

**TUGAS AKHIR**  
**DAMPAK JANGKA PANJANG LETUSAN GUNUNG**  
**MERAPI : ANALISIS KERAGAMAN BAKTERI PADA**  
**VULKANIK DEPOSIT BERUSIA 13 TAHUN**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi**  
**Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



**BINTANG RAMADHAN PRAKASA**  
**20513207**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**  
**YOGYAKARTA**  
**2024**

**TUGAS AKHIR**

**DAMPAK JANGKA PANJANG LETUSAN GUNUNG  
MERAPI : ANALISIS KERAGAMAN BAKTERI PADA  
VULKANIK DEPOSIT BERUSIA 13 TAHUN**


**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi  
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**




**BINTANG RAMADHAN PRAKASA  
20513207**

Disetujui,

Pembimbing 1:

  
Annisa Nur Lathifah, S.Si.,  
M.Biotech., M.Agr., PhD  
**NIK. 155130505**  
**Tanggal:**

Pembimbing 2:

  
Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr.,  
Ph.D  
**NIK. 185130401**  
**Tanggal:**

Mengetahui,  
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

  
  
Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res. Eng.), Ph.D  
**NIK. 045130401**  
**Tanggal: 28/3 - 2024**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**DAMPAK JANGKA PANJANG LETUSAN GUNUNG  
MERAPI : ANALISIS KERAGAMAN BAKTERI PADA  
VULKANIK DEPOSIT BERUSIA 13 TAHUN**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Kamis

Tanggal : 28 Maret 2024

Disusun Oleh:

**BINTANG RAMADHAN PRAKASA**

20513207

Tim Penguji :

Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D

Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D

Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D



## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia. (*apabila menggunakan software khusus*)
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 28 Maret 2024

Yang membuat pernyataan,



**Bintang Ramadhan Prakasa**

NIM: 20513207

## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. atas Rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis memiliki kesempatan untuk menyelesaikan penelitian Tugas Akhir yang berjudul “Dampak Jangka Panjang Letusan Gunung Merapi : Analisis Keragaman Bakteri pada Vulkanik Deposit Berusia 13 Tahun” dengan baik.

Tugas Akhir ini disusun dengan maksud dan tujuan agar pembaca dapat menerima wawasan pengetahuan mengenai karakteristik *Bio Physicochemical* dan keanekaragaman bakteri pada vulkanik deposit letusan Gunung Merapi berusia 13 tahun. Selain itu, Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi syarat kelulusan dari Program Pendidikan Strata Satu (S1) Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis banyak mendapatkan semangat, dukungan dan juga bantuan dari berbagai pihak. Sehingga, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Iskak Marjoko, S.P dan Ibu Meslen Haryanti, S.H selaku orang tua serta Saudari Ajeng Rizky Ardhia Pramesti, S.Psi selaku kakak kandung penulis yang selalu memberikan dukungan serta doa sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Ibu Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I yang selalu membimbing dan memberikan arahan dalam menyelesaikan penulisan tugas akhir ini.
3. Ibu Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing II yang selalu membimbing dan memberikan arahan dalam menyelesaikan penulisan tugas akhir ini.
4. Bapak Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D selaku Dosen Penguji yang memberikan saran dan masukan dalam menyelesaikan penulisan tugas akhir ini.

5. Seluruh Dosen, Pengajar dan Staf Program Studi Teknik Lingkungan yang selama ini telah memberikan ilmu maupun fasilitas yang sangat bermanfaat untuk penulis selama proses menempuh pendidikan di Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.
6. Seluruh Laboran di Laboratorium Kualitas Lingkungan Teknik Lingkungan yang banyak membantu penelitian di laboratorium.
7. Teman-teman terdekat penulis Al Hadid Jovan Yudhistira, Noverli Sukma Melani, Aura Wiryasalsabila, Aiko Sarasvaty Prabowo dan Muhammad Farid Baihaqi yang telah membantu penulis selama masa perkuliahan dan menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
8. Teman-teman “freeyayy” dan “pamungkas” yang telah membantu penulis selama masa perkuliahan.
9. Teman-teman mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan Angkatan 2020 yang telah memberikan bantuan selama masa perkuliahan.
10. Pihak-pihak lain yang telah membantu penulis selama menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

Penulis menyadari dalam penyusunan Tugas Akhir masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dalam perbaikan penelitian. Semoga laporan Tugas Akhir yang telah disusun oleh penulis dapat bermanfaat bagi berbagai pihak.

Yogyakarta, 28 Maret 2024

*Bintang Ramadhan Prakasa*

## ABSTRAK

Vulkanik deposit letusan Gunung Merapi berusia 13 tahun mengalami pelapukan dan membentuk tanah vulkanis yang mempengaruhi sifat dan ciri tanah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik *Biophysicochemical* tanah dan keanekaragaman mikroorganisme setelah erupsi Gunung Merapi 2010 silam. Sampel yang dianalisis berasal dari lokasi vulkanik deposit letusan Gunung Merapi berusia 13 tahun (BRUW, *Bebeng River Upper Weathering*) dan tanah hutan (FR, *Bebeng Forest*) dekat area vulkanik deposit dianalisis sebagai referensi. Analisis terhadap BRUW menunjukkan koloni bakteri yang dapat dikultur ( $1.1 \times 10^6$  CFU/mL) dengan kondisi tanah yang agak alkalis (pH 7.3) dan kandungan bahan organik (C-Organik  $1.24 \pm 0.4$  g/kg; N-Total  $12.05 \pm 2.46$  g/kg; Rasio C/N  $0.1 \pm 0.05$ ) serta kandungan unsur (P tersedia  $0.6 \pm 0.12$  g/kg; K tersedia  $0.92 \pm 0.16$  g/kg; Fe tersedia  $107.84 \pm 32.65$  g/kg). FR memiliki nilai jumlah bakteri ( $1.3 \times 10^9$  CFU/mL) dengan kondisi tanah yang netral (pH 6.63) dan kandungan bahan organik (C-Organik  $9.17 \pm 1.86$  g/kg; N-Total  $43.50 \pm 5.85$  g/kg; Rasio C/N  $0.21 \pm 0.02$ ) serta kandungan unsur (P tersedia  $0.44 \pm 0.02$  g/kg; K tersedia  $0.85 \pm 0.4$  g/kg; Fe tersedia  $41.92 \pm 9.69$  g/kg). Berdasarkan Nanopore Sequencing gen 16S rRNA, komunitas bakteri di BRUW dan FR didominasi oleh bakteri dari filum *Pseudomonadota* (65.24%; 56.40%), kelas *Betaproteobacteria* (34.95%; 31.36%) dan ordo *Burkholderiales* (40.76%; 33.75%). Dalam komunitas BRUW didominasi oleh bakteri dari famili *Burkholderiaceae* (32.12%), genus *Cupriavidus* (20.95%) dan spesies *Dyella koreensis* (28.78%). Sebaliknya, komunitas FR didominasi oleh bakteri dari famili *Oxalobacteriaceae* (19.03%), genus *Vicinamibacter* (23.17%) dan spesies *Vicinamibacter silvetris* (36.24%).

**Kata Kunci:** erupsi Gunung Merapi 2010, pelapukan, *Biophysicochemical* tanah, keanekaragaman mikroorganisme

## ABSTRACT

*Volcanic eruption deposits of Mount Merapi are 13 years old, weathering and forming volcanic soils that affect soil properties and characteristics. This study aims to analyze soil biophysicochemical characteristics and microorganism diversity after the 2010 eruption of Mount Merapi. The samples analyzed came from the site of a 13-year-old volcanic deposit of Mount Merapi eruption (BRUW, Bebeng River Upper Weathering) and forest soil (FR, Bebeng Forest) near the volcanic deposit area was analyzed as a reference. Analysis of BRUW showed culturable bacterial colonies ( $1.1 \times 10^6$  CFU/mL) with slightly alkaline soil conditions (pH 7.3) and organic matter content (C-Organic  $1.24 \pm 0.4$  g/kg; N-Total  $12.05 \pm 2.46$  g/kg; C/N ratio  $0.1 \pm 0.05$ ) and elemental content (P available  $0.6 \pm 0.12$  g/kg; K available  $0.92 \pm 0.16$  g/kg; Fe available  $107.84 \pm 32.65$  g/kg). FR has a bacterial count value ( $1.3 \times 10^9$  CFU/mL) with neutral soil conditions (pH 6.63) and organic matter content (C-Organic  $9.17 \pm 1.86$  g/kg; N-Total  $43.50 \pm 5.85$  g/kg; C/N ratio  $0.21 \pm 0.02$ ) and elemental content (available P  $0.44 \pm 0.02$  g/kg; available K  $0.85 \pm 0.4$  g/kg; available Fe  $41.92 \pm 9.69$  g/kg). Based on Nanopore Sequencing of 16S rRNA gene, bacterial communities in BRUW and FR were dominated by bacteria from the phylum Pseudomonadota (65.24%; 56.40%), class Betaproteobacteria (34.95%; 31.36%) and order Burkholderiales (40.76%; 33.75%). The BRUW community was dominated by bacteria from the family Burkholderiaceae (32.12%), genus Cupriavidus (20.95%) and species *Dyella koreensis* (28.78%). In contrast, the FR community was dominated by bacteria from the Oxalobacteriaceae family (19.03%), the genus *Vicinamibacter* (23.17%) and the species *Vicinamibacter silvetris* (36.24%).*

**Keyword:** *eruption of Mount Merapi 2010, weathering, soil biophysicochemical, microorganism diversity*



## DAFTAR ISI

PRAKATA.....	iv
ABSTRAK .....	v
<i>ABSTRACT</i> .....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Tanah di Sekitar Gunung Merapi.....	5
2.2 Suksesi Ekologi di Sekitar Gunung Merapi .....	6
2.3 Mikroorganisme Tanah Vulkanik .....	8
2.4 Komunitas Mikroba.....	9
2.5 Kelimpahan dan Pengurutan Berbasis Gen 16S rRNA.....	10
2.6 Penelitian Terdahulu .....	11
BAB III METODE PENELITIAN.....	15
3.1 Waktu dan Lokasi .....	15
3.2 Alat dan Bahan .....	17
3.3 Prosedur Analisis Data .....	18
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA .....	40
4.1 Karakteristik Sifat Fisik Kimia Tanah Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun .....	40

4.2	Total Bakteri Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun.....	44
4.3	Keanekaragaman Bakteri Pada Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun .....	47
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		68
5.1	Kesimpulan.....	68
5.2	Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA .....		70
LAMPIRAN.....		88

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Hasil Analisis Kandungan Pasir dan Abu Vulkanik Letusan Gunung Merapi 2010 .....	6
Tabel 2. 2 Referensi Penelitian Terdahulu .....	12
Tabel 4. 1 Karakteristik Sifat Fisik dan Kimia pada Sampel Tanah Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW) dan Tanah Hutan (FR).....	40
Tabel 4. 2 Kriteria Penilaian Hasil Analisis Tanah.....	41
Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Total Bakteri Tanah.....	44
Tabel 4. 4 Hasil Rata-Rata Pengukuran Konsentrasi dan Kemurnian DNA pada Sampel Tanah Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW) dan Tanah Hutan (FR) .....	47
Tabel 4. 5 Indeks Keragaman Shannon Komunitas Bakteri pada Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW, <i>Bebeng River Upper Weathering</i> ) dan Tanah Hutan (FR, <i>Bebeng Forest</i> ) .....	49
Tabel 4. 6 Indeks Keragaman Inverse Simpson Komunitas Bakteri pada Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW, <i>Bebeng River Upper Weathering</i> ) dan Tanah Hutan (FR, <i>Bebeng Forest</i> ) .....	50
Tabel 4. 7 Indeks Keragaman ChaoI Komunitas Bakteri pada Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW, <i>Bebeng River Upper Weathering</i> ) dan Tanah Hutan (FR, <i>Bebeng Forest</i> ) .....	50

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Peta Lokasi Pengambilan Sampel Tanah di Kaliadem, Desa Kepuharjo, Cangkringan, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta.....	16
Gambar 3. 2 Sampel Tanah Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW, <i>Bebeng River Upper Weathering</i> ) (a) dan Sampel Tanah Hutan (FR, <i>Bebeng Forest</i> ) (b) .....	17
Gambar 3. 3 Diagram Alir Tahapan Penelitian .....	19
Gambar 3. 4 Diagram Alir Pembuatan NB, DNB dan DNB + <i>Nutrient Agar 2%</i> 21	
Gambar 3. 5 Diagram Alir Isolasi Bakteri dengan Metode <i>Pour Plate</i> .....	23
Gambar 3. 6 Diagram Alir Ekstraksi DNA menggunakan QIAGEN PowerSoil KIT .....	26
Gambar 3. 7 Diagram Alir Amplifikasi 16S rRNA.....	28
Gambar 3. 8 Diagram Alir Pengurutan Berbasis 16S rRNA.....	30
Gambar 3. 9 Diagram Alir Penetapan Kadar Air .....	31
Gambar 3. 10 Diagram Alir Penetapan C-Organik .....	32
Gambar 3. 11 Diagram Alir Nitrogen Total dengan Metode Kjeldahl.....	35
Gambar 3. 12 Diagram Alir Penetapan P dan K Ekstrak HCl 25% .....	37
Gambar 3. 13 Diagram Alir Penetapan Fe Ekstrak HCl 25% .....	39
Gambar 4. 1 Visual 16S rRNA menggunakan Elektroforesis	48
Gambar 4. 2 <i>Principle Coordinate Analysis (PCoA)</i> dari Komunitas Bakteri pada Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW) dan Tanah Hutan (FR) .....	51
Gambar 4. 3 10 Kelimpahan Relatif dari Filum yang Mendominasi Tanah Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW, <i>Bebeng River Upper Weathering</i> ) dan Tanah Hutan (FR, <i>Bebeng Forest</i> ) .....	52
Gambar 4. 4 10 Kelimpahan Relatif dari Kelas yang Mendominasi Tanah Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW, <i>Bebeng River Upper Weathering</i> ) dan Tanah Hutan (FR, <i>Bebeng Forest</i> ) .....	54

Gambar 4. 5 10 Kelimpahan Relatif dari Ordo yang Mendominasi Tanah Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW, <i>Bebeng River Upper Weathering</i> ) dan Tanah Hutan (FR, <i>Bebeng Forest</i> ) .....	55
Gambar 4. 6 10 Kelimpahan Relatif dari Famili yang Mendominasi Tanah Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW, <i>Bebeng River Upper Weathering</i> ) dan Tanah Hutan (FR, <i>Bebeng Forest</i> ) .....	57
Gambar 4. 7 10 Kelimpahan Relatif dari Genus yang Mendominasi Tanah Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW, <i>Bebeng River Upper Weathering</i> ) dan Tanah Hutan (FR, <i>Bebeng Forest</i> ) .....	59
Gambar 4. 8 10 Kelimpahan Relatif dari Spesies yang Mendominasi Tanah Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW, <i>Bebeng River Upper Weathering</i> ) dan Tanah Hutan (FR, <i>Bebeng Forest</i> ) .....	61

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1</b> Perhitungan Karakteristik Sifat Fisik dan Kimia pada Sampel Tanah .....	88
<b>Lampiran 2</b> Perhitungan Nilai <i>Total Plate Count</i> (TPC).....	113
<b>Lampiran 3</b> Isolasi Bakteri menggunakan Metode <i>Pour Plate</i> .....	114
<b>Lampiran 4</b> Hasil Pengukuran Konsentrasi dan Kemurnian DNA .....	116
<b>Lampiran 5</b> Indeks Keragaman Bakteri.....	117

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Secara geografis, wilayah Indonesia terletak pada zona *ring of fire* yang merupakan jalur gunung api serta rawan erupsi mulai dari Sumatera – Jawa – Bali – Nusa Tenggara – Sulawesi – Banda – Maluku – Papua (Bronto *et al.*; 1996). Gunung Merapi terletak di perbatasan dua wilayah yaitu Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah, bertipe gunung api strato dengan kubah lava, elevasi  $\pm 2.911$  m dpl dan mempunyai lebar  $\pm 30$  km (Bemmelen, 1949; Katili dan Siswamidjojo, 1994). Aktivitas letusan Gunung Merapi yang tergolong besar terakhir terjadi pada tahun 2010 dalam beberapa dekade terakhir. Volume material piroklastik hasil erupsi tahun 2010 ditaksir mencapai lebih dari 140 juta  $m^3$  (Tim Badan Litbang Pertanian, 2010). Material vulkanik Gunung Merapi didominasi oleh fraksi pasir dan mineral penyusunnya meliputi piroksen, plagioklas, hornblende, magnetit dan kuarsa (Ariyanto *et al.*, 2011).

