



TUGAS AKHIR - RE 184804

**STUDI LITERATUR BIOREMEDIASI TANAH
TERKONTAMINASI KROMIUM DI KECAMATAN
JETIS, KABUPATEN MOJOKERTO
MENGUNAKAN BAKTERI *AZOTOBACTER S8*
DAN *BACILLUS SUBTILLIS***

MUHAMMAD AWALUDDIN
NRP. 0321164000011

DOSEN PEMBIMBING
Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD.
NIP. 19710818 199703 2 001

Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



TUGAS AKHIR - RE 184804

**STUDI LITERATUR BIOREMEDIASI TANAH
TERKONTAMINASI KROMIUM DI KECAMATAN
JETIS, KABUPATEN MOJOKERTO
MENGUNAKAN BAKTERI *AZOTOBACTER S8*
DAN *BACILLUS SUBTILLIS***

MUHAMMAD AWALUDDIN
NRP. 0321164000011

DOSEN PEMBIMBING
Bieby Vojant Tangahu, ST., MT., PhD.
NIP. 19710818 199703 2 001

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



FINAL PROJECT - RE 184804

**LITTERATURE STUDY OF BIOREMEDIATION
CHROMIUM CONTAMINATED SOILS IN JETIS SUB-
DISTRICT, MOJOKERTO DISTRICT USING
AZOTOBACTER S8 AND BACILLUS SUBTILLIS
BACTERIA**

MUHAMMAD AWALUDDIN
0321164000011

SUPERVISOR
Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD.
NIP. 19710818 199703 2 001

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil, Planning and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

HALAMAN PENGESAHAN

STUDI LITERATUR BIOREMEDIASI TANAH TERKONTAMINASI KROMIUM DI KECAMATAN JETIS, KABUPATEN MOJOKERTO MENGGUNAKAN BAKTERI *AZOTOBACTER S8* DAN *BACILLUS SUBTILLIS*

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUHAMMAD AWALUDDIN

NRP. 0321164000011

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD.

NIP. 19710818 199703 2 001



Studi Literatur Bioremediasi Tanah Terkontaminasi Kromium Di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto Menggunakan Bakteri *Azotobacter S8* Dan *Bacillus subtilis*

Nama : Muhammad Awaluddin
NRP : 0321164000011
Departemen : Teknik Lingkungan, FTSPK ITS
Dosen Pembimbing : Bieby Vojant Tangahu, ST., MT., PhD.

ABSTRAK

Kromium di alam umumnya ada dalam dua bentuk yaitu Cr^{3+} dan Cr^{6+} . Kromium banyak digunakan pada industri *electroplating*, industri logam, industri tekstil dan penyamakan kulit juga pada pupuk dan pestisida. Pemetaan konsentrasi pencemar menunjukkan seluruh tanah di wilayah Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto mengandung konsentrasi logam kromium melebihi baku mutu TK-C PP 101 Tahun 2014 yang artinya tercemar dan wajib dikelola. Senyawa kromium sangat iritan dan korosif serta bersifat karsinogenik. Bioremediasi merupakan salah satu alternatif pengolahan yang dapat digunakan karena relatif lebih ramah lingkungan juga 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. Namun, kajian mendalam mengenai pengolahan tanah tercemar di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto belum dilakukan.

Studi pustaka ini mengkaji metode bioremediasi menggunakan bakteri *Azotobacter S8* dan *Bacillus substillis* untuk meremediasi tanah terkontaminasi kromium di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto. Kajian pustaka ini dilakukan dengan menelusuri berbagai referensi yang berkaitan dengan kromium, pencemaran tanah oleh kromium, bioremediasi, bakteri *Azotobacter S8* dan *Bacillus subtilis* serta Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto. Literatur didapatkan dari berbagai sumber seperti buku, jurnal, peraturan pemerintah, dokumen pemerintah maupun *website*. Selanjutnya dilakukan review dan penulisan hasil literatur yang didapatkan untuk mengulas pokok bahasan yang dipilih. Ulasan literatur mengenai pokok bahasan kemudian

digunakan untuk menganalisis dan membahas penyelesaian dari permasalahan studi kasus yang dipilih yaitu di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto.

Hasil dari studi pustaka dengan studi kasus 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 Mojojeblok 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 subtilis*, Bioremediasi, Kromium, Kecamatan Jetis.

Litterature Study of Bioremediation Chromium Contaminated Soil in Jetis Sub-Ditric, Mojokerto District using *Azotobacter S8* and *Bacillus substillis* bacteria

Name of Student : Muhammad Awaluddin
NRP : 0321164000011
Study Programme : Teknik Lingkungan, FTSPK ITS
Supervisor : Bieby Vojant Tangahu, ST., MT., PhD.

ABSTRACT

Chromium in nature generally exists in two forms namely Cr^{3+} and Cr^{6+} . Chromium is widely used in the electroplating industry, the metal industry, the textile industry and leather tanning as well as in fertilizers and pesticides. Pollution concentration mapping shows that all land in the Jetis Subdistrict, Mojokerto District contains chromium metal concentrations exceeding the TK-C PP 101 Year 2014 quality standard, which means it is polluted and must be managed. Chromium compounds are very irritating and corrosive and are carcinogenic. Bioremediation is one alternative treatment that can be used because it is relatively more environmentally friendly and can also improve an overall polluted land. *Bacillus subtilis* and *Azotobacter S8* are resistant bacteria and can be used as a heavy metal chromium bioremediation agent. However, an in-depth study of tilled soil management in Jetis District, Mojokerto Regency has not been conducted.

This literature study examines bioremediation methods using *Azotobacter S8* and *Bacillus substillis* to remediate chromium contaminated soil in Jetis Sub-District, Mojokerto District. This literature review was carried out by searching various references relating to chromium, soil contamination by chromium, bioremediation, *Azotobacter S8* and *Bacillus substillis* bacteria and Jetis Sub-District, Mojokerto District. Literature is obtained from various sources such as books, journals, government regulations, government documents and websites. Then a review and writing of the literature results are obtained to review the chosen topic. Literature review of the subject matter is then used to analyze and discuss the resolution of the selected case study problem in Jetis Sub-District, Mojokerto District.

The results of the literature study with this case study are the potential for chromium contamination in soils in Jetis Sub-District, Mojokerto District due to the agricultural sector by 57.2% and the industrial sector potentially 23.6% of the total area of Jetis District. The ability of chromium degradation in the soil by *Bacillus subtilis* bacteria is better than *Azotobacter S8* bacteria that is equal to 95-98% with the same concentration and contact time. Remediation priority in Jetis Sub-District, Mojokerto District were carried out in Mojojeblak Village using *in-situ* bioremediation techniques with *Bacillus subtilis* bacterial bioaugmentation for 14 days and the required bacterial volume was 372.6 m³.

Keywords: Azotobacter S8, Bacillus subtilis, Bioremediation, Chromium, Jetis Sub-District

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya, dokumen tugas akhir yang berjudul “Studi Bioremediasi Tanah Terkontaminasi Kromium di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto Menggunakan Bakteri *Azotobacter S8* dan *Bacillus subtilis*” dapat diselesaikan. Penulis mengucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada:

1. Ibu Bieby Voijant Tangahu, ST, MT, PhD selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah membimbing, memberi masukan, dan arahan dalam penyusunan tugas akhir ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MScES., Bapak Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE., MSc., PhD., dan Ibu Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., PhD selaku dosen pengarah yang telah memberikan saran dan masukan dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Teman-teman kelompok bimbingan tugas akhir, Rifky, Awanda, dan Nakula yang telah bekerja sama dan saling mengingatkan satu sama lain terkait asistensi dan kemajuan dari tugas akhir.
4. Teman-teman angkatan 2016 yang selalu memberi motivasi, semangat dan saling mengingatkan satu sama lain.
5. Orang tua dan keluarga besar yang telah memberikan dorongan dan doa selama pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis menyadari, dokumen tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Penulis berharap adanya saran dan kritik yang bersifat membangun, agar dokumen tugas akhir ini dapat bermanfaat dan menjadi referensi ke depannya.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Manfaat	3
BAB 2 METODE PENULISAN	5
2.1 Kerangka Studi	6
2.2 Metode Studi	6
2.2.1 Kajian Pustaka	7
2.2.2 Studi Kasus	7
2.3 Sistematika Penulisan	7
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN	11
3.1 Kromium	11
3.2 Mekanisme Polutan Pada Tanah	12
3.3 Pencemaran Kromium Pada Tanah	13
3.4 Remediasi Kromium Dengan Bioremediasi	15
3.5 Mekanisme Bioremediasi Pada Tanah Tercemar	17
3.6 Mekanisme Penyisihan Kromium Oleh Bakteri	19
3.7 Bakteri <i>Azotobacter S8</i>	21
3.8 Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	22
3.9 Tabulasi Hasil Penelitian	23
3.10 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Proses Bioremediasi	24
BAB 4 STUDI KASUS	29
4.1 Gambaran Umum Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto	29

4.2 Kondisi Eksisting Tanah Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto	32
4.3 Mekanisme Pencemaran Kromium Pada Tanah di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto.....	35
4.4 Bioremediasi Tanah di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto Menggunakan Bakteri x.....	38
BAB 5 PENUTUP	44
DAFTAR PUSTAKA	47
BIOGRAFI PENULIS	54

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Sifat Fisik Logam Kromium.....	11
Tabel 3. 2 Sifat Kimia Logam Kromium	12
Tabel 3. 3 Mekanisme Polutan pada Tanah.....	13
Tabel 3. 4 Konsentrasi kromium pada pupuk (mg/kg).....	14
Tabel 3. 5 Perbandingan Bioremediasi <i>Ek-situ</i> dan <i>In-situ</i>	18
Tabel 3. 6 Tabulasi Hasil Penelitian	24
Tabel 4. 1 Luas Lahan Pertanian Tiap Desa di Kecamatan Jetis	30
Tabel 4. 2 Rata-Rata Konsentrasi Kromium Tiap Desa	33
Tabel 4. 3 Penilaian Aspek Bioremediasi Tiap Desa	39

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kerangka Kajian Pustaka dengan Studi Kasus.....	6
Gambar 3. 1 Mekanisme Polutan pada Tanah.....	12
Gambar 3. 2 Mekanisme Penyisihan Kromium	20
Gambar 3. 3 Sel <i>Azotobacter S8</i>	21
Gambar 3. 4 Sel <i>Bacillus subtilis</i>	23
Gambar 4. 1 Peta Kecamatan Jetis.....	29
Gambar 4. 2 Peta Persebaran Industri Besar di Kecamatan Jetis	31
Gambar 4. 3 Peta Persebaran Kromium	32
Gambar 4. 4 Peta Jenis Tanah Kecamatan Jetis	34

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kromium di alam umumnya ada dalam dua bentuk yaitu Cr^{3+} dan Cr^{6+} (Kaur, *et al.*, 2014). Cr^{6+} merupakan bentuk yang tidak stabil, dan sering ditemukan sebagai kromat (CrO_4)²⁻ atau dikromat (Cr_2O_7)²⁻. Sedangkan Cr^{3+} lebih cenderung teradsorb di permukaan tanah atau terendapkan dalam bentuk kromium hidroksida dalam suasana asam ataupun basa (Dhal, *et al.*, 2013). Senyawa kromium sangat iritan dan korosif. *The United State Environmental Protection Agency* (US EPA) telah mengidentifikasi kromium sebagai salah satu dari 17 bahan kimia yang merupakan ancaman terbesar bagi manusia serta mengklasifikasikannya sebagai karsinogen bagi manusia melalui pernafasan (USEPA, 2010). Kromium merupakan salah satu logam berat yang banyak digunakan pada industri *electroplating*, industri logam, penyamakan kulit, pendingin air, *pulp*, pemurnian bijih, serta *petroleum* (Suminten, dkk., 2014; Oves, *et al.*, 2013). Selain itu, keberadaan logam kromium dapat muncul disebabkan oleh penggunaan pestisida dan kompos pada kegiatan pertanian (Manurung, dkk., 2018).

Tangahu, *et al.*, (2020), melakukan penelitian dengan memetakan persebaran konsentrasi kromium pada tanah di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto. Hasil pemetaan menunjukkan bahwa konsentrasi kromium pada tanah di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto bervariasi mulai dari 2,4167 mg/kg hingga 62,7 mg/kg dengan rata-rata konsentrasi kromium sebesar 10,5 mg/kg. Peraturan Pemerintah No. 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun menjelaskan bahwa baku mutu TK-C konsentrasi kromium pada tanah sebesar 1 mg/kg. Apabila melebihi konsentrasi tersebut artinya tanah wajib dikelola sesuai dengan pengelolaan limbah non B3. Berdasarkan literatur tersebut 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. Menurut Purwanti, *et al.*,

(2017), pengolahan biologis (bioremediasi) relatif lebih ramah lingkungan karena limbah yang dihasilkan lebih sedikit daripada pengolahan fisik-kimia. Bioremediasi juga dapat memperbaiki sebuah lahan tercemar secara menyeluruh (Evelyne, *et al.*, 2014). *Bacillus subtilis* dan *Azotobacter S8* merupakan bakteri yang resisten dan dapat digunakan sebagai agen bioremediasi logam berat kromium.

Studi pustaka mengenai pengolahan tanah tercemar di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto dengan metode bioremediasi menggunakan bakteri *Bacillus subtilis* dan *Azotobacter S8* belum dilakukan. Sehingga diperlukan analisis pustaka yang lebih mendalam mengenai hal tersebut agar dapat dijadikan referensi alternatif pengolahan tanah tercemar kromium di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto sehingga menjawab permasalahan yang ada.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari studi literatur ini yaitu:

1. Bagaimana mekanisme kontaminasi kromium pada tanah di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto?
2. Bagaimana kemampuan bakteri *Azotobacter S8* dan *Bacillus subtilis* dalam meremediasi kontaminasi kromium pada tanah?
3. Bagaimana mekanisme bioremediasi tanah terkontaminasi kromium di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto?

