



# IDENTIFIKASI BAKTERI TOLERAN LOGAM Pb DAN PROFIL KOMUNITAS BAKTERI DI SEKITAR DANAU KAOLIN, BELITUNG, INDONESIA

**IRA MEYLAN NAFARAH RAKHMAN**



**PROGRAM STUDI MIKROBIOLOGI  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2024**

## PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Identifikasi Bakteri Toleran Logam Pb dan Profil komunitas Bakteri di Sekitar Danau Kaolin, Belitung, Indonesia” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, November 2024

Ira Meylan Nafarah Rakhman  
G3501221011

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



## RINGKASAN

IRA MEYLAN NAFARAH RAKHMAN. Identifikasi Bakteri Toleran Logam Pb dan Profil Komunitas Bakteri di Sekitar Danau Kaolin, Belitung, Indonesia. Dibimbing oleh RIKA INDRI ASTUTI dan IMAN RUSMANA.

Danau Kaolin merupakan bagian dari Kabupaten Belitung yang kaya akan sumber daya mineral. Kegiatan penambangan timah yang dilakukan secara terus-menerus dapat menurunkan kualitas air dan tanah serta keragaman mikroba yang ada di lingkungan. Lahan bekas tambang menunjukkan kelimpahan bakteri yang rendah dengan total koloni bakteri yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan area yang tidak tercemar. Kondisi lingkungan seperti suhu dan kelembaban dapat mempengaruhi kelimpahan bakteri di area bekas tambang. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi keragaman mikoba di Danau Kaolin dan mengeksplorasi potensi mikroba sebagai agen bioremediasi terhadap cekaman Pb pada lingkungan.

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel air dan tanah di sekitar Danau Kaolin. Lokasi pengambilan sampel berada di lima titik lokasi dengan dua titik lokasi aktif (AS) dan tiga titik lokasi yang tidak aktif (NAS) penambangan timah. Setelah mendapatkan sampel lingkungan tersebut, dilakukan pengukuran kandungan logam berat menggunakan AAS. Bakteri diisolasi dengan media NA untuk mendapatkan isolat yang diuji dengan metode cekaman Pb. Pengujian cekaman Pb menggunakan media NB + Pb (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> dan diukur kekeruhannya dengan spektrofotometer. Setelah mendapatkan bakteri isolat yang dapat tumbuh dengan baik di kondisi Pb hingga konsentrasi 100 ppm, kemudian isolat diidentifikasi berdasarkan gen 16S rRNA. Sampel tanah dianalisis menggunakan *shotgun sequencing metagenomic* untuk mengetahui keragaman mikroba yang ada di tanah bekas tambang Danau Kaolin.

Hasil uji kandungan logam berat pada sampel tanah dan air menunjukkan nilai konsentrasi logam berat yang tinggi. Konsentrasi logam berat pada sampel tanah lebih besar dibandingkan dari sampel air. Kandungan logam berat terbesar pada Pb, Al, Cu, dan Fe ditemukan pada lokasi tanah yang aktif sedangkan Sn, Zn, dan SiO<sub>2</sub> ditemukan pada lokasi tanah yang tidak aktif. Kandungan logam berat yang tinggi pada sampel tanah diakibatkan karena kemampuan permukaan tanah dapat mengendapkan logam berat. Konsentrasi nilai Pb dalam tanah berkisar antara 0,10 – 2,05 mg/kg dan standar minimum Pb dalam tanah adalah 400 ppm. Hasil isolasi bakteri dari sampel tanah dan air dilanjutkan dengan mengidentifikasi secara makroskopis dan mikroskopis. Bakteri hasil isolasi memperoleh 14 bakteri dengan bentuk basil dan Gram positif yang paling dominan. Kelimpahan bakteri yang dihasilkan berkisar 10<sup>3</sup> – 10<sup>4</sup> CFU/g dan 10<sup>3</sup> – 10<sup>5</sup> CFU/ml. Empat belas bakteri yang dihasilkan dari isolasi tersebut dilakukan uji toleransi cekaman Pb. Pengujian cekaman Pb menghasilkan empat isolat bakteri yang dapat tumbuh meningkat hingga konsentrasi 100 ppm. Sepuluh bakteri lainnya dapat hidup dengan baik di kondisi Pb dengan konsentrasi berkisar antara 0 – 40 ppm. Setelah mendapat konsentrasi Pb di atas 40 ppm, beberapa isolat bakteri tidak dapat tumbuh dengan baik sehingga dapat menurunkan nilai absorbansinya. Kontrol yang digunakan pada uji ini yaitu *Escherichia coli* DH5 $\alpha$ . Bakteri *E. coli* DH5 $\alpha$  tersebut dijadikan sebagai kontrol negatif dan menunjukkan penurunan nilai absorbansi dari 0 ppm hingga 100 ppm. Keempat isolat potensial ini memiliki kode RDK1, RDK4, RDK8, dan RDK