Material gunung api seperti pasir dan debu vulkanik akan membentuk struktur tanah baru berupa tanah vulkanik. Material vulkanik tersebut akan mengalami pelapukan dan membentuk struktur tanah vulkanis yang mengandung banyak mineral hara yang dibutuhkan tanaman (Utoyo, 2007). Kondisi tanah di sekitar Gunung Merapi dihasilkan dari proses pelapukan batuan yang melepaskan unsur hara yang mengandung unsur basa yang tinggi, serta mengalami perubahan secara periodik mengikuti periode letusan (Suprpto, 2015). Debu vulkanik yang menutupi lapisan atas tanah lambat laun akan melapuk bercampur dengan tanah sehingga memulai proses pedogenesis baru dan mempengaruhi sifat dan ciri tanah yang terbentuk. Hasil penelitian Utami *et al.*, (2011) menjelaskan adanya perkembangan tanah di sekitar Gunung Merapi yang diikuti oleh perkembangan vegetasi di atasnya, sebab tanah yang berkembang akan menyediakan unsur hara bagi tanaman.

Menurut Soelaeman dan Abdullah (2014), sifat asam abu vulkanik dapat mengubah sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Perubahan sifat fisik tanah disebabkan oleh debu vulkanik adalah *bulk density* yang relatif tinggi dan daya ikat air yang sangat rendah, sedangkan perubahan sifat kimia tanah yang disebabkan debu vulkanik adalah pH dan Kapasitas Tukar Kation (KTK) tanah yang sangat rendah. Sifat asam abu vulkanik juga mempengaruhi sifat biologis tanah, khususnya kandungan dan aktivitas mikroorganisme di dalam tanah. Menurut Paul dan Clark (1989), mikroorganisme tanah merupakan faktor penting dalam ekosistem tanah, karena mempengaruhi siklus dan ketersediaan hara tanaman serta stabilitas struktur tanah.

Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh Suriadikarta *et al.*, (2011), debu vulkanik yang dikeluarkan saat terjadi erupsi Gunung Merapi mengakibatkan penurunan keragaman dan populasi mikroba tanah terutama pada tanah yang berada pada lapisan atas, sedangkan keragaman dan populasi mikroba pada tanah yang berada pada lapisan bawah tidak terpengaruh. Penelitian lain dilakukan oleh (Chen *et al.*, 2020) menunjukkan keanekaragaman dan kekayaan komunitas mikroba tanah di lokasi stepa secara signifikan lebih tinggi dibandingkan di lokasi gunung berapi ( $P < 0,05$ ) dan komunitas mikroba tanah di lokasi stepa memiliki stabilitas yang lebih tinggi. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa mikroorganisme merupakan salah satu kolonisasi pertama substrat vulkanik setelah letusan dan berkontribusi pada proses awal pembentukan tanah dan suksesi komunitas awal (Guo *et al.*, 2014; Kim *et al.*, 2018). Tahap awal perkembangan ekosistem di kawasan vulkanik adalah kolonisasi mikroba pada vulkanik deposit yang baru tersingkap (Lathifah *et al.*, 2019).

Gunung Merapi sebagai gunung api aktif di Indonesia, erupsi yang cukup besar terjadi pada tahun 2010 yang menyebabkan dampak secara menyeluruh di sekitar gunung, sehingga rusaknya vegetasi lokal dan hilangnya kondisi tanah asli serta mengubah struktur komunitas mikroba. Oleh karena itu, penting untuk memahami peran komunitas mikroba tanah dalam proses biogeokimia dan perkembangan tanah di lingkungan ekstrim (Falkowski *et al.*, 2008; Fujimura *et al.*, 2012). Dalam penelitian ini, sampel dikumpulkan dari hasil pelapukan yang



sudah bercampur dengan tanah dan dianalisis dengan Oxford Nanopore Technology (ONT) berbasis Gen 16S rRNA (16S *ribosomal Ribonucleic Acid*). Hasil yang diperoleh memberikan informasi mengenai keanekaragaman bakteri pada vulkanik deposit letusan Gunung Merapi berusia 13 tahun serta hubungan antara genesis awal tanah dengan komunitas mikroba.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana dampak jangka panjang letusan Gunung Merapi terhadap karakteristik *Bio Physicochemical* pada vulkanik deposit berusia 13 tahun?
2. Bagaimana dampak jangka panjang letusan Gunung Merapi terhadap keragaman bakteri pada vulkanik deposit berusia 13 tahun?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis dampak jangka panjang letusan Gunung Merapi terhadap karakteristik *Bio Physicochemical* pada vulkanik deposit berusia 13 tahun.
2. Untuk menganalisis dampak jangka panjang letusan Gunung Merapi terhadap keragaman bakteri pada vulkanik deposit berusia 13 tahun.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai bentuk konservasi lingkungan dalam memelihara keragaman genetik yang dimiliki spesies mikroorganisme serta merawat siklus dan fungsi ekosistem di sekitar Gunung Merapi.
2. Sebagai langkah awal untuk mengungkap peran mikroorganisme terhadap proses pelapukan batuan di sekitar Gunung Merapi.

## 1.5 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sampel tanah diambil pada lokasi vulkanik deposit letusan Gunung Merapi berusia 13 tahun yang mengalami pelapukan dan tanah hutan di sekitar lokasi sebagai pembanding dengan 3 titik sampling pada setiap lokasi yang dikompositkan.
2. Analisis karakteristik tanah dilakukan dengan beberapa parameter meliputi kadar air, pH tanah, C-Organik, N-Total, Rasio C/N, P Tersedia, K Tersedia dan Fe Tersedia.
3. Analisis kelimpahan mikroorganisme tanah dilakukan isolasi bakteri menggunakan metode *Pour Plate*.
4. Analisis keanekaragaman mikroorganisme tanah dilakukan dengan menggunakan QIAGEN PowerSoil KIT untuk ekstraksi DNA, Amplifikasi 16S rRNA dan Pengurutan berbasis Gen 16S rRNA Oxford Nanopore Technology (ONT).

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tanah di Sekitar Gunung Merapi**

Gunung Merapi terletak di perbatasan dua Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah, bertipe gunung api strato dengan kubah lava, dengan ketinggian  $\pm 2.980$  m dpl yang terletak pada  $07^{\circ}22'33'' - 07^{\circ}52'30''$ LS dan  $110^{\circ}15'00'' - 110^{\circ}37'30''$ BT (BPBD Kabupaten Sleman, 2021). Tanah vulkanik di sekitar Gunung Merapi merupakan hasil dari proses pelapukan batuan. Aktivitas letusan gunung api menghasilkan tiga jenis bahan yaitu berupa padatan, cair dan gas. Bahan padatan dapat berupa pasir, debu dan abu vulkan, sedangkan bahan cair dapat berupa lava dan lahar. Bahan-bahan tersebut nantinya akan menjadi bahan induk penyusun tanah. Debu vulkanik mengandung kation-kation basa yang mampu meningkatkan pH dan unsur-unsur hara makro (N, P, K, Mg, Ca, S) dalam tanah terutama pada lapisan atas tanah (*topsoil*) yang lebih dahulu mengalami pencucian dan pelapukan dengan abu vulkanik (Saragih & Pinem, 2016).

Tanah yang terbentuk dari lahar Gunung Merapi mempunyai sifat fisik antara lain, bertekstur pasir dengan kadar pasir sangat tinggi (97 – 99%), struktur tanahnya butir tunggal atau tidak bertekstur dan konsistensi lepas atau teguh. Tanah mempunyai pori aerasi sangat tinggi (sekitar 40% volume), tanah sangat porus dan air tersedianya sangat rendah (sekitar 1 – 3% volume) (Dedy Erfandi *et al.*, 2012). Hardjowigeno (dalam Harahap 2007) menjelaskan bahwa adanya keunikan tanah vulkanis apabila dibandingkan dengan lainnya, baik dari sifat, ciri morfologi dan fisika-kimia tanah. Hal ini berkaitan erat dengan keberadaan senyawa aktif Al dan Fe yang ada dalam tanah vulkanis.

Tabel 2. 1 Hasil Analisis Kandungan Pasir dan Abu Vulkanik Letusan Gunung Merapi 2010

Jenis Analisis	pH	N-Total	P-tersedia	Fe-Total	K-Total
	H <sub>2</sub> O	%	ppm	%	%
Pasir	4.89	0.003	199.18	0.66	0.15
Abu Vulkanik	4.86	0.014	213.86	0.75	0.51

Sumber: Utami *et al.*, 2011

Kondisi lahan pasca erupsi ialah terbuka dengan cahaya matahari 100% mencapai permukaan tanah (tidak ada naungan) diikuti kondisi substrat tanah berupa abu dan pasir yang bersifat asam, hanya jenis-jenis tertentu yang mampu tumbuh mengkolonisasi areal ekstrim tersebut. Jenis-jenis yang mampu tumbuh dan berkembang cepat di areal terbuka umumnya adalah jenis-jenis pionir yang bersifat intoleran terhadap naungan (Alima *et al.*, 2020).

## 2.2 Suksesi Ekologi di Sekitar Gunung Merapi

Berdasarkan catatan sejarah erupsi Gunung Merapi, terdapat dua pola erupsi yang dapat diidentifikasi. Pertama, terdapat pola erupsi efusif, yang ditandai dengan pertumbuhan kubah lava secara periodik setiap 4 – 6 tahun, menghasilkan aliran piroklastik yang dikenal dengan *Merapi-type nuées ardentes*. Pola erupsi kedua adalah erupsi eksplosif, yang melibatkan runtuh dan aliran piroklastik mencapai 10 – 15 km dari puncak dalam (Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral 2014; Budi-Santoso *et al.*, 2013; Fiantis *et al.*, 2009). Letusan Gunung Merapi pada tahun 2010 berdampak pada seluruh wilayah di sekitar Gunung Merapi. Aliran piroklastik mencapai 4 km di bagian utara, 11.5 km di bagian barat, 7 km di bagian timur dan sekitar 15 km di bagian selatan yang mencapai daerah Kaliadem. Letusan dari puncak gunung meluncur ke segala arah (kurang lebih 4 km) dan mengeluarkan sejumlah besar abu dan gas ke atmosfer (Cronin *et al.*, 2013; Wulaningsih *et al.*, 2013). Salah satu dampak yang signifikan dari letusan Gunung Merapi adalah kerusakan ekosistem, yang mengharuskan proses suksesi primer untuk memulai kembali (Haryadi, 2019).

Proses suksesi vegetasi merupakan perubahan signifikan yang mempengaruhi perkembangan kondisi lahan dan suhu permukaan secara keseluruhan. Suksesi vegetasi merujuk pada pertumbuhan vegetasi yang terjadi secara serentak setelah terjadinya peristiwa alam maupun buatan yang berdampak besar terhadap perubahan lingkungan (Mukhtar, 2012). Prinsip dasar dalam suksesi adalah rangkaian perubahan dalam komunitas tumbuhan bersamaan dengan perubahan tempat tumbuhnya. Proses ini terjadi secara bertahap melalui beberapa tahap, mulai dari komunitas tumbuhan yang sederhana hingga mencapai kondisi klimaks (Alima *et al.*, 2020). Urutan perkiraan komunitas tumbuhan selama berlangsungnya proses suksesi adalah lumut – herba – semak – tegakan pohon (Nehwall, 2000).

Suksesi ekologi dipengaruhi oleh faktor-faktor ekologi utama, termasuk kondisi edafik, iklim, ketersediaan air, interaksi antara faktor biotik dan abiotik, serta pola persebaran spesies dan dinamika habitat (Nuzulah, 2016). Hubungan antara kondisi lingkungan dan komposisi spesies saling melengkapi satu sama lain (Ozinga, 2005). Dalam suksesi ekologi, lumut menjadi spesies perintis dan pendorong dari siklus biogeokimia ekosistem (Bansal *et al.*, 2012; Lagerström *et al.*, 2007; Street *et al.*, 2013). Lumut menyumbangkan karbon untuk mendukung tanah dan juga menyediakan mikrohabitat untuk berbagai macam mikroorganisme (Lindo and Gonzalez, 2010). *Campylopus* telah menjadi vegetasi perintis di daerah vulkanik (Broady *et al.*, 1987; Clarkson *et al.*, 1995; Land *et al.*, 2001). Jackson (2015) melaporkan bahwa lumut mungkin dengan bantuan mikroorganisme meningkatkan pelapukan kimiawi dari batuan granit yang menjadi tempat tumbuhnya dan juga meremediasi pembentukan tanah yang mengandung berbagai mineral sekunder biogenik.

Pelarutan mineral yang dihasilkan dari aktivitas mikroba dapat berupa proses aktif atau proses tambahan. Hasil pelapukan bisa menjadi konsekuensi dari beragam proses yang memakan energi yang melepaskan produk samping metabolisme yang dapat mempengaruhi kelarutan mineral (Banfield *et al.*, 1999; Bennett P.C. *et al.*, 2001). Namun demikian, pelapukan sering kali terjadi di bawah kendala seluler sebagai respons terhadap kebutuhan nutrisi dan

pertumbuhan mikroorganisme. Oleh karena itu, komposisi mineral dan kebutuhan komunitas mikroba secara langsung mempengaruhi laju pelapukan (Bennett P.C. *et al.*, 2001). Mekanisme utama yang biasanya terkait dengan pelapukan bakteri meliputi perubahan pH di sekitar partikel dan proton yang mendorong pelarutan, khelasi unsur-unsur yang ada dalam matriks mineral atau tanah dan reaksi redoks (Samuels *et al.*, 2020).

### 2.3 Mikroorganisme Tanah Vulkanik

Proporsi terbesar keanekaragaman hayati di bumi yaitu mikroorganisme tanah yang terlibat dalam siklus biogeokimia global serta reaksi biokimia di berbagai lingkungan (Li *et al.*, 2019b; Smith *et al.*, 2015). Keanekaragaman dan kekayaan mikroorganisme tanah dipengaruhi oleh faktor biotik dan edafik, seperti vegetasi dan sifat tanah (Shao *et al.*, 2019). Aktivitas mikroba terstimulasi setelah gunung berapi dan mikroba memiliki kapasitas besar dalam merespon gangguan gunung berapi (Berenstecher *et al.*, 2017).

