpm selama 4 hari. Kultur isolat dikombinasikan dengan perbandingan yang sama (@100 µl) menjadi konsorsium mikroorganisme, yaitu K1 (*Azotobacter* sp. KDB2, *Bacillus* sp. KLBN1, *Pseudomonas* sp. BMC6 dan *Trichoderma* sp. PJF6), K2 (*Azotobacter* sp. KDB2, *Bacillus* sp. BMC4, *Pseudomonas* sp. BMC6 dan *Trichoderma* sp. PJF6), K3 (*Azotobacter* sp. KDB2, *Bacillus* sp.

KLBN1, *Pseudomonas* sp. BMC6, *Trichoderma* sp. PJF6 dan *Trichoderma* sp. PJF7), K4 (*Azotobacter* sp. KDB2, *Bacillus* sp. BMC4, *Pseudomonas* sp. BMC6, *Trichoderma* sp. PJF6 dan *Trichoderma* sp. PJF7) dan K5 (*Azotobacter* sp. KDB2, *Bacillus* sp. KLBN1, *Bacillus* sp. BMC4, *Pseudomonas* sp. BMC6, *Trichoderma* sp. PJF6 dan *Trichoderma* sp. PJF7).

Uji kemampuan menghasilkan *indoleacetic acid* (IAA) dilakukan dengan masing-masing konsorsium K1, K2, K3, K4 dan K5 diinokulasi secara aseptis ke dalam labu Erlenmeyer yang berisi 25 ml medium TSB dan PDB, kemudian ditambahkan 0,5 ml triptofan. Setelah kultur dikocok dengan *shaker* berkecepatan 100 rpm selama 2 hari, kultur disentrifugasi dengan kecepatan 10.000 rpm selama 5 menit. Supernatan diambil sebanyak 2 ml, ditambah 1 ml pereaksi Salkowski, dan didiamkan selama 60 menit, kemudian diukur absorbansinya ( $\lambda=520$  nm) (Gordon & Weber 1951).

Uji kemampuan melarutkan fosfat ( $P_2O_5$ ) untuk masing-masing konsorsium K1, K2, K3, K4, K5 dan kontrol diinokulasi secara aseptis ke dalam labu Erlenmeyer yang berisi 30 ml medium Pikovskaya. Setelah kultur dikocok dengan *shaker* berkecepatan 100 rpm selama 2 hari, kultur disaring dan disentrifugasi pada kecepatan 1.000 rpm selama 15 menit. Supernatan diambil sebanyak 5 ml, ditambahkan 5 ml pereaksi fosfat pekat, dikocok dan didiamkan selama 30 menit sampai terbentuk warna biru, kemudian diukur absorbansinya ( $\lambda=880$  nm) (Murphy dan Riley, 1962). Kadar fosfat ( $P_2O_5$ ) terlarut (ppm) = ppm kurva  $\times 10 \times fp \times 142/190 \times fk$ . Keterangan: ppm kurva = kadar sampel yang diperoleh dari kurva hubungan antara kadar deret standar dengan pembacaannya setelah dikoreksi blanko, fp = faktor pengenceran,  $142/190$  = faktor konversi bentuk  $PO_4$  menjadi  $P_2O_5$ , fk = faktor koreksi kadar air, yaitu  $100/(100 - \text{kadar air})$ .

Uji kemampuan menurunkan fenol untuk medium pengujian dibuat dari 18 g bubuk TSB dan 14,58 g bubuk PDB yang dilarutkan dalam 600 ml aquades, dan ditambahkan 30 ml larutan stok fenol sehingga menjadi 50 ppm. Masing-masing konsorsium K1, K2, K3, K4, K5 dan kontrol diinokulasi secara aseptis ke dalam labu Erlenmeyer yang berisi 30 ml medium fenol. Setelah kultur dikocok dengan *shaker* berkecepatan

100 rpm selama 4 hari, kultur disaring sehingga didapat 25 ml filtrat cair. Selanjutnya pengukuran fenol mengikuti protokol dari U.S. Environmental Protection Agency (1986), dengan sedikit modifikasi. Filtrat cair dalam labu kocok ditambahkan 4 ml buffer amonia, 2 ml difenil pirazolon, 5 ml larutan  $K_3Fe(CN)_6$  dan 3 ml kloroform. Setelah dikocok 10 kocokan kemudian didiamkan, lapisan kloroform yang terpisah dari lapisan air. Lapisan kloroform disaring dengan kertas saring yang mengandung sodium sulfat anhidrat dan ditampung ke dalam tabung reaksi, kemudian kemudian diukur absorbansinya ( $\lambda=470$  nm).

