

Studi Literatur Bioremediasi Tanah Terkontaminasi Kromium di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto Menggunakan Bakteri *Azotobacter S8* dan *Bacillus substillis*

Muhammad Awaluddin dan Bieby Vojjant Tangahu
Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: awaluddin0324@gmail.com

Abstrak—Kromium banyak digunakan pada industri *electroplating*, industri logam, industri tekstil, dan penyamakan kulit juga pada pupuk dan pestisida. Pemetaan konsentrasi kromium pada tanah di wilayah Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto menunjukkan bahwa seluruh tanah mengandung konsentrasi kromium melebihi baku mutu TK-C PP 101 Tahun 2014 yang artinya tercemar dan wajib dikelola. Bioremediasi merupakan salah satu alternatif pengolahan yang dapat digunakan karena relatif lebih ramah lingkungan serta dapat memperbaiki sebuah lahan tercemar secara menyeluruh. *Bacillus subtilis* dan *Azotobacter S8* merupakan bakteri yang resisten dan dapat digunakan sebagai agen bioremediasi logam berat kromium. Studi literatur ini mengkaji berbagai pustaka yang berkaitan dengan kromium, pencemaran tanah oleh kromium, bioremediasi, bakteri *Azotobacter S8* dan *Bacillus subtilis* serta Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto. Hasil tabulasi pustaka digunakan untuk menganalisis dan membahas penyelesaian dari permasalahan studi kasus di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto. Hasil dari studi literatur ini yaitu potensi kontaminasi kromium pada tanah di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto diakibatkan sektor pertanian sebesar 57,2% dan sektor industri berpotensi 23,6% terhadap luas total Kecamatan Jetis. Kemampuan degradasi kromium pada tanah oleh bakteri *Bacillus subtilis* lebih baik dari bakteri *Azotobacter S8* yaitu sebesar 95-98% dengan konsentrasi dan waktu kontak yang sama. Prioritas remediasi pada Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto dilakukan pada Desa Mojojebak menggunakan teknik bioremediasi *in-situ* dengan bioaugmentasi bakteri *Bacillus subtilis* selama 14 hari dan volume bakteri yang dibutuhkan sebesar 372,6 m³.

Kata Kunci—*Azotobacter S8*, *Bacillus Subtillis*, Bioremediasi, Kromium, Kecamatan Jetis.

I. PENDAHULUAN

KROMIUM di alam umumnya ada dalam dua bentuk yaitu Cr³⁺ dan Cr⁶⁺ [1]. Cr⁶⁺ merupakan bentuk yang tidak stabil, dan sering ditemukan sebagai kromat (CrO₄)²⁻ atau dikromat (Cr₂O₇)²⁻. Sedangkan Cr³⁺ lebih cenderung teradsorb di permukaan tanah atau terendapkan dalam bentuk kromium hidroksida [2]. Kromium merupakan salah satu logam berat yang banyak digunakan pada industri *electroplating*, industri logam, penyamakan kulit, pendingin air, *pulp*, pemurnian bijih, serta *petroleum* [3], [4]. Selain itu, keberadaan logam kromium dapat muncul disebabkan oleh penggunaan pestisida dan kompos pada kegiatan pertanian [5].

Hasil pemetaan persebaran kromium pada tanah di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto menunjukkan bahwa kandungan kromium pada tanah bervariasi mulai dari 2,4167 mg/kg hingga 62,7 mg/kg dengan rata-rata konsentrasi

kromium sebesar 10,5 mg/kg [6]. Baku mutu TK-C menetapkan konsentrasi kromium pada tanah sebesar 1 mg/kg. Apabila melebihi konsentrasi tersebut artinya tanah wajib dikelola sesuai dengan pengelolaan limbah non B3 [7]. Maka diperlukan adanya pengolahan pencemaran kromium pada tanah di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto.

Pengolahan pencemaran kromium pada tanah dapat dilakukan dengan pengolahan fisik-kimia atau pengolahan biologis baik fitoremediasi maupun bioremediasi. Pengolahan biologis (bioremediasi) relatif lebih ramah lingkungan karena limbah yang dihasilkan lebih sedikit daripada pengolahan fisik-kimia [8]. Bioremediasi juga dapat memperbaiki sebuah lahan tercemar secara menyeluruh [9]. *Bacillus subtilis* dan *Azotobacter S8* merupakan bakteri yang resisten dan dapat digunakan sebagai agen bioremediasi logam berat kromium.