11. Keempat isolat tersebut dilakukan identifikasi molekuler gen 16S rRNA untuk mengetahui nama spesies atau genus dari isolat tersebut. Isolat RDK1, RDK4, RDK8, dan RDK 11 teridentifikasi sebagai bakteri *Bacillus cereus*, *Bacillus altitudinis*, *Burkholderia cenocepacia*, dan *Raineyella* sp. Keempat isolat teridentifikasi berasal dari sampel tanah, maka dari itu, pengujian *shotgun sequencing* dilakukan pada sampel tanah untuk mengetahui keseluruhan komunitas bakteri di area tanah Danau Kaolin. Hasil pada pengujian analisis *shotgun* didominasi oleh komunitas bakteri. Filum bakteri yang didapatkan adalah *Actinobacteria* (51%), *Acidobacteria* (34%), *Proteobacteria* (12,7%), dan *Firmicutes* (3,9%). Spesies bakteri yang paling banyak ditemukan adalah *Granulicella* sp. dan *Leifsonia shinshuensis*., dimana kedua bakteri tersebut masuk ke dalam filum *Acidobacteria* dan *Actinobacteria*. Sementara itu, hasil sekuensing dari 16S rRNA yakni bakteri *Bacillus cereus* dan *Bacillus altitudinis* teridentifikasi dalam filum *Firmicutes* dengan genus *Bacillus* dan famili *Bacillaceae* sebanyak 3%. Bakteri *Burkholderia cenocepacia* teridentifikasi dalam famili *Burkholderiaceae* sebanyak 8%. Empat isolat bakteri potensial yaitu *B. cereus*, *B. altitudinis*, *B. cenocepacia*, dan *Raineyella* sp. dapat bertahan pada cekaman Pb hingga 100 ppm. Analisis metagenomik menunjukkan komunitas bakteri didominasi oleh empat filum yaitu *Actinobacteria*, *Acidobacteria*, *Proteobacteria*, dan *Firmicutes*. Spesies bakteri didominasi oleh *Granulicella* sp. dan *L. shinshuensis*.

Kata kunci: *Acidobacteria*, *Actinobacteria*, logam Berat, *shotgun* sekuensing

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



## SUMMARY

IRA MEYLAN NAFARAH RAKHMAN. Identification of Lead Tolerance Bacteria and Profiling Bacteria Community in Area of Kaolin Lake, Belitung, Indonesia. Supervised by RIKA INDRI ASTUTI and IMAN RUSMANA.

Kaolin Lake is a part of Belitung Regency that is rich in mineral resources, such as tin. However, tin mining activities can reduce water and soil quality as well as microbial diversity in the environment. Ex-mining land shows low bacterial abundance with fewer total bacterial colonies when compared to unpolluted areas. Environmental conditions such as temperature and humidity in ex-mining areas also affect the abundance of bacteria. This study aims to identify the diversity of microbes in Kaolin Lake and explore the potential of microbes as bioremediation agents against Pb stress in the environment.

The method used was environmental sampling such as water and soil samples. Sampling locations are at five points with two active locations (AS) and three inactive points (NAS) of tin mining. After obtaining the environmental samples, the heavy metal content was measured using AAS. Water and soil samples were isolated with NA media to obtain bacterial isolates that will be tested with the Pb stress method. Pb stress testing uses NB + Pb (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> media and measured turbidity with a spectrophotometer. After obtaining bacterial isolates that can grow well in Pb conditions up to a concentration of 100 ppm, molecular identification of the 16S rRNA gene will be continued. The environmental samples were shotgun sequenced to determine the diversity of microbes in the former Kaolin Lake mining area.