Penelitian sebelumnya menyimpulkan bahwa fraksi unsur-unsur dalam tanah vulkanik yang dapat direduksi dan dioksidasi memiliki sifat toksik yang secara signifikan mempengaruhi biomassa dan aktivitas mikroba, tetapi beberapa mikroorganisme telah beradaptasi dengan kondisi toksik tersebut (Memoli *et al.*, 2018). Biomassa mikroorganisme merupakan bagian yang hidup dari bahan organik tanah yaitu bakteri, *fungi*, *algae* dan *protozoa*, tidak termasuk akar tanaman dan hewan yang berukuran lebih besar dari *amoeba* (kira-kira  $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ ) (Jenkinson dan Ladd, 1981 dalam Djajakirana, 1993). Keberadaan biomassa mikroorganisme tanah menjadi indeks kesuburan suatu lahan. Kelimpahan mikroorganisme dapat menjadi indikator bahwa karakteristik fisik dan kimia tanah tersebut baik. Beberapa mikroorganisme tidak mampu bertahan pada lingkungan ekstrim akan tereliminasi secara alami melalui penyaringan lingkungan, sehingga menyisakan sedikit spesies yang memiliki kemampuan anti-gangguan (Moreno-Pino *et al.*, 2016).

Keberadaan mikroorganisme dalam tanah memiliki dampak signifikan pada kondisi lingkungan dan bergantung pada bagaimana cara lahan tersebut digunakan dan dikelola (Saraswati *et al.*, 2007). Jumlah dan jenis mikroorganisme dalam tanah yang melimpah menunjukkan bahwa tanah tersebut subur dan adanya ketersediaan bahan organik yang cukup, suhu yang sesuai, ketersediaan air yang cukup serta kondisi ekologis tanah yang mendukung (Irfan, 2014). Tanah yang subur biasanya mengandung lebih dari 100 juta mikroorganisme per gram tanah.

Mayoritas mikroorganisme tanah memiliki peran penting dalam memecah limbah organik, mendaur ulang nutrisi tanaman, fiksasi nitrogen dan fosfat, merangsang pertumbuhan vegetasi, mengendalikan patogen secara biologis dan mendorong penyerapan nutrisi. Organisme tanah berperan dalam meningkatkan ketersediaan nutrisi dan sebagai sumber bahan organik dalam tanah.

#### **2.4 Komunitas Mikroba**

Konsep ekologi komunitas pertama kali muncul dalam bidang ekologi tumbuhan dan hewan. Komunitas diartikan sebagai kumpulan berbagai spesies dimana organisme hidup bersama dan berinteraksi dalam suatu lingkungan yang padu. Clements (1916) menggambarkan komunitas sebagai 'supra-organisme', dengan tingkat organisasi yang jelas, di mana terdapat interaksi intim antara organisme yang membentuk sistem kausal dan menghasilkan karakteristik baru. Batasan komunitas mungkin lebih berkaitan dengan area interaksi yang kuat antara kelompok daripada dimensi fisiknya (Levins and Lewontin, 1985). Dalam konteks ekologi mikroba, tantangan muncul ketika mendefinisikan komunitas secara sempit. Terutama, menjelaskan makna dari 'lingkungan yang berdekatan' dan 'berinteraksi' dapat menimbulkan masalah yang kompleks.

Tanah merupakan rumah bagi berbagai jenis mikroba dan membentuk suatu komunitas yang sangat kompleks dan beragam secara biologi di bumi. Komunitas mikroba tanah ini, yang meliputi jamur, protista, virus, bakteri, dan archaea memiliki peran penting dalam membentuk struktur dan fungsi ekosistem tanah dengan keterlibatannya dalam siklus biogeokimia dan interaksi dengan akar tanaman. Meskipun dalam kondisi tertentu komunitas mikroba relatif lebih stabil

dalam hal kelimpahan dan komposisi gugus fungsi utama. Beberapa studi literatur menunjukkan adanya kerentanan komunitas mikroba tanah terhadap perubahan lingkungan. Namun, masih ada ketidakpastian tentang mekanisme yang mendasari kemampuan mereka untuk bertahan dari gangguan *pulse* seperti perubahan iklim yang ekstrem. Perubahan ini memberikan dampak yang signifikan pada mikroba tanah dan berpotensi memicu respons adaptif dari komunitas mikroba yang dapat membawanya pada berbagai keadaan alternatif.

## 2.5 Kelimpahan dan Pengurutan Berbasis Gen 16S rRNA

Identifikasi bakteri dilakukan dengan mempertimbangkan sifat genotipik dan sifat fenotipik bakteri. Identifikasi berbasis genotipik pada bakteri cenderung menghasilkan tingkat reproduktibilitas yang tinggi dan informasi lebih akurat dibandingkan dengan identifikasi berbasis fenotipik (Kasi *et al.*, 2019). Hubungan filogenetik diantara bakteri, atau lebih dalam, di antara semua makhluk hidup, dapat ditentukan dengan membandingkan daerah tertentu dari kode genetik (Woese *et al.*, 1985). Gen pengkode rRNA digunakan untuk menentukan taksonomi, filogeni (hubungan evolusi) serta memperkirakan tingkat keragaman antar spesies (*rates of species divergence*) bakteri. Perbandingan sekuensing rRNA dapat memberikan wawasan tentang evolusi antar organisme (Rinanda, 2011).

Identifikasi genotipik pada bakteri biasa dilakukan dengan menggunakan metode molekuler, salah satunya melalui sekuensing gen pengkode 16S rRNA (16S *ribosomal Ribonucleic Acid*) bakteri dengan metode *Polymerase Chain Reactions* (PCR) – sekuensing (Ammor *et al.*, 2005). 16S rRNA memiliki tingkat keakuratan yang tinggi dalam menentukan taksonomi suatu bakteri dan memiliki urutan basa sepanjang 1500 – 1550 pasang basa. Variasi dalam urutan basa digunakan untuk melacak keragaman dan mengelompokkan galur-galur dalam satu spesies (Kasi *et al.*, 2019).

Data urutan basa gen pengkode 16S rRNA memungkinkan untuk mengkonstruksi pohon filogenetik yang menunjukkan nenek moyang dan



hubungan kekerabatan suatu organisme (Ward, 1998). Analisis 16S rRNA juga digunakan untuk mengetahui hubungan di antara spesies-spesies pada banyak kelompok bakteri; jika sekuen nukleotida dari gen 16S rRNA antara dua tipe organisme yang mirip atau memiliki sedikit perbedaan basa dalam rRNA, kemungkinan besar kedua organisme tersebut memiliki kekerabatan yang dekat (*common ancestor*) (Kasi *et al.*, 2019).

Gen 16S rRNA (16S rDNA) bersifat universal untuk bakteri, sehingga memungkinkan pengukuran hubungan filogeni di antara semua spesies bakteri (Woese *et al.*, 1985). Secara umum, perbandingan urutan gen 16S rRNA memungkinkan diferensiasi antar organisme di tingkat genus pada semua filum utama bakteri dengan tujuan mengklasifikasikan galur di berbagai tingkat, termasuk dalam tingkat spesies dan subspecies (Clarridge III, 2004). Tingkat keberhasilan identifikasi spesies dengan pengurutan 16S rRNA (16S rDNA) berkisar antara 62 – 92%, tergantung pada kelompok bakteri dan kriteria yang digunakan untuk spesies (Hall L *et al.*, 2003; Bosshard PP *et al.*, 2003; Bosshard PP *et al.*, 2004; Song Y *et al.*, 2005; Heikend E *et al.*, 2005; Lau SK *et al.*, 2006; Bosshard PP *et al.*, 2006). Urutan 16S rRNA juga mampu mengidentifikasi bakteri yang tidak biasa dan sulit diidentifikasi dengan metode konvensional, memberikan identifikasi genus pada >90% kasus dan identifikasi tingkat spesies sebesar 65 – 83% (Drancourt, M *et al.*, 2000; Mignard, S *et al.*, 2006).

## **2.6 Penelitian Terdahulu**

Penelitian terdahulu dijadikan sebagai referensi dan pembanding terhadap penelitian yang dilakukan. Berikut ini daftar penelitian terdahulu yang dijadikan referensi dan pembanding.

Tabel 2. 2 Referensi Penelitian Terdahulu

No	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
1.	Chen <i>et al.</i> ,	2020	Exploring the effect of volcanic eruption disturbances on the soil microbial communities in the montane meadow steppe	Penelitian ini dilakukan menggunakan Illumina MiSeq high-throughput sequencing.	Analisis pengelompokkan hirearki dan analisis koordinat utama (PCoA) menunjukkan bahwa komunitas mikroba tanah di lokasi gunung berapi dan padang rumput berbeda. Keanekaragaman dan kekayaan komunitas mikroba tanah di lokasi stepa secara signifikan lebih tinggi dibandingkan di lokasi gunung berapi ( $P < 0,05$ ) dan komunitas mikroba tanah di lokasi stepa memiliki stabilitas yang lebih tinggi.
2.	Lathifah <i>et al.</i> ,	2019	Characterization of Pioneer Bacterial Communities in	Penelitian ini menggunakan kombinasi analisis	Komunitas bakteri yang beragam secara filogenetik dapat dikembangkan

No	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
			Recent Volcanic Deposits of Mt. Merapi, Indonesia	molekular seperti waktu nyata kuantitatif, polimorfisme panjang fragmen restriksi terminal dan 454 pyrosequencing gen 16S rRNA yang digunakan untuk menentukan keragaman bakteri dan komposisi komunitas.	di endapan vulkanik dan komunitas bakteri perintis didominasi oleh <i>Betaproteobacteria</i> .
3.	Lathifah <i>et al.</i> ,	2019	Comparative Characterization of Bacterial Communities in Moss-Covered and Unvegetated Volcanic Deposit of Mount Merapi, Indonesia	Penelitian ini menggunakan beberapa sampel meliputi lokasi yang tidak bervegetasi (BRD), berlumut (BRUD) dan hutan (FRS).	Analisis BRD dan BRUD menunjukkan kepadatan sel yang dapat dikultur tinggi ( $1,7 - 8,5 \times 10^5$ CFU $g^{-1}$ ) meskipun Total C rendah (< 0,01%). FRS memiliki CFU tinggi ( $3 \times 10^6$ $g^{-1}$ ). Namun, nilainya relatif per unit Total C (2,6%) lebih rendah

No	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
					dibandingkan dengan sampel deposit.
4.	Sarah <i>et al.</i> ,	2015	Aktivitas Mikroorganisme Pada Tanah Bekas Erupsi Gunung Sinabung Di Kabupaten Karo	Pengukuran total mikroorganisme tanah dilakukan dengan Metode Agar Cawan, sedangkan aktivitas mikroorganisme tanah diukur menggunakan Metode Jar dan Titrimetri.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi pH maka semakin banyak koloni mikroorganisme akan banyak dan sebaliknya. Semakin tinggi C-organik maka aktivitas mikroorganisme di dalam tanah akan semakin tinggi dan sebaliknya.

Berdasarkan analisis dari beberapa penelitian terdahulu, bahwa adanya perubahan kondisi tanah akibat erupsi gunung berapi yang mempengaruhi ekologi yaitu kelimpahan dan keragaman mikroorganisme tanah. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak jangka panjang letusan Gunung Merapi terhadap karakteristik *Bio Physicochemical* dan keanekaragaman bakteri pada vulkanik deposit yang berusia 13 tahun metode Oxford Nanopore Technology (ONT) sebagai bentuk upaya konservasi lingkungan dan ekologi serta keseimbangan ekosistem secara berkelanjutan.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

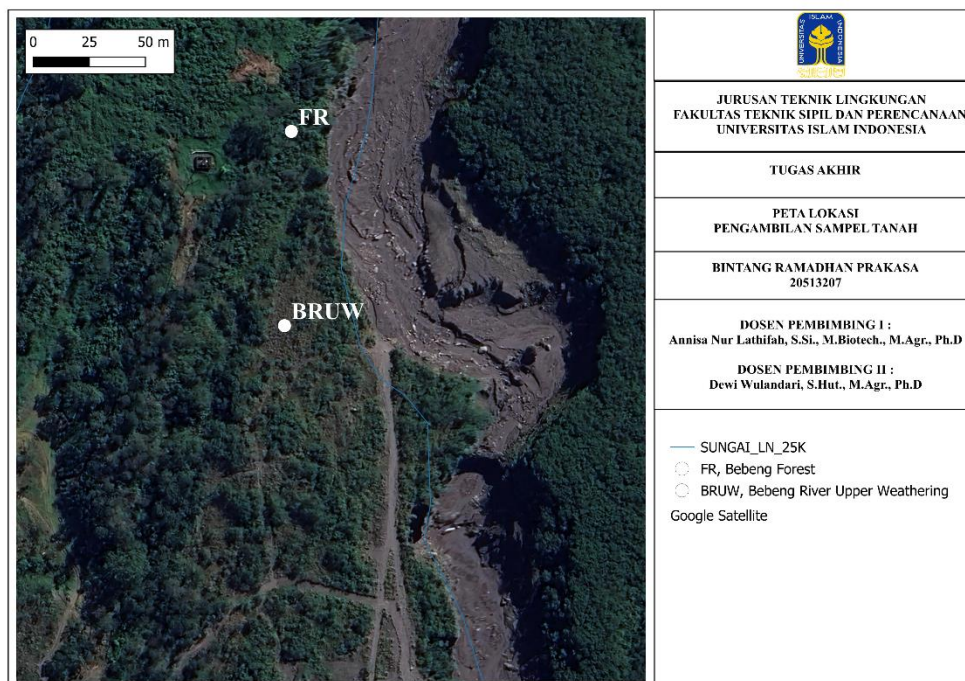
#### **3.1 Waktu dan Lokasi**

Penelitian ini dimulai dengan pengambilan sampel tanah, analisis *Bio Physicochemical* tanah, ekstraksi DNA (*Deoxyribonucleic Acid*) dengan menggunakan Manual DNA Extraction dari QIAGEN PowerSoil KIT yang dilanjutkan dengan amplifikasi gen 16S rRNA (*16S ribosomal Ribonucleic Acid*) serta sekuensing DNA. Penelitian ini dilaksanakan selama 6 bulan, mulai dari bulan November 2023 hingga April 2024. Untuk analisis sampel dilakukan mulai bulan Desember 2023 – Januari 2024 yang terdiri dari pengambilan sampel tanah di Kaliadem, Desa Kepuharjo, Cangkringan, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Kemudian, pengujian di laboratorium terdiri dari analisis biologi berupa menghitung total koloni bakteri, analisis sifat fisik dan kimia tanah berupa kadar air, pH tanah, rasio C/N, kadar P, K dan Fe dan analisis DNA berupa ekstraksi DNA, *Polymerase Chain Reactor* (PCR) serta *DNA Sequencing*. Pengujian akan dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan, Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Letusan pada tahun 2010 berdampak pada seluruh wilayah di sekitar Gunung Merapi. Aliran piroklastik mencapai 4 km di bagian utara, 11.5 km di bagian barat, 7 km di bagian timur dan sekitar 15 km di bagian selatan yang mencapai daerah Kaliadem. Letusan dari puncak gunung meluncur ke segala arah (kurang lebih 4 km) dan mengeluarkan sejumlah besar abu dan gas ke atmosfer (Cronin *et al.*, 2013; Wulaningsih *et al.*, 2013). Endapan abu vulkanik yang berasal dari letusan ditandai dengan tingginya kandungan SiO<sub>2</sub> (52.6 – 60.3 wt%), K<sub>2</sub>O (1.99 – 2.99 wt%) dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (16.6 – 18.9 wt%) (Wulaningsih *et al.*, 2013).