Studi literatur mengenai pengolahan tanah tercemar kromium di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto dengan metode bioremediasi menggunakan bakteri belum dilakukan. Sehingga tujuan dari studi literatur ini adalah menentukan mekanisme kontaminasi kromium pada tanah di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto, menentukan kemampuan bakteri *Azotobacter S8* dan *Bacillus subtilis* dalam meremediasi kontaminasi kromium pada tanah dan menentukan mekanisme bioremediasi tanah terkontaminasi kromium di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto.

II. METODOLOGI STUDI

A. Metode Studi

Dalam penyusunan studi literatur ini dilakukan melalui dua tahap, meliputi kajian pustaka tentang pokok bahasan yang direncanakan dan analisis hasil pustaka terhadap studi kasus. Tahap pertama yaitu melakukan kajian pustaka yang berhubungan dengan pokok bahasan studi ini meliputi kromium, pencemaran tanah oleh kromium, bioremediasi, bakteri *Azotobacter S8* dan *Bacillus subtilis* dan Kecamatan Jetis. Hasil dari penelusuran kajian pustaka selanjutnya disusun kembali menggunakan bahasa penulis sendiri. Jenis kepustakaan yang dipelajari meliputi buku teks, jurnal, laporan penelitian, peraturan pemerintah, dokumen pemerintah, dan *website*.

Tahap kedua yaitu studi kasus. Pembahasan studi kasus dalam penulisan studi ini adalah tinjauan kasus pencemaran tanah oleh kromium di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto dengan referensi dari berbagai pustaka yang telah dipelajari. Data yang diambil mengenai kasus tersebut adalah data sekunder yang diperoleh dari jurnal, laporan penelitian,



Gambar 1. Peta Kecamatan Jetis.



Gambar 2. Peta Persebaran Kromium.

Tabel 1.
Rata-Rata Konsentrasi Kromium Tiap Desa

Desa	Rata-Rata Konsentrasi Kromium (Mg/Kg)
Mlirip	8,8
Penompo	9,1
Canggu	7,7
Ngabar	11,8
Banjarsari	15,2
Sawo	9,5
Mojorejo	7,6
Jolotundo	8,9
Kupang	10,6
Bendung	14
Mojoleblak	15,9
Perengan	11,7
Jetis	9,5
Perning	11,4
Sidorejo	12,8
Lakardowo	3,2
Rata-Rata	10,5

peraturan pemerintah dan dokumen pemerintah. Kemudian hasil telaah pustaka yang telah dikumpulkan digunakan untuk menganalisis dan membahas permasalahan pada studi kasus sehingga menjawab tujuan serta didapatkan hasil dan kesimpulan.

III. HASIL STUDI DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum Wilayah Studi

Kecamatan Jetis merupakan salah satu kecamatan di Kabupaten Mojokerto. Letak Kecamatan Jetis 10 Km sebelah utara dari pusat Pemerintahan Kabupaten Mojokerto. Kecamatan Jetis memiliki luas wilayah seluas 56,28 km² dan tinggi rata-rata dari permukaan laut +38 m. Peta Kecamatan Jetis dapat dilihat pada Gambar 1. Secara administratif, Kecamatan Jetis berbatasan dengan daerah sebagai berikut:

- 1) Sebelah Utara : Kecamatan Dawar Blandong
- 2) Sebelah Selatan : Kota Mojokerto

- 3) Sebelah Timur : Kabupaten Gresik dan Kabupaten
- 4) Sidoarjo
- 5) Sebelah Barat : Kecamatan Gedeg

Kecamatan Jetis memiliki 16 desa, 79 dusun, 126 RW dan 485 RT dengan jumlah penduduk mencapai 85.482 jiwa. Wilayah desa yang termasuk dalam kecamatan ini antara lain Desa Mlirip, Penompo, Canggu, Jetis, Ngabar, Mojolebak, Perning, Banjarsari, Sawo, Kupang, Perning, Paringan, Sidorejo, Lakardowo, Bendung, Jolotundo, dan Mojorejo. Kegiatan ekonomi utama di Kecamatan Jetis adalah pertanian. Penggunaan lahan untuk sektor pertanian mencapai 3217 Ha atau 32,17 Km². Selain sektor pertanian, sektor industri juga mendominasi di Kecamatan Jetis baik industri skala besar dan sedang maupun industri skala kecil atau UMKM. Terdapat 33 industri sedang dan besar terdiri dari 3 industri makanan dan minuman, 3 industri tekstil, 8 industri furniture, 7 industri kimia, 2 industri galian non logam, 5 industri logam dasar, 2 industri elektronik dan 6 industri pengolahan lainnya [10].