Uji kemampuan menurunkan konsentrasi Pb dan Cd dilakukan dengan medium pengujian yang digunakan merupakan larutan steril yang terdiri dari 570 ml lindi lumpur, 17,1 g TSB, 13,68 g PDB, yang ditambahkan larutan stok Pb dan Cd hingga masing-masing menjadi 50 ppm. Masing-masing konsorsium K1, K2, K3, K4, K5 dan kontrol diinokulasi secara aseptis ke dalam labu Erlenmeyer yang berisi 30 ml medium tersebut. Setelah kultur dikocok dengan *shaker* berkecepatan 100 rpm selama 5 hari, kultur melalui tahap ekstraksi dan destruksi. Kemudian larutan tersebut diukur kadar Pb ( $\lambda=283,3$  nm) dan Cd ( $\lambda=228,8$  nm) dengan menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) (Anwar *et al.* 2010). Kemampuan penurunan logam berat oleh mikroorganisme dilihat dengan berkurangnya kadar logam dan sebagai kontrol digunakan supernatan dari medium logam tanpa mikroorganisme (Suprihatin & Indrasti 2010). Kadar logam berat (ppm) = ppm kurva  $\times$  volume (ml) ekstrak/1.000 ml  $\times$  fp  $\times$  fk. Keterangan: ppm kurva = kadar sampel yang diperoleh dari kurva hubungan antara kadar deret standar dengan pembacaannya setelah dikoreksi blanko, fp = faktor pengenceran, fk = faktor koreksi kadar air, yaitu  $100/(100 - \text{kadar air})$ . Persentase penurunan kadar logam berat (%) =  $((C_0 - C_1)/C_0) \times 100\%$ . Keterangan:  $C_0$  = konsentrasi awal (ppm) dan  $C_1$  = konsentrasi akhir (ppm).

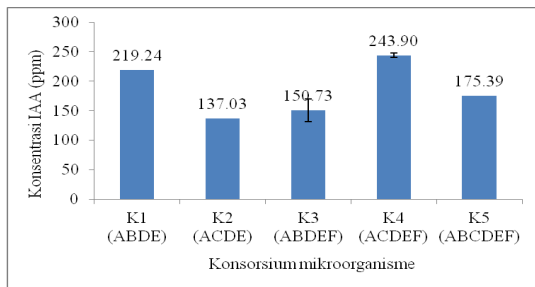
Seluruh data diolah secara deskriptif dengan menampilkan hasil penghitungan rata-rata dari dua kali pengukuran, disertai dengan nilai standar deviasi.

## HASIL

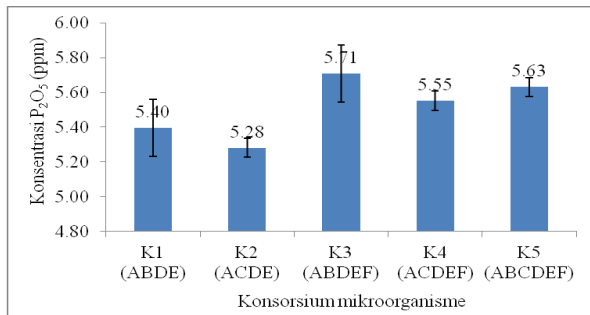
Pemeriksaan terhadap konsentrasi IAA menunjukkan bahwa interaksi mikroorganismen dalam kelima konsorsium mampu menghasilkan IAA (Gambar 1). Konsorsium K4, yang terdiri atas *Azotobacter* sp. KDB2, *Bacillus* sp. BMC4, *Pseudomonas* sp. BMC6, *Trichoderma* sp. PJF6 dan *Trichoderma* sp. PJF7, menghasilkan konsentrasi IAA yang paling tinggi dibandingkan konsorsium lainnya. Produksi IAA tertinggi berikutnya dihasilkan oleh K1, yang terdiri atas *Azotobacter* sp. KDB2, *Bacillus* sp. KLBN1, *Pseudomonas* sp. BMC6, dan *Trichoderma* sp. PJF6.

Konsentrasi fosfat yang terukur menunjukkan bahwa konsorsium yang memiliki kemampuan tertinggi dalam melarutkan fosfat adalah K3, K5, dan K4 (Gambar 2). Ketiga konsorsium memiliki kesamaan, yaitu sama-sama mengandung *Trichoderma* sp. PJF7.