The test results of heavy metal content in environmental samples resulted in heavy metal concentration. The concentration heavy metal in soil samples is higher than in water samples. The largest heavy metal contents in Pb, Al, Cu, and Fe were found in active soil sites while Sn, Zn, and SiO<sub>2</sub> were found in inactive soil sites. The high heavy metal content in soil is due to the ability of the soil surface to precipitate accumulated heavy metals. The value of Pb in soil ranges in concentration from 0.10 - 2.05 mg/kg and the minimum standard of Pb in soil is 400 ppm. Therefore, the results of bacterial isolation in environmental samples were carried out by identifying macroscopically and microscopically. Bacteria isolated from environmental samples and obtained 14 bacteria with the most dominant bacilli and Gram-positive forms. The resulting bacterial abundance ranged from 10<sup>3</sup> - 10<sup>4</sup> CFU/g and 10<sup>3</sup> - 10<sup>5</sup> CFU/ml. Fourteen bacteria resulting from the isolation were tested for Pb stress tolerance. Pb stress testing produced four bacterial isolates that can grow up to 100 ppm concentration. Ten other bacteria can also live well in Pb conditions with concentrations ranging from 0 to 40 ppm. After receiving Pb concentrations above 40 ppm, some bacterial isolates cannot grow well so that they can reduce their absorbance values. The control used in this test is *Escherichia coli* DH5α. The *E. coli* DH5α bacteria was used as a negative control and showed decreasing absorbance value from 0 ppm to 100 ppm. The four potential isolates have codes RDK1, RDK4, RDK8, and RDK 11. Where, the four isolates were carried out molecular identification of the 16S rRNA gene to determine the species or genus name of the isolate. Isolates RDK1, RDK4, RDK8, and RDK 11 were identified as *Bacillus cereus*, *Bacillus altitudinis*, *Burkholderia cenocepacia*, and



*Raineyella* sp. All four identified isolates came from soil samples, therefore, shotgun sequencing testing was carried out on soil samples to determine the overall bacterial community. The results of shotgun analysis testing are dominated by the bacterial community. The bacterial phyla obtained were *Actinobacteria* (51%), *Acidobacteria* (34%), *Proteobacteria* (12.7%), and *Firmicutes* (3.9%). The most common bacterial species found were *Granulicella* sp. and *Leifsonia shinshuensis*, where both bacteria belong to the phylum *Acidobacteria* and *Actinobacteria*. Meanwhile, the sequencing results of 16S rRNA, the bacteria *B. cereus* and *B. altitudinis* were identified in the phylum *Firmicutes* with the genus *Bacillus* and the *Bacilaceae* family as much as 3%. *B. cenocepacia* bacteria were identified in the *Burkholderiaceae* family by 8%. Four potential bacterial isolate was *B. cereus*, *B. altitudinis*, *B. cenocepacia*, and *Raineyella* sp. survive in Pb stress up to 100 ppm. Metagenomic analysis showed the bacterial community was dominated by four phyla (*Acidobacteria*, *Actinobacteria*, *Proteobacteria*, and *Firmicutes*). The bacterial species was dominated by *Granulicella* sp. and *L. shinshuensis*.

**Keywords:** *Acidobacteria*, *Actinobacteria*, heavy metal, shotgun sequencing

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Judul Tesis : Identifikasi Bakteri Toleran Logam Pb dan Profil Komunitas Bakteri di Sekitar Danau Kaolin, Belitung, Indonesia  
Nama : Ira Meylan Nafarah Rakhman  
NIM : G3501221011

Disetujui oleh

Pembimbing 1:  
Dr. Rika Indri Astuti, S.Si., M. Si. \_\_\_\_\_

Pembimbing 2:  
Prof. Dr. Ir. Iman Rusmana, M.Si. \_\_\_\_\_

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:  
Prof. Dr. Dra. Anja Meryandini, M.S.  
NIP 196203271987032001 \_\_\_\_\_

A.n Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Dr. Berry Juliandi, S.Si., M.Si.  
NIP 197807232007011001 \_\_\_\_\_

Tanggal Ujian:  
21 Oktober 2024

Tanggal Lulus:



## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Juni 2023 sampai bulan Juli 2024 ini ialah Ilmu tumbuhan dan tanaman, dengan judul “Identifikasi Bakteri Toleran Logam Pb dan Profil Komunitas Bakteri di Sekitar Danau Kaolin, Belitung, Indonesia”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Dr. Rika Indri Astuti, M.Si. dan Prof. Dr. Ir. Iman Rusmana, M.Si. yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada moderator seminar, dan penguji luar komisi pembimbing. Di samping itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada staf laboratorium (Bapak Aldian, Ibu Heni, Ibu Dewi, Ibu Pepi, Teh Neng, dan Kak Indra) beserta teman-teman lab Pau dan teman-teman Mikrobiologi 2022 yang telah membantu selama pengumpulan data. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, serta seluruh keluarga dan teman-teman yang telah memberikan dukungan doa, dan kasih sayangnya kepada penulis.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, November 2024