Pemetaan persebaran kromium pada tanah di wilayah Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto telah dilakukan. Pemetaan menggunakan metode transek 1x1 km dengan ring sampling pada kedalaman 20 cm. Hasil pemetaan menunjukkan bahwa seluruh tanah di wilayah Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto mengandung konsentrasi logam kromium yang beragam mulai dari 2,4167 hingga 62,7 mg/kg dengan rata rata konsentrasi keseluruhan sebesar 10,5 mg/kg. Konsentrasi tersebut melebihi baku mutu tanah terkontaminasi TK-C PP No. 101 Tahun 2014 sebesar 1 mg/kg yang artinya tercemar dan harus dikelola sesuai dengan pengelolaan limbah non B3 [6]. Peta persebaran kromium dapat dilihat pada Gambar 2. Rata-rata konsentrasi kromium tiap desa dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 2.
Konsentrasi kromium pada pupuk (mg/kg)

Unsur	Pupuk Fosfat	Pupuk Nitrat	Pupuk Kandang	Kapur
Cr	66–245	3,2–12	1,1–5	10–15

Informasi mengenai peta tersebut adalah sebagai berikut:

- 1) Area berwarna abu-abu, nilai konsentrasi tidak terdaftar, itu berarti pada titik ini pengambilan sampel tidak boleh dilakukan.
- 2) Area berwarna kuning muda, nilai konsentrasi mulai dari 0 mg/kg hingga 5 mg/kg.
- 3) Area berwarna kuning gelap, nilai konsentrasi berkisar dari 5 mg/kg hingga 10 mg/kg.
- 4) Area berwarna oranye, nilai konsentrasinya mulai dari 10 mg / kg hingga 20 mg / kg.
- 5) Area berwarna merah, nilai konsentrasi lebih dari 20 mg / kg.

B. Mekanisme Pencemaran Kromium

Secara dinamis, polutan terus bergerak didalam media air, udara maupun tanah. Terdapat dua perpindahan polutan pada media tanah yang dapat terjadi yaitu ketika polutan bertambah dan polutan berkurang. Polutan bertambah dikarenakan penggunaan barang berpotensi mencemari tanah, pengendapan dari udara, *runoff* dari hujan dan difusi atau adveksi dari lapisan atau air tanah. Sedangkan polutan berkurang karena volatilisasi, berpindah ke tanaman, erosi dan perubahan kondisi fisik, kima dan biologi [11].

Kromium banyak digunakan oleh industri, diantaranya industri *electroplating*, industri logam, penyamakan kulit [4]. Pada industri baja, krom digunakan pada proses *hard chromium plating* yang bertujuan untuk meningkatkan waktu penggunaan alat agar tahan terhadap korosi, gesekan tinggi, pemakaian abrasif serta pengelupasan. Kromium juga digunakan pada proses *sand blasting* [12]. Pada industri tekstil digunakan natrium kromat dan dikromat sebagai pewarna dan bahan pengawetan. Hal ini dilakukan untuk mencegah adanya korosi pada peralatan otomotif, alat mengandung metal dan *furniture* [13]. Pada industri penyamakan kulit digunakan senyawa kromium sulfat antara 60–70%. Dalam bentuk ini, tidak seluruh kromium sulfat dapat terserap kedalam kulit pada proses penyamakan [14].

Hasil Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan Dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup Tahun 2018-2019 menunjukkan bahwa hanya 4 industri pengguna kromium yang memiliki proper hijau dari 17 industri [15]. Penilaian ini berkaitan erat dengan upaya pengelolaan lingkungan dan parameter utama adalah effluent limbah yang dihasilkan. Data tersebut menunjukkan bahwa potensi pencemaran yang sangat besar dari industri-industri yang menggunakan kromium pada proses produksinya. Mengingat pengolahan effluent limbah yang dihasilkan belum memenuhi bahkan bisa juga tidak dilakukan. Effluent limbah yang dihasilkan masih mengandung krom yang dapat mencemari lingkungan sekitar apabila masuk ke dalam badan air kemudian mengalir melalui saluran irigasi dan masuk ke area pemukiman atau lahan pertanian warga.