Penurunan kadar fenol dihasilkan dari aktivitas konsorsium K5, diikuti oleh konsorsium



**Gambar 1.** Konsentrasi IAA yang dihasilkan oleh konsorsium mikroorganismen. A= *Azotobacter* sp. KDB2, B= *Bacillus* sp. KLBN1, C= *Bacillus* sp. BMC4, D= *Pseudomonas* sp. BMC6, E= *Trichoderma* sp. PJF6 dan F= *Trichoderma* sp. PJF7.



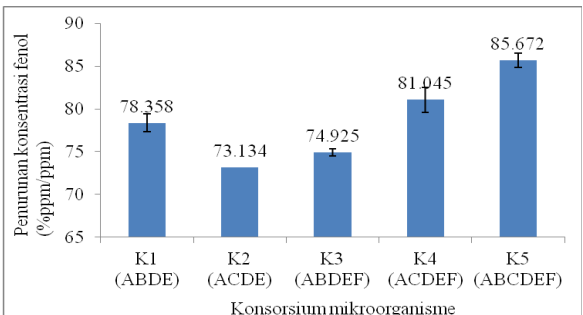
**Gambar 2.** Konsentrasi P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> yang terlarut oleh konsorsium mikroorganismen. A= *Azotobacter* sp. KDB2, B= *Bacillus* sp. KLBN1, C= *Bacillus* sp. BMC4, D= *Pseudomonas* sp. BMC6, E= *Trichoderma* sp. PJF6 dan F= *Trichoderma* sp. PJF7.

K4, K1 dan K3 (Gambar 3). K5 merupakan konsorsium dengan macam anggota terbanyak dibandingkan konsorsium lainnya yang diuji. Sementara itu, K2 menghasilkan penurunan konsentrasi fenol terendah.

Konsentrasi sisa logam berat Pb yang dihasilkan dari aktivitas semua konsorsium mikroorganismen K1, K2, K3, K4 dan K5 relatif sama, yaitu <0,05 ppm (Tabel 1). Hal ini menunjukkan bahwa semua kombinasi mikroorganismen dalam konsorsium mampu menurunkan konsentrasi Pb dengan konsentrasi awal sebesar 50 ppm. Sementara itu, konsentrasi sisa logam berat Cd terendah atau penurunan konsentrasi Cd tertinggi diperoleh dari aktivitas konsorsium K4, yang menurunkan 97,380% dari 50 ppm Cd. Tiga peringkat penurunan konsentrasi Cd terbesar diperoleh dari K4, K5, dan K2, yaitu tiga konsorsium yang mengandung *Bacillus* sp. BMC4 di dalamnya. Hal ini menunjukkan pola bahwa bakteri tersebut berperan paling besar dalam penyerapan Cd.

## PEMBAHASAN

Mikroorganismen yang digunakan dalam penelitian ini merupakan mikroorganismen rizosfer yang telah diketahui mampu menghasilkan *indole acetic acid* (IAA). Di alam, pada area akar bakteri rizosfer menghasilkan IAA untuk memperbanyak rambut-rambut akar dan akar lateral, dan menstimulasi pelepasan sakarida dari dinding sel tumbuhan, sehingga memfasilitasi kolonisasi mikroorganismen pada permukaan akar (Etesami *et al.* 2015). Hasil penelitian menunjukkan



**Gambar 3.** Penurunan konsentrasi fenol oleh konsorsium mikroorganismen. A= *Azotobacter* sp. KDB2, B= *Bacillus* sp. KLBN1, C= *Bacillus* sp. BMC4, D= *Pseudomonas* sp. BMC6, E= *Trichoderma* sp. PJF6 dan F= *Trichoderma* sp. PJF7.

bahwa dibandingkan dengan konsorsium lain yang tanpa *Bacillus* sp. KLBN1 pada K2 dan yang dengan adanya *Trichoderma* sp. PJF7 pada K5, konsorsium K4 yang tanpa *Bacillus* sp. KLBN1 dan dengan adanya *Trichoderma* sp. PJF7 menghasilkan konsentrasi IAA tertinggi. Hal tersebut menunjukkan bahwa kedua bakteri, yaitu *Bacillus* sp. KLBN1 dengan *Trichoderma* sp. PJF7 adalah bakteri-bakteri yang berperan penting dalam produksi IAA. Kedua genera ini telah dikenal mampu menghasilkan IAA pada perakaran berbagai macam tanaman (Pérez-Montaña *et al.* 2014). Hasil penelitian Hoyos-Carvajal *et al.* (2009) menunjukkan bahwa 60% dari 101 isolat *Trichoderma* sp. mampu menghasilkan IAA; sehingga dapat dikatakan kemampuan ini merupakan salah satu karakteristiknya. Demikian pula dengan basili, hasil penelitian Wahyudi *et al.* (2011) menunjukkan bahwa 76,3% dari 118 isolat *Bacillus* sp. mampu menghasilkan IAA.