*Ira Meylan Nafarah Rakhman*





DAFTAR ISI

|                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| DAFTAR TABEL                                                               | xiv |
| DAFTAR GAMBAR                                                              | xiv |
| DAFTAR LAMPIRAN                                                            | xiv |
| I PENDAHULUAN                                                              | 1   |
| 1.1 Latar Belakang                                                         | 1   |
| 1.2 Rumusan Masalah                                                        | 2   |
| 1.3 Tujuan                                                                 | 2   |
| 1.4 Manfaat                                                                | 2   |
| II TINJAUAN PUSTAKA                                                        | 3   |
| 2.1 Profil Kepulauan Belitung                                              | 3   |
| 2.2 Dampak Aktivitas Pertambangan                                          | 4   |
| 2.2.1 Dampak terhadap Biodiversitas Mikroba                                | 4   |
| 2.2.2 Pencemaran Logam Berat                                               | 5   |
| 2.3 Analisis Metagenom berbasis <i>Shotgun Metagenomic Sequencing</i>      | 6   |
| III METODE                                                                 | 8   |
| 3.1 Kerangka Penelitian                                                    | 8   |
| 3.2 Waktu dan Tempat                                                       | 9   |
| 3.3 Alat dan Bahan                                                         | 9   |
| 3.4 Prosedur Kerja                                                         | 9   |
| 3.4.1 Pengambilan Sampel                                                   | 9   |
| 3.4.2 Kuantifikasi Konsentrasi Logam                                       | 10  |
| 3.4.3 Isolasi Bakteri dari Sampel Lingkungan                               | 10  |
| 3.4.4 Penapisan Isolat Kultur Cekaman Pb                                   | 10  |
| 3.4.5 Isolasi DNA Metagenom dan Analisis <i>Shotgun Sequencing</i>         | 11  |
| IV HASIL DAN PEMBAHASAN                                                    | 12  |
| 4.1 Kandungan Logam Berat Sampel                                           | 12  |
| 4.2 Isolasi dan Karakterisasi Morfologi Bakteri <i>Culturable</i>          | 13  |
| 4.3 Seleksi Bakteri Toleran Cekaman Pb                                     | 16  |
| 4.4 Identifikasi Molekuler gen 16S rRNA Bakteri Toleran Pb                 | 18  |
| 4.5 Profil Komunitas Mikrob Berbasis <i>Shotgun Metagenomik Sequencing</i> | 20  |
| V SIMPULAN DAN SARAN                                                       | 25  |
| 5.1 Simpulan                                                               | 25  |
| 5.2 Saran                                                                  | 25  |
| DAFTAR PUSTAKA                                                             | 26  |
| LAMPIRAN                                                                   | 31  |
| RIWAYAT HIDUP                                                              | 35  |

## DAFTAR TABEL

|   |                                                                                     |    |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Bakteri yang dihasilkan dari area hutan penambangan timah di Bangka Belitung        | 4  |
| 2 | Data hasil pengukuran kadar timbal (Pb) dalam air dan sedimen di Kabupaten Belitung | 6  |
| 3 | Kondisi lingkungan sekitar Danau Kaolin dan lokasi pengambilan sampel               | 9  |
| 4 | Konsentrasi kandungan logam berat sampel tanah dan air Danau Kaolin, Belitung       | 12 |
| 5 | Hasil perhitungan jumlah koloni bakteri pada sampel Danau Kaolin, Belitung          | 13 |
| 6 | Hasil karakterisasi morfologi bakteri sampel tanah dan air                          | 14 |
| 7 | Analisis similaritis sekuen gen 16s rRNA bakteri toleran Pb berbasis uji BLASTN     | 19 |
| 8 | Hasil data statistik dari sampel tanah berdasarkan analisis <i>shotgun</i>          | 22 |