Lokasi pengambilan sampel tanah dilakukan di atas lahan yang tertutup vulkanik deposit letusan Gunung Merapi (BRUW, *Bebeng River Upper*

*Weathering*) dan sebuah lokasi hutan (FR, *Bebeng Forest*) di sepanjang sungai Bebeng di kaki Gunung Merapi dengan jarak antar lokasi adalah 88.4 meter. Lokasi BRUW (*Bebeng River Upper Weathering*, 07°34'47,4"S 110°26'50,5"E dan 1,199 mdpl) sebagian besar didominasi oleh vegetasi seperti *Campylopus umbellatur* dan *Lichens*. Sampel tanah referensi diambil dari lokasi FR (*Bebeng Forest*, 07°34'44,6"S 110°26'50,6"E dan 1,199 mdpl) sebagian besar didominasi oleh vegetasi seperti *Acacia decurrens* (acacia), *Pennisetum purpureum* (rumput gajah) dan *Chromolaena odorata* (L.) (Christmasbush).



Gambar 3. 1 Peta Lokasi Pengambilan Sampel Tanah di Kaliadem, Desa Kepuharjo, Cangkringan, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta



Gambar 3. 2 Sampel Tanah Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW, *Bebeng River Upper Weathering*) (a) dan Sampel Tanah Hutan (FR, *Bebeng Forest*) (b)

### 3.2 Alat dan Bahan

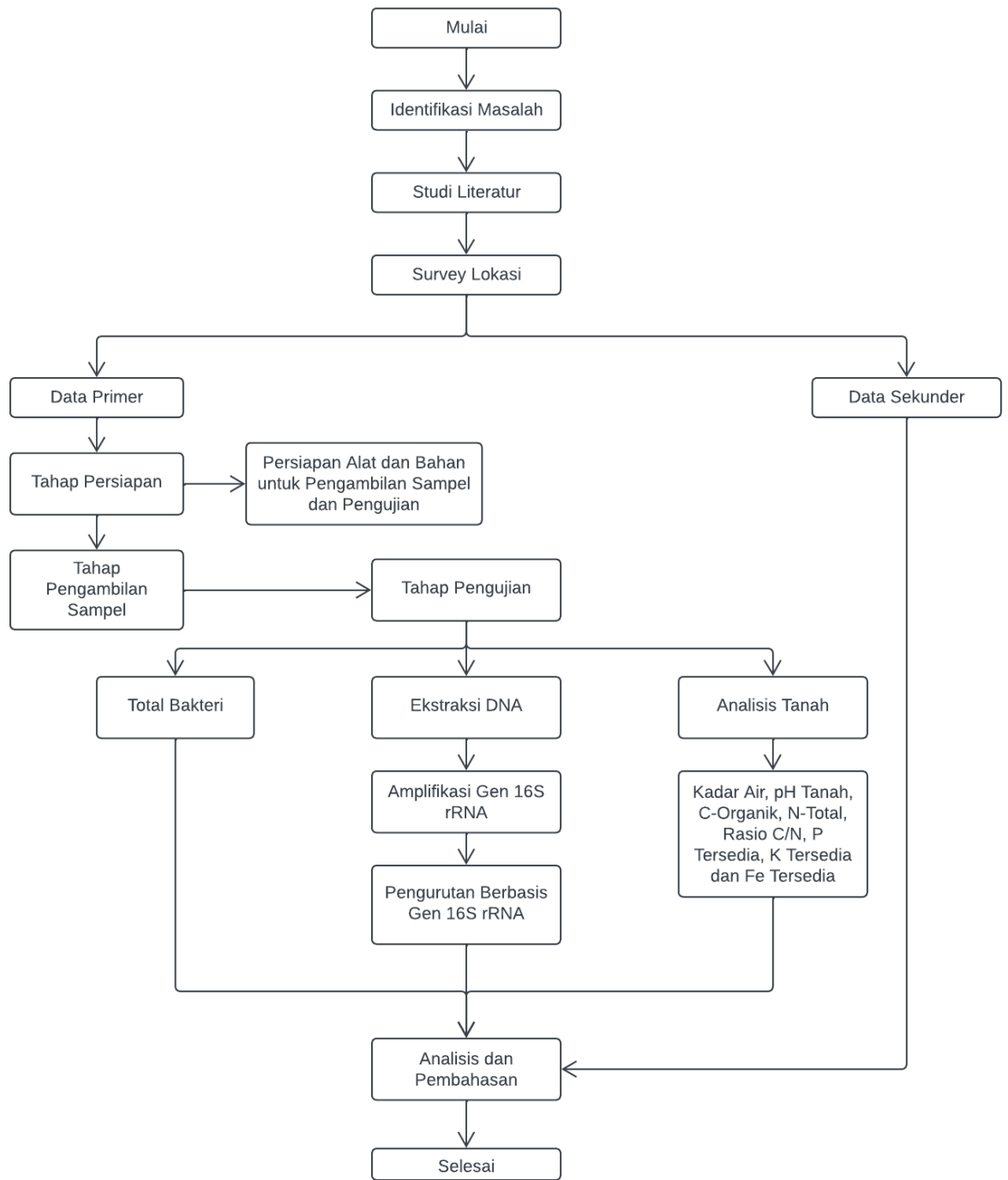
Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: Qiagen PowerSoil KIT, KOD-Multi & Epi-TM (Toyobo, KME-101), NanoDrop Spektrofotometer, Oxford Nanopore Technology (ONT) MinKNOW 23.04.5, Guppy 6.5.7, NanoPlot 1.40.0, NanoFilt 2.8.0, Centrifuge 1.0.4, Pavian 1.0, KronaTools 2.8.1, R 4.2.3, cawan petri, tabung reaksi, erlenmeyer, gelas ukur, magnetic stirrer, centrifuge, vortex, Destilator Kjeldahl, autoklaf, Desikator, Oven, pH meter, Bor Tanah, cetok, ziplock, label, timbangan analitik, GPS, buku dan alat tulis.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: 5000 g sampel tanah yang dikompositkan, alkohol 70%, aquades, selen, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 1 N, asam borat, indikator conway, HCl 25%, pereaksi pewarna P (1 mL asam askorbat 10%, Molibdat + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 6N), Agarose Gel PCR Product dengan primer 27F dan 1492R, 1% gel agarose dalam 1x buffer TBE (Tris-Borate-EDTA pH 8.0), *Nutrient Broth* (NB), *Dilute Nutrient Broth* (DNB) dan 2% *Nutrient Agar*.

### **3.3 Prosedur Analisis Data**

Analisis sifat fisik, kimia dan biologi terhadap sampel tanah dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Berikut ini alur tahapan penelitian yang akan dilakukan:





Gambar 3. 3 Diagram Alir Tahapan Penelitian

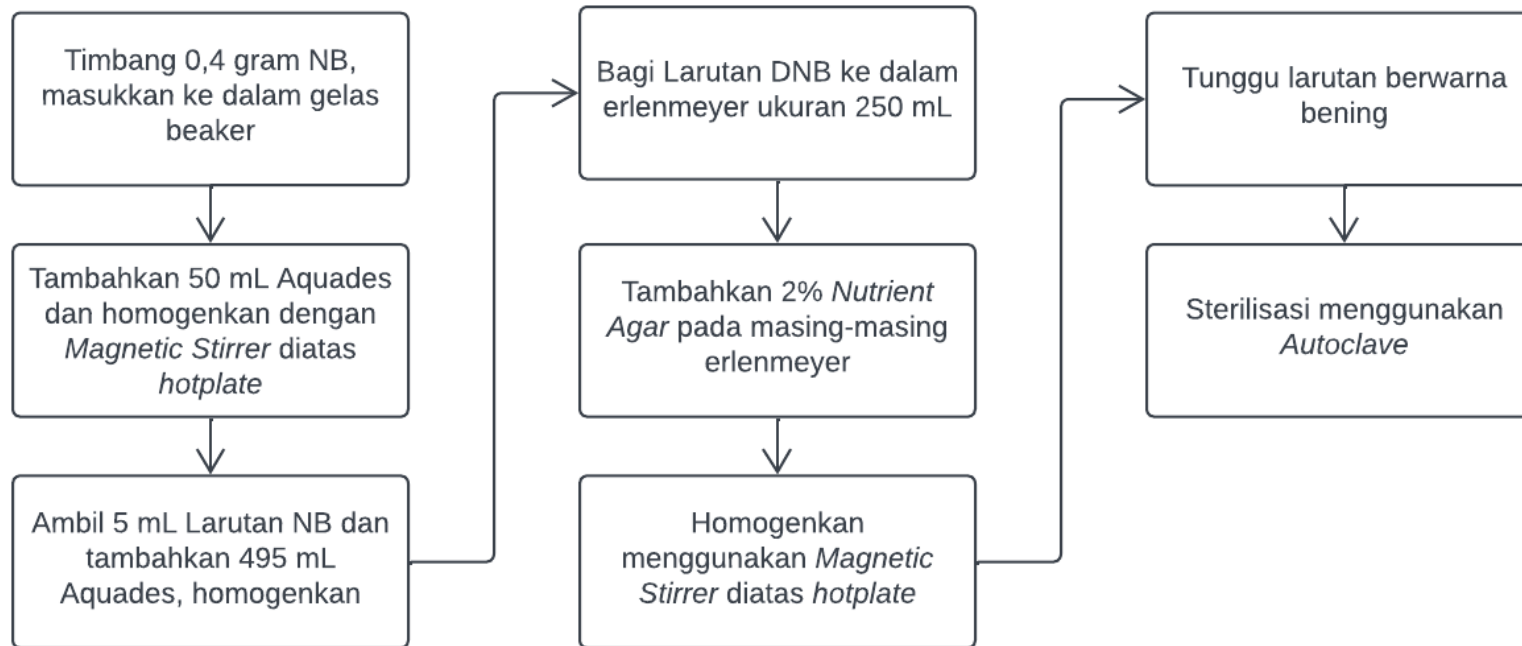
### 3.3.1 Pengambilan Sampel Tanah

Pengambilan sampel dilakukan pada tanggal 25 November 2023 dari tiga titik (kedalaman 0 – 20 cm) dengan interval 100 cm yang kemudian dikompositkan. Sampel dibagi menjadi dua bagian (dalam kantong plastik steril), satu bagian digunakan untuk analisis bakteriologis selanjutnya (dalam waktu satu minggu setelah pengambilan sampel) dan ekstraksi DNA (*Deoxyribonucleic Acid*).

### 3.3.2 Isolasi Bakteri

- **Pembuatan Media**

Media yang digunakan dalam penelitian ini adalah media *Nutrient Broth* (NB) dan *Dilute Nutrient Broth* (DNB). Pembuatan media DNB diawali dengan pembuatan *Nutrient Broth* (NB), karena DNB merupakan pengenceran 100x dari NB. *Nutrient Broth* (NB) dibuat dengan melarutkan 0,4 gram dengan 50 mL aquades. Apabila NB dibuat sebanyak 100 mL, maka 1 mL ke erlenmeyer 100 mL dan 99 mL aquades, homogenkan. *Dilute Nutrient Broth* (DNB) padat dibuat sebanyak 500 mL dengan perbandingan 5 mL NB dan 495 mL aquades yang ditambahkan 2% *Nutrient Agar* yaitu sebanyak 10 gram. Homogenkan menggunakan *magnetic stirrer* dan dilanjutkan dengan sterilisasi menggunakan *autoclave*.

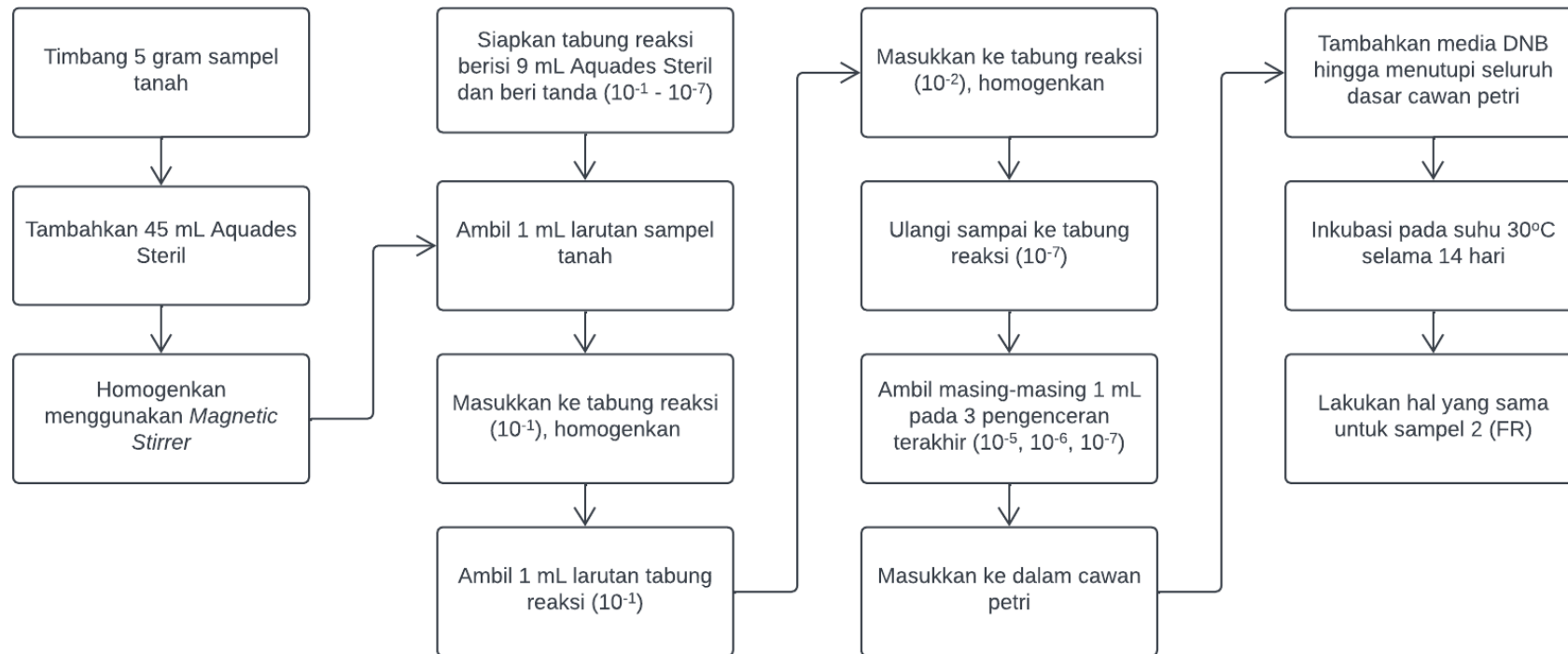


Gambar 3. 4 Diagram Alir Pembuatan NB, DNB dan DNB + *Nutrient Agar* 2%

- **Isolasi Bakteri**

Isolasi bakteri pada penelitian ini menggunakan metode teknik tuang atau *Pour Plate*. Pertama, masing-masing sampel tanah ditimbang sebanyak 5 gram dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer berisi 45 mL aquades steril lalu dihomogenkan menggunakan *magnetic stirrer*. Kedua, sampel diambil sebanyak 1 mL lalu dimasukkan ke tabung reaksi  $10^{-1}$  yang berisi 9 mL aquadest steril, homogenkan. Kemudian, sampel diambil kembali sebanyak 1 mL dari tabung reaksi  $10^{-1}$  dan dimasukkan ke tabung reaksi  $10^{-2}$  yang berisi 9 mL aquadest steril, homogenkan. Lakukan hal yang sama hingga ke tabung reaksi pengenceran  $10^{-7}$  dan  $10^{-8}$ .