Selain itu, keberadaan logam kromium dapat muncul disebabkan oleh penggunaan pestisida dan kompos pada kegiatan pertanian. Beberapa jenis pupuk juga mengandung

Tabel 3.
Penilaian Aspek Bioremediasi Tiap Desa

Desa	Rata-Rata Konsentrasi Kromium (Mg/Kg)	Luas Sawah (m ²)	Luas Non Sawah (m ²)
Milirip	8,8	286966	198831
Penompo	9,1	923165	536383
Canggu	7,7	780500	1444759
Ngabar	11,8	1083310	1117892
Banjarsari	15,2	782620	916741
Sawo	9,5	1119280	162278
Mojorejo	7,6	1137984	1856526
Jolotundo	8,9	1290179	1136052
Kupang	10,6	550727	1016606
Bendung	14	775595	2332819
Mojojeblok	15,9	1502753	1652122
Perengan	11,7	511901	765461
Jetis	9,5	268950	474100
Perning	11,4	1259000	131496
Sidorejo	12,8	725110	2744238
Lakardowo	3,2	872381	1811210
Rata-Rata	10,5	866901	1143595

kromium [5]. Konsentrasi kromium pada pupuk dapat dilihat pada Tabel 2.

Penggunaan pupuk bersubsidi Kecamatan Jetis tahun 2014 sebesar 4280 ton dalam setahun. Dengan rincian, 1175 ton urea, 255 ton SP-36, 1015 ton Za, 1290 ton NPK dan 545 organik [16]. Pupuk urea mengandung 46% nitrogen, 1% biuret, dan 0,05% air. Pupuk za mengandung 20,8% nitrogen, 23,8% fosfat, 1% air dan 0,1% H₂SO₄. Pupuk NPK mengandung 16% nitrogen, 16% fosfat, 16% kalium 0,5% magnesium dan 6% kalsium. Pupuk SP-36 mengandung 36% fosfat, 34 % fosfat larut asam sitrat, 30% fosfat larut dalam air, 5% air dan 6% asam bebas. Sedangkan pupuk organik mengandung C-organik 15%, kadar air 8-20%, dan C/N ratio 15-25.

Mengacu pada data penggunaan pupuk dan kandungan kromium pada masing masing pupuk, maka terdapat potensi akumulasi kromium dari penggunaan pupuk yang dilakukan terus menerus dalam jumlah yang besar pada area pertanian. Luas area pertanian di Kecamatan Jetis mencapai 32,17 Km². Sedangkan luas area industri sebesar 13,28 Km². Sehingga, apabila dibandingkan dengan luas Kecamatan Jetis, potensi pencemaran sektor pertanian sebesar 57,2% sedangkan sektor industri 23,6%.

C. Prioritas Lokasi Bioremediasi

Pemilihan lokasi dilakukan karena persebaran konsentrasi kromium di Kecamatan Jetis yang beragam. Pemilihan lokasi mengacu pada wilayah administrasi setiap desa di Kecamatan Jetis untuk memudahkan proses dilakukannya bioremediasi. Pemilihan lokasi mempertimbangkan 2 aspek yaitu:

1) Konsentrasi pencemar

Aspek ini dipilih karena konsentrasi kromium di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto beragam dan kondisi tiap desa yang berbeda-beda. Sehingga, tidak seluruh wilayah Kecamatan Jetis akan di remediasi secara bersamaan. Desa yang dipilih merupakan desa yang memiliki konsentrasi kromium rata-rata tertinggi dan melebihi konsentrasi kromium rata-rata seluruh wilayah Kecamatan Jetis. Pemilihan lokasi ini juga bisa dijadikan sebagai *trial and error* penerapan bioremediasi menggunakan bakteri di Kecamatan Jetis sebelum dilakukan secara menyeluruh dalam satu wilayah.

2) Luas lahan pertanian (sawah dan non sawah)

Potensi kontaminasi kromium pada tanah di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto akibat kegiatan pertanian mencapai 57,2% terhadap luas total Kecamatan Jetis. Diketahui bahwa luas lahan pertanian baik sawah maupun non sawah di Kecamatan Jetis mencapai 3217 ha atau 32,17 km² melebihi setengah dari luas keseluruhan Kecamatan Jetis sebesar 56,28 km². Tentunya, hal ini harus menjadi perhatian mengingat kegiatan pertanian terus berlangsung karena merupakan kegiatan ekonomi utama dan luasan zona pencemaran yang sangat luas.