## DAFTAR GAMBAR

|    |                                                                                                                                                       |    |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1  | Penyebaran lokasi penambangan timah terbesar di dunia                                                                                                 | 3  |
| 2  | Profil bakteri yang ditemukan pada lokasi penambangan timah                                                                                           | 5  |
| 3  | Bagan alir analisis data dan <i>software</i> pada pengelolaan NGS dan tahapan metode <i>shotgun sequencing</i>                                        | 7  |
| 4  | Bagan alir penelitian                                                                                                                                 | 8  |
| 5  | Peta lokasi pengambilan sampel air dan tanah di sekitar Danau Kaolin, Belitung                                                                        | 9  |
| 6  | Pertumbuhan isolat bakteri dari sampel tanah dan air pada media NB + Pb (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> dengan konsentrasi 0, 20, 40, 60, 80, 100 ppm | 18 |
| 7  | Hasil elektroforesis fragmen gen 16S rRNA                                                                                                             | 19 |
| 8  | Pohon filogenetik isolat bakteri RDK1, RDK4, RDK8, dan RDK11                                                                                          | 20 |
| 9  | Profil microbiota yang berasal dari sampel tanah Danau Kaolin                                                                                         | 21 |
| 10 | Profil komunitas bakteri dalam taksa kelas dari sampel tanah Danau Kaolin                                                                             | 22 |
| 11 | <i>Heat map</i> komunitas bakteri dalam taksa genus dan spesies                                                                                       | 24 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|   |                                                                                                   |    |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Sekuens isolat gen 16S rRNA                                                                       | 32 |
| 2 | Hasil data statistik dari sampel tanah berdasarkan analisis <i>shotgun metagenomic sequencing</i> | 34 |

## DAFTAR PUSTAKA

- Albert RA, Archambault J, Morra RR, Tindall BJ, Matheny M. 2005. *Bacillus acidicola* sp. nov., a novel mesophilic, acidophilic species isolated from acidic *Sphagnum* peat bogs in Wisconsin. *Int J Syst Evol Microbiol*. 55:2125-2130. doi:10.1099/ijs.0.02337-0.
- Aminah U, Nur F. 2018. Biosorpsi logam berat timbal (Pb) oleh bakteri. *Tekno*. 12(1):50-70. doi:10.24252/teknosains.v12i1.7868.
- Antoun H, Beauchamp CJ, Goussard N, Chabot R, Lalande R. 1998. Potential of *Rhizobium* and *Bradyrhizobium* species as plant growth promoting rhizobacteria on non-legumes: Effect on radishes (*Raphanus sativus* L.). *Int J Soil Sci*. 204(1):57-67.
- Anusha P, Natarajan D. 2020. Bioremediation potency of multi metal tolerant native bacteria *Bacillus cereus* from bauxite mines, kolli hills, Tamilnadu- a lab to land approach. *Biocatal Agric Biotechnol*. 25(2020):1-9. doi:10.1016/j.bcab.2020.101581.
- Ashkan MF. 2023. Lead: Natural occurrence, toxicity to organisms and bioremediation by lead-degrading bacteria: A comprehensive review. *J Pure Appl Microbiol*. 17(3):1298-1319. doi:0.22207/JPAM.17.3.26.
- Asmarhansyah. 2017. Improving soil properties and yield of corn (*Zea mays* L.) by application of organic amendment on abandoned tin-mining land in Bangka Island. *J Trop Soil*. 21(3):141–151. doi:10.5400/jts.2016.v21i3.141-151.
- Bai H, Liu G, Chen D, Xing Z, Wang Y, Wang J, Zhao Y. 2024. Heavy metal pollution in sediments of the Yu River in a polymetallic ore concentration area: temporal-spatial variaton, risk assessment, and sources apportionment. *J Environ Sustain*. 16(2024):1-14. doi:10.3390/su16031154.
- Baharudin A, Widyorini N, Ayuningrum D. 2022. Isolasi dan identifikasi bakteri toleran logam berat Pb (timbal) dan Cu (tembaga) dari sedimen mangrove di mangrove Tapak, Semarang. *J Ilm Perikan Kelaut*. 3(3):61–65. doi:10.21107/jjuvenil.v3i3.16368.
- Barbier E, Rochelet M, Gai L, Boschioli ML, Hartmann A. 2017. Impact of temperature and soil type on *Mycobacterium bovis* survival in the environment. *PloS one*. 1-12. doi:10.1371/journal.pone.0176315.
- Casaburi G, Duscher AA, Reid RP, Foster JS. 2016. Characterization of the stromatolite microbiome from Little Darby Island, the bahamas using predictive and whole shotgun metagenomic analysis. *Environ Microbiol*. 18(5):1452–1469. doi:10.1111/1462-2920.13094.
- Dabir A, Heidari P, Ghorbani H, Ebrahimi A. 2018. Cadmium and lead removal by new bacterial isolates from coal and aluminum mines. *Int J Environ Sci Technol*. 1-8. doi:10.1007/s13762-019-02303-9.
- Dewi L, Hadisoebroto G, Anwar K, Farmasi J, Al-ghifari U, Atom SS. 2021. Penentuan kadar logam timbal (Pb) dan tembaga (Cu) pada sumber air di kawasan Gunung Salak Kabupaten Sukabumi dengan metode spektrofotometri serapan atom. *J Sfar*. 9(2):15–24.
- Fan Y, Wang S, Song M, Zhou L, Liu C, Yang Y, Yu S, Yang M. 2023. Specific biomarker mining and rapid detection of *Burkholderia cepacia* complex by

recombinase polymerase amplification. *Front Microbiol.* 14:1-14. doi:10.3389/fmicb.2023.1270760.