Larutan sampel pada tabung reaksi pengenceran  $10^{-6}$ ,  $10^{-7}$ ,  $10^{-8}$  untuk sampel FR (*Bebeng Forest*) dan  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-7}$  untuk sampel BRUW (*Bebeng River Upper Weathering*) masing-masing diambil 1 mL menggunakan mikropipet ke cawan petri dan ditambahkan media *Dilute Nutrient Broth* (DNB) secara duplo. Kemudian, cawan petri yang berisi media dibungkus menggunakan kertas coklat dan diinkubasi selama 14 hari (2 minggu) pada suhu  $30^{\circ}\text{C}$  untuk pengamatan pertumbuhan jumlah koloni (Januar *et al.*, 2013).



Gambar 3. 5 Diagram Alir Isolasi Bakteri dengan Metode *Pour Plate*

- **Pertumbuhan Bakteri**

Analisis pertumbuhan bakteri dilakukan dengan perhitungan koloni bakteri. Perhitungan koloni bakteri untuk metode *Pour Plate* memiliki *range* jumlah koloni sebanyak 30 – 300 CFU/mL (Sutton, 2011). Menurut Azizah & Soesetyaningsih (2020), ada beberapa hal yang perlu diperhatikan saat menghitung koloni bakteri pada sampel seperti:

- Apabila jumlah koloni pada cawan berjumlah  $> 300$  CFU/mL, maka dikategorikan TBUD (Terlalu Banyak Untuk Dihitung) atau TNTC (*Too Numerous to Count*) dan hanya pengenceran paling besar yang dilaporkan.
- Apabila jumlah koloni  $< 30$  CFU/mL, dikategorikan *Too Few To Count* (TFTC) dan hanya pengenceran paling kecil yang dilaporkan.
- Apabila ada 2 cawan dari pengenceran besar dan kecil mempunyai jumlah koloni/petridish 30 – 300 CFU/mL, maka:
  - Hasil pembagian jumlah koloni  $\leq 2$ , maka jumlah koloni adalah nilai rata-rata; dan
  - Hasil pembagian jumlah koloni  $> 2$ , maka jumlah koloni adalah nilai dari pengenceran kecil.

Madigan (2012) juga menjelaskan dalam buku *Brock Biology of Microorganisms*, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam menghitung koloni bakteri yaitu:

- Jumlah koloni/petridish 30 – 300, apabila tidak ada yang memenuhi maka pilih yang terdekat.
- Koloni spreader tidak digunakan.
- Jika ada pengulangan, maka jumlah koloni diambil rata-rata.

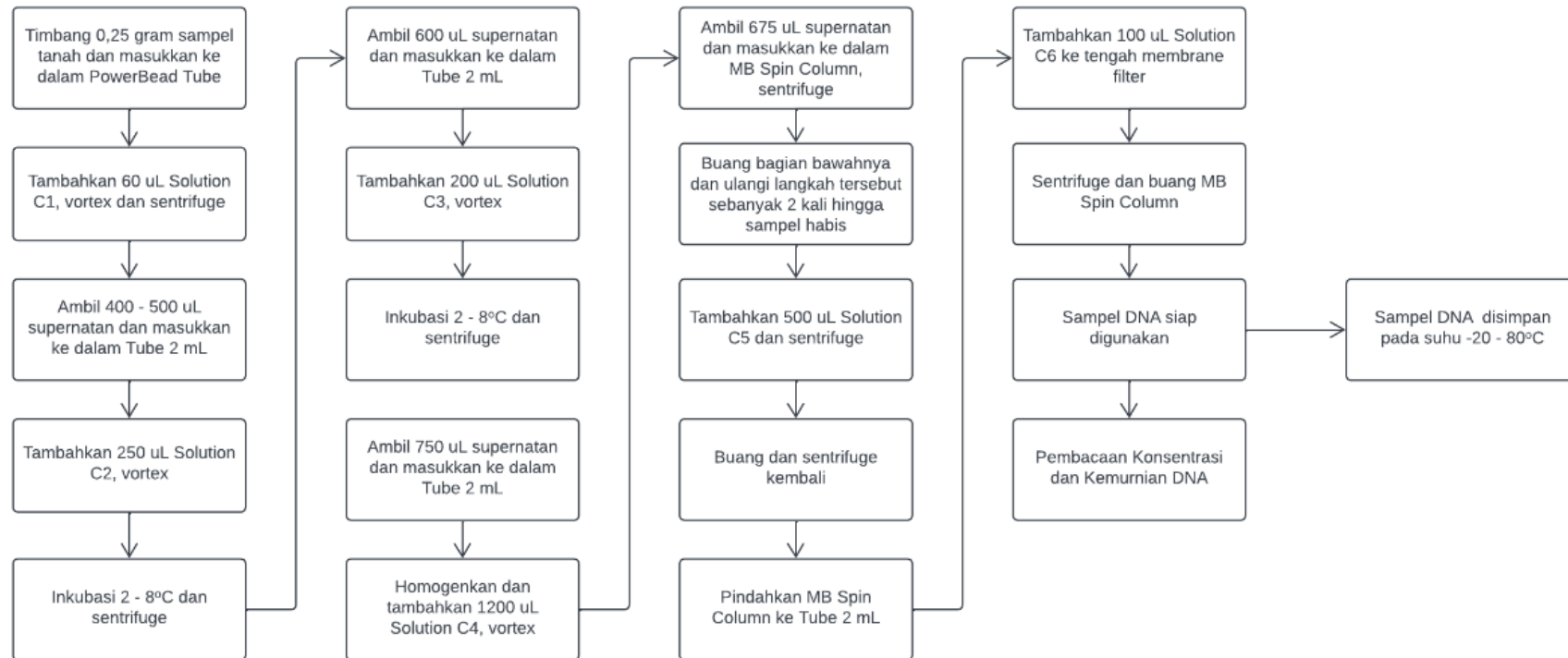
Analisis data untuk densitas koloni bakteri dari isolasi bakteri yang ditumbuhkan lewat inkubasi selama 2 minggu dengan menggunakan media *Dilute Nutrient Broth* (DNB) dan melakukan perhitungan koloni bakteri menggunakan *Total Plate Count* (TPC). Perhitungan koloni dilakukan pada cawan petri yang berisi media DNB dan larutan pengenceran  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-7}$

dan  $10^{-8}$ . Kemudian, hasil perhitungan akan dihitung dengan rumus sebagai berikut (Nufus *et al.*, 2016):

$$\text{Total Bakteri} = \text{Jumlah Koloni Bakteri} \times \frac{1}{\text{Pengenceran}}$$

### 3.3.3 Ekstraksi DNA

Ekstraksi DNA (*Deoxyribonucleic Acid*) mengacu pada DNeasy PowerSoil Kit Handbook (QIAGEN, 2017). Pertama, sampel tanah ditimbang sebanyak 0,25 gram dan dimasukkan ke dalam Power Bead Tube. Kedua, tambahkan 60  $\mu\text{l}$  Solution C1, kemudian vortex selama 10 menit pada kecepatan 2000 rpm dan dilanjutkan dengan sentrifuge pada 10.000 x g selama 1 menit. Selanjutnya, ambil supernatan sebanyak 400 – 500  $\mu\text{l}$  dan dimasukkan ke dalam Tube 2 mL yang baru. Tambahkan 250  $\mu\text{l}$  Solution C2, vortex selama 5 detik dan inkubasi selama 5 menit pada suhu 2°C - 8°C. Selanjutnya, sentrifuge pada 10.000 x g selama 1 menit. Ambil supernatan sebanyak 600  $\mu\text{l}$  supernatan ke dalam Tube 2 ml baru. Tambahkan 200  $\mu\text{l}$  Solution C3, vortex selama 5 detik dan inkubasi selama 5 menit pada suhu 2°C - 8°C. Selanjutnya, sentrifuge pada 10.000 x g selama 1 menit. Ambil supernatan sebanyak 750  $\mu\text{l}$  dan masukkan ke dalam Tube 2 mL yang baru. Homogenkan dan tambahkan 1200  $\mu\text{l}$  Solution C4, vortex selama 5 detik. Ambil 675  $\mu\text{l}$  supernatan, masukkan ke MB Spin Column dan sentrifuge pada 10.000 x g selama 1 menit. Kemudian, buang bagian bawahnya dan ulangi langkah tersebut sebanyak dua kali hingga semua sampel habis diproses. Tambahkan 500  $\mu\text{l}$  Solution C5 dan sentrifuge pada 10.000 x g selama 30 detik. Buang dan sentrifuge kembali selama 1 menit. Pindahkan MB Spin Column ke Tube 2 mL yang baru secara hati-hati. Tambahkan 100  $\mu\text{l}$  Solution C6 ke tengah membran filter putih. Sentrifuge pada 10.000 x g selama 30 detik dan buang MB Spin Column. Terakhir, sampel DNA dilakukan pembacaan konsentrasi dan kemurnian DNA. Sampel DNA dapat disimpan pada suhu -20°C - 80°C.

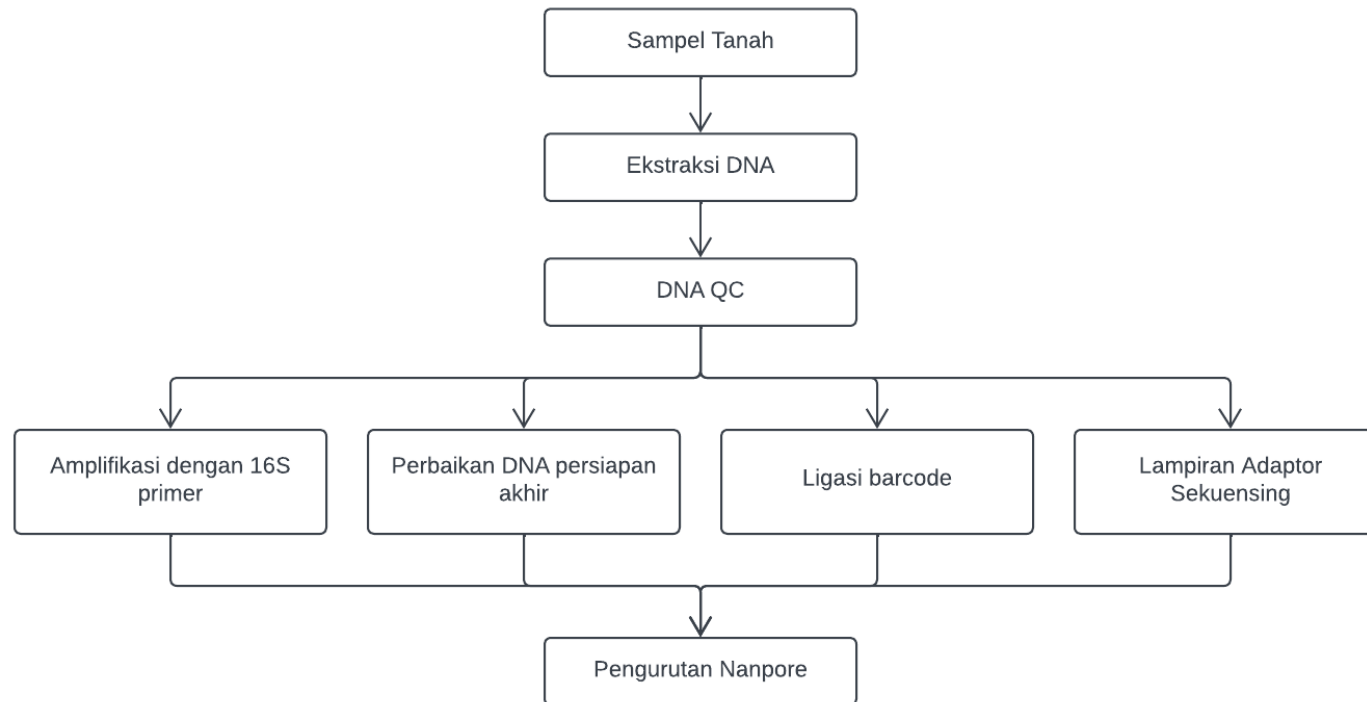


Gambar 3. 6 Diagram Alir Ekstraksi DNA menggunakan QIAGEN PowerSoil KIT



### 3.3.4 Amplifikasi Gen 16S rRNA

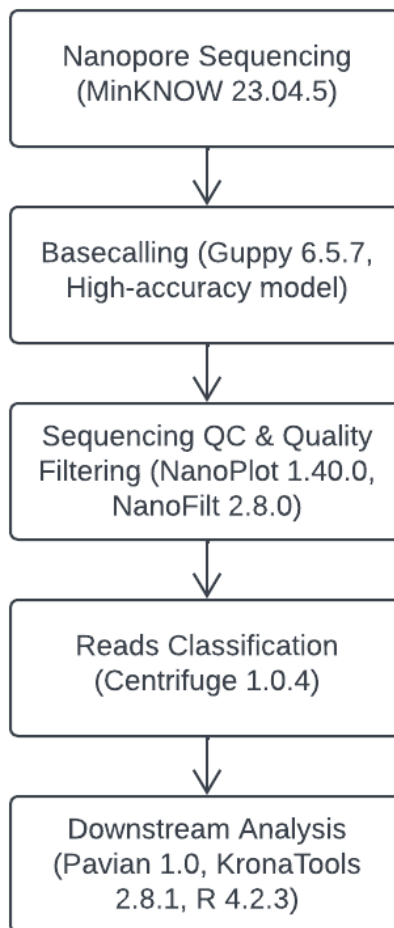
Amplifikasi PCR (*Polymerase Chain Reaction*) menggunakan KOD-Multi & Epi-TM (Toyobo, KME-101). Gen 16S rRNA (16S rDNA) diamplifikasi dengan menggunakan primer Bact27\_F 5'-AGA GTT TGA TCA TGG CTC AG-3' dan Uni1492\_R 5'-GGT TAC CTT ACG ACT T-3'. Kondisi amplifikasi diatur pada kondisi denaturasi pada 95°C selama 2 menit, 20 siklus 96°C selama 30 detik, 55°C selama 45 detik dan 72°C selama 1 menit dengan perpanjangan akhir 72°C selama 10 menit pada sistem PCR 9700 (Life Technologies Japan, Tokyo, Japan) menurut protokol Kim *et al.*, (2013). Produk PCR dikonfirmasi dengan elektroforesis 1% gel agarose TBE.



Gambar 3. 7 Diagram Alir Amplifikasi 16S rRNA

### 3.3.5 Pengurutan Gen Berbasis 16S rRNA

Pengurutan gen 16S *ribosomal* RNA (16S rRNA) menggunakan Oxford Nanopore Technology (ONT). Pengurutan Nanopore dioperasikan oleh perangkat lunak MinKNOW versi 23.04.5. Basecalling dilakukan dengan menggunakan Guppy versi 6.5.7 dengan model akurasi tinggi (Wick *et al.*, 2019). Kualitas file FASTQ divisualisasikan menggunakan NanoPlot dan pemfilteran kualitas menggunakan NanoFilt (de Coster W *et al.*, 2018; Nygaard *et al.*, 2020). Pembacaan yang difilter diklasifikasikan menggunakan pengklasifikasi Centrifuge (Kim *et al.*, 2016). Indeks Bakteri dan Archaea dibuat menggunakan basis data NCBI 16S RefSeq (<https://ftp.ncbi.nlm.nih.gov/refseq/TargetedLoci/>). Analisis hilir dan visualisasi dilakukan menggunakan Pavian (<https://github.com/fbreitwieser/pavian>), Krona Tools (<https://github.com/marbl/Krona>) dan RStudio menggunakan R versi 4.2.3 (<https://www.r-project.org/>).