Selain itu, dibandingkan dengan konsorsium K5 dan K3 yang mengandung *Bacillus* sp. KLBN1 dengan *Trichoderma* sp. PJF7, konsorsium K4 yang tidak mengandung *Bacillus* sp. KLBN1 menghasilkan konsentrasi IAA tertinggi. Hal tersebut menunjukkan adanya kompetisi di antara *Bacillus* sp. KLBN1 dengan *Trichoderma* sp. PJF7, yaitu keduanya tidak dapat ditempatkan bersama dalam satu konsorsium untuk memproduksi IAA. Pada saat ditempatkan tanpa kompetitornya, yaitu K4 tanpa *Bacillus* sp. KLBN1 dan K1 tanpa *Trichoderma* sp. PJF7, kedua konsorsium dapat menghasilkan IAA dengan konsentrasi tertinggi. Antagonisme dapat disebabkan oleh adanya hambatan pertumbuhan miselia fungi *Trichoderma* oleh *Bacillus* (Kim *et al.* 2008).

Namun demikian, interaksi negatif tersebut

tidak terjadi pada *Trichoderma* sp. PJF7 dan bakteri *Bacillus* yang lain, yaitu *Bacillus* sp. BMC4, yang terdapat pada K4. Bahkan diduga *Bacillus* sp. BMC4 dan *Trichoderma* sp. PJF7 bersinergi dalam menghasilkan IAA.

Kemampuan melarutkan fosfat sangat dibutuhkan bagi mikroorganisme yang digunakan untuk membenahi lumpur Sidoarjo supaya dapat digunakan sebagai media tanam. Tingginya kemampuan melarutkan fosfat pada konsorsium K3, K5, dan K4 diduga diperankan oleh *Trichoderma* sp. PJF7. Hal ini tampak dari adanya *Trichoderma* sp. PJF7 dalam ketiga konsorsium dan tidak adanya fungi ini pada K1 dan K2 yang menghasilkan pelarutan fosfat lebih rendah. Kemampuan *Trichoderma* dalam melarutkan fosfat dapat disebabkan oleh produksi asam-asam ekstraseluler dan fosfatase alkali, seperti yang pernah dipelajari pada *T. harzianum* (Kapri & Tewari 2010).

Adanya *Bacillus* sp. BMC4 pada K4 dan K5 juga diduga menjadi penyebab lebih rendahnya kemampuan pelarutan fosfat pada kedua konsorsium dibandingkan dengan K3 yang tidak mengandung *Bacillus* sp. BMC4. Berbeda dari hasil produksi IAA, yang *Bacillus* sp. BMC4 dan *Trichoderma* sp. PJF7 saling bersinergi dalam memproduksi IAA, adanya *Bacillus* sp. BMC4 pada K4 dan K5 melemahkan *Trichoderma* sp. PJF7 dalam kemampuan melarutkan fosfat. Berbeda pula dari hasil produksi IAA, yang *Bacillus* sp. KLBN1 dan *Trichoderma* sp. PJF7 saling berkompetisi, adanya *Bacillus* sp. KLBN1 pada K3 dan K5 menguatkan *Trichoderma* sp. PJF7 dalam kemampuan melarutkan fosfat.