Goh KM, Shahar S, Chan KG, Chong CS, Amran SI, Sani MH, Zakaria II, Kahar UM. 2019. Current status and potential applications of underexplored prokaryotes. *Microorganisms.* 7(2019):1-25. doi:10.3390/microorganisms7100468.

Hao YQ, Zhao XF, Ai HX, Gao SkM, Teng W K, Zheng J, Shu W S. 2022. Microbial biogeography of acid mine drainage sediments at a regional scale across southern China. *Fems Microbiol Ecol.* 98(1):1–10. doi:10.1093/femsec/fiac002.

Hemmat J, Sinegani AAS, Asi AM, Tahmourespour A. 2018. Analysis of microbial communities in heavy metals-contaminated soils using the metagenomics approach. *Ecotoxicol.* 1-11. doi:10.1007/s10646-018-1981-x.

Hines RT. 2022. Apparent temperature and relative humidity in Nebraska: a comparative analysis on wet bulb globe temperature (WBGT) tools [tesis]. Lincoln: University of Nebraska.

Hoang HG, Lin C, Tran HT, Chiang CF, Bui XT, Cheruiyot NK, Shern CC, Lee CW. 2020. Heavy metal contamination trends in surface water and sediments of a river in a highly-industrialized region. *Environ Technol Inno.* 20 (2020):1-14. doi:10.1016/j.eti.2020.101043.

Ikhsan MN, Suama IW, Harimu L. 2023. Analisis kadar logam berat timbal (Pb) dan cadmium (Cd) di Pantai Nambo Kota Kendari. *JPSK.* 3(1):78-83. doi:10.47709/jpsk.v3i01.2047.

Irawati W, Hasthosaputro A, Kusumawati L. 2020. Multiresistensi dan akumulasi *Acinetobacter* sp. IrC2 terhadap logam berat. *J Biol Papua.* 12(2):114-122. doi:10.31957/jbp.1207.

Janatiningrum I, Zahra A, Fitriyanti, Anggia V. 2024. Rhizosphere *Actinobacteria* isolated from *Pometia pinnata* and its antimicrobial activity. *Biodivers J* 3(25):1007-1014. doi:10.13057/biodiv/d250313.

Jiang X, Li WW, Han M, Chen G, Wu J, Lai S, Fu Z, Zhang S, Deng WW, Gao L, Xia T. 2022. Aluminum tolerant, growth promoting endophytic bacteria as contributors in promoting tea plant growth and alleviating aluminum stress. *Tree physiol.* 42:1043-1058. doi:10.1093/treephys/tpab159.

Kalam S, Basu A, Ahmad I, Sayyed RZ, El-Enshasy HA, Dailin DJ, Suriani NL. 2020. Recent understanding of soil *Acidobacteria* and their ecological significance: A critical review. *Front Microbiol.* 11:1-15. doi:10.3389/fmicb.2020.580024.

kaur A, Diehl F. 1996. Tin miners and tin mining in Indonesia 1850 – 1950. *Asian Stud Rev.* 20(2):1-27. doi:10.1080/03147539608713113.

Kent WJ. 2002. BLAT The blast like alignment tool. *Genome Res.* 2002(12):656-664. Doi:10.1101/gr.229202

Kim YB, Kim JY, Song HS, Lee C, Kim J, Whon TW, Lee SH, Rhee JK, Roh SW. 2020. *Reineyella fluvialis* sp. nov., an actinobacterium isolated from freshwater sediment. *Int J Syst Evol Microbiol.* 70 (2020): 4298-4304. doi:10.1099/ijsem.0.004289.

Komalasari A, Afriyansyah B, Ihsan M, Nugraha M A. 2019. Bioakumulasi logam berat pb dan cu terhadap penaeus merguensis di Perairan Teluk Kelabat bagian dalam. *J Kelautan Trop.* 22(1):1. doi:10.14710/jkt.v22i1.3727.