Gambar 3. 8 Diagram Alir Pengurutan Berbasis 16S rRNA

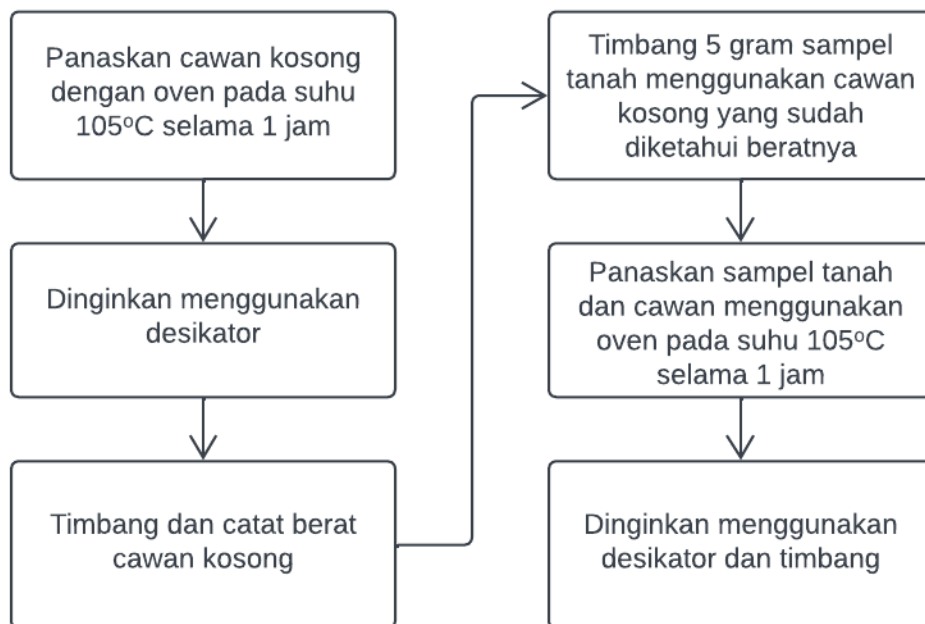
### 3.3.6 Analisis Tanah

- **Penetapan pH Tanah**

Nilai pH menunjukkan konsentrasi ion  $H^+$  dalam larutan tanah, yang dinyatakan sebagai  $-\log[H^+]$ . Penentuan pH tanah menggunakan rasio 1 : 5. Konsentrasi  $H^+$  yang diekstrak dengan air menyatakan kemasaman aktif (aktual) sedangkan pengestrak KCl 1 N menyatakan kemasaman cadangan (potensial). Penetapan pH tanah dilakukan dengan perbandingan massa 1:2,5 (sampel : air) dan diukur menggunakan pH meter.

- **Penetapan Kadar Air**

Secara konseptual, penentuan kadar air tanah dengan metode gravimetrik sebagai pendekatan yang paling sederhana. Kadar air ditentukan dengan cara pengukuran kehilangan air sebelum dan sesudah dikeringkan pada suhu 105°C. Berat yang hilang merupakan jumlah air yang dikandung dalam sampel (Tanah, 2022). (ISBN: 978-602-8039-49-9).



Gambar 3. 9 Diagram Alir Penetapan Kadar Air

Timbang 5 gram sampel tanah ke dalam cawan kosong yang telah diketahui berat kosongnya. Panaskan dalam oven pengering pada suhu 105°C selama 1 jam. Dinginkan dalam desikator dan timbang.

Perhitungan

$$\text{Kadar Air (\%)} = (W - W_1) \times \frac{100}{W}$$

Dimana,

W = bobot contoh asal dalam gram

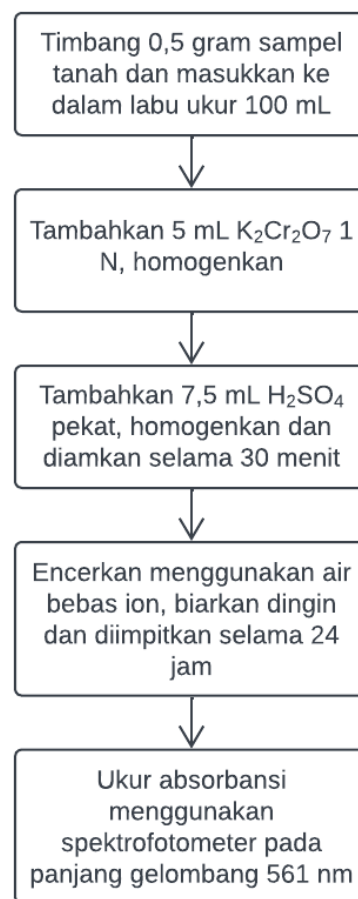
W<sub>1</sub> = bobot contoh setelah dikeringkan dalam gram

100 = faktor konversi ke %

fka = faktor koreksi kadar air, 100/(100 - %kadar air)

- **Penetapan C-Organik**

Analisis C-Organik dilakukan dengan menggunakan metode Walkley dan Black, prinsip metode Walkley dan Black ini adalah  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  yang diberikan berlebihan lalu tereduksi ketika bereaksi dengan tanah, dianggap setara dengan C-Organik di dalam contoh tanah (Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk, 2023).



Gambar 3. 10 Diagram Alir Penetapan C-Organik

Timbang 0,5 g sampel tanah dan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL. Tambahkan 5 mL  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  1 N, lalu dihomogenkan. Tambahkan 7,5 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat, homogenkan dan didiamkan selama 30 menit. Diencerkan dengan air bebas

ion, biarkan dingin dan diimpitkan selama 24 jam. Ukur absorbansi larutan jernih dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 561 nm.

#### Perhitungan

$$C - organik(\%) = ppm\ kurva \times ml\ ekstrak\ 1.000ml^{-1} \times 100\ mg\ contoh^{-1} \times fk$$

$$C - organik(\%) = ppm\ kurva \times 100\ 1.000^{-1} \times 100\ 500^{-1} \times fk$$

$$C - organik(\%) = ppm\ kurva \times 10\ 500^{-1} \times fk$$

dengan:

ppm kurva adalah kadar contoh yang didapat dari kurva hubungan antara kadar deret standar dengan pembacaannya setelah dikoreksi blanko

100 adalah konversi ke %

fk adalah faktor koreksi kadar air =  $100/(100 - \% \text{ kadar air})$

- **Penetapan Total Nitrogen**

Analisis ini mengacu pada Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk oleh Balai Penelitian Tanah.

#### Destruksi Contoh

Timbang  $\pm 1$  gram contoh tanah, masukkan ke dalam tabung digest. Tambahkan reagent selenium 1 gram dan 15 mL asam sulfat pekat, homogenkan. Proses destruksi dilakukan selama 1 jam pada alat yang sudah dipanaskan pada suhu  $470^{\circ}\text{C}$ . Sampel hasil destruksi akan berwarna putih kehijauan. Tabung diangkat, didinginkan  $\pm 30$  menit sebelum masuk ke tahap destilasi.

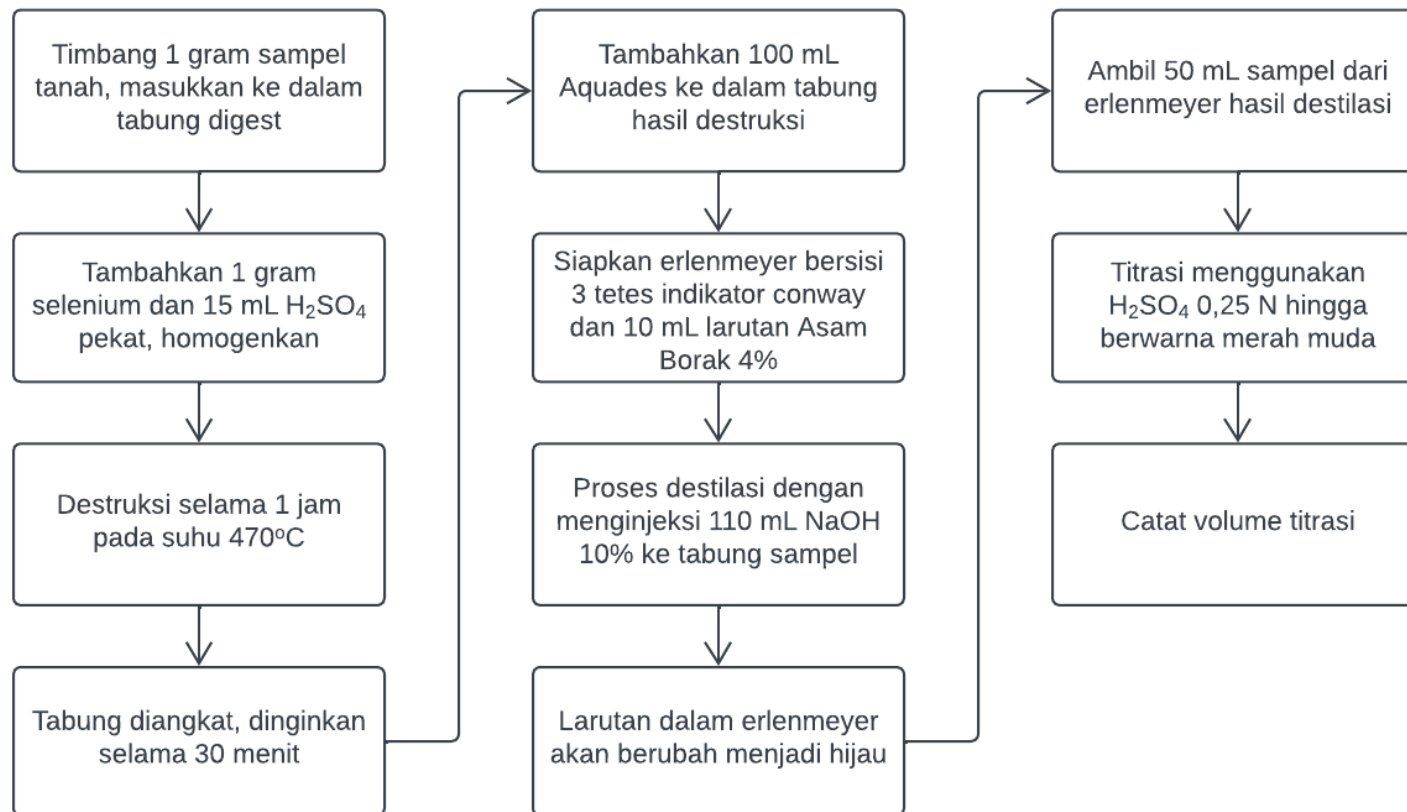
#### Destilasi Contoh

Tambahkan aquades sebanyak 100 mL ke dalam tabung sampel hasil destruksi. Siapkan labu erlenmeyer yang berisi indikator conway sebanyak 3 tetes dan larutan asam borat 4% sebanyak 10 mL (menghasilkan warna merah). Proses destilasi dilakukan dengan menginjeksi 110 mL NaOH 10% ke tabung sampel, kemudian hasil destruksinya masuk ke labu erlenmeyer yang sudah diberi indikator dan larutan asam. Larutan pada erlenmeyer akan berwarna hijau muda yang mengindikasikan adanya kandungan N organik, semakin hijau larutannya maka semakin tinggi kadar N organik didalamnya.

### Titration Example

Take a sample of 50 mL from an erlenmeyer flask containing the distillate. Titrate the distillate with  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,25 N until a light red color appears. Record the volume of titrant for the sample ( $V_1$ ) and the blank ( $V_2$ ).





Gambar 3. 11 Diagram Alir Nitrogen Total dengan Metode Kjeldahl

### Perhitungan

$$\text{Kadar Nitrogen (\%)} = (V_c - V_b) \times N \times \text{bst N} \times 100 / \text{mg bobot contoh} \times \text{fk}$$

dengan:

$V_{c,b}$	adalah ml titar contoh dan blanko
N	adalah normalitas larutan baku $H_2SO_4$
bst N	adalah bobot setara nitrogen, 14
100	adalah konversi ke %
fk	adalah faktor koreksi kadar air = $100 / (100 - \% \text{kadar air})$

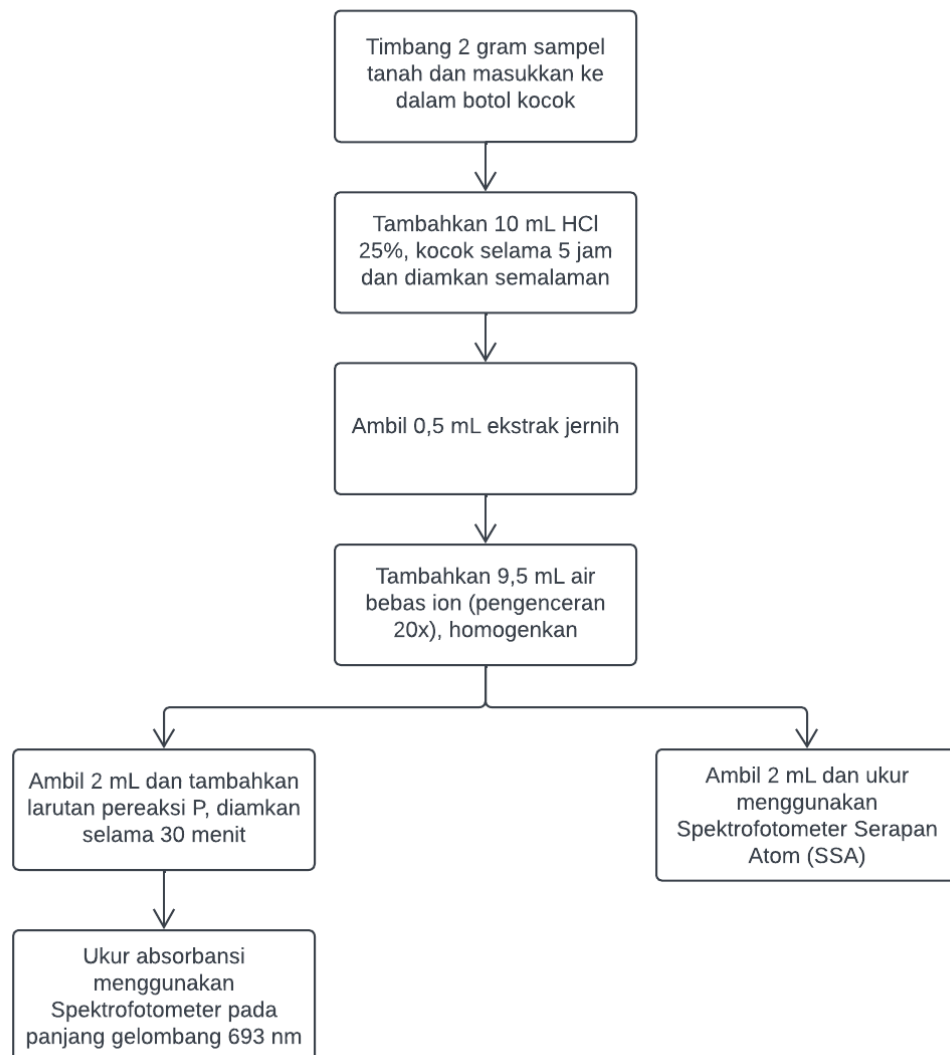
- **Penetapan P dan K Ekstrak HCl 25%**

Fosfor dalam bentuk cadangan ditetapkan dengan menggunakan pengestrak HCl 25%. Pengestrak ini akan melarutkan bentuk-bentuk senyawa fosfat dan kalium mendekati kadar P dan K-total. Ion fosfat dalam ekstrak akan bereaksi dengan amonium molibdat dalam suasana asam membentuk asam fosformolibdat yang akan bereaksi dengan asam askorbat menghasilkan larutan berwarna biru. Intensitas warna biru larutan dapat diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 693 nm, sedangkan kalium diukur dengan SSA (Spektrofotometer Serapan Atom) (Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk, 2023).