Lumpur vulkanik Sidoarjo mengandung senyawa-senyawa fenol dalam konsentrasi yang melebihi ambang batas (Wahyuni & Sudarmaji

**Tabel 1.** Penurunan konsentrasi logam berat Pb dan Cd dalam medium lindi lumpur dengan 50 ppm Pb dan Cd

No.	Konsorsium mikroorganisme	Pb sisa (ppm)	Penurunan Pb (%)	Cd sisa (ppm)	Penurunan Cd (%)
1.	K1 (ABDE)	<0,050±0	99,900	1,980±1,063	96,040
2.	K2 (ACDE)	<0,050±0	99,900	1,570±0,843	96,860
3.	K3 (ABDEF)	<0,050±0	99,900	2,800±1,503	94,400
4.	K4 (ACDEF)	<0,050±0	99,900	1,310±0,703	97,380
5.	K5 (ABCDEF)	<0,050±0	99,900	1,390±0,746	97,220

Keterangan: A= *Azotobacter* sp. KDB2, B= *Bacillus* sp. KLBN1, C= *Bacillus* sp. BMC4, D= *Pseudomonas* sp. BMC6, E= *Trichoderma* sp. PJF6 dan F= *Trichoderma* sp. PJF7.

2013), yang toksik bagi organisme akuatik dan manusia. Oleh karena itu, pada penelitian ini konsorsium mikroorganisme yang disiapkan untuk membenahi lumpur diperiksa kemampuannya dalam mendegradasi fenol. Penurunan kadar fenol yang tertinggi oleh konsorsium K5, yang merupakan konsorsium terlengkap yang diuji pada penelitian ini, menunjukkan seluruh anggota konsorsium mampu mendegradasi fenol tanpa atau dengan sedikit persaingan. Keempat genera anggota konsorsium, yaitu *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, dan *Trichoderma*, telah diketahui sebagai mikroorganisme yang mampu mendegradasi hidrokarbon poliaromatik dalam kultur tunggal (Al-Turki 2009). Namun pada penelitian kali inilah diketahui bahwa seluruh genera dapat bekerjasama menggunakan hidrokarbon dalam konsorsium.

Pengujian dari penelitian terdahulu menunjukkan bahwa lumpur Sidoarjo mengandung logam Pb dan Cd sangat tinggi dan mencemari perairan di sekitarnya (Samsundari & Perwira 2011). Oleh karena itu, pada penelitian ini konsorsium diseleksi berdasarkan kemampuannya menyerap logam berat Pb dan Cd, dengan konsentrasi awal 50 ppm dalam medium yang mengandung lindi lumpur. Pada pemeriksaan sisa logam berat Pb semua konsorsium mikroorganisme K1, K2, K3, K4 dan K5 menyisakan <0,05 ppm Pb. Hal ini menunjukkan bahwa semua konsorsium mampu menurunkan 99,9% dari 50 ppm Pb. Di antara bakteri yang telah diketahui mampu membuang logam Pb dalam kultur campur adalah *Pseudomonas* sp. dan *Bacillus* sp. (Sannasi *et al.* 2006). Dengan demikian, kemampuan membuang Pb oleh konsorsium yang terdiri atas *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, dan *Trichoderma* merupakan sumbangsih pengetahuan yang baru.

Sementara itu, penurunan konsentrasi Cd terbesar yang diperoleh dari K4, K5, dan K2 yang ketiganya mengandung *Bacillus* sp. BMC4 menunjukkan peran yang besar dari bakteri tersebut. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa genus *Bacillus* memiliki kemampuan yang tinggi dalam menyerap dan mengakumulasi Cd, di antaranya penelitian yang dilakukan oleh Guo *et al.* (2010) yang menunjukkan bahwa isolat *Bacillus* sp. yang diperiksanya mengambil 80,48% dari 10 mg/L konsentrasi awal Cd (II).

Penyerapan Pb dan Cd diperankan oleh *extracellular polymeric substances* (EPS), suatu campuran dari kompleks polimer yang berberat molekul tinggi. EPS membentuk kompleks dengan logam-logam tersebut, dengan afinitas yang lebih besar pada Pb daripada Cd; dan afinitas EPS dari lumpur aktif (konsorsium mikroorganisme) lebih besar daripada EPS dari masing-masing kultur tunggal mikroorganisme. Hasil penelitian Wei *et al.* (2011) menunjukkan bahwa EPS dan gugus karboksil dan fosfat dari biomassa *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas putida* meningkatkan kapasitas penyerapan logam Cd. Dengan demikian, pembuangan Cd oleh konsorsium K4, K5, dan K2 diduga diperkuat oleh adanya EPS dari *Bacillus* sp. BMC4.