1.3 Tujuan

Tujuan dari studi literatur ini yaitu:

1. Menentukan mekanisme kontaminasi kromium pada tanah di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto.
2. Menentukan kemampuan bakteri *Azotobacter S8* dan *Bacillus subtilis* dalam meremediasi kontaminasi kromium pada tanah.
3. Menentukan mekanisme bioremediasi tanah terkontaminasi kromium di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup studi literatur ini yaitu:

1. Pencemaran disebabkan oleh kromium
2. Pencemaran terjadi pada media tanah.
3. Jenis bakteri yang dibahas adalah *Azotobacter S8* dan *Bacillus subtilis*.
4. Studi kasus yang dibahas terjadi di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari studi pustaka ini yaitu:

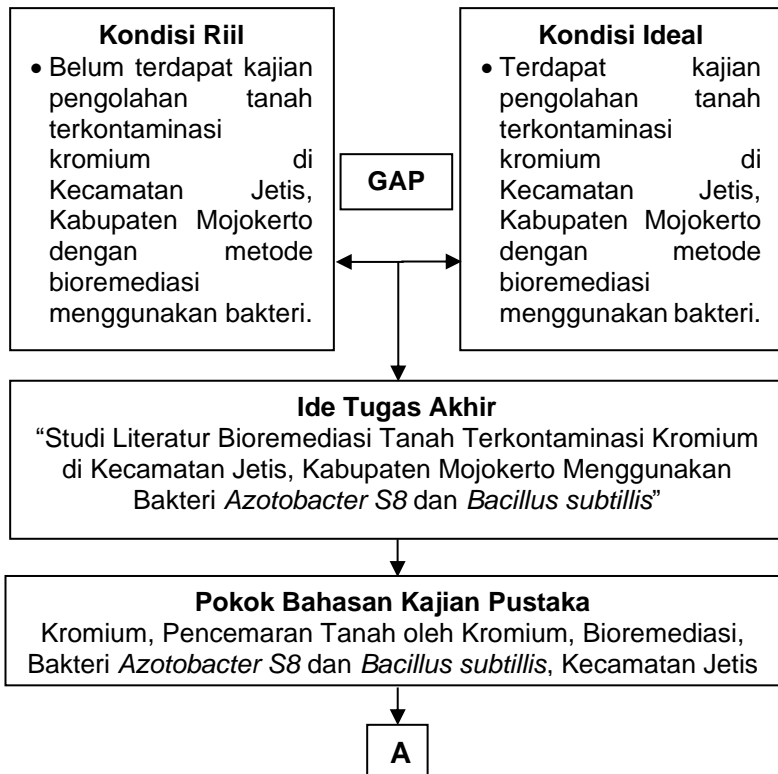
1. Memberikan tabulasi literatur yang membahas mengenai kontaminasi kromium pada tanah serta alternatif pengolahan yang bisa dilakukan.
2. Memberikan tabulasi literatur mengenai kemampuan bakteri *Azotobacter S8* dan *Bacillus subtilis* dalam mendegradasi kromium pada tanah.
3. Memberikan tabulasi literatur mengenai mekanisme bioremediasi tanah terkontaminasi kromium di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto.

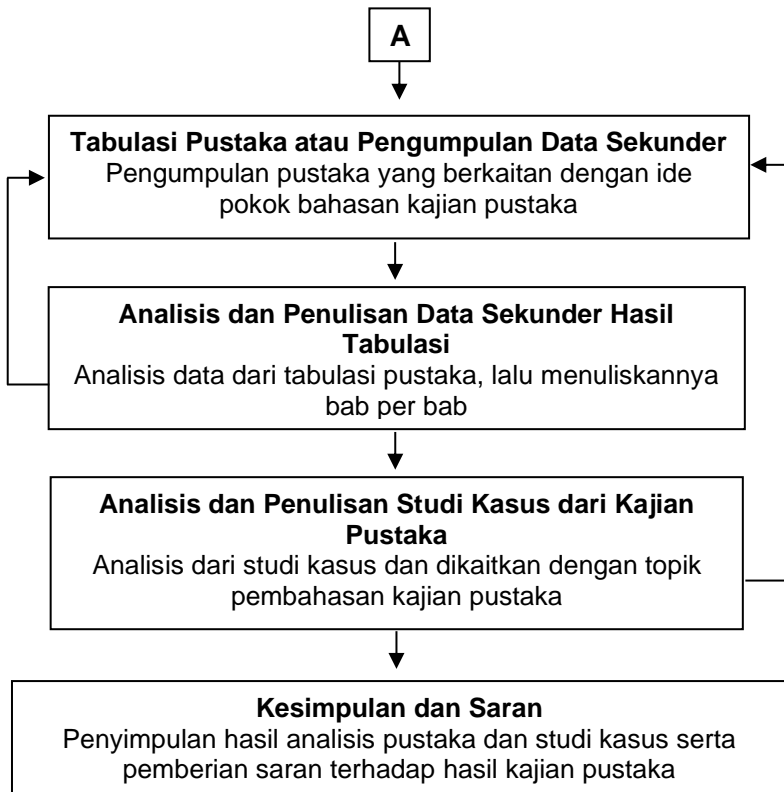
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2 METODE PENULISAN

2.1 Kerangka Studi

Kerangka studi merupakan acuan dalam melaksanakan kajian, yang disusun berdasarkan studi kasus sehingga memunculkan ide kajian. Kerangka kajian disusun sebagai acuan tahapan-tahapan yang harus dilakukan dalam melakukan kajian sehingga menjawab tujuan. Kerangka studi dalam tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 2.1





Gambar 2.1 Kerangka Kajian Pustaka dengan Studi Kasus

2.2 Metode Studi

Metode studi berisi rangkaian langkah-langkah studi yang akan dilakukan hingga mendapatkan kesimpulan. Metode studi dibuat agar pelaksanaan studi terarah dan dapat mencapai tujuan. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini dilakukan dua tahap pelaksanaan, meliputi kajian pustaka tentang pokok bahasan yang direncanakan dan analisis hasil pustaka terhadap studi kasus. Berikut dua tahap pekerjaan yang dilakukan dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini:

2.2.1 Kajian Pustaka

Kajian pustaka dilakukan dengan menelusuri berbagai referensi yang berkaitan dengan kromium, pencemaran tanah oleh kromium, bioremediasi, bakteri *Azotobacter S8* dan *Bacillus subtilis* serta Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto. Dari hasil penelusuran pustaka ini, tulisan disusun kembali menggunakan bahasa penulis sendiri. Jenis kepustakaan yang dipelajari meliputi:

1. Buku Teks
2. Jurnal
3. Laporan Penelitian
4. Peraturan Pemerintah
5. Dokumen Pemerintah
6. *Website*

2.2.2 Studi Kasus

Studi kasus dalam penulisan tugas akhir ini adalah tinjauan kasus pencemaran tanah kromium di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto dengan referensi dari berbagai pustaka yang telah dipelajari. Data yang diambil mengenai kasus pencemaran tanah oleh kromium di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto, adalah data sekunder yang diperoleh dari:

1. Buku Teks
2. Jurnal
3. Laporan Penelitian
4. Peraturan Pemerintah
5. Dokumen Pemerintah
6. *Website*

Data yang didapat kemudian dianalisa, dibahas dan selanjutnya dibandingkan dengan kajian pustaka yang telah dilakukan untuk mendapatkan rekomendasi dan jawaban terhadap permasalahan yang ada sehingga tercapai tujuan dilakukannya studi Pustaka ini.

2.3 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini, disusun berdasarkan sistematika di bawah ini:

- BAB 1: Pendahuluan

Pada bab ini diuraikan alasan yang melatarbelakangi penulisan tugas akhir, perumusan masalah, tujuan yang ingin

dicapai, ruang lingkup penulisan, dan manfaat yang akan didapatkan dari penulisan tugas akhir ini.

- **BAB 2: Metode Studi**

Pada bab ini diuraikan rangkaian langkah-langkah studi yang akan dilakukan hingga mendapatkan kesimpulan. Metode studi dibuat agar pelaksanaan studi terarah dan dapat mencapai tujuan.

- **BAB 3: Hasil dan Pembahasan**

Pada bab ini menguraikan hasil kajian Pustaka yang telah dilakukan dan dituangkan dalam tiap sub-bab sebagai berikut:

3.1 Kromium

Pada sub-bab ini diuraikan gambaran umum mengenai logam berat kromium. Mulai dari pengertian, jenis kromium, sifat dan komponen penyusunnya serta tingkat toksisitas dan dampak yang ditimbulkan oleh kromium.

3.2 Mekanisme Polutan Pada Tanah

Pada sub-bab ini diuraikan mengenai mekanisme masuknya polutan ke dalam tanah, sebab-sebab adanya kontaminasi polutan di dalam tanah dan cara penganggulangnya.

3.3 Pencemaran Kromium Pada Tanah

Pada sub-bab ini diuraikan mengenai sumber-sumber pencemaran kromium pada tanah. Selain itu, dielaskan pula terkait peraturan pemerintah mengenai baku mutu kromium pada tanah.

3.4 Remediasi Kromium dengan Bioremediasi

Pada sub-bab ini diuraikan mengenai bioremediasi, pengertian, ciri-ciri beserta kelebihan dan kekurangan bioremediasi dibandingkan dengan metode remediasi lainnya.

3.5 Mekanisme Bioremediasi Pada Tanah Tercemar

Pada sub-bab ini dijelaskan mengenai jenis dan beberapa teknik bioremediasi, beserta kelebihan dan kekurangan apabila diaplikasikan.

3.6 Mekanisme Penyisihan Kromium Oleh Bakteri

Pada sub-bab ini, dijelaskan mengenai mekanisme penyisihan kromium oleh bakteri. Mulai dari proses yang terjadi, organel yang terlibat dan produk-produk yang dihasilkan.

3.7 Bakteri *Azotobacter S8*

Pada sub-bab ini dijelaskan mengenai karakteristik dari bakteri *Azotobacter S8* meliputi jenis, sifat, bentuk dan kemampuan yang dimiliki dalam mendegradasi kromium pada tanah.

3.8 Bakteri *Bacillus subtilis*

Pada sub-bab ini dijelaskan mengenai karakteristik dari bakteri *Bacillus subtilis* meliputi jenis, sifat, bentuk dan kemampuan yang dimiliki dalam mendegradasi kromium pada tanah.

3.9 Tabulasi Hasil Penelitian

Pada sub-bab ini diuraikan mengenai hasil penelitian penelitian sebelumnya mengenai degradasi kromium pada tanah menggunakan bakteri *Azotobacter S8* maupun *Bacillus subtilis*. Pada sub-bab ini juga dibahas mengenai bakteri terbaik yang dapat digunakan sebagai agen bioremediasi kotaminasi kromium pada tanah.

3.10 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Bioremediasi

Pada sub-bab ini dijelaskan mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi proses bioremediasi yang terdiri dari faktor pertumbuhan bakteri itu sendiri dan faktor lingkungan tempat hidup bakteri tersebut.

- BAB 4: Studi Kasus

Pada bab ini dijelaskan mengenai pencemaran tanah oleh kromium di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto. Sebelumnya dijelaskan mengenai gambaran umum Kecamatan Jetis. Kemudian dijelaskan mengenai kondisi eksisting tanah terkontaminasi kromium di Kecamatan Jetis. Selanjutnya dijelaskan mengenai mekanisme pencemaran kromium di Kecamatan Jetis. Lalu dijelaskan mengenai mekanisme bioremediasi menggunakan bakteri pada tanah di Kecamatan Jetis.

- BAB 5: Penutup

- 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan merupakan jawaban dari tujuan dilakukannya studi literatur ini yang didapatkan dari hasil dan pembahasan dan dikaitkan dengan studi kasus yang terjadi.

5.2 Saran

Saran berisi hal-hal yang masih dapat dikerjakan dengan lebih baik dan dikembangkan lebih lanjut sehingga mendukung tugas akhir ini.

BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kromium

Kromium di alam umumnya ada dalam dua bentuk yaitu Cr^{3+} dan Cr^{6+} (Kaur, *et al.*, 2014). Cr^{6+} merupakan bentuk yang tidak stabil, dan sering ditemukan sebagai kromat $(\text{CrO}_4)^{2-}$ atau dikromat $(\text{Cr}_2\text{O}_7)^{2-}$. Cr^{6+} memiliki tingkat mobilitas dan toksisitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan Cr^{3+} . Namun, Cr^{3+} lebih stabil daripada Cr^{6+} . Ketika Cr^{6+} bereaksi dengan partikel lain di udara, bentuknya akan berubah menjadi Cr^{3+} (Evelyne, *et al.*, 2014).

Keberadaan kromium yang cukup mendominasi di tanah adalah Cr^{3+} . Cr^{3+} lebih cenderung teradsorb di permukaan tanah atau terendapkan dalam bentuk kromium hidroksida dalam suasana asam ataupun basa (Dhal *et al.*, 2013). Keberadaan Cr^{3+} berpotensi untuk teroksidasi menjadi Cr^{6+} pada keadaan aerobik, lembab dan basa sehingga meningkatkan toksisitas dari kromium pada tanah. Logam kromium dalam larutan tanah diserap oleh akar melalui pengangkutan yang digunakan untuk penyerapan logam penting untuk metabolisme tanaman (Kristianto, dkk., 2017). Logam Kromium memiliki sifat fisik dan sifat kimia. Berikut Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 menunjukkan sifat fisik dan sifat kimia dari logam kromium.