Berdasarkan Tabel 3, desa yang dijadikan prioritas untuk dilakukan bioremediasi yaitu Desa Mojojeblak. Desa Mojojeblak dipilih karena konsentrasi rata-rata kromium pada Desa tersebut sebesar 15,9 mg/kg (urutan 1). Disamping itu, luas sawah di Desa Mojojeblak mencapai 1.502.753 m² (urutan 1) dan luas non sawah mencapai 1.652.122 m² (urutan 6). Kedua aspek tersebut melebihi nilai rata-rata luas sawah maupun non-sawah Kecamatan Jetis.

D. Aplikasi Bioremediasi

Kajian dan penelitian terhadap bakteri *indigenous* yang terdapat dalam tanah di Desa Mojojeblak belum dilakukan. Sedangkan kajian dan penelitian kemampuan bakteri *exogenous* telah banyak dilakukan dan memiliki tingkat degradasi yang tinggi untuk meremoval kromium pada tanah. Beberapa bakteri yang sering digunakan adalah *Azotobacter S8* dan *Bacillus subtilis*.

Azotobacter S8 merupakan bakteri yang memiliki berbagai macam ukuran dan bentuk, termasuk bakteri gram negatif, *polymorphic*, serta merupakan bakteri fiksasi nitrogen. *Azotobacter S8* adalah bakteri yang berlimpah di tanah, perairan, maupun sedimen [17]. Kemampuan *Azotobacter* dalam melakukan penyisihan logam berat disebabkan oleh adanya komponen polimer ekstraseluler bernama eksopolisakarida (EPS) yang dalam hal ini memiliki sifat mengikat polutan logam [18].

Bacillus subtilis merupakan jenis bakteri gram positif dan berbentuk basil (batang). *Bacillus substillis* merupakan bakteri aerobik yang membutuhkan kadar oksigen tinggi [19]. *Bacillus* memiliki sifat yang menguntungkan karena dapat hidup dalam waktu lama pada kondisi lingkungan yang kurang mendukung pertumbuhannya. *Bacillus* mampu bertahan hidup di lokasi yang tercemar oleh logam berat. Logam berat yang terdapat di lokasi tersebut akan diabsorpsi oleh *Bacillus* karena kemampuannya dalam bioabsorpsi [4].

Berdasarkan Tabel 4, diketahui bahwa baik bakteri *Azotobacter S8* maupun *Bacillus subtilis* merupakan bakteri yang resisten terhadap logam kromium. Pada media tanah, tingkat removal bakteri *Azotobacter S8* maupun *Bacillus subtilis* masing-masing memiliki persentase penyisihan kromium yang tinggi. *Azotobacter S8* mampu menyisihkan sebesar 90% dengan konsentrasi awal sebesar 73,8 mg/kg selama 14 hari. Sedangkan *Bacillus subtilis* mampu menyisihkan sebesar 98% dengan konsentrasi awal 75 mg/kg selama 14 hari. Berikut perhitungan tingkat removal dari masing masing bakteri:

- 1) Konsentrasi kromium rata-rata di Desa Mojojeblak sebesar 15,9 mg/kg.
- 2) Baku Mutu TK-C PP No. 101 Tahun 2014 sebesar 1 mg/kg.

Tabel 4.
Tabulasi Hasil Penelitian

No	Bak-teri	Media	Konsentrasi	Efisi-ensi	Waktu	Ruju-kan
1	B*	Pasir	36,6 mg/kg	11%	14 hari	[8]
2	A*	Pasir	34,98 mg/kg	23%	14 hari	[8]
3	B	Tanah	58,6 mg/kg	95%	10 hari	[22]
4	A	Tanah	51,36 mg/kg	92%	10 hari	[23]
5	B	Tanah	75 mg/kg	98%	14 Hari	[2]
6	A	Tanah	73,8 mg/kg	90%	14 hari	[24]
7	B	Tanah	23,7 mg/kg	55%	48 jam	[25]
8	A	Tanah	27,5 mg/kg	25%	36 jam	[26]
9	B	Agar	600 mg/l	Resisten	-	[27]
10	A	Agar	300 mg/l	Resisten	-	[28]