- Kurnia A. 2023. Identifikasi logam berat pada air kolong dan mikroba potensial untuk bioremediasi di lahan pasca penambangan timah. *Geominerba*. 8(1):36-43. doi:10.58522/ppsd22.v8i1.127.
- Kurnia A, Rohaendi N. 2022. Identifikasi logam berat di lahan pasca tambang timah di Kepulauan Bangka Belitung. *Geominerba*. 7(2):164-177. doi:10.58522/ppsd22.v7i2.106.
- Lailiya NR, Munir M, Tyastirin E, Pribadi ET. 2022. Identifikasi bakteri toleran terhadap logam berat pb yang diisolasi dari air dan sedimen di sungai porong, sidoarjo. *Biotropic*. 6(2):33-43.
- Langsiri N, Worasilchai N, Irinyi L, Jenjaroenpun P, Wongsurawat T, Ard JLL, Meyer W, Chindamporn A. 2023. Targeted sequencing analysis pipeline for species identification of human pathogenic fungi using long-read nanopore sequencing. *IMA Fungus*. 2023;14:18. doi:10.1186/s43008-023-00125-6.
- Liliani R. 2019. Water quality evaluation of post-tin mining ponds tourism in Bangka Island using diatom as bioindicator. *J Ind Tour Dev Std*. 7(1):39-44. doi:10.21776/ub.jitode.2019.07.01.06.
- Lu S, Gischkat S, Reiche M, Akob DM, Hallberg KB, Kusel K. 2010. Ecophysiology of Fe-cycling bacteria in acidic sediments. *Appl Environ Microbiol*. 76(24):8174-8183. doi:10.1128/AEM.01931-10.
- Marchesi JR, Sato T, Weightman AJ, Martin TA, Fry JC, Hiom SJ, Wade WG. 1998. Design and evaluation of useful bacterium specific PCR primers that amplify genes coding for bacterial 16S rRNA. *Appl Environ Microbiol*. 64(2):795-799. doi:0099-2240/98/04.00.
- Mahulette F. 2024. Microbiological and chemical characteristics of porkfish *inasua*, traditional fish fermented from Maluku, Indonesia. *Biodivers J*. 25(1):1-8. doi:10.13057/biodiv/d250101.
- Meyer F, Paarmann D, D'Souza M, Olson R, Glass EM, Kubal M, Paczian T, Rodriguez, Stevens R, Wilke A, Wilkening J, Edwards RA. 2008. The metagenomics RAST server a public resource for the automatic phylogenetic and functional analysis of metagenomes. *BMC Bioinform*. 9(386):1-8. doi:10.1186/147-2105-9-386
- Meyzilia A, Darsiharjo. 2017. Pemanfaatan kolong bekas galian tambang timah untuk budidaya eceng gondok di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. *J. Pend Geo*. 17(2):153-158.
- Nurtjahya E, Franklin J, Agustina F. 2017. The Impact of tin mining in Bangka Belitung and its reclamation studies. *Matec Web Conf*. 101:1-10. doi:10.1051/mateconf/201710104010.
- Okoye AU, Selvarajan R, Chikere CB, Okpokwaslli GC, Mearns K. 2024. Characterization and identification of long-chain hydrocarbon-degrading bacterial communities in long term chronically polluted soil in Ogoniland: an integrated approach using culture dependent and independent methods. *Environ Sci Pollut Res int*. 31(2024):30867-30885. doi:10.1007/s11356-024-33326-6.
- Oulas A, Pavloundi C, Polymenakou P, Pavlopoulos GA, Papanikolaou N, Kotoulas G, Arvanitidis C, Iliopoulos I. 2015. Metagenomics: Tools and insights for analyzing next-generation sequencing data derived from biodiversity studies. *Bioinform Bio Insights*. 9:75-88. doi:10.4137/BBI.S12462.