Tabel 3. 1 Sifat Fisik Logam Kromium

Massa Jenis	7,15 g/cm ³ (250C)
Titik Lebur	2180 K, 19070C, 3465 °
Titik Didih	2944 K, 26710C, 4840 °
Entalpi Peleburan	20,5 kJ mol ⁻¹
Panas Penguapan	339 kJ mol
Konduktivitas Thermal	94 W m ⁻¹ K
Kepadatan	7,140 kg m

Sumber: Makalah Kimia Logam Berat Kromium, 2014

Tabel 3. 2 Sifat Kimia Logam Kromium

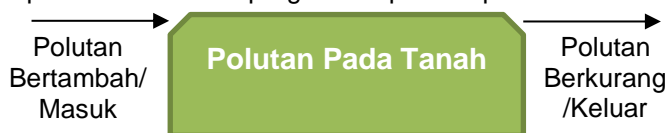
Nomor Atom	24
Massa Atom	51,9961 g/mol
Golongan, periode, blok	B, 4, d
Konfigurasi elektron	VI [Ar] 3d5 4s1
Jumlah elektron tiap kulit	2, 8,13, 1
Afinitas elektron	64,3 kJ / mol -1

Sumber: Apriliani, dkk., 2014

Senyawa kromium sangat iritan dan korosif. Hal ini menyebabkan dapat menimbulkan ulcus pada kulit dan selaput lendir. Terlalu banyak menghirup Cr dapat menimbulkan kerusakan pada tulang hidung. Bahkan pada paru-paru, Cr dapat menimbulkan penyakit Kanker (Said, 2010). *The United State Environmental Protection Agency* (US EPA) telah mengidentifikasi kromium sebagai salah satu dari 17 bahan kimia yang merupakan ancaman terbesar bagi manusia serta mengklasifikasikannya sebagai karsinogen bagi manusia melalui pernafasan (USEPA, 2010). Oleh karenanya, apabila tanah mengandung kromium melebihi nilai ambang batas yang telah ditentukan maka diwajibkan dilakukan pengelolaan dan perlu menjadi perhatian yang serius.

3.2 Mekanisme Polutan Pada Tanah

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. Perpindahan polutan ini dipengaruhi oleh beberapa kondisi, seperti karakteristik fisik tanah, karakteristik kimia tanah, mikroorganisme pada tanah, jumlah air dan faktor lainnya (Mirbagheri, 2004). Selain itu, proses ini juga dapat disebabkan oleh kegiatan manusia maupun secara alami. Gambar 3.1 merupakan mekanisme pergerakan polutan pada media tanah.



Gambar 3. 1 Mekanisme Polutan pada Tanah

Berdasarkan penelitian oleh McKone pada tahun 2009, perpindahan kontaminan pada tanah ditampilkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Mekanisme Polutan pada Tanah

Polutan Bertambah	Polutan Berkurang
Penggunaan barang berpotensi mencemar tanah	Volatilisasi
Pengendapan dari udara	Berpindah ke tanaman
<i>Run off</i> dari hujan	Erosi
Difusi dan adveksi dari lapisan tanah dan air tanah	Perubahan kondisi fisik, kimia atau biologis

Sumber: McKone, 2009

3.3 Pencemaran Kromium Pada Tanah

Kromium banyak digunakan oleh industri, diantaranya industri *electroplating*, industri logam, penyamakan kulit (Oves, *et al.*, 2013). Pada industri baja, krom digunakan untuk mencegah terjadinya korosi dan menambah keindahan benda (Suharto, 2017). Logam kromium 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* (Yahya, 2017). Beberapa industri metal dan baja lain juga menggunakan metode pelapisan kromium berbeda-beda seperti *electroplating* dan pencelupan (Nurbanasari, dkk., 2012).

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* (Nahadi, dkk., 2005). Komarawidjaja (2017) menjelaskan bahwa *effluent* limbah industri tekstil mengandung logam kromium berkonsentrasi tinggi.

Industri penyamakan kulit juga berpotensi menggunakan kromium. Menurut Asmadi, dkk., (2009), industri penyamakan kulit menggunakan senyawa kromium sulfat antara 60–70%. Dalam bentuk ini, tidak seluruh kromium sulfat dapat terserap kedalam kulit pada proses penyamakan. Beberapa tahapan pada industri penyamakan kulit menghasilkan output logam kromium. Pada tahap penyamakan dengan krom, pressing dan pencukuran digunakan krom sulfat dan garam dan menghasilkan limbah padat dan cair yang mengandung krom (Waskito, 2007).

Selain itu, keberadaan logam kromium dapat muncul disebabkan oleh penggunaan pestisida dan kompos pada kegiatan pertanian (Manurung, dkk., 2018). Pupuk digunakan petani untuk mempercepat pertumbuhan dan menstimulus perkembangan tanaman sehingga menghasilkan tanaman yang sehat dan prima. Sedangkan pestisida digunakan petani untuk membasmi hama sehingga tanaman terus hidup hingga masa panen. Namun, ketergantungan dan penggunaan pupuk dan pestisida berlebih dapat menyebabkan pencemaran kromium pada tanah. Berdasarkan penelitian oleh Alloway (1995) beberapa jenis pupuk mengandung kromium. Tabel 3.4 menunjukkan kandungan kromium pada beberapa jenis pupuk secara umum.

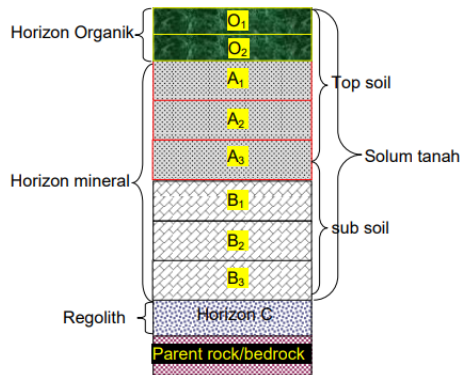
Tabel 3. 4 Konsentrasi kromium pada pupuk (mg/kg)

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

Sumber: Alloway,1995

Sedangkan itu, secara alami kromium bisa terdapat pada lapisan tanah. Salah satunya penyebabnya adalah aktivitas gunung berapi seperti erupsi di masa lampau. Logam berat yang terkandung pada magma mengalami pengendapan dari fase magma cair dan terjadi kristalisasi. Pada tahap ini kronit ($FeCr_2O_4$) terbentuk. Kronit merupakan bahan tambang pokok Cr yang memiliki kerapatan $4,4 \text{ g/cm}^3$ (Adhani, dkk., 2017). Hal ini diperkuat dengan penelitian oleh Anda pada tahun 2012 yang mengidentifikasi adanya logam kromium dengan konsentrasi tinggi pada tanah vulkanis di beberapa daerah di Indonesia.

Penyebaran kromium pada pada tanah secara umum mengikuti kadar humus. Kadar logam kromium tertinggi berada pada horizon atas tanah yang memiliki kadar humus tinggi. Pada tanah-tanah tropik terdapat hubungan yang positif anatara logam kromium dengan kadar liat tanah (Aubert, *et al.*, 1977). Gambar 3.2 menunjukkan potongan profil tanah.



Gambar 3.2 Profil Tanah
 Sumber: Sugiharyanto, dkk., 2009

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 101 pada tahun 2014 tentang “Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun”, ambang batas logam kromium pada tanah dibagi menjadi beberapa tingkat yaitu:

- A. Konsentrasi logam kromium diatas 15 mg/L pada suatu media tanah maka tergolong TCLP-A.
- B. Media tanah memiliki konsentrasi logam kromium diatas 2000 mg/kg masuk kedalam kategori TK-A.
- C. Konsentrasi logam berat pada tanah diatas 2,5 mg/L tergolong kategori TCLP-B.
- D. Media tanah terkandung konsentrasi logam kromium sebesar 500 mg/kg atau keatas maka masuk ke dalam TK-B.
- E. Konsentrasi logam berat pada tanah diatas 1 (mg/L) tergolong kedalam TCLP-C
- F. Media tanah dengan konsentrasi Logam kromium lebih besar dari 1 (mg/kg) maka tergolong ke dalam TK-C.

3.4 Remediasi Kromium Dengan Bioremediasi

Bioremediasi secara harfiah mengandung pengertian “*remediate*” dengan arti pemulihan dan “*bio*”. Bioremediasi dengan demikian, diartikan sebagai respon biologis menuju perbaikan substrat pada lingkungan yang telah rusak atau tercemar. Hamer (1993) mendefinisikan, bioremediasi adalah penggunaan

organisme yang hidup, utamanya mikroorganisme untuk menguraikan pencemar di lingkungan menjadi bentuk pencemar yang kurang berbahaya atau tidak berbahaya. Dash, *et al.*, (2013) juga menjelaskan bahwa bioremediasi adalah usaha untuk mengakselerasikan terjadinya penguraian material bersifat toksik secara alami melalui optimalisasi faktor tumbuh pada kondisi suboptimum. Bioremediasi adalah pengolahan pencemar yang memanfaatkan reaksi metabolisme dari mikroorganisme untuk mendegradasi kontaminan yang terlepas pada lingkungan (Mahimariaja, *et al.*, 2011).

Zhu, *et al.*, (2001) menyatakan bahwa terdapat dua pendekatan dalam proses bioremediasi:

- 1) Bioaugmentasi, dimana mikroorganisme asli atau eksogen pendegradasi kontaminan ditambahkan untuk menambah populasi mikroba yang telah ada dan mempercepat proses bioremediasi.
- 2) Biostimulasi, dimana pertumbuhan mikroorganisme pendegradasi distimulasi dengan penambahan nutrisi. Umumnya nutrisi yang ditambahkan meliputi nitrogen, fosfor dan kalium.

Pengolahan biologis (bioremediasi) merupakan pengolahan yang relatif lebih ramah lingkungan karena limbah yang dihasilkan lebih sedikit daripada pengolahan fisik-kimia (Purwanti, *et al.*, 2017). Bioremediasi juga dapat digunakan untuk meremediasi sebuah area/lahan secara menyeluruh (Evelyne, *et al.*, 2014). Vidali (2001) dan Alvarez, *et al.*, (2006) dalam Hidayat, *et al.*, (2017) menjelaskan tentang keuntungan dan kelebihan teknik bioremediasi jika dibandingkan dengan teknik lain, sebagai berikut:

- Keuntungan:
 - Proses penguraian terjadi secara alami. Populasi mikroba akan meningkat ketika proses penguraian terjadi dan akan menurun ketika proses penguraian selesai. Produk akhir penguraian adalah senyawa yang aman, berupa air dan CO₂.
 - Bioremediasi adalah metode sederhana dan mudah diaplikasikan untuk menguraikan secara permanen berbagai macam tipe kontaminan. Merubah senyawa berbahaya menjadi senyawa yang kurang atau tidak

berbahaya. Bukan merupakan proses memindahkan kontaminan dari fase atau matriks.

- Dapat dilakukan pada lokasi terjadinya pencemaran (*in-situ*), dan tidak menyebabkan kerusakan lain yang lebih parah.
- Teknologi dengan biaya yang sangat murah, 10 kali lebih murah dibandingkan secara fisika dan kimia.
- Fleksibel, dan cocok bila dikombinasikan dengan berbagai macam perlakuan dan teknologi lain.
- Ramah lingkungan dan diterima secara luas.

3.5 Mekanisme Bioremediasi Pada Tanah Tercemar

Penerapan bioremediasi untuk memulihkan lingkungan terkontaminasi dapat dilakukan dengan beberapa teknik atau tipe bioremediasi. Teknik bioremediasi selalu mengalami perubahan, perkembangan, dan perbaikan sehingga informasi yang akan dijelaskan pada bagian ini akan memiliki keterbatasan dalam hal keterbaruan. Menurut Hidayat, *et al.*, (2017), berdasarkan tempat pelaksanaan, kegiatan bioremediasi dapat diklasifikasikan menjadi bioremediasi *in-situ* dan *ek-situ*.

Bioremediasi *in-situ* dipahami sebagai teknik penguraian di mana senyawa berbahaya diurai secara biologi di lingkungan asalnya. Teknik ini dilakukan di tempat kejadiannya, apakah di tanah, air, dan atau lapisan bawah permukaan tanah. Kondisi asli lokasi tercemar biasanya telah mengalami perubahan dalam sifat fisika dan kimia yang mungkin dapat menghambat perkembangan mikroba pengurai. Beberapa perlakuan diberikan dengan memperhatikan beberapa faktor pembatas seperti diuraikan sebelumnya. Bioremediasi secara *in-situ* menjadi teknik bioremediasi paling superior karena dilakukan tanpa upaya ekstraksi atau pemindahan matriks kontaminan ke tempat lain. Hal ini lah yang menjadikan bioremediasi secara *in-situ* menjadi teknik yang lebih murah karena mikroba lokal (*indigenous*) diaktifasi sedemikian rupa sebagai agen pengurai. Kumar *et al.* (2011) menjelaskan bahwa dalam bioremediasi *in-situ* akan terjadi pergerakan mikroba ke dalam daerah yang terkontaminasi sebagai akibat dari pemberian stimulus atau perlakuan, dikenal dengan istilah "*Chemotaxis*". Pergerakan mikroba tersebut diharapkan

berjalan positif (baca: populasi meningkat) sehingga degradasi berjalan sebagaimana mestinya.

Sementara itu, bioremediasi *ek situ* adalah teknik penguraian senyawa berbahaya yang didahului dengan upaya pemindahan polutan ke lokasi lain. Teknik bioremediasi *ek-situ* akan efektif ketika material terkontaminasi (tanah, air, dan lain-lain) dengan konsentrasi tinggi dan terjadi secara tiba-tiba, terjadi akumulasi kontaminan yang terus menerus dan sangat toksik, serta telah terjadi perubahan struktur tanah sebagai akibat proses konversi, eksploitasi, dan penambangan, serta agen pengurai berupa mikroba menjadi benar-benar tidak tersedia. Tabel 3.5 menunjukkan kelebihan dan kekurangan bioremediasi *ek-situ* dan *in-situ* beserta faktor pertimbangan dan contohnya.