*B: *Bacillus substillis*

A: *Azotobacter S8*

- 3) Tingkat removal bakteri *Bacillus substillis* 98 % selama 14 hari [2]
- 4) Konsentrasi akhir = $15,9 - (15,9 \times 98\%)$
= $15,9 - 15,582$
= 0,318 mg/kg (memenuhi)
- 5) Tingkat removal bakteri *Azotobacter S8* 92 % selama 14 hari [20]
- 6) Konsentrasi akhir = $15,9 - (15,9 \times 90\%)$
= $15,9 - 14,31$
= 1,59 mg/kg (belum memenuhi)

Dalam kurun waktu dan kontaminan yang sama, bakteri *Bacillus substillis* memiliki tingkat removal yang lebih tinggi daripada *Azotobacter S8*. Sehingga, untuk medegradasi kromium pada tanah di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto dilakukan bioagmentasi bakteri *Bacillus substillis* selama 14 hari untuk memenuhi baku mutu yang ditetapkan.

Aplikasi bioremediasi di Desa Mojojeblak apabila melihat luas lahan tercemar yang akan diremediasi seluas 3,1 km² dan kontaminasi kromium karena penggunaan barang yang mengandung kromium itu sendiri serta pergerakan dan distribusi pencemar yang hanya pada cangkupan zona pencemaran saja (lahan pertanian itu sendiri). Maka bioremediasi pada Desa Mojojeblak dilakukan secara in-situ untuk memudahkan dalam proses bioremediasi dan menghemat biaya yang digunakan.

Hasil penelitian skala laboratorium menjelaskan bahwa jumlah bakteri yang digunakan sebanyak 10% dari volume total (v/v) [2]. Karena bioremediasi ini diplikasikan langsung pada tanah tanpa wadah, maka volume tanah total dijadikan sebagai volume total yang akan di remediasi. Apabila diaplikasikan secara langsung, proses bioremediasi harus memperhatikan porositas tanah yang akan diolah. Porositas total tanah adalah persentase volume total pori tanah terhadap volume total tanah atau dengan kata lain porositas adalah bagian dari volume tanah (dalam persen) yang tidak ditempati oleh padatan tanah. Ruang inilah yang nanti akan ditempati oleh mikroorganisme, air maupun partikel zat lainnya [21]. Porositas tanah sawah sebesar 62,1% [22]. Penelitian lain dengan *pilot scale* menggunakan metode bioremediasi *in situ* menggunakan media pasir dan air tercemar menjelaskan bahwa jumlah bakteri yang digunakan sebesar 2% dari volume cairan dalam media pasi atau volume ruang kosong didalam media [6].

Berdasarkan beberapa uraian diatas, maka dilakukan perhitungan untuk mengetahui jumlah bakteri yang dibutuhkan untuk meremediasi tanah di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto. Diketahui bahwa:

- 1) Luas zona = $1,5 \text{ Km}^2 = 1.500.000 \text{ m}^2$
- 2) Kedalaman = $20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$
- 3) Volume = $1.500.000 \text{ m}^2 \times 0,2 \text{ m}$
= 300.000 m^3
- 4) 10% = $10\% \times 300.000 \text{ m}^3$
= 30.000 m^3
- 5) Porositas tanah = $62,1 \%$
- 6) Volume pori = $62,1 \% \times 30.000 \text{ m}^3$
= 18.630 m^3
- 7) Volume bakteri = $2\% \times 18.630 \text{ m}^3$
= $372,6 \text{ m}^3$

Karena cakupan zona remediasi dan jumlah bakteri yang dibutuhkan untuk meremediasi seluruh lahan pertanian di Desa Mojojeblak, Kecamatan Jetis sangat besar, maka dalam pelaksanaannya proses bioremediasi tidak dilakukan secara langsung bersamaan namun bertahap dari zona-zona dalam transek dengan konsentrasi kromium tertinggi di Desa Mojojeblak. Tahapan yang pertama dilakukan adalah pengemburan lahan pertanian dengan kedalaman 20 cm menggunakan cangkul atau alat bajak. Pengemburan ini dilakukan untuk memperbesar porositas tanah sehingga dapat menyediakan ruang yang banyak untuk pertumbuhan kultur bakteri [22]. Kemudian, zona tanah disiapkan maka selanjutnya dilakukan produksi skala besar volume kultur bakteri yang akan digunakan pada laboratorium. Bakteri *Bacillus subtilis* merupakan bakteri yang mudah dan cepat dikembangkan dalam *nutrient broth* karena resisten dan memiliki laju pertumbuhan yang cepat. Kultur bakteri yang ditanam pada media tanah harus mencapai $\text{OD}=0,5-1$ [8].