- Oziegbe O, Oluduro AO, Oziegbe EJ, Ahuekwe EF, Olorunsola SJ. 2021. Assessment of heavy metal bioremediation potential of bacterial isolates from landfill soils. *Saudi J Biol Sci.* 28(2021):3948-3956. doi:10.1016/j.sjbs.2021.03.072.
- Permana AH, Yuliana E, Nurhalisa IA. 2021. Isolasi dan karakterisasi morfologi mikroorganisme pada proses fermentasi kombucha berbahan baku teh hijau (*Camellia sinensis*). *Warta Akab* . 45(2):60-65. doi:10.55075/wa.v45i2.38.
- Pérez-Cobas A E, Gomez-Valero L, Buchrieser C. 2020. Metagenomic approaches in microbial ecology: An update on whole-genome and marker gene sequencing analyses. *Microb Genom.* 6(8):1–22. doi:10.1099/mgen.0.000409.
- Pirwanda F, Piringadie BH. 2015. Dampak kegiatan tambang timah konvensional terhadap perubahan guna lahan di Kabupaten Belitung. *Planologi.* 2(3):177 – 194.
- Rachmadianiasma AD, Purwanti F, Latifah N. 2018. analisis kerentanan pantai menggunakan coastal vulnerability index (Cvi) di Wilayah Pesisir Tanjung Pandan, Kabupaten Belitung. *Knowl Manag Aquat Ecosystem.* 7(4): 298–306. doi:10.14710/marj.v7i4.22563.
- Rapoport D, Mareckova MS, Sedlacek I, Provaznik J, Kralova S, Pavlinic D, Bener V, Kopecky J. 2020. *Trebonia kvetii* gen. nov., sp. nov., an acidophilic actinobacterium and proposal of the new actinobactwrial family *Treboniaceae* fam. nov. *Int J Syst Evol Microbiol.* 70:5106-5114. doi:10.1099/ijsem.0.004388.
- Rong X, Xu B. 2020. Comparative analysis of bacterial community diversity between soil and water of Dongzhai Harbor Mangrove reserve using 16S rRNA gene sequencing and shotgun metagenomic sequencing. *Res Seq.* 1–14. doi:10.21203/rs.3.rs-114741/v1.
- Sadika K, Soesilo J, Sutarto. 2022. Geologi dan potensi persebaran unsur tanah jarang dan timah pada endapan sekunder daerah Kepoh dan sekitarnya, Kecamatan Toboali, Kabupaten Bangka Belitung Selatan, Kepulauan Bangka Belitung. *Jig Pangean.* 9(1):33-42.
- Safitri F. 2023. Bakteri penyerap logam timbal ( pb ) dari sedimen dan kerang hijau di Laut Banyu Urip Ujung Pangkah , Gresik. *Aquac Asia.* 8(2014):1–5. doi:10.33019/joaa.v8i1.3769.
- Sianturi R, Dailami M, Saleky D. 2021. Identifikasi dan analisis filogenetik ikan ekonomis penting *Oreochromis* sp. dengan pendekatan DNA barcoding. *Bioscientist.* 9(2):456-476. doi:10.33394/bioscientist.v9iv.4027.
- Sari E, Nugroho AP, Retnaningrum E, Prijambada ID. 2023. Diversity of Bacteria in Forest, revegetated post mining land, and active tin mining with a metagenomic approach. *iJoST.* 8(1):19-48. doi:10.17509/ijost.v8i1.51662.
- Tasma IM, Sustiprijatno, Mastur. 2018. Sekuensing genom untuk karakterisasi sumber daya genetik tanaman. Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumber Daya Genetik Pertanian.
- Uqab B, Nazir R, Ganai BA, Rahi P, Rehman S, Farooq S, Dar R, Parray JA, Al-Arjani AFA, Tabassum B, Abd\_Allah EF. 2020. Maldi Tof MS and 16S rRNA characterization of lead tolerant metallophilic bacteria isolated from saffron soils of Kashmir for their sequestration potential. *Saudi J Biol Sci.* 27(2020):2047-2053. doi:10.1016/j.sjbs.2020.04.021.



- Wang WY, Zhou W, Yang JX, Chen XY. 2014. Morphological and molecular studies on *Garra imberba* and its related species in China. *Zool Res.* 35(1):20-32. doi:10.11813/j.issn.0254-5853.2014.1.020.
- Wibowo M. 2017. Kajian kondisi lingkungan abiotic sebagai titik awal analisis dampak lingkungan rencana pembangunan Kawasan Marina Belitung. *JRL.* 10(2):76-90. doi:10.29122/jrl.v10i2.2848.
- Wilke A, Harrison T, Wilkening J, Field D, Glass EM, Kyrpids N, Mavrommatis K, Meyer F. 2012. The M5nr: a novel non-redundant database containing protein sequences and annotations from multiple sources and associated tools. *BMC Bioinform.* 13(141):1-5. doi:10.1186/147-2105-13-141
- Xing P, Zhao Y, Guan D, Li L, Zhao B, Ma M, Jiang X, Tian C, Cao F, Li J. 2022. Effects of *Bradyrhizobium* co-inoculated with *Bacillus* and *Paenibacillus* on the structure and functional genes of soybean rhizobacteria community. *Genes.* 13:1-15. doi:10.3390/genes13111922.
- Zhang L, Chen FX, Zeng Z, Xu M, Sun F, Yang L, Bi X, Lin Y, Gao YJ, Hao H X, Yi W, Li M, Xie Y. 2021. Advances in metagenomics and its application in environmental microorganisms. *Front Microbiol.* 12:1–15. doi:10.3389/fmicb.2021.766364.