Tabel 3. 5 Perbandingan Bioremediasi *Ek-situ* dan *In-situ*

Teknik	Parameter	Catatan
<i>In-situ</i>	Keuntungan	Biaya lebih efisien, proses terjadi secara alami, tidak merusak, dan brutal
	Keterbatasan	Membutuhkan rekayasa lingkungan, waktu, evaluasi, dan kontrol yang sulit
	Faktor pertimbangan	Ketersediaan mikroba <i>indigenous</i> yang memiliki kemampuan untuk proses penguraian, keberadaan ion metal dan anorganik, parameter lingkungan, kemudahan kontaminan terurai, keterlarutan kontaminan, distribusi, dan pergerakan kontaminan
	Contoh	<i>Bioventing</i> <i>Biosparging</i> <i>Bioaugmentation</i>
<i>Ek-situ</i>	Keuntungan	Biaya efisien dan murah dibanding teknik konvensional
	Keterbatasan	Membutuhkan tempat yang lebih, waktu, memerlukan kontrol hilangnya kontaminan secara fisik, pengangkutan material/matriks, bioavailabilitas yang terbatas
	Faktor pertimbangan	Relatif sama dengan <i>in-situ</i> , bioaugmentasi, toksisitas perlakuan yang akan diberikan, dan toksisitas kontaminan
	Contoh	<i>Landfarming</i> <i>Composting</i> <i>Biopiles</i>

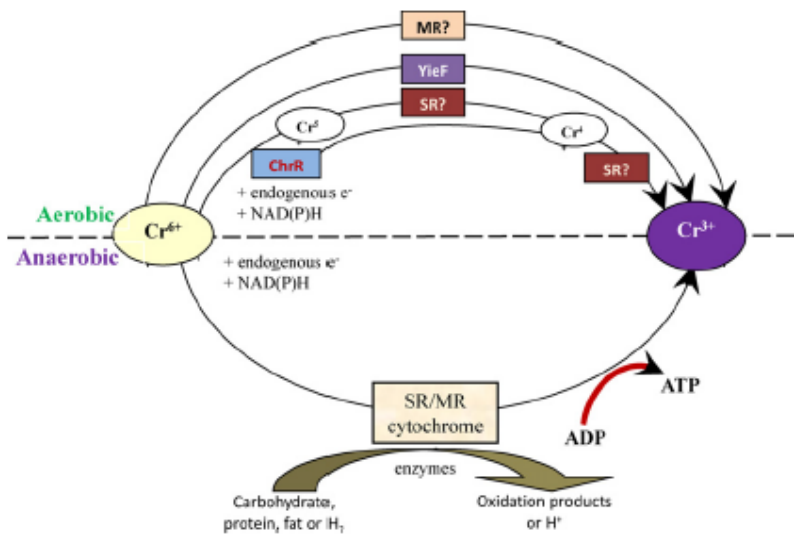
Sumber: Vidali, 2001

Bioremediasi juga dapat diklasifikasikan berdasarkan pemberian perlakuan. Mereka dibedakan menjadi biostimulasi dan bioaugmentasi. Bioremediasi secara biostimulasi dilakukan dengan cara memberikan tambahan nutrisi, elektron akseptor, dan oksigen untuk menstimulasi perkembangbiakan mikroba. Dengan kata lain, biostimulasi dilakukan dengan memodifikasi lingkungan agar diperoleh kondisi optimal sehingga *indigenous* mikroba mampu berperan sebagai agen pengurai. Bioremediasi terkadang memiliki laju penguraian yang rendah bila hanya dilakukan oleh mikroba lokal dan penambahan *exogenous* mikroba yang telah teruji biasa dilakukan untuk meningkatkan laju penguraian. Konsep ini dikenal sebagai bioaugmentasi. Mikroba berasal dari luar yang ditambahkan harus ditabur secara merata agar mereka dapat berkompetensi dengan mikroba lokal. Mikroba yang ditambahkan, selanjutnya, harus lebih kuat berkompetensi dan bersaing dengan mikroba lokal. Jika mikroba yang ditambahkan tidak mampu bersaing, maka sudah dipastikan bahwa bioremediasi tidak akan efektif terjadi. Pada beberapa kasus, bioremediasi juga dapat berlangsung baik tanpa harus ada penambahan perlakuan didalamnya. Teknik bioremediasi ini dikenal dengan istilah bioremediasi intrinsik. Beberapa evaluasi awal perlu dilakukan untuk memastikan kesuksesan teknik bioremediasi intrinsik, antara lain adalah bioavailabilitas pencemar, kandungan nutrisi, keberadaan mineral yang dapat menjaga stabilitas pH matriks, ketersediaan elektron akseptor, dan laju perpindahan pencemar (DEQ, 1998).

3.6 Mekanisme Penyisihan Kromium Oleh Bakteri

Degradasi kromium oleh bakteri adalah proses dekonsentrasi melalui pengubahan ion logam sehingga yang semula bersifat toksik akan berkurang tingkat toksisitasnya. Menurut Ahemad (2012), bakteri yang toleran terhadap logam berat memiliki mekanisme untuk bertahan hidup antara lain berupa proses bioakumulasi, biotransformasi, dan biosorpsi. Proses biosorpsi logam berat pada dasarnya adalah kemampuan sel untuk mengambil ion logam berat yang berada di lingkungan sekitarnya (Triatmojo, dkk., 2001).

Organel sel yang paling banyak terlibat pada proses ini adalah dinding sel yang banyak mengandung polisakarida dan protein pada permukaannya (Ahemad, 2012). Proses ini merupakan transport pasif yang mana tidak melibatkan metabolisme sel dan tidak membutuhkan energi melainkan terjadi melalui proses difusi maupun osmosis. Bakteri juga mampu menghasilkan enzim untuk perlindungan diri dari konsentrasi kromium yang terlalu tinggi, bakteri mampu menghasilkan enzim *katalase* atau *superperoksida dismutase* (SOD), untuk konsentrasi kromium yang ditinggi akan diikat oleh enzim *katalase* sebelum masuk pada dinding sel (Dhal et al., 2013). Sifat Cr(III) yang kurang toksik menyebabkan kurangnya impermeabelitas pada membrane sel, sehingga Cr(III) kurang soluble dan tidak dapat terpresipitasi atau tersisihkan (Dhal et al, 2013). Gambar 3.3 menunjukkan proses penyisihan kromium secara aerobik maupun anaerobik.



Gambar 3. 3 Mekanisme Penyisihan Kromium
Sumber: Dhal, *et al.*, 2013

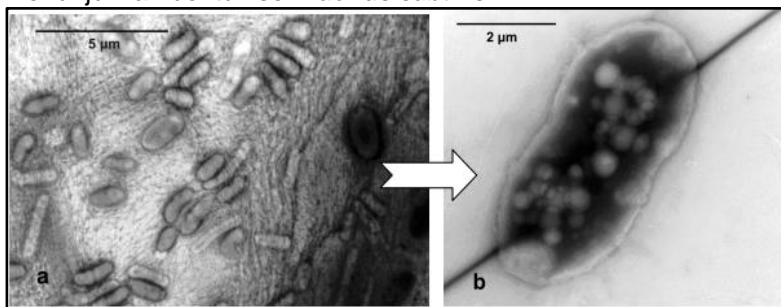
Selanjutnya akan terjadi proses biotransformasi logam berat oleh sel yang terjadi di dalam membran sel maupun sitoplasma sel. Pada keadaan aerobik terjadi biotransformasi oleh bakteri dengan

menghasilkan enzim *reduktase* yang merubah bentuk kromium Cr(IV) hingga mendapatkan produk akhir berupa Cr (III). Pada proses ini, kromium yang telah masuk ke dalam sel akan bereaksi dengan reduktan intraseluler seperti *askorbat* dan *glutathion* sehingga kromium yang awalnya toksik akan berubah menjadi kurang toksik hingga tidak toksik. Pada kondisi anaerobik, kromat digunakan sebagai terminal elektron akseptor untuk mengurangi kromat dalam ruang *periplasmatic* oleh enzim *hidrogenase* atau pada sitokrom c3 (Dhal, *et al.*, 2013).

Proses yang terakhir adalah bioakumulasi yang mana sel akan mengambil ion logam secara aktif melalui siklus metabolismenya (Triatmojo, dkk., 2001). Proses-proses tersebut melibatkan *sulphate channel* yang terdapat pada dinding sel sehingga kromium dapat terjerap dan masuk ke dalam sel. Pada beberapa penelitian diketahui bahwa hasil akhir dari reduksi Cr(VI) menjadi Cr(III) pada pH netral atau pH basa bukanlah Cr(OH)₃ melainkan berupa organik-Cr(III) kompleks yang merupakan bagian dari *biogeochemical cycle* dari kromium.

3.7 Bakteri *Azotobacter S8*

Azotobacter S8 merupakan bakteri yang memiliki berbagai macam ukuran dan bentuk, termasuk bakteri gram negatif, *polymorphic*, serta merupakan bakteri fiksasi nitrogen. *Azotobacter S8* adalah genus *non-symbiont* bakteri yang berlimpah di tanah, perairan, maupun sedimen (Aquilanti, *et al.*, 2004). Gambar 3.4 menunjukkan bentuk sel *Bacillus subtilis*.



Gambar 3. 4 Sel *Azotobacter S8*
Sumber: Carpa, *et al.*, 2011

Secara umum, *Azotobacter S8*. diklasifikasikan sebagai berikut:

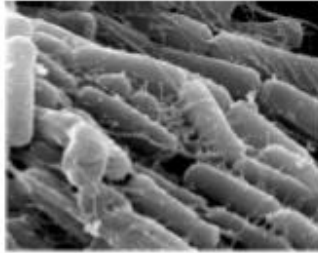
Kingdom : Bacteria
Filum : Proteobacteria
Kelas : Gamma Proteobacteria
Ordo : Rhodospirillase
Famili : Pseudomonadaceae/Azotobacteraceae
Genus : *Azotobacter*

Keanekaragaman *Azotobacter* di habitatnya dipengaruhi oleh sifat fisik dan kimia tanah serta interaksi antar mikroorganisme yang berada di tanah (Lenart, 2012). Beberapa anggota *Azotobacter* bahkan memiliki toleransi pada lingkungan dengan salinitas yang tinggi (Akhter *et al.*, 2012) dan toleran terhadap kromium (Safita, dkk., 2015), sehingga juga berpotensi digunakan sebagai agen penyisihan kromium pada lingkungan dengan salinitas tinggi.

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 (Erni, 2011). Eksopolisakarida merupakan copoliuran kaya alginat (Haug, *et al.*, 1967) yang terdiri dari asam α -D-mannuronik dan asam α -L-guluronik (Coma, 2013) dengan grup β fungsional hidroksil dan karboksil yang memungkinkan terjadinya deprotonasi pada reaksi reduksi Cr(VI) dengan grup fungsional karboksil bertindak sebagai elektron donor (Kantar, *et al.*, 2008). Oleh karena itu sifat inilah yang menyebabkan eksopolisakarida dapat mengadsorpsi logam karena EPS yang bermuatan negatif akan membentuk ligan bersama logam pada permukaan dinding sel (Erni, 2011).

3.8 Bakteri *Bacillus subtilis*

Berdasarkan ketebalan dinding sel (*peptidoglikan*), *Bacillus subtilis* merupakan jenis bakteri gram positif dan berbentuk basil (batang). *Bacillus substillis* merupakan bakteri aerobik yang membutuhkan kadar oksigen tinggi. (Zheng, *et al.*, 2015). *Bacillus* merupakan bakteri yang bersifat mesofilik dan merupakan bakteri yang berasal dari tanah, sehingga *Bacillus subtilis* akan hidup dengan baik pada media tanah. Gambar 3.5 menunjukkan bentuk sel *Bacillus subtilis*.



Gambar 3. 5 Sel *Bacillus subtilis*

Sumber: Morikawa, *et.al*, 2006

Secara umum, *Bacillus subtilis* diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom	: Bacteria
Divisi	: Firmicutes
Kelas	: Bacilli
Ordo	: Bacilliales
Famili	: Bacillaceae
Genus	: <i>Bacillus</i>

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 (Oves, *et al.*, 2013). Proses biosorpsi ini akan menyebabkan terserapnya logam berat ke dalam sel bakteri.

Bacillus akan menghasilkan enzim katalase (Nath, *et al.*, 2015). Enzim ini berfungsi untuk memecah zat berbahaya yang masuk ke dalam sel bakteri. *Bacillus* juga mampu menghasilkan enzim reduktase. Enzim reduktase berfungsi untuk menurunkan (reduksi) kadar toksitas logam berat yang menjadi pencemar utamanya. Logam berat akan diubah struktur kimianya menjadi bentuk yang tidak toksik.

3.9 Tabulasi Hasil Penelitian

Penelitian tentang penyisihan logam kromium pada tanah menggunakan bakteri belum banyak dilakukan. Kebanyakan penelitian degradasi kromium hanya dilakukan pada skala

laboratorium. Namun, tabulasi hasil penelitian yang telah dilakukan diperlukan sebagai referensi dalam kajian ini untuk menentukan bakteri yang dapat digunakan untuk meremediasi tanah tercemar kromium di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto. Adapun tabulasi penelitian penyisihan logam kromium pada tanah menggunakan bakteri dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3. 6 Tabulasi Hasil Penelitian

No	Bakteri	Media Tercemar	Konsentrasi Awal	Efisiensi Penyisihan	Waktu	Rujukan
1	<i>Bacillus subtilis</i>	Pasir	36,6 mg/kg	11%	14 hari	Purwanti, <i>et al.</i> , 2017
2	<i>Azotobacter S8</i>	Pasir	34,98 mg/kg	23%	14 hari	Purwanti, <i>et al.</i> , 2017
3	<i>Bacillus subtilis</i>	Tanah	58,6 mg/kg	95%	10 hari	Balamurugan, <i>et al.</i> , 2016
4	<i>Azotobacter S8</i>	Tanah	51,36 mg/kg	92%	10 hari	Jeyasingh dan Philip, 2005
5	<i>Bacillus subtilis</i>	Tanah	75 mg/kg	98%	14 Hari	Dhal, <i>et al.</i> , 2013
6	<i>Azotobacter S8</i>	Tanah	73,8 mg/kg	90%	14 hari	Sinarth, <i>et al.</i> , 2002
7	<i>Bacillus subtilis</i>	Tanah	23,7 mg/kg	55%	48 jam	Ahirwar <i>et al.</i> , 2013
8	<i>Azotobacter S8</i>	Tanah	27,5 mg/kg	25%	36 jam	Mishra, <i>et al.</i> , 2010
9	<i>Bacillus subtilis</i>	Agar	600 mg/l	Resisten	-	Kathiravan, <i>et al.</i> , 2011
10	<i>Azotobacter S8</i>	Agar	300 mg/l	Resisten	-	Pavel, <i>et al.</i> , 2012

Berdasarkan Tabel 3.6 diketahui bahwa baik bakteri *Azotobacter S8* maupun *Bacillus subtilis* merupakan bakteri yang cukup resisten terhadap logam kromium. Uji resistensi pada media agar menunjukkan bahwa resistensi tertinggi bakteri *Azotobacter* terhadap logam kromium adalah 300 mg/L. Sedangkan bakteri *Bacillus subtilis* resisten terhadap logam kromium hingga 600 mg/l. 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. 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 dapat digunakan bakteri *Bacillus substillis*.