Setelah didapatkan kultur bakteri sesuai dengan hasil penelitian terdahulu, kultur bakteri kemudian disempatkan pada tanah menggunakan *sprayer*. Bakteri *Bacillus subtilis* merupakan jenis bakteri aerobik. Untuk meningkatkan proses heterotrofik kromium, dalam pelaksanaannya di lapangan diperlukan adanya sirkulasi udara untuk meningkatkan kadar oksigen dalam tanah. Karena zona yang akan di remediasi sangat luas dan merupakan lahan pertanian serta kedalaman tanah hanya 20 cm dari permukaan, maka proses sirkulasi udara dilakukan secara manual menggunakan cangkul. Proses aerasi dilakukan setiap 2 hari sekali selama proses kontak 14 hari [8].

Selama proses bioremediasi berlangsung juga dilakukan pemantauan terhadap faktor faktor yang mempengaruhi pertumbuhan bakteri setiap 2 hari sekali seperti pH, suhu dan kelembapan tanah. Sedangkan untuk parameter total penurunan kromium dan jumlah koloni dilakukan pada hari ke 0 dan 14 [23]. Selain itu, kebutuhan nutrisi dasar yang mempengaruhi proses bioremediasi seperti nitrogen, fosfor dan kalium juga harus diperhatikan untuk menjamin proses bioremediasi berjalan baik dan menghasilkan tingkat removal yang tinggi. Kondisi di beberapa ekosistem yang terkontaminasi, keberadaan nutrisi menjadi faktor pembatas dalam proses biodegradasi. Kebanyakan eksperimen laboratorium yang telah dilakukan menunjukkan bahwa penambahan nutrisi yakni nitrogen dan fosfat dapat meningkatkan laju biodegradasi. Akan tetapi, jenis dan konsentrasi nutrisi optimal bervariasi bergantung pada zat kontaminan dan konsisi lingkungan [24].