Timbang 2,000 g contoh tanah, dimasukkan ke dalam botol kocok dan ditambahkan 10 mL HCl 25% lalu kocok dengan mesin kocok selama 5 jam. Masukkan ke dalam tabung reaksi dibiarkan semalaman atau disentrifuse.

Pipet 0,5 mL ekstrak jernih contoh (ekstrak a) dan deret standar ke dalam tabung reaksi. Tambahkan 9,5 mL air bebas ion (pengenceran 20x) dan dikocok (ekstrak b). Pipet 2 mL ekstrak b dan deret standar masing-masing dimasukkan ke dalam tabung reaksi, kemudian ditambahkan 10 mL larutan pereaksi pewarna P dan dikocok. Dibiarkan selama 30 menit, lalu ukur absorbansinya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 693 nm.

Untuk kalium, ekstrak contoh dan deret standar K diukur langsung dengan SSA (Spektrofotometer Serapan Atom).



Gambar 3. 12 Diagram Alir Penetapan P dan K Ekstrak HCl 25%

### Perhitungan

*Kadar P Potensial (mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 100g<sup>-1</sup>)*

$$= ppm \text{ kurva} \times (ml \text{ ekstrak} / 1.000 \text{ mL}) \times 100 \text{ g (g contoh}^{-1}) \times fp \times (142/190) \times fk$$

*Kadar P Potensial = ppm kurva × 10/1.000 × 100/2 × 20 × (142/190) × fk*

*Kadar P Potensial = ppm kurva × 10 × 142/190 × fk*

*Kadar K Potensial (mg K<sub>2</sub>O 100g<sup>-1</sup>) = ppm kurva × 10 × 94/78 × fk*

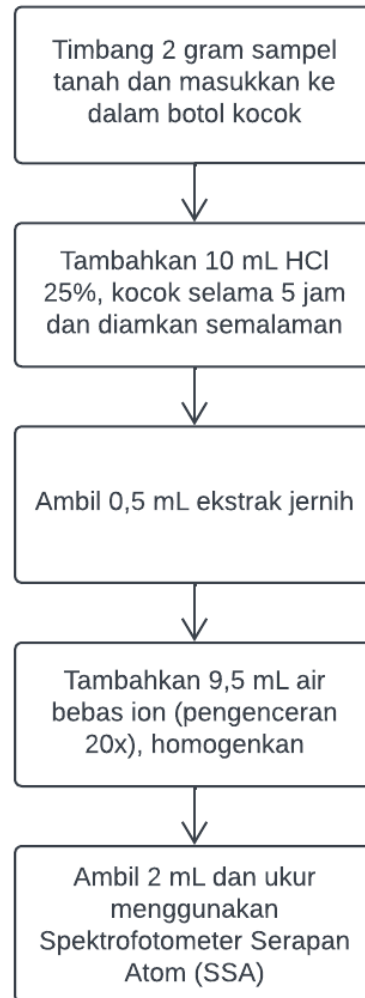
Keterangan:

ppm kurva	= kadar contoh yang didapat dari kurva hubungan antara kadar deret standar dengan pembacaannya setelah dikoreksi blanko
fk	= faktor koreksi kadar air = $100/(100 - \% \text{kadar air})$
fp	= faktor pengenceran (20)
142/190	= faktor konversi bentuk $\text{PO}_4$ menjadi $\text{P}_2\text{O}_5$
94/78	= faktor konversi bentuk K menjadi $\text{K}_2$

- **Penetapan Fe Ekstrak HCl 25%**

Logam Fe oksida yang terbentuk adalah  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{FeO}$ . Oksida-oksida ini kemudian dilarutkan ke dalam pelarut asam. Pelarut asam yang digunakan adalah HCl pekat. Penambahan HCl bertujuan untuk melarutkan Fe dan mengeluarkan gas  $\text{H}_2$ .

Timbang 2,000 g contoh tanah, dimasukkan ke dalam botol kocok dan ditambahkan 10 mL HCl 25% lalu kocok dengan mesin kocok selama 5 jam. Masukkan ke dalam tabung reaksi dibiarkan semalaman atau disentrifuse. Pipet 0,5 mL ekstrak jernih contoh (ekstrak a) dan deret standar ke dalam tabung reaksi. Tambahkan 9,5 mL air bebas ion (pengenceran 20x) dan dikocok (ekstrak b). Selanjutnya, ekstrak contoh dan deret standar Fe diukur langsung dengan SSA (Spektrofotometer Serapan Atom). Analisis ini mengacu pada Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk oleh Balai Penelitian Tanah.



Gambar 3. 13 Diagram Alir Penetapan Fe Ekstrak HCl 25%

#### Perhitungan

*Kadar Fe Tersedia (mg FeO 100g<sup>-1</sup>)*

$$= ppm \text{ kurva} \times (ml \text{ ekstrak} / 1.000 \text{ mL}) \times 100 \text{ g (g contoh}^{-1}) \times fp \\ \times (56/72) \times fk$$

Keterangan:

ppm kurva = kadar contoh yang didapat dari kurva hubungan antara kadar deret standar dengan pembacaannya setelah dikoreksi blanko

fk = faktor koreksi kadar air =  $100 / (100 - \% \text{kadar air})$

fp = faktor pengenceran (bila ada)

56/72 = faktor konversi bentuk Fe menjadi FeO

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA

#### 4.1 Karakteristik Sifat Fisik Kimia Tanah Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun

Sampel tanah diambil pada 2 lokasi, meliputi sampel tanah vulkanik deposit letusan Gunung Merapi berusia 13 tahun (BRUW, *Bebeng River Upper Weathering*) dan tanah hutan (FR, *Bebeng Forest*). Sampel tanah diambil pada kedalaman  $\leq 20$  cm yang kemudian dikompositkan. Hasil analisis karakteristik tanah adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Karakteristik Sifat Fisik dan Kimia pada Sampel Tanah Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW) dan Tanah Hutan (FR)

Parameter	Satuan	Sampel Tanah	
		FR	BRUW
Sifat Fisik Tanah			
Kadar Air	%	23.62	6.56
Sifat Kimia Tanah			
pH	-	6.63	7.3
C-Organik	g/kg	9.17 $\pm$ 1.86	1.24 $\pm$ 0.4
N-Total	g/kg	43.50 $\pm$ 5.85	12.05 $\pm$ 2.46
Rasio C/N	-	0.21 $\pm$ 0.02	0.10 $\pm$ 0.05
P tersedia	g/kg	0.44 $\pm$ 0.02	0.60 $\pm$ 0.12
K tersedia	g/kg	0.85 $\pm$ 0.4	0.92 $\pm$ 0.16
Fe tersedia	g/kg	41.92 $\pm$ 9.69	107.84 $\pm$ 32.65

Tabel 4. 2 Kriteria Penilaian Hasil Analisis Tanah

Parameter	Nilai					
	Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi	
C (%)	< 1	1 – 2	2 – 3	3 – 5	> 5	
N (%)	< 0.1	0.1 – 0.2	0.21 – 0.5	0.51 – 0.75	> 0.75	
C/N	< 5	5 – 10	11 – 15	16 – 25	> 25	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> HCl 25% (mg/100g)	< 15	15 – 20	21 – 40	41 – 60	> 60	
K <sub>2</sub> O HCl 25% (mg/100g)	< 10	10 – 20	21 – 40	41 – 60	> 60	
	Sangat Masam	Masam	Agak Masam	Netral	Agak Alkalis	Alkalis
pH H <sub>2</sub> O	< 4.5	4.5 – 5.5	5.5 – 6.5	6.6 – 7.5	7.6 – 8.5	> 8.5

**Sumber:** Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk (2023)

Berdasarkan hasil analisis sifat fisik tanah dapat dilihat bahwa sampel tanah BRUW memiliki tingkat kadar air sebesar 6.56% dan tanah FR sebesar 23.62%. Dedi Erfandi *et al.*, (2012) menyebutkan tanah yang terbentuk dari lahar Gunung Merapi mempunyai sifat fisik antara lain tanah yang sangat porus dan air tersedianya sangat rendah (sekitar 1 – 3% volume). Kondisi tanah di sekitar Gunung Merapi hasil dari proses pelapukan batuan vulkanik. Proses pelapukan vulkanik deposit letusan Gunung Merapi berusia 13 tahun menyebabkan penurunan kadar air tanah dan mempengaruhi sifat tanah yang terbentuk.

Menurut Kusuma dan Yanti (2021), kadar air di dalam tanah mempengaruhi keasaman pH tanah. Semakin besar kadar air maka semakin masam keasaman pH tanah. Untuk hasil pengukuran sifat kimia tanah pada kadar keasaman (pH) terhadap sampel tanah didapatkan sampel tanah BRUW tergolong agak alkalis dengan nilai 7.3 dan tanah FR (kontrol) yang netral sebesar 6.63. Suparto (2015) menyebutkan kondisi tanah di sekitar Gunung Merapi dihasilkan dari proses pelapukan batuan yang mengandung unsur basa yang tinggi. Proses pelapukan

vulkanik deposit letusan Gunung Merapi berusia 13 tahun merubah sifat kimia tanah, pH tanah meningkat.

Kadar air di dalam tanah juga mempengaruhi kadar C-Organik tanah, dimana kadar air berbanding lurus dengan kadar C-Organik tanah (Kusuma dan Yanti, 2021). Merujuk pada petunjuk teknis mengenai kriteria penilaian hasil analisis tanah, kandungan C-Organik pada sampel tanah <1% kategori sangat rendah yaitu  $1.24 \pm 0.4$  g/kg untuk sampel tanah BRUW dan  $9.17 \pm 1.86$  g/kg untuk sampel tanah FR. Hal ini sesuai dengan pendapat Adhikari S. (2003) dan Hardjowigeno (2003) dalam Siregar (2017) yang mengatakan kadar C-Organik tanah < 0,8% dikategorikan bahwa tingkat kesuburan tanah rendah. Tanah hutan di sekitar lokasi vulkanik deposit dalam kategori yang rendah, adanya proses pelapukan vulkanik deposit akibat erupsi menyebabkan penurunan kandungan C-Organik pada lokasi vulkanik deposit. Kandungan C-Organik rendah pada tanah vulkanik deposit disebabkan lokasi tersebut terbentuk dari bahan berupa deposit pasir hasil erupsi vulkanik.

Selain C-Organik, ketersediaan kadar nitrogen di dalam tanah juga menjadi tolak ukur tingkat kualitas tanah. Berdasarkan hasil analisis N terhadap sampel tanah didapatkan hasil  $12.05 \pm 2.46$  g/kg untuk sampel tanah BRUW dan  $43.50 \pm 5.85$  g/kg untuk sampel FR. Merujuk pada petunjuk teknis mengenai kriteria penilaian hasil analisis tanah, hasil analisis sampel tanah terhadap parameter N masuk kategori sangat tinggi yaitu  $> 0.75\%$ . Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Adhikari S. (2003) dan Hardjowigeno (2003) dalam Siregar (2017), yang mengatakan bahwa tingkat kesuburan tanah tinggi apabila kadar Nitrogen Total  $> 0,51\%$ . Meskipun kedua lokasi dalam tingkat kesuburan tanah yang tinggi, proses pelapukan vulkanik deposit letusan Gunung Merapi berusia 13 tahun memberikan dampak berupa penurunan kadar nitrogen total.

Hubungan antara C-Organik dan Nitrogen Total dalam tanah sangat penting. Analisis rasio C/N pada kedua sampel tanah termasuk kategori sangat rendah ( $<5$ ), yaitu  $0,10 \pm 0.05$  untuk sampel tanah BRUW dan  $0,21 \pm 0.01$  untuk sampel tanah FR. Penurunan rasio C/N pada tanah BRUW disebabkan adanya proses pelapukan vulkanik deposit yang mempengaruhi kondisi tanah. Menurut



Hardjowigeno (2007) perbandingan C/N berguna sebagai penanda kemudahan perombakan bahan organik dan kegiatan jasad renik tanah. Hal tersebut membuat kualitas atau tingkat kesuburan pada sampel tanah adalah rendah < 11% (Adhikari S., 2003; Hardjowigeno, 2003 dalam Siregar, 2017). Menurut Buckman and Brady (1982) perbandingan karbon dengan nitrogen didalam tanah umumnya berkisar 8:1 sampai 15:1 dengan rata-rata 10 – 12 banding 1.

Hasil analisis kadar P pada sampel tanah berkisar antara 41 – >60 mg/100g yang termasuk kategori tinggi hingga sangat tinggi. Untuk sampel tanah BRUW sebesar  $0.60 \pm 0.12$  g/kg dan sampel tanah FR sebesar  $0.44 \pm 0.02$  g/kg. Tingginya kandungan P Total secara alamiah diperkirakan berasal dari pelapukan mineral bahan induk dan bahan organik. Hal ini sesuai dengan pendapat Hanafiah *et al.*, (2009), P berasal dari batuan beku dan bahan induk tanah. Ketersediaan P dalam tanah ditentukan oleh sifat bahan induk tanah, seperti mineral-mineral fosfat yang terdapat didalamnya. Namun, ketersediaan P juga dipengaruhi oleh kandungan bahan organik dalam tanah yang mempengaruhi jerapan hara P di dalam tanah (Zainuddin *et al.*, 2019).

Unsur hara K merupakan unsur hara kedua yang paling banyak diserap oleh tanaman setelah unsur hara N. Kandungan K pada sampel tanah termasuk kategori sangat tinggi (> 60 mg/100g), yaitu  $0.92 \pm 0.16$  g/kg untuk sampel tanah BRUW dan  $0.85 \pm 0.4$  g/kg untuk sampel tanah FR. Berdasarkan hasil tersebut terlihat bahwa vulkanik deposit erupsi mengandung unsur K yang lebih banyak dibandingkan tanah hutan. Hal ini disebabkan lava dari Gunung Merapi adalah kapur alkalin, andesit basaltic dengan kandungan K-tinggi dengan komposisi SiO<sub>2</sub> berkisar 52 – 57% (Rahayu *et al.*, 2014). Muklis (2011) menyebutkan bahwa kalium merupakan unsur tanah yang sebagian besar berasal dari hasil pelapukan bahan vulkanik.

Unsur dalam tanah vulkanik secara umum adalah Al : 1,8 – 5,9%, Mg : 1 – 2,4%, Si : 2,6 – 2,8% dan Fe : 1,4 – 9,3% (Sudaryono, 2009). Berdasarkan hasil menggunakan AAS terhadap sampel tanah didapatkan unsur Fe Tersedia pada sampel tanah BRUW lebih banyak dibandingkan sampel tanah FR, yaitu  $107.84 \pm 32.65$  g/kg dan  $41.92 \pm 9.69$  g/kg. Hal tersebut disebabkan oleh abu atau material

dari letusan Gunung Merapi mengandung oksida beberapa unsur logam seperti Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na dan K serta belerang dan beberapa unsur logam berat berbahaya seperti timbal, kadmium dan arsen (Cas and Wright, 1988; Smith *et al.*, 1983; Christenson, 2000).