3.10 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Proses Bioremediasi

Proses bioremediasi sangat bergantung dari pertumbuhan bakteri itu sendiri dan kondisi lingkungan tempat bakteri akan tumbuh. Menurut Trihadiningrum (2012) dan Hidayat, dkk., (2017), faktor-faktor yang berpengaruh pada keberhasilan proses bioremediasi antara lain:

a. Suhu

Setiap spesies memerlukan kisaran suhu tertentu untuk pertumbuhannya. Ada 3 golongan mikroorganisme menurut suhu lingkungan tempat hidupnya, yaitu:

- Psikrofil: golongan mikroorganisme yang dapat tumbuh pada suhu 0°C atau lebih rendah lagi.
- Mesofil: golongan mikroorganisme yang dapat tumbuh pada suhu 25°C-40°C. *Azotobacter S8* dan *Bacillus subtilis* merupakan bakteri mesofilik yang dapat hidup dengan rentang suhu 20 – 40°C.
- Termofil: golongan mikroorganisme yang dapat tumbuh pada suhu 45°C-60°C.

b. Kondisi Atmosferik

Berdasarkan kebutuhan oksigennya, mikroorganisme dapat digolongkan menjadi 4 kelompok, yaitu:

- Mikroorganisme aerobik: kelompok mikroorganisme yang memerlukan oksigen dalam melakukan respirasi seluler. *Azotobacter S8* dan *Bacillus subtilis* merupakan bakteri aerobik.
- Mikroorganisme anaerobik obligat: kelompok mikroorganisme yang tidak dapat hidup dalam lingkungan yang mengandung oksigen.
- Mikroorganisme anaerobik fakultatif: kelompok mikroorganisme yang dapat hidup dengan atau tanpa oksigen.
- Mikroorganisme mikroaerofilik: kelompok mikroorganisme aerobik yang hanya memerlukan oksigen dengan tekanan rendah.

c. pH

Nilai pH yang ekstrim rendah dapat mengakibatkan gangguan pada pertumbuhan mikroorganisme, karena dapat mempengaruhi aktifitas enzim. Kisaran pH optimum untuk sebagian besar mikroorganisme adalah 6,5-7,5. Batas minimum dan maksimum pH yang sesuai adalah 4-9. Nilai pH biakan mikroorganisme dapat berubah akibat terbentuknya produk metabolisme yang dapat bersifat asam maupun basa. Perubahan pH tersebut dapat menghambat. *Bacillus subtilis* dapat hidup dengan pH berkisar antara 5–9. Sedangkan *Azotobacter S8* dapat hidup dengan pH berkisar antara 4,8–8,5 dengan pH optimal 7–7,5.

d. Tekanan Osmosis

Mikroorganisme pada umumnya hidup di lingkungan yang sedikit hipotonik dari sitoplasmanya. Apabila konsentrasi zat terlarut di dalam sel lebih tinggi daripada di luar sel, maka akan terjadi plasmoptisis. Plasmoptisis adalah kondisi mengalirnya air dari luar sel ke dalam sel, sehingga sel mikroorganisme dapat pecah. Apabila konsentrasi zat terlarut dalam sel lebih rendah daripada di luar sel, maka akan terjadi plasmolisis. Plasmolisis adalah kondisi mengalirnya air dari dalam sel ke luar sel, sehingga dapat menyebabkan dehidrasi sel. Hal ini dapat menghambat aktivitas di dalam sel mikroorganisme.

e. Struktur Tanah

Tanah terdiri dari fase padat, cair, dan gas. Fase padat terdiri dari bahan mineral serta organik, dan merupakan porsi terbesar dari volume tanah. Fase cair dan gas berada pada pori-pori tanah yang komposisinya berubah-ubah tergantung pada musim dan proses pengolahan tanah. Berdasarkan ukurannya, tanah terdiri dari fraksi pasir (2.00–0.05 mm), debu (0.05–0.002), dan liat (<0.002 mm). Jumlah pori-pori yang terisi oleh air dan udara ditentukan oleh komposisi ketiga fraksi tanah tersebut. Kadar air tanah sangat penting untuk banyak alasan termasuk pertumbuhan mikroba tanah (Pepper, Gerba 2005). Air pada tanah dengan fraksi pasir yang tinggi akan mudah menguap. Sementara tanah dengan

fraksi liat yang tinggi, mengandung kadar air yang tinggi. Air yang terlalu banyak dan kuat terserap pada permukaan koloid tanah mengakibatkan jumlah dan populasi mikroba menjadi minimal.

f. Air dan Kelembapan tanah

Air sangat diperlukan oleh mikroba sebagai media asupan oksigen terlarut dan ion mineral. Air yang mengandung ion garam dalam jumlah yang banyak akan menghambat pertumbuhan populasi mikroba, dan mengakibatkan turunnya laju degradasi. Pada kondisi di mana kandungan garam dilarutan tanah cukup tinggi, maka pemilihan jenis mikroba harus disesuaikan, yaitu dengan memilih mikroba yang sangat tahan dan membutuhkan garam untuk hidupnya (*halophilic*). Kelembapan akan memengaruhi laju penguapan, kandungan air tersedia dan pertumbuhan mikroba.

g. Nutrisi

Secara umum komposisi sel mikroba terdiri karbon (C), nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), belerang (S), besi (Fe), kalsium (Ca), magnesium (Mg) dan klorida (Cl) dengan rasio rata-rata 50% C: 14% N: 3% P: 2% K: 1% S: 0.2% Fe: 0,5% Ca, Mg, dan Cl. Unsur-unsur tersebut berada dalam molekul yang berbeda dan secara alamiah terdistribusi untuk semua jenis kehidupan dalam sebuah ekosistem. Keragaman metabolisme yang ada dalam mikroba memastikan bahwa unsur-unsur tersebut tersedia dalam bentuk yang tepat (Singh, Kapoor 2010). Apabila salah satu unsur tidak tersedia maka keadaan tersebut akan membatasi pertumbuhan mikroba dan menyebabkan laju penguraian menjadi lambat (National Research Council, 1993).

h. Bioavailabilitas

Proses biodegradasi sangat tergantung dari aksesibilitas dan bioavailabilitas polutan. Sebagian besar polutan memiliki sifat kelarutan dalam air yang sangat rendah. Bioavailabilitas mereka ditentukan oleh sifat senyawa pencemar, tipe tanah, kandungan air, temperatur, dan faktor lain. Ketika polutan masuk ke dalam tanah, polutan akan terikat dalam bahan organik dan mineral tanah (fase

padat) melalui proses fisika dan kimia. Bioavailabilitas terjadi ketika polutan yang terikat dalam tanah dapat dilepas atau dipindahkan ke dalam sel mikroba melalui proses difusi polutan dari agregat tanah (Megharaj, *et al.*, 2011). Apabila proses perpindahan tersebut sangat lambat maka proses degradasi juga akan terhambat. Selanjutnya sifat polutan yang memiliki nilai kelarutan dalam air yang rendah akan menyebabkan proses degradasi menjadi terbatas.

BAB 4 STUDI KASUS

4.1 Gambaran Umum Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto

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 $56,28 \text{ km}^2$ dan tinggi rata-rata dari permukaan laut +38 m. Secara administratif, Kecamatan Jetis berbatasan dengan daerah sebagai berikut:

- Sebelah Utara : Kecamatan Dawar Blandong
- Sebelah Selatan : Kota Mojokerto
- Sebelah Timur : Kabupaten Gresik dan Kabupaten Sidoarjo
- Sebelah Barat : Kecamatan Gedeg

Gambar 4.1 menunjukkan peta administrasi Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto.



Gambar 4. 1 Peta Kecamatan Jetis
Sumber: Tangahu, *et al.*, 2020

Kecamatan Jetis memiliki 16 desa, 79 dusun, 126 Rukun Warga (RW) dan 485 Rukun Tetangga (RT) dengan jumlah penduduk mencapai 85.482 jiwa. Wilayah desa yang termasuk dalam kecamatan ini antara lain Desa Mlirip, Penompo, Canggal, Jetis, Ngabar, Mojolebak, Pening, Banjarsari, Sawo, Kupang, Pening, Paringan, Sidorejo, Lakardowo, Bendung, Jolotundo, dan Mojorejo (BPS Kabupaten Mojokerto, 2019).

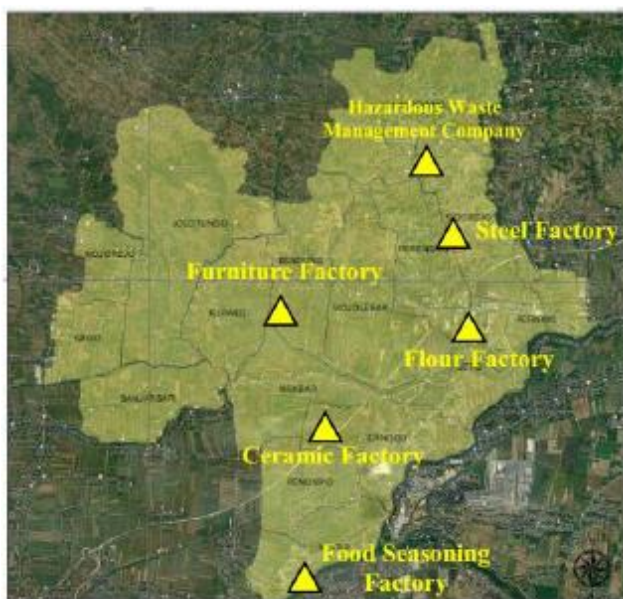
Menurut BPS Kabupaten Mojokerto (2019), sebagian besar penggunaan lahan di Kecamatan Jetis digunakan untuk lahan pertanian. Lahan ini biasanya dipakai untuk sawah, kolam, kebun, hutan, kandang maupun digunakan untuk kegiatan non sawah. Penggunaan lahan pertanian di Kecamatan Jetis mencapai 3217 Ha atau 32,17 Km². Luas ini melebihi setengah dari luas keseluruhan Kecamatan Jetis sebesar 56,28 Km². Hasil sawah utama di Kecamatan Jetis adalah padi, jagung, kacang tanah, tebu dan kapok randu. Selain itu, dari sektor peternakan, hasil utama Kecamatan Jetis adalah sapi potong, kambing, ayam buras, ayam ras potong, ayam ras petelur dan mentog.

Tabel 4. 1 Luas Lahan Pertanian Tiap Desa di Kecamatan Jetis

KELURAHAN	LUAS SAWAH (M2)	LUAS NON SAWAH (M2)
MLIRIP	286966	198831
PENOMPO	923165	536383
CANGGU	780500	1444759
NGABAR	1083310	1117892
BANJARSARI	782620	916741
SAWO	1119280	162278
MOJOREJO	1137984	1856526
JOLOTUNDO	1290179	1136052
KUPANG	550727	1016606
BENDUNG	775595	2332819
MOJOJEBLAK	1502753	1652122
PERENGAN	511901	765461
JETIS	268950	474100
PERNING	1259000	131496
SIDOREJO	725110	2744238
LAKARDOWO	872381	1811210
JUMLAH	13870421	18297514

Sumber: BPS Kabupaten Mojokerto, 2019

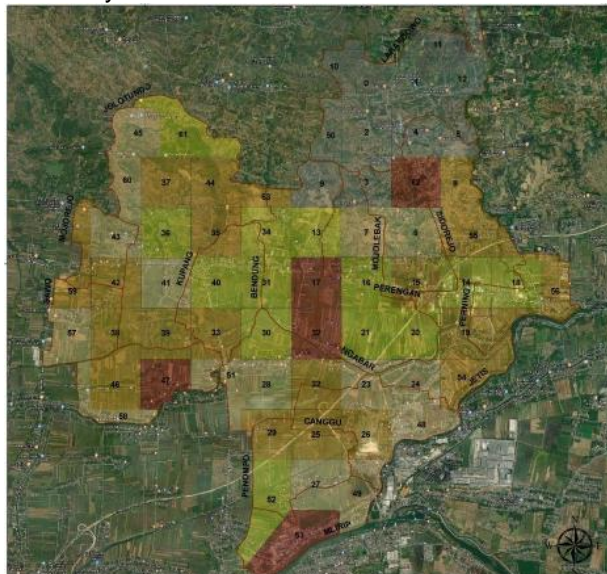
Selain sektor pertanian, sektor industri juga mendominasi di Kecamatan Jetis baik industri skala besar dan sedang maupun industri skala kecil atau UMKM. Terdapat 33 industri sedang dan besar terdiri dari 3 industri makanan dan minuman, 3 industri tekstil, 8 industri *furniture*, 7 industri kimia, 2 industri galian non logam, 5 industri logam dasar, 2 industri elektronik dan 6 industri pengolahan lainnya. Sedangkan industri kecil atau UMKM berjumlah 9.435 dengan rincian 6.486 bidang pertanian, 6 bidang pertambangan dan penggalian, 166 bidang pengolahan, 7 bidang listrik, gas dan air bersih, 7 bidang konstruksi, 2.440 bidang perdagangan, hotel dan restoran, 17 bidang transportasi, 6 bidang keuangan dan 300 bidang jasa. Luas total kawasan industri di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto mencapai 13,28 Km². Berikut peta persebaran industri besar di Kecamatan Jetis sesuai gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Peta Persebaran Industri Besar di Kecamatan Jetis
Sumber: Tangahu, *et al.*, 2020

4.2 Kondisi Eksisting Tanah Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto

Tangahu, *et al.*, (2020) melakukan pemetaan persebaran kromium pada tanah di wilayah Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto. Pemetaan dilakukan dari bulan Januari hingga Juni 2019. Pemetaan menggunakan metode transek 1x1 km dengan ring sampling pada kedalaman 20 cm. Selanjutnya sampel diekstraksi dengan metode *wet digestion* dan EDTA. 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 tentang “Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun” sebesar 1 mg/kg yang artinya tercemar dan harus dikelola sesuai dengan pengelolaan limbah non B3. Gambar 4.3 menunjukkan persebaran kromium di wilayah Kecamatan Jetis.