IV. KESIMPULAN

Potensi kontaminasi kromium pada tanah di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto diakibatkan sektor pertanian sebesar 57,2% dan sektor industri sebesar 23,6% terhadap luas total Kecamatan Jetis. Kemampuan degradasi kromium pada tanah oleh bakteri *Bacillus subtilis* lebih baik dari bakteri *Azotobacter S8* yaitu sebesar 95-98% dengan konsentrasi dan waktu kontak yang sama. Prioritas remediasi pada Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto dilakukan pada Desa Mojojeblak menggunakan teknik bioremediasi *in-situ* dengan bioaugmentasi bakteri *Bacillus subtilis* selama 14 hari dan volume bakteri yang dibutuhkan sebesar $372,6 \text{ m}^3$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Kaur, A. Kumar, and H. Kaur, "Bioremediation of hexavalent chromium in wastewater effluent by *Pseudomonas putida* (MTCC 102)," *Int. J. Res.*, vol. 1, no. 4, pp. 2311–2484, 2014.
- [2] B. Dhal, H. N. Thatoi, N. N. Das, and B. D. Pandey, "Chemical and microbial remediation of hexavalent chromium from contaminated soil and mining/metallurgical solid waste: a review," *J. Hazard. Mater.*, vol. 250, pp. 272–291, 2013.
- [3] N. K. Suminten, I. W. Sudiarta, and I. N. Simpen, "Adsorpsi ion logam cr (iii) pada silika gel dari abu sekam padi termodifikasi ligan difenilkarbazon (si-dpzon)," *J. Kim.*, vol. 8, no. 2, pp. 231–236, 2014.
- [4] M. Oves, M. S. Khan, and A. Zaidi, "Chromium reducing and plant growth promoting novel strain *Pseudomonas aeruginosa* OSG41 enhance chickpea growth in chromium amended soils," *Eur. J. Soil Biol.*, vol. 56, pp. 72–83, 2013.
- [5] M. Manurung, Y. Setyo, and N. Suandewi, "Akumulasi logam berat krom (cr) pada tanaman kentang (*solanum tuberosum* L.) akibat pemberian pestisida, pupuk organik dan kombinasinya," *J. Kim.*, vol. 12, no. 2, pp. 165–172, 2018.
- [6] B. V. Tangahu, A. A. G. Kartika, A. A. Maulana, F. Nugraha, and S. R. S. Abdullah, "Biodegradasi sifat toksik logam berat krom dalam limbah cair industri," *Technol. Reports Kansai Univ.*, vol. 62, no. 3, 2020.
- [7] Pemerintahan Republik Indonesia, "Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 101 Tahun 2014 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun," Jakarta, 2014.
- [8] I. F. Purwanti, S. B. Kurniawan, B. V. Tangahu, and N. M. Rahayu, "Bioremediation of trivalent chromium in soil using bacteria," *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 12, no. 20, pp. 9346–9350, 2017.
- [9] R. J. Evelynne and V. Ravisankar, "Bioremediation of chromium contamination-a review," *Int. J. Res. Earth Environ. Sci.*, vol. 1, 2014.
- [10] Badan Pusat Statistik, *Kecamatan Jetis Dalam Angka. Mojokerto: BPS Kabupaten Mojokerto*. 2019.
- [11] T. E. McKone, "Mass Transport within Soils," in *Environmental Mass Transfer Handbook*, Berkeley, CA, 2009.
- [12] M. Yahya, "Pemanfaatan Limbah Industri Baja (Blast Furnace Iron Slag) sebagai Bahan Bangunan Studi Kasus: PT. Barawaja Makassar." Prosiding Temu Ilmiah IPLB, 2013.
- [13] M. Nahadi, M. Hernani, and F. Khoirunnisa, "Biodegradasi Sifat Toksik Logam Berat Krom Dalam Limbah Cair Industri," *J. Pengajaran MIPA*, vol. 6, no. 2, pp. 63–71, 2005.
- [14] A. Asmadi, S. Endro, and W. Oktiawan, "Pengurangan chrom (Cr) dalam limbah cair industri kulit pada proses tannery menggunakan senyawa alkali Ca (OH) 2, NaOH dan NaHCO3 (Studi Kasus PT. Trimulyo Kencana Mas Semarang)," *J. Air Indones.*, vol. 5, no. 1, 2009.
- [15] Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, *Surat Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia nomor 1049 tentang Hasil Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan Dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup Tahun 2018-2019*. Jakarta, Indonesia, 2019.
- [16] Pemerintah Kabupaten Mojokerto, *Peraturan Bupati Mojokerto Nomor 46. Mojokerto*. 2014.
- [17] L. Aquilanti, F. Favilli, and F. Clementi, "Comparison of different strategies for isolation and preliminary identification of *Azotobacter* from soil samples," *Soil Biol. Biochem.*, vol. 36, no. 9, pp. 1475–1483, 2004.
- [18] R. H. Erni, "Biosorpsi kadmium dan komposisi eksopolisakarida *azotobacter* sp pada dua konsentrasi cdcl2," *Agrinimal*, vol. 1, no. 1,

- pp. 33–37, 2011.
- [19] Z. Zheng *et al.*, “A *Bacillus subtilis* strain can reduce hexavalent chromium to trivalent and an *nfrA* gene is involved,” *Int. Biodeterior. Biodegradation*, vol. 97, pp. 90–96, 2015.
- [20] T. Srinath, T. Verma, P. W. Ramteke, and S. K. Garg, “Chromium (VI) biosorption and bioaccumulation by chromate resistant bacteria,” *Chemosphere*, vol. 48, no. 4, pp. 427–435, 2002.
- [21] G. Soepardi, *Sifat dan ciri tanah*. 1983.
- [22] H. Suganda, H. Kusnadi, and U. Kurnia, “Pengaruh arah barisan tanaman dan bedengan dalam pengendalian erosi pada budidaya sayuran dataran tinggi,” *J. Tanah dan Iklim*, vol. 17, pp. 55–64, 1999.
- [23] A. Deepali, “Bioremediation of Chromium (VI) from textile industry’s effluent and contaminated soil using *Pseudomonas putida*,” *Iran. J. Energy Environ.*, vol. 2, no. 1, pp. 24–31, 2011.
- [24] X. Zhu *et al.*, “Guidelines for the bioremediation of marine shorelines and freshwater wetlands,” in *Environmental Protection*, 2001, p. 163,