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, konsorsium K4 memiliki keunggulan dalam 3 parameter, yaitu menghasilkan IAA dan menurunkan logam berat Pb serta Cd, sedangkan konsorsium K1, K2, K3 dan K5 memiliki kemampuan terbaik pada salah satu parameter uji saja. Oleh karena itu, konsorsium terseleksi yang direkomendasikan untuk membenahi lumpur Sidoarjo adalah K4, yang terdiri atas *Azotobacter* sp., *Bacillus* sp. BMC4, *Pseudomonas* sp. BMC6, *Trichoderma* sp. PJF6 dan *Trichoderma* sp. PJF7. Konsorsium tersebut harus melalui pengujian dalam lumpur Sidoarjo pada studi berikutnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Turki, AI. 2009. Microbial polycyclic aromatic hydrocarbons degradation in soil. *Research Journal of Environmental Toxicology* 3: 1-8.
- Anwar, J., U. Shafique, M. Salman, A. Dar, & S. Anwar. 2010. Removal of Pb (II) and Cd (II) from water by adsorption on peels of banana. *Bioresource Technology* 101 (6): 1752-1755.
- Etesami, H., HA. Alikhani, & HM. Hosseini. 2015. Indole-3-acetic acid (IAA) production trait, a useful screening to select endophytic and rhizosphere competent bacteria for rice

- growth promoting agents. *Methods X2*: 72-78.
- Guo, H., S. Luo, L. Chen, X. Xiao, Q. Xi, W. Wei, & Y. He. 2010. Bioremediation of heavy metals by growing hyperaccumulaor endophytic bacterium *Bacillus* sp. L14. *Bioresource Technology* 101(22): 8599-8605.
- Gurikar, C., MK. Naik, & MY. Sreenivasa. 2016. *Azotobacter*: PGPR Activities with special reference to effect of pesticides and biodegradation. In Singh, D. P., Singh, H. B., & Prabha, R. (Eds.) *Microbial inoculants in sustainable agricultural productivity*. India: Springer.
- Hoyos-Carvajal, L., S. Orduz, & J. Bissett. 2009. Growth stimulation in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by *Trichoderma*. *Biological Control* 51(3): 409-416.
- Kapri, A., & L. Tewari. 2010. Phosphate solubilization potential and phosphatase activity of rhizospheric *Trichoderma* spp. *Brazilian Journal of Microbiology* 41(3): 787-795.
- Kim, WG., HY. Weon, SJ. Seok, & KH. Lee. 2008. In vitro antagonistic characteristics of bacilli isolates against *Trichoderma* spp. and three species of mushrooms. *Mycobiology* 36(4): 266-269.
- Ma, X. K., Ding, N., EC. Peterson & Daugulis, AJ. 2016. Heavy metals species affect fungal-bacterial synergism during the bioremediation of fluoranthene. *Applied Microbiology and Biotechnology* 100(17): 7741-7750.
- Molla, AH., MM. Haque, MA. Haque, & GNM. Ilias. 2012. *Trichoderma*-enriched biofertilizer enhances production and nutritional quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and minimizes NPK fertilizer use. *Agricultural Research* 1(3): 265-272.
- Murphy, JAMES., & JP. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta* 27: 31-36.
- Pérez-Montaña, F., C. Alias-Villegas, RA. Bellogín, P. Del Cerro, MR. Espuny, I. Jiménez-Guerrero, & T. Cubo. 2014. Plant growth promotion in cereal and leguminous agricultural important plants: from microorganism capacities to crop production. *Microbiological Research* 169 (5): 325-336.
- Samsundari, S. & I. Perwira. 2011. Kajian dampak pencemaran logam berat di daerah sekitar luapan lumpur Sidoarjo terhadap kualitas air dan budidaya perikanan. *Jurnal GAMMA* 6(2): 129-136.
- Sannasi, P., J. Kader, BS. Ismail, & S. Salmijah. 2006. Sorption of Cr (VI), Cu (II) and Pb (II) by growing and non-growing cells of a bacterial consortium. *Bioresource Technology* 97(5): 740-747.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 1986. Method 9065 Phenolics (Spectrophotometric, manual 4-AAP with distillation).
- Wahyudi, AT., RP. Astuti, A. Widyawati, A. Mery, & AA. Nawangsih. 2011. Characterization of *Bacillus* sp. strains isolated from rhizosphere of soybean plants for their use as potential plant growth for promoting rhizobacteria. *Journal of Microbiology and Antimicrobials* 3(2): 34-40.
- Wei, X., L. Fang, P. Cai, Q. Huang, H. Chen, W. Liang, & X. Rong. 2011. Influence of extracellular polymeric substances (EPS) on Cd adsorption by bacteria. *Environmental Pollution* 159(5): 1369-1374.