Gambar 4. 3 Peta Persebaran Kromium
Sumber: Tangahu, *et al.*, 2020

Informasi mengenai peta di atas adalah sebagai berikut:

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

Sedangkan rata-rata konsentrasi kromium tiap desa dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Rata-Rata Konsentrasi Kromium Tiap Desa

KELURAHAN	RATA-RATA KONSENTRASI KROMIUM (MG/KG) (1)
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
MOJOJEBLAK	15,9
PERENGAN	11,7
JETIS	9,5
PERNING	11,4
SIDOREJO	12,8
LAKARDOWO	3,2
RATA-RATA	10,5

Sumber: Nugraha, 2019

Menurut BAPEDA Kabupaten Mojokerto, jenis tanah pada Kecamatan Jetis terbagi menjadi dua yaitu Aluvial dan Grumasol. Tanah aluvial mempunyai tingkat kesuburan yang dapat seragam atau bervariasi dari rendah sampai tinggi, tekstur dari sedang hingga kasar, kandungan bahan organik dari rendah sampai tinggi dan pH tanah berkisar masam, netral, sampai alkalin, kejenuhan basa dan kapasitas tukar kation juga bervariasi karena tergantung dari bahan induk (Tufaila, dkk., 2014). Tanah Aluvial merupakan tanah yang berasal dari endapan baru berbahan organik yang terdapat jumlahnya berubah-ubah dan tidak teratur kedalamannya (Saragih, 2017). Berdasarkan gambar 4.4 dapat diketahui sebaran jenis tanah di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto. Warna Hijau melambangkan tanah grumasol dan tanah aluvial ditandai dengan warna coklat.



Gambar 4. 4 Peta Jenis Tanah Kecamatan Jetis

Sumber: Bappeda Kabupaten Mojokerto

Sedangkan tanah grumasol atau yang biasa disebut tanah vertisol merupakan tanah yang mengembang apabila menyerap air dan dapat mengkerut dan keras apabila kering. Pembentukan tanah vertisol dipengaruhi oleh faktor pembentuk tanah seperti bahan induk, iklim, topografi, organisme, dan waktu. Sehingga morfologi profil tanah vertisol memiliki variasi sifat fisika, kimia, dan

biologi pada setiap bentuk lahannya (Utomo, 2016). Pada umumnya, tanah vertisol memiliki ciri-ciri mengandung kapur, warna tanah hitam dan keras saat kering serta sangat lengket ketika basah. Tanah ini juga tergolong rawan erosi. Secara kimiawi vertisol tergolong tanah yang cukup kaya akan hara karena memiliki cadangan sumberhara yang tinggi, dengan kapasitas tukar kation tinggi serta pH netral hingga alkali (Prasetyo, 2007).

4.3 Mekanisme Pencemaran Kromium Pada Tanah di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto

Menurut Nugraha (2019), pencemaran kromium di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto terjadi karena adanya sumber pencemar yang jumlahnya lebih dari satu. Berdasarkan sub-bab 3.2 dan 3.3, sumber-sumber pencemaran kromium dapat terjadi secara alami atau akibat kegiatan manusia. Secara alami, masuknya kromium ke dalam tanah dapat terjadi akibat aktivitas gunung berapi seperti erupsi di masa lampau.

Menurut Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (2014), Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto dilintasi kompleks Gunung Arjuno-Welirang. Kompleks gunung ini merupakan salah satu gunung api aktif di Indonesia. Berdasarkan catatan erupsi, Kompleks Gunung Arjuno-Welirang telah 2 kali mengalami erupsi yaitu pada tahun 1950 dan 1952. Pada tahun 1950, letusan terjadi di bagian barat laut Gunung Welirang dan mengeluarkan abu pada ketinggian antara 2500-2700 m. Sedangkan pada tahun 1952, letusan terjadi di Kawah Plupuh bagian barat laut berjarak 4 Km dari puncak dan mengeluarkan hembusan asap putih tebal serta lumpur belerang berwarna putih kekuningan yang penyebarannya mencapai beberapa ratus meter. Selang waktu istirahat terpendek aktivitas Gunung Arjuno-Welirang yang tercatat dalam sejarah adalah 2 tahun, sedangkan terpanjang belum ada karena sejak letusan kedua sampai saat sekarang belum terjadi letusan lagi. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa sumber pencemaran alami akibat erupsi gunung berapi tidak berpotensi menyebabkan kontaminasi/masuknya kromium secara alami ke dalam tanah di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto dikarenakan dari 2 letusan yang terjadi tidak adanya magma yang keluar. Karena pada magma cair yang mengalami kristalisasi akan terbentuk kronit ($FeCr_2O_4$) yang merupakan bahan tambang pokok Cr.

Sedangkan akibat kegiatan manusia, pencemaran kromium pada tanah di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto dapat disebabkan oleh industri-industri yang menggunakan krom dalam proses produksinya. Penggunaan krom menyebabkan limbah yang dihasilkan juga mengandung krom dengan konsentrasi tertentu. Industri yang menggunakan krom dalam proses produksinya antara lain industri metal dan baja, industri tekstil, industri pupuk dan industri penyamakan kulit. Pengolahan limbah menggunakan IPAL/IPL dengan teknologi yang tepat diperlukan agar konsentrasi krom pada masing masing effluent limbah industri tersebut aman dan memenuhi baku mutu sebelum dibuang ke badan air penerima. Apabila pengolahan tidak sesuai dan limbah dibuang begitu saja ke badan air padahal effluent belum memenuhi baku mutu yang ditetapkan, maka pencemaran kromium dapat terjadi.

Berdasarkan Surat Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia nomor 1049 tentang Hasil Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan Dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup Tahun 2018-2019, terdapat industri-industri di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto yang masuk dalam kategori hijau dan merah. Untuk proper kategori hijau yang artinya usaha dan/atau kegiatan yang telah melakukan upaya pengelolaan lingkungan lebih dari yang dipersyaratkan dalam peraturan (*beyonce compliance*) melalui pelaksanaan sistem pengelolaan lingkungan, pemanfaatan sumber daya secara efisien dan melakukan upaya tagging jawab sosial dengan baik. Proper kategori ini didapatkan oleh PT. King Halim Jewelry sektor emas, PT. Kawasan Industri Intiland sektor kawasan industri, PT. Sky Indonesia sektor pengolahan logam dan PT. Mermaid Textile Industri Indonesia sektor tekstil. Untuk proper kategori merah yang artinya upaya pegelolaan lingkungan yang dilakukan belum sesuai dengan persyaratan sebagaimana diatur dalam peraturan perundang-undangan. Proper kategori ini didapatkan oleh PT. Sunrise Steel sektor pelapisan logam.

Mengacu pada SK tersebut, dapat diketahui bahwa terdapat industri yang menggunakan krom pada proses produksinya tapi masih belum memiliki pengolahan yang tepat sehingga effluent yang dihasilkan masih belum memenuhi baku mutu dan mengandung krom yang dapat mencemari lingkungan sekitar. Beberapa industri juga belum tercantum pada SK tersebut padahal

di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto sendiri 17 yang menggunakan kromium untuk proses produksinya. Sehingga effluent industri yang belum memenuhi baku mutu berpotensi menyebabkan kontaminasi/masuknya kromium akibat kegiatan manusia ke dalam tanah di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto.

Selain dari kegiatan industri, aktifitas warga di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto yang dapat menyebabkan pencemaran kromium adalah penggunaan pupuk organik, pupuk buatan dan pestisida untuk kegiatan pertanian. Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto merupakan daerah penghasil padi, jagung, kacang tanah, tebu dan kapok randu. Penggunaan pupuk diperlukan untuk mempercepat pertumbuhan dan menstimulus perkembangan tanaman sehingga menghasilkan tanaman yang sehat dan prima. Sedangkan pestisida digunakan untuk membasmi hama sehingga tanaman terus hidup hingga masa panen. Namun, ketergantungan dan penggunaan pupuk dan pestisida berlebih dapat menyebabkan pencemaran kromium pada tanah. Berdasarkan Peraturan Bupati Mojokerto Nomor 46 Tahun 2014, penggunaan pupuk bersubsidi Kecamatan Jetis sebesar 4280 ton dalam setahun dengan rincian 1175 ton urea, 255 ton SP-36, 1015 ton Za, 1290 NPK, 545 organik. 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 (Sulanjana, 2005).

Berdasarkan uraian diatas, apabila dikaitkan pada tabel 3.8, diketahui bahwa dalam setiap pupuk mengandung konsentrasi kromium yang berbeda-beda. Disamping itu, luas sawah di Kecamatan Jetis yang digunakan untuk kegiatan pertanian cukup luas mencapai 32,17 Km². Sehingga, penggunaan pupuk juga sangat besar dan potensi akumulasi kromium pada tanah di area pertanian sangat mungkin terjadi. Maka dari itu, penggunaan pupuk dan pestisida berpotensi menyebabkan

kontaminasi/masuknya kromium akibat kegiatan manusia ke dalam tanah di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto.

4.4 Bioremediasi Tanah di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto Menggunakan Bakteri *Bacillus subtilis*

Berdasarkan sub bab 2.8 diketahui bahwa tingkat degradasi kromium pada tanah oleh bakteri *Bacillus subtilis* lebih baik dibandingkan dengan bakteri *Azotobacter S8*. Sehingga untuk aplikasi bioremediasi tanah di wilayah Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto bisa digunakan bakteri *Bacillus subtilis*. Selanjutnya adalah pemilihan daerah/lokasi yang akan diprioritaskan untuk dilakukan remediasi. Daerah yang akan diremediasi mengacu pada wilayah administrasi di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto sehingga peninjauan lokasi didasarkan pada masing masing desa untuk memudahkan dalam pelaksanaan. Pemilihan desa terpilih mempertimbangkan 2 aspek yaitu:

- **Konsentrasi Pencemar**

Aspek ini dipilih karena konsentrasi kromium di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto beragam dan kondisi tiap desa yang berbeda-beda. Maka, 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 dari seluruh wilayah Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto. Pemilihan lokasi ini juga bisa dijadikan sebagai *trial and error* penerapan bioremediasi menggunakan bakteri di Kecamatan Jetis sebelum dilakukan secara menyeluruh dalam satu wilayah.

- **Luas Lahan Pertanian (sawah dan non sawah)**

Berdasarkan sub-bab 4.2, didapatkan bahwa salah satu sumber kontaminasi kromium pada tanah di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto terjadi akibat kegiatan pertanian. Berdasarkan sub-bab 4.1, diketahui bahwa luas lahan pertanian baik sawah maupun non sawah di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto mencapai 3217 ha atau 32,17 km² melebihi setengah dari luas keseluruhan Kecamatan Jetis sebesar 56,28 km². Dan potensi akumulasi kromium dari pupuk yang digunakan sejalan dengan luas lahan pertanian. Sehingga aspek ini perlu dijadikan perhatian.

Berdasarkan 2 aspek tersebut, selanjutnya dilakukan identifikasi dan analisis data terkait konsentrasi pencemar dan luas lahan pertanian (sawah dan non sawah) setiap desa di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto untuk menentukan lokasi prioritas dilakukannya bioremediasi. Pada tabel 4.3, dapat ditentukan desa yang dijadikan prioritas untuk dilakukan bioremediasi yaitu Desa Mojojeblok. Desa Mojojeblok dipilih karena konsentrasi rata-rata kromium pada desa tersebut sebesar 15,9 mg/kg (urutan 1). Disamping itu, luas sawah di Desa Mojojeblok 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. Berikut tabel 4.3 mengenai penilaian aspek bioremediasi tiap desa. Warna kuning menunjukkan bahwa nilai suatu desa pada aspek tertentu melebihi dari nilai rata rata Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto.

Tabel 4. 3 Penilaian Aspek Bioremediasi Tiap Desa

KELURAHAN	RATA-RATA KONSENTRASI KROMIUM (MG/KG)	LUAS SAWAH (M2)	LUAS NON SAWAH (M2)
MLIRIP	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
MOJOJEBLAK	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

Berdasarkan sub-bab 3.5, teknik bioremediasi pada Desa Mojojeblok dapat menggunakan teknik bioremediasi *in-situ* dengan bioaugmentasi. Teknik ini dipilih karena luas lahan yang akan diremediasi mencapai 1,5 km² (sawah), pergerakan dan distribusi pencemar yang hanya pada cangkupan zona pencemaran saja, serta untuk memudahkan dalam proses bioremediasi dan menghemat biaya yang digunakan. Selain itu, karena bioremediasi terkadang memiliki laju penguraian yang rendah bila hanya dilakukan oleh mikroba lokal maka diperlukan penambahan *exogenous* mikroba yang telah teruji biasa dilakukan untuk meningkatkan laju penguraian.

Pada umumnya, bioremediasi hanya efektif ketika proses degradasi dilakukan pada skala laboratorium karena kondisi lingkungan dapat dikontrol sepenuhnya. Kebanyakan polutan berada pada lingkungan yang tidak berpihak bagi mikroba pendegradasi (Hidayat, *et al.*, 2017). Sehingga untuk mengantisipasi hal tersebut, berdasarkan sub-bab 3.10 faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan bioremediasi harus diperhatikan.

Aplikasi bioremediasi di Desa Mojojeblok apabila melihat luas lahan pencemaran yang akan diremediasi yaitu lahan sawah seluas 1,5 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 Mojojeblok dilakukan secara *in-situ* untuk memudahkan dalam proses bioremediasi dan menghemat biaya yang digunakan.

Kajian dan penelitian terhadap bakteri indigenous yang terdapat dalam tanah di Desa Mojojeblok belum dilakukan, Sedangkan kajian dan hasil penelitian kemampuan bakteri *exogenous* telah banyak dilakukan dan memiliki tingkat degradasi yang tinggi untuk meremediasi kromium pada tanah. Berdasarkan sub bab 3.9 diketahui bahwa baik bakteri *Bacillus subtilis* maupun bakteri *Azotobacter S8* merupakan bakteri yang resisten dan mampu digunakan sebagai agen bioremediasi.. Diketahui bahwa konsentrasi rata-rata kromium di Desa Mojojeblok sebesar 15,9 mg/kg. Baku mutu kromium pada tanah (TK-C) menurut PP No.

101 Tahun 2014 sebesar 1 mg/kg. Sehingga dilakukan perhitungan sederhana berdasarkan literatur sebagai berikut:

- Konsentrasi kromium rata-rata di Desa Mojojeblak sebesar 15,9 mg/kg
- Baku Mutu TK-C PP No. 101 Tahun 2014 sebesar 1 mg/kg
- Tingkat removal bakteri *Bacillus substillis* 98 % selama 14 hari (Dhal, *et al.*, 2013)
- Konsentrasi akhir = $15,9 - (15,9 \times 98\%)$
= $15,9 - 15,582$
= 0,318 mg/kg (**memenuhi**)
- Tingkat removal bakteri *Azotobacter S8* 92 % selama 14 hari (Sinarth, *et al.*, 2013)
- Konsentrasi akhir = $15,9 - (15,9 \times 90\%)$
= $15,9 - 14,31$
= 1,59 mg/kg (**belum memenuhi**)

Sehingga dilakukan bioaugmentasi *Bacillus substillis* untuk meremediasi tanah terkontaminasi kromium di Kecamatan Jetis dengan waktu kontak selama 14 hari sehingga memenuhi baku mutu yang ditetapkan.

Penelitian yang dilakukan Dhal, *et al.*, (2013) dalam skala laboratorium menjelaskan bahwa jumlah bakteri yang digunakan sebanyak 10% dari volume total (v/v). Karena bioremediasi ini diplikasikan langsung pada tanah tanpa wadah, maka volume tanah total dijadikan sebagai volume total yang akan di remediasi. Soepardi (1983) menyatakan 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. Menurut Suganda, dkk., (1999), porositas tanah sawah sebesar 62,1 %. Tangahu, *et al.*, (2014) juga melakukan *pilot scale* bioremediasi *in situ* dalam skala laborototium menggunakan media pasir dan air tercemar. Jumlah bakteri yang digunakan sebesar 2% dari volume cairan dalam media pasir atau volume ruang kosong didalam media.

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

- Luas zona = 1,5 Km² = 1.500.000 m²
- Kedalaman = 20 cm = 0,2 m
- Volume = 1.500.000 m² x 0,2 m
= 300.000 m³
- 10% = 10% x 300.000 m³
= 30.000 m³
- Porositas tanah = 62,1 %
- Volume pori = 62,1 % x 30.000 m³
= 18.630 m³
- Volume bakteri = 2% x 18.630 m³
= 372,6 m³

Hasil perhitungan menunjukkan angka volume bakteri yang digunakan sangat besar dikarenakan karena cangkupan lahan yang akan diremediasi sangat luas mencapai 1,5 km², porositas tanah sawah yang tinggi karena kandungan bahan organik tinggi (Hardjowigeno, 2007) serta kebanyakan hasil penelitian merupakan skala laboratorium dan bukan *pilot scale* dari suatu studi kasus.

Karena cangkupan 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. Pertama dilakukan penggemburan lahan pertanian dengan kedalaman 20 cm menggunakan cangkul/alat bajak. Penggemburan ini dilakukan untuk memperbesar porositas tanah sehingga dapat menyediakan ruang yang banyak untuk pertumbuhan kultur bakteri (Suganda, dkk., 1999). Setelah 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 dikembang-biakkan dalam *nutrient broth* karena resisten dan memiliki laju pertumbuhan yang cepat. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Purwanti, *et al.*, (2017), kultur bakteri yang ditanam pada media tanah harus mencapai OD=0,5-1.

Setelah didapatkan kultur bakteri sesuai dengan hasil penelitian terdahulu, kultur bakteri kemudian disemprotkan pada

tanah menggunakan *sprayer*. Karena 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/alat bajak. Proses aerasi dilakukan setiap 2 hari sekali selama proses kontak 14 hari berdasarkan penelitian yang dilakukan Purwanti, *et al.*, (2017).

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 dilaukan pada hari ke 0 dan 14 (Deepali, 2011). 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. Zhu, *et al.*, (2001) menyatakan bahwa pada kebanyakan 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 kondisi lingkungan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari studi literatur ini adalah sebagai berikut:

1. Mekanisme kontaminasi kromium pada tanah di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto terjadi akibat penggunaan bahan yang mengandung kromium itu sendiri. Potensi kontaminasi terjadi akibat sektor industri dan sektor pertanian. Berdasarkan penggunaan lahan, sektor pertanian berpotensi 57,2% sedangkan sektor industri berpotensi 23,6% terhadap luas total Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto.
2. Kemampuan degradasi kromium pada tanah oleh bakteri *Bacillus subtilis* lebih baik dari bakteri *Azotobacter S8*. Bakteri *Bacillus subtilis* mampu menyisihkan sebesar 95-98% kromium pada tanah dengan konsentrasi awal 58,6-75 mg/kg selama 10-14 hari. Sedangkan bakteri *Azotobacter S8* mampu menyisihkan sebesar 90-95% kromium pada tanah dengan konsentrasi awal 51,4-73,8 mg/kg selama 10-14 hari.
3. Mekanisme bioremediasi di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto diprioritaskan pada Desa Mojojeblak menggunakan teknik bioremediasi *in-situ* dengan bioaugmentasi bakteri *Bacillus subtilis* selama 14 hari dan volume bakteri yang dibutuhkan sebesar 372,6 m³.

5.2 Saran

Saran dari studi literatur ini adalah:

1. Perlu adanya pengujian skala laboratorium dengan *pilot scale* terhadap kemampuan degradasi kromium oleh bakteri *Bacillus subtilis* pada tanah di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto sehingga didapatkan hasil yang lebih valid.
2. Perlu dilakukan pemetaan persebaran kromium dengan transek yang lebih kecil sehingga didapatkan prioritas lokasi yang lebih spesifik dengan tingkat pencemaran kromium pada tanah tertinggi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Adhani, R., dan Husaini. 2017. **Logam Berat Sekitar Manusia**. Banjarmasin: Lambung Mangkurat University Press.
- Ahemad, M. 2012. "Impactions of Bacterial Resistance Against Heavy Metals in Bioremediation: A Review". **IIOAB Journal** 3, 3:39-46.
- Ahirwar, N.K., Gupta, G., and Singh, V. 2013. Biodegradation of Chromium Contaminated Soil by Some Bacteria Species. **International Journal of Science and Research** :2319-7064
- Akhter, M.S., Hossain, S.J., Hossain, S.A., and Datta, R.K. 2012. "Isolation and characterization of salinity tolerant Azotobacter sp". **Greener Journal of Biological Sciences**, 2:043-051.
- Alvarez, P.J.J., and Ilman, W.A. 2006. **Bioremediation and Natural Attenuation: Process Fundamentals and Mathematical Models**. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Apriliani., Laurence, Z., Yuliana dan Zulhendri. 2015. **Makalah Kimia Logam Berat**. Riau: Universitas Riau.
- Aquilanti, L., Favilli, F., and Clementi, F. 2004. "Comparison of Different Strategies for Isolation and Preliminary Identification of Azotobacter from Soil Samples". **Journal of Soil Biology and Biochemistry**, 36:1475-1483.
- Asmadi., S. Endro dan Oktavian W. 2009. "Pengurangan Chrom (Cr) Dalam Limbah Cair Industri Kulit Pada Proses Tannery Menggunakan Senyawa Alkali $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Naoh Dan NaHCO_3 (Studi Kasus Pt. Trimulyo Kencana Mas Semarang)". **JAI** 5, 1: 41 – 54.
- Aubert, H., and Pinta, M., 1977. **Trace Element in Soils**. New York: Elsevier Sci. Publ. Co.
- Badan Pusat Statistik. 2019. **Kecamatan Jetis Dalam Angka**. Mojokerto: BPS Kabupaten Mojokerto.
- Balamurungan, D., Udayasooriyan, C., and Kamaladevi, B. 2014. "Chromium (VI) Reduction by Pseudomonas putida and Bacillus subtilis Isolated from Contaminated Soils". **International Journal of Environmental Sciences** 5, 3:522-529.

- Benazier, J. Fathima, R. Suganthi, D. Rajvel, M. Padmini Pooja and B. Mathithumilan. 2010. "Bioremediation of Chromium in Tannery Effluent by Microbial Consortia". **African Journal of Biotechnology** 9, 21:3140-3143.
- Carpa, R., and Lucian B. (2011). "Investigation of The Poly-B-Hydroxybutyrate (Phb) Producing in Mountain 52 Bacterial Strains by Transmission Electron Microscopy". **Romanian Biotechnological Letters** 16, 2:5989–5995.
- Coma, V. 2013. Overview: "Polysaccharide-based biomaterials with antimicrobial and antioxidant properties". **Polimeros** 23, 3:287-297.
- Cheng, G. and Li, X. 2009. "Bioreduction of Chromium (VI) by Bacillus sp. Isolated from Soils of Iron Mineral Area". **Journal of Soil Biology** 45, 5:483-487.
- Dash H.R., Mangwani N., Chakraborty J., Kumari A., and Das S. 2013. Marine Bacteria: Potential Candidate for Enhanced Bioremediation. **Applied Microbiology and Biotechnology**, 76: 561–571.
- Dhal, B., Thatoi, H.N., Dhor, N.N., and Pandey, B.D. 2013. "Chemical and Microbial Remediation of Hexavalent Chromium Contaminated Soil and Mining/Metalurgical Solid Waste:A Review". **Journal of Hazardous Material** 250, 251:272-291.
- Deepali. 2011. "Bioremediation of Chromium (Vi) From Textile Industry's Effluent and Contaminated Soil Using Pseudomonas Putida". **Journal of Energy & Environment** 2, 1: 24-31.
- Erni, R. H. 2011. "Biosorpsi Kadmium dan Komposisi Eksomopolisakarida Azotobacter sp pada Dua Konsentrasi CdCl₂". **Agrianimal** 1, 1:33–37.
- Evelyne, J. R, and Ravisankar, V. 2014. "Bioremediation of Chromium Contamination-A Review". **Journal of Research in Earth & Environmental Sciences** 1, 6:20–26.
- Hamer G. 1993. Bioremediation: A Response to Gross Environmental Abuse. **Trends in Biotechnology**, 11: 317–319.
- Haug, A., Larsen, B., and Smidsrod, O. 1967. Studies on Sequence of Uronic Acid Residues in Alginic Acid. **Acta Chemical Scand**, 21:691–704.

- Hidayat, A., and Siregar C. A. 2017. **Telaah Mendalam Tentang: Bioremediasi Teori dan Aplikasinya Dalam Upaya Konservasi Tanah dan Air**. Bogor: PT Penerbit IPB Press.
- Jeyasingh, J. and Philip, L. 2005. Bioremediation of Chromium Contaminated Soil: Optimization of Operating Parameters Under Laboratory Conditions. **Journal of Hazardous Materials** 118, 3: 113-120
- Kathiravan, M. N., Kathick, R., and Muthukumar, K. 2011. Ex situ Bioremediation of Cr (VI) Contaminated Soil by *Bacillus* sp.: Batch and Continuous Studies. **Chemical Engineering Journal**, 160: 107-115.
- Kaur, H. and Kumar, A. 2014. "Bioremediation of Hexavalent Chromium in Wastewater Effluent by *Pseudomonas Putida* (Mtcc 102)". **Journal of Research in Earth & Environmental Sciences** 1, 4:18–24.
- Kemertian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. 2019. **Surat Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia nomor 1049 tentang Hasil Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan Dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup Tahun 2018-2019**. Jakarta
- Komarawidjaja, W. 2017. "Paparasi Limbah Cair Industri Mengandung Logam Berat pada Lahan Sawah di Desa Jelegong, Kecamatan Rancaekek, Kabupaten Bandung". **Jurnal Teknologi Lingkungan** 18, 2: 173 – 181.
- Kristianto, S., Wilujeng, S dan Deni Wahyudiarto. 2017. Analisis Logam Berat Kromium (Cr) Pada Kali Pelayaran Sebagai Bentuk Upaya Penanggulangan Pencemaran Lingkungan di Wilayah Sidorajo". **Jurnal Biota** 3, 2:66–71.
- Kumar, A. Bisht, B. S., Joshi, V.D., and Dhewa, T. 2011. Review on Bioremediation of Polluted Environment: A Management Tool. **International Journal of Environmental Science**, 1: 1079–1092.
- Kurniawan, S.B., dan Purwanti, I.F., 2016. **Uji Kemampuan Bakteri *Azotobacter S8* dan *Pseudomonas Putida* Untuk Menyisihkan Trivalent Chromium (Cr³⁺) Pada Limbah Cair**. Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
- Laila, N dan Gigih P. 2017. "Kesiapan Masyarakat Menerima Kompensasi dari Pencemaran Limbah B3 di Kabupaten

- Mojokerto: Contingen Valuation Method". **Jurnal Ekonomi Kuantitatif Terapan** 10, 2:1-12.
- Lenart, A. 2012. "Occurance, Characteristics, And Genetic Diversity Of Azotobacter Chroococum In Various Soils Of Shotern Poland". **Poland Journal Environmental Study**, 21: 415-424.
- Mahimairaja, Santiago, Santhamani Shenbagavalli, and Ravi Naidu. 2011. "Remediation of Chromium – Contaminated Soil due to Tannery Waste Disposal: Potential for Phyto and Bioremediation". **Japanese Society of Pedology** 54, 3:175-181.
- Manurung, M., Setyo, Y., dan Suandewi, N. R. 2018. "Akumulasi Logam Berat Krom (Cr) Pada Tanaman Kentang (Solanum Tuberosum L.) Akibat Pemberian Pestisida, Pupuk Organik Dan Kombinasinya". **Jurnal Kimia** 12, 2:165-172.
- McKone, T. E. 2009. **Mass Transport within Soils**. California: University of California.
- Mirbagheri, S. A. 2004. "Modeling Contaminant Transport In Soil Column And Ground Water Pollution Control". **International Journal of Environmental Science & Technology** 1, 2:141 – 150.
- Mishra, R. K., Mohammad, N., and Roychoudhury, N. 2015. "Soil Poluttion: Causes, Effects and Control". **Tropical Forest Research** 3, 1: 1 – 14
- Morikawa, M., Kagihiro, S., Haniki, M., Takano, K., Branda, S., Kolter, R. and Kanaya, S. 2006. "Biofilm Formation by a Bacillus subtilis Strain that Produce g–Polyglutamate". **Journal Mickrobiology**, 152:2801-2807.
- Mrozik, A. and Piotrowska-Seget, Z. 2010. "Bioaugmentation as A Strategy for Cleaning Up of Soils Contaminated with Aromatic Compounds". **Journal of Microbiological Research** 165, 5:363-375.
- Mythili, K. and B. Karthikeyan. 2011. "'Bioremediation of Cr (VI) from Tannery Effluent Using Bacillus sp and Staphylococcus sp". **International Multidisciplinary Research Journal** 1, 6:38–41.
- Nahadi., Hernani dan Fitri K. 2005. "Biodegradasi Sifat Toksik Logam Berat Krom Dalam Limbah Cair Industri". **Jurnal Pengajaran MIPA** 6, 2: 63 – 70.

- Nath, J. and Ray, L. 2015. "Biosorption of Malachite Green from Aqueous Solution by Dry Cells of *Bacillus cereus* M1 16 (MTCC 5521)". **Journal of Environmental Chemical Engineering** 3, 1:386-394.
- Nugraha, F., 2019. **Kajian Spasial Untuk Penentuan Metode Remediasi Tanah Tercemar Kromium Di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto**. Tugas Akhir Departemen Teknik Lingkungan, FTSLK ITS Surabaya.
- Nurbanasari, M dan Ramelan A. 2012. "Proses Pelapisan Kromium Pada Pelat Baja Karbon Rendah". **Prosiding Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke 15**. Yogyakarta, ISBN: 978-979- 95620-5-0.
- Oves, M., Khan, M. S., and Zaidi, A. (2013). "Chromium Reducing and Plant Growth Promoting Novel Strain *Bacillus subtilis* OSG41 Enhance Chickpea Growth in Chromium Amended Soils". **European Journal of Soil Biology** 56,1:72-83.
- Pavel, L. V., Mariana, D., and Maria, G. 2012. "Studies of Toxicity of Chromium(VI) and Cadmium(II) on Some Microbial Species". **International Symposium on Biosorption and Bioremediation**. Romania.
- Pemerintah Kabupaten Mojokerto. 2014. **Peraturan Bupati Mojokerto Nomor 46**. Mojokerto.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2014. **Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 101 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun**. Jakarta.
- Prasetyo, B. H. 2007. "Perbedaan Sifat-Sifat Tanah Vertisol Dari Berbagai Bahan Induk". **Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia** 9, 1:20 – 31.
- Putri, T. P., 2017. **Uji Kemampuan Bakteri *Bacillus Subtilis* Dalam Proses Penyisihan Logam Kromium Pada Tanah Tercemar Kromium**. Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP ITS Surabaya.
- Purwanti, I. F. dan Imron, M. F. 2016. "Uji Kemampuan Bakteri *Azotobacter* S8 dan *Bacillus subtilis* untuk Menyisihkan Trivalent Chromium (Cr^{3+}) pada Limbah Cair". **Jurnal Teknik ITS** 5, 1:2337-3539.
- Purwanti, I. F., Kurniawan, S. B., Tangahu, B. V., and Rahayu, N. M. 2017. "Bioremediation of Trivalent Chromium in Soil

- Using Bacteria". **International Journal of Applied Engineering Research** 12, 20:9346-9350.
- Purwanti, I. F., Siti R. S. A., Ainon, H., Musrifah, I., Hassan, B., Muhammad, M., and Mohammad, T. L. 2015. "Biodegradation of Diesel by Bacteria Isolated from *Sci us mucronatus* Rhizosphere in Diesel-Contaminated Sand". **Journal of Advanced Science** 2, 1:140-143.
- Rahayu, N. M., 2017. **Uji Kemampuan Bakteri Azotobacter Dalam Proses Penyisihan Logam Kromium Pada Tanah Tercemar Kromium**. Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP ITS Surabaya.
- Safita, A., dan Zulaika, E. 2015. "Viabilitas *Azotobacter* A1a, A5, dan A9 pada Medium Terpapar Logam Berat Cr(VI)". **Jurnal Sains dan Seni ITS** 4, 1:2337-3520.
- Said, N. I. 2010. "Metoda Penghilangan Logam Berat (As, Cd, Cr, Ag, Cu, Pb, Ni, dan Zn) di dalam Air Limbah Industri". **JAI** 6, 2:136–148.
- Soepardi, G. 1983. **Sifat dan Ciri Tanah**. IPB Press. Bogor.
- Srinath, Verma, T., Ramteke, P.W. and Garg, S.K. 2002. Chromium (VI) Biosorption and Bioaccumulation by Chromate Resistant Bacteria. **Tannery Technology** 48, 4:425-435
- Suminten, N. K., Sudiarta I.W., dan Simpen, I.N. 2014. "Adsorpsi Ion Logam Cr(III) pada Silika Gel dari Abu Sekam Padi Termodifikasi Ligan Difenilkarbazon (Si-DPZon)". **Jurnal Kimia** 8,2:231-236.
- Suganda, H., Kusnadi, dan Undang, K. 1999. Pengaruh Arah Barisan Tanaman dan Bedengan dalam Pengendalian Erosi pada Budidaya Sayuran Dataran Tinggi. **Jurnal Tanah dan Iklim**, 17. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang
- Sugiharyanto., dan Nurul, K. 2009. **Diktat Mata Kuliah Geografi**. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Suharto. 2017. **Studi Pelapisan Krom Pada Baja Karbon Dengan Variasi Waktu Pencelupan 10, 20, 30, 40, 50 Menit Dan Tegangan 9 Volt Dengan Arus 5 Ampere**. Surakarta: Universitas Muhamaddiyah Surakarta.
- Sulanjana, A. 2005. **Makalah Industri Pupuk dan Amonia**. Bandung: Jurusan Pendidikan Kimia FPMIPA UPI.

- Tangahu, B.V., Abdullah, S.R. S., Basri, H., Idris, M., Anuar, N., and Mukhlisin, M. 2014. Biosorption of Lead (Pb) by Three *Bacillus* species (*Bacillus cereus*, *Bacillus pumilus* and *Bacillus substillis*) Isolated from *Scirpus grossus*. **Life Cycle Assessment at Manufacturing Company a Sawmill in Terengganu**, 215-220.
- Tangahu, B.V., Kartika, A.A.G., Maulana A.A., Nugraha F., and Abdullah S.R.S. 2020. "Study of Chromium (Cr) and Lead (Pb) Distribution in Soil in Jetis District, Mojokerto, Indonesia". **Technology Reports of Kansai University** 62, 3: 169-184.
- Triatmojo, S., Sihombing, D.T.H., Djojowidagdo, S., dan Wiradarya, T.R. 2001. "Biosorpsi dan Reduksi Krom Limbah Penyamakan Kulit dengan Biomassa *Fusarium* sp dan *Aspergillus niger*". **Manusia dan Lingkungan** 8, 2: 70-81.
- Trihadiningrum, Y. 2012. **Mikrobiologi Lingkungan**. Surabaya: ITS Press.
- Tufaila, M., dan Syamsu A. 2014. "Karakteristik Tanah Dan Evaluasi Lahan Untuk Pengembangan Tanaman Padi Sawah Di Kecamatan Oheo Kabupaten Konawe Utara". **Jurnal Agriplus** 24, 2: 184 – 194.
- Utomo, D. H. 2016. "Morfologi Profil Tanah Vertisol di Kecamatan Kraton, Kabupaten Pasuruan". **Jurnal Pendidikan Geografi**, 2:47–57.
- Vidali M. 2001. Bioremediation An Overview. **Pure and Applied Chemistry**, 73: 1163–1172.
- Waskito, S. 2011. **Menghasilkan Biogas dari Aneka Limbah**. Jakarta: PT Agro Media Pustaka.
- Yahya, M. 2017. "Pemanfaatan Limbah Industri Baja (*Blast Furnace Iron Slag*) Sebagai Bahan Bangunan Studi Kasus: PT Barawaja Makassar". **Jurnal Temu Ilmiah IPLBI**: 1 – 6
- Zheng, Z., Li, Y., Zhang, X. Liu, P., Ren, J., Wu, G., Zhang, Y., Chen, Y., and Li, X. 2015. A *Bacillus subtilis* Strain Can Reduce Hexavalent Chromium to Trivalent and *Nfra* Gene is Involved.
- Zhu, X., Albert, D. V., Makram T. S., and Kenneth, L. 2001. **Guidelines for the Bioremediation of Marine Shorelines and Freshwater Wetlands**. Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Muhammad Awaluddin, lahir di Kediri 3 Maret 1998. Penulis merupakan mahasiswa Program Sarjana Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Angkatan 2016. Anak kedua dari 4 bersaudara ini berkesempatan mengenyam pendidikan dasar di Sekolah Dasar Islam Ar-Robithoh (2004–2006), dilanjutkan ke pendidikan tingkat menengah di MTsN 2 Kota Kediri (2010–2013) kemudian ke Pendidikan tingkat atas di SMAN 1 Kota Kediri (2013–2016).

Selama menggeluti dunia perkuliahan, penulis memiliki ketertarikan terhadap kegiatan manajerial dan pengabdian masyarakat. Penulis berkesempatan untuk berkontribusi pada organisasi kemahasiswaan dengan menjadi Staff dan Kepala Divisi Sosial Masyarakat Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL). Selain itu, penulis juga berkesempatan mengabdikan pada masyarakat secara langsung melalui kegiatan Kampung Mitra HMTL dengan menjadi Staff dan Ketua Panitia. Penulis juga pernah menjadi asisten laboratorium teknik analisis pencemaran lingkungan.

Penulis berharap dengan adanya studi literatur ini dapat menjadi alternatif pengolahan tanah terkontaminasi kromium di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto dan dapat dikembangkan lagi oleh banyak pihak. Untuk informasi lebih lanjut penulis dapat dihubungi melalui surat elektronik di awaluddin0324@gmail.com.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FORM FTA-03

KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Muhammad Awaluddin
NRP : 0321164000011
Judul : Studi Literatur Bioremediasi Tanah Terkontaminasi
Kromium di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto
Menggunakan Bakteri *Azotobacter S8* dan *Bacillus subtilis*

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1	10-2-2020	Fiksasi proposal penelitian setelah seminar proposal, penentuan variabel penelitian, penentuan sampel tanah.	
2	24-2-2020	Prosedur sampling tanah, jumlah tanah yang diambil, teknik sampling	
3	7-3-2020	Perhitungan konsentrasi pencemar dan prosedur praktikum	
4	27-3-2020	Perubahan bidang tugas akhir menjadi studi literatur	
5	13-4-2020	Draft laporan tugas akhir (format laporan studi literatur)	
6	1-5-2020	Bab 1 Pendahuluan: latar belakang, tujuan, ruang lingkup Bab 2 Metode Studi: kerangka studi, metode	
7	9-5-2020	Bab 3 Hasil dan Pembahasan; tabulasi literatur tentang pokok bahasan Bab 4 Studi Kasus: prioritas lokasi, hasil perhitungan, langkah aplikasi	
8	17-5-2020	Abstrak: poin poin pokok yang dimuat Bab 5 Kesimpulan dan Saran: poin kesimpulan kuantitatif, saran merujuk ke perbaikan hasil tugas akhir	
9	26-5-2020	Draft laporan tugas akhir untuk seminar kemajuan	
10	8-6-2020	Konten ppt untuk seminar kemajuan	
11	6-7-2020	Draft Laporan Tugas Akhir dan konten ppt untuk sidang lisan	
12	5-8-2020	Jurnal POMITS dan Finalisasi Laporan Tugas Akhir	

Surabaya, 6 Agustus 2020
Dosen Pembimbing

Bieby Vojiant Tangahu, ST., MT., Ph.D.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Saran Perbaikan Ujian Lisan TA Genap 2019/2020

Lisan Remediasi

Lab Remediasi Lingkungan

Input NRP anda (tanpa spasi,format: 32xxxxxxxxxx) *

Muhammad Awaluddin (321164000011)

Dosen Pembimbing: Bieby Voljant Tangahu, ST, MT, PhD

Saran:

Perbaiki sesuai arahan dosen penguji

LULUS

Dosen Penguji 1: Prof. Dr. Ir. Sanwoko Mangkoedihardjo, MS&ES

Saran:

Perdalam syarat bioremediasi

LULUS

Dosen Penguji 2: Ipong Fitri Purwanti, ST, MT, PhD

Saran:

penulisan: cek kesalahan ketik, cek penomoran tabel dan gambar dan kesesuaiannya dlm teks

LULUS

Dosen Penguji 3: Ir. Eddy Setiadi Soedjono, MSC., PhD

Saran:

1. Mengapa tanah sebegitu luas di Kecamatan Jetis dapat semuanya tercemar Cr?
 2. Jelaskan mengapa sama-sama dapat tercemar limbah pertanian dan limbah industri!
 3. Jelaskan sama dan beda karakteristik dari Azoto vs Bacillus! termasuk beda Gram nya, ketahanan iritan dan resisten nya.
 4. Berbagai jenis pupuk yang ada di slide 14 itu termasuk pupuk mana saja yang ada di Slide 6? Pupuk mana yang berpotensi mencemari paling sedikit?
 5. Mengapa pencemaran di Mojojebak begitu tinggi? Kaitkan jawabannya dengan pertanyaan saya di nomor2!
 6. Jelaskan potensi pence mar lain selain Cr yang ada dalam berbagai pupuk yang ada di Slide 6 maupun 14!
- LULUS

“Halaman ini sengaja dikosongkan”