#### 4.2 Total Bakteri Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun

Parameter yang diamati dalam sifat biologi tanah adalah total mikroorganisme tanah. Hasil perhitungan jumlah total mikroorganisme adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Total Bakteri Tanah

Sampel	Kerapatan Sel (CFU/mL)	
	Hasil Perhitungan	Penelitian Terdahulu*
BRUW	$1.1 \times 10^6$	$8.5 \times 10^5$
FR	$1.3 \times 10^9$	$3.0 \times 10^6$

\* Lathifah *et al.*, (2019)

Keterangan:

BRUW = *Bebeng River Upper Weathering*

FR = *Bebeng Forest*

Tanah memiliki komunitas mikroba yang sangat berbeda, yang diperkirakan merupakan hasil dari berbagai faktor seleksi, termasuk tekstur, kandungan nutrisi dan bahan organik, serta pH tanah (Berg and Smalla, 2009; Liang *et al.*, 2012). Berdasarkan perhitungan total mikroorganisme pada tanah BRUW sebanyak 1,100,000 CFU/mL dan FR sebanyak 1,300,000,000 CFU/mL. Total mikroorganisme pada tanah FR 1,182x lebih banyak dibandingkan tanah BRUW hasil pelapukan vulkanik deposit. Data tersebut mengalami kenaikan kelimpahan sejak penelitian terdahulu yaitu 850,000 CFU/mL dan 3,000,000 CFU/mL. Peningkatan kelimpahan mikroorganisme tanah tersebut disebabkan perkembangan vegetasi dan suksesi awal. Yan *et al.*, (2009) menemukan bahwa jumlah total mikroorganisme tanah dipengaruhi oleh vegetasi di atasnya, padang rumput > tutupan tanaman > tanah kosong. Suriadikarta *et al.*, (2011)

menyimpulkan adanya penurunan populasi mikroba tanah akibat erupsi Gunung Merapi.

Hasil perhitungan total mikroorganisme tanah pada tanah hutan lebih tinggi dibandingkan dengan tanah vulkanik deposit. Perbedaan ini disebabkan oleh kondisi pH tanah yang lebih optimal pada tanah yang tidak terkena dampak erupsi. Populasi mikroorganisme akan meningkat seiring dengan peningkatan pH tanah. Penelitian Simanungkalit *et al* (2006), pertumbuhan kelompok bakteri optimum pada pH sekitar netral dan meningkat seiring dengan peningkatan pH tanah. Rentang pH minimum dan maksimum untuk pertumbuhan bakteri pada umumnya yaitu 4 – 9, tetapi pH yang paling optimal berkisar antara 6.5 – 7.5. Menurut Hardijowigeno (1995), tanah bereaksi asam dengan pH 4.0 – 5.5 dapat menghasilkan karakteristik tanah dengan pH 6.0 – 6.5 yang dikategorikan cukup netral, meskipun sebenarnya masih tergolong agak asam. pH tanah sangat mempengaruhi pertumbuhan bakteri karena berkaitan dengan aktivitas enzim yang dibutuhkan oleh bakteri untuk mengkatalisis reaksi-reaksi yang terlibat dalam pertumbuhan bakteri (Fajar *et al.*, 2022).

Kadar nitrogen berpengaruh dalam menentukan kelimpahan bakteri dan komposisi komunitasnya (Wang *et al.*, 2018) serta berperan dalam membentuk struktur komunitas bakteri (Nie *et al.*, 2018). Aktivitas mikroorganisme didalam tanah juga mempengaruhi nilai C-Organik tanah. Hal ini disebabkan adanya aktivitas dekomposisi yang dilakukan oleh mikroorganisme (Risma *et al*, 2023). Rasio C/N menjadi indikator kemampuan tanah dalam menguraikan bahan organik berubah menjadi nutrisi bagi tanaman dengan bantuan mikroorganisme. Rasio C/N tinggi dapat mengurangi aktivitas biologi mikroorganisme, sementara rasio yang terlalu rendah dapat menghambat proses asimilasi nitrogen oleh mikroorganisme dan meningkatkan proses denitrifikasi (Sarwono *et al*, 2015). Kandungan C-organik dan N-total dalam tanah digunakan untuk menganalisis tingkat pelapukan dan kecepatan dekomposisi bahan organik serta ketersediaan nutrisi dalam tanah (Backhtiar, 2006). Bahan organik yang mempunyai C/N rasio rendah (<25) akan mengakibatkan proses dekomposisi yang lebih cepat. (Sukaryorini *et al.*, 2016).

Mikroorganisme tanah memiliki peran penting dalam menguraikan bahan organik dan mengubah unsur hara tanah menjadi bentuk yang dapat digunakan oleh tanaman untuk pertumbuhan dan perkembangannya. Mikroorganisme juga terlibat dalam siklus P tanah dan ketersediaan P bagi tanaman (Richardson, 2001). Penambahan nitrogen dan fosfor dapat mempengaruhi kelimpahan, keragaman dan komposisi komunitas mikroba tanah, yang memiliki peran krusial dalam mengatur kesuburan tanah (van der Heijden *et al.*, 2008). Namun, kadar P dalam tanah tidak mempengaruhi struktur komunitas suatu bakteri (Huang *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2018).

Selain unsur hara nitrogen (N) dan fosfor (P), kalium (K) juga termasuk unsur hara yang mempengaruhi kelimpahan mikroorganisme dalam tanah dan menunjang perkembangan vegetasi di atasnya. Menurut Mutmainnah (2013), jumlah kalium dalam tanah relatif lebih banyak dibandingkan fosfor, tetapi sebagian besar kalium terikat pada mineral pembawa kalium sehingga sulit tersedia bagi tanaman. Hanya sekitar 2 – 10% dari kalium dalam tanah yang tersedia bagi tanaman, sedangkan sisanya, sekitar 90 – 98% dalam bentuk mineral (Basyuni, 2009). Ketersediaan kalium dalam tanah dibantu oleh bakteri pelarut kalium, seperti *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Bacillus* dan *Paenibacillus* (Hu X *et al.*, 2006; Singh *et al.*, 2010; Don dan Diep, 2014).

Unsur besi (Fe) berperan sebagai kofaktor dalam berbagai proses seluler pada tanaman. Kekurangan Fe pada tanaman dapat mempengaruhi perilaku akar, terutama dalam hal eksudasi senyawa organik yang kemudian difermentasi kembali sebagai eksudat akar (Jin *et al.*, 2006, 2007; Carvalhais *et al.*, 2011). Pada rizosfer tanaman tembakau transgenik yang mengalami akumulasi Fe yang berlebihan, Robin *et al.*, (2006, 2007) menemukan adanya penurunan ketersediaan Fe dan pergeseran struktur mikroba. Mikroorganisme tanah memainkan peran penting dalam mengakuisisi Fe oleh tanaman dan struktur komunitas mikroorganisme di rizosfer dapat berubah seiring dengan status Fe tanaman (Jin *et al.*, 2014). Masaoka *et al.*, (1997) menyatakan bahwa hasil pengamatan eksudat fenolik yang dikumpulkan dari tanaman alfalfa yang kekurangan Fe menghambat

pertumbuhan *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli*, namun meningkatkan pertumbuhan *Rhizobium meliloti*.

### 4.3 Keanekaragaman Bakteri Pada Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun

#### Ekstraksi DNA

Ekstraksi DNA dilakukan menggunakan QIAGEN PowerSoil KIT terhadap sampel dengan masing-masing dilakukan 3 kali pengerjaan. Selanjutnya, dilakukan pengukuran konsentrasi atau kemurnian sampel DNA menggunakan Spektrofotometer NanoDrop.

Tabel 4. 4 Hasil Rata-Rata Pengukuran Konsentrasi dan Kemurnian DNA pada Sampel Tanah Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW) dan Tanah Hutan (FR)

Sampel	Hasil Rata-Rata				
	Konsentrasi (ng/ $\mu$ L)	Kemurnian (Nanodrop)			
		$A_{260/280}$	Nilai Standard*)	$A_{260/230}$	Nilai Standard*)
BRUW	6.1	1.99	1.8 – 2.0	0.36	2.0
FR	24.2	1.95		1.09	

\* Wilson dan Walker (2010)

Keterangan:

BRUW = *Bebeng River Upper Weathering*

FR = *Bebeng Forest*

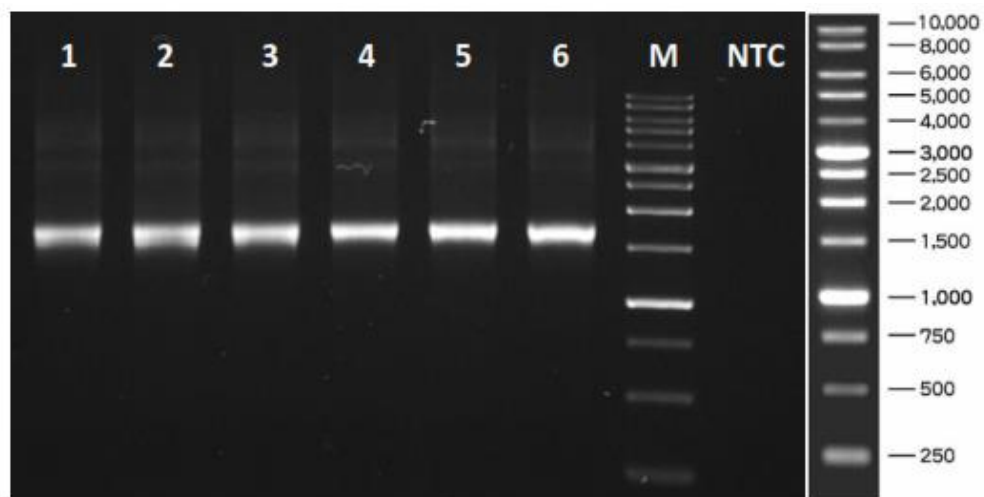
Konsentrasi DNA pada sampel vulkanik deposit letusan Gunung Merapi berusia 13 tahun (BRUW) berkisar 3,5 – 8,4 ng/ $\mu$ L dengan rata-rata 6.1 ng/ $\mu$ L dan sampel tanah hutan (FR) berkisar 23,5 – 24,7 ng/ $\mu$ L dengan rata-rata 24.2 ng/ $\mu$ L. Kemurnian DNA pada panjang gelombang 260/280 yang diperoleh dari sampel vulkanik deposit letusan Gunung Merapi berusia 13 tahun (BRUW) berkisar 1,89 – 2,09 ng/ $\mu$ L dengan rata-rata 1.99 ng/ $\mu$ L dan sampel tanah hutan (FR) berkisar 1,88 – 1,99 ng/ $\mu$ L dengan rata-rata 1.95 ng/ $\mu$ L. Kemurnian DNA pada panjang gelombang 260/230 yang diperoleh dari sampel vulkanik deposit letusan Gunung Merapi berusia 13 tahun (BRUW) berkisar 0,28 – 0,43 ng/ $\mu$ L

dengan rata-rata 0.36 ng/ $\mu$ L dan sampel tanah hutan (FR) berkisar 0,77 – 1,33 ng/ $\mu$ L dengan rata-rata 1.09 ng/ $\mu$ L.

Tingkat kemurnian DNA pada panjang gelombang 260/280 diperoleh nilai rasio DNA kurang dari 1,8 ng/ $\mu$ L menunjukkan adanya kontaminasi dari protein dan fenol. Kemurnian DNA melebihi 2,0 ng/ $\mu$ L menunjukkan adanya kontaminasi dari RNA (Wilson dan Walker, 2010). Sedangkan pada panjang gelombang 260/230 nilai rasio DNA yang diperoleh kurang dari 2,0 ng/ $\mu$ L menunjukkan adanya kontaminasi karbohidrat dan bahan organik lainnya.

### Amplifikasi Gen 16S rRNA

Hasil pengenceran total DNA selanjutnya dianalisis menggunakan PCR dan diperoleh pola pita DNA hasil visualisasi elektroforesis. Gofar *et al.*, (2007) menyatakan bahwa pola pita DNA yang khas dan unik merupakan sidik jari DNA pada setiap jenis mikroba. Profil spesifik komunitas dengan setiap pita DNA menandakan populasi mikroba pada tanah sampel (Fisher dan Triplett., 1999; Prijambada *et al.*, 2006).



Gambar 4. 1 Visual 16S rRNA menggunakan Elektroforesis

Gen 16S rRNA pada masing-masing sampel diamplifikasi dengan menggunakan primer 27F dan 1492R. Hasil visualisasi dengan 1% TBE gel agarose menggunakan DNA marker dengan maksimal nilai 10000 bp. Berdasarkan marker pita DNA yang digunakan adalah 1600 bp. Hal ini relevan

dengan produk PCR yang dihasilkan pada semua sampel terindikasi mendekati 1600 bp yaitu sekitar 1550 bp.

### Pengurutan Berbasis Gen 16S rRNA

Hampir 100% (99.98%) dari 93,000 pembacaan dari 6 sampel (terdiri dari rangkap tiga BRUW dan FR) telah dinotasi dan ditetapkan filum bakteri. PCoA dilakukan pada pustaka untuk memperkirakan kesamaan atau perbedaan di antara komunitas bakteri. Hasilnya menunjukkan pengelompokan yang berbeda dari komunitas bakteri di seluruh sampel. Hasil yang diperoleh menunjukkan pengelompokan yang berbeda dari komunitas bakteri di seluruh sampel. Ketika diuji dengan ANOSIM, tidak ada perbedaan signifikan yang diamati antara pustaka BRUW dan FR ( $P = 0.1$ ). Sebanyak pembacaan diklasifikasikan ke dalam 13,045 OTU. Keanekaragaman komunitas bakteri di BRUW lebih rendah dibandingkan FR. Hal tersebut didukung oleh indeks Shannon, Inverse Simpson dan ChaoI.

Keanekaragaman alfa mengacu pada keanekaragaman dalam skala lokal, menggambarkan keanekaragaman (kekayaan) spesies dalam suatu komunitas fungsional (Andermann *et al.*, 2022). Keanekaragaman alfa merangkum struktur komunitas ekologi sehubungan dengan kekayaannya (jumlah kelompok taksonomi), pemerataan (distribusi kelimpahan kelompok) atau keduanya. Dalam ekologi mikroba, menganalisis keragaman alfa data pengurutan amplicon adalah pendekatan umum pertama untuk menilai perbedaan antar lingkungan (Willis, 2019).

Tabel 4. 5 Indeks Keragaman Shannon Komunitas Bakteri pada Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW, *Bebeng River Upper Weathering*) dan Tanah Hutan (FR, *Bebeng Forest*)

Sampel	Indeks Keragaman - Shannon	
	Hasil Perhitungan	Penelitian Terdahulu*
BRUW	6.5 ± 0.03	4.35 ± 0.35
FR	6.7 ± 0.01	6.16 ± 0.06

\*Lathifah *et al.*, (2019)

Tabel 4. 6 Indeks Keragaman Inverse Simpson Komunitas Bakteri pada Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW, *Bebeng River Upper Weathering* ) dan Tanah Hutan (FR, *Bebeng Forest*)

Sampel	Indeks Keragaman - Inverse Simpson	
	Hasil Perhitungan	Penelitian Terdahulu*
BRUW	175.5 ± 14.49	33.22 ± 15.49
FR	182.4 ± 4.86	278.43 ± 28.47

\*Lathifah *et al.*, (2019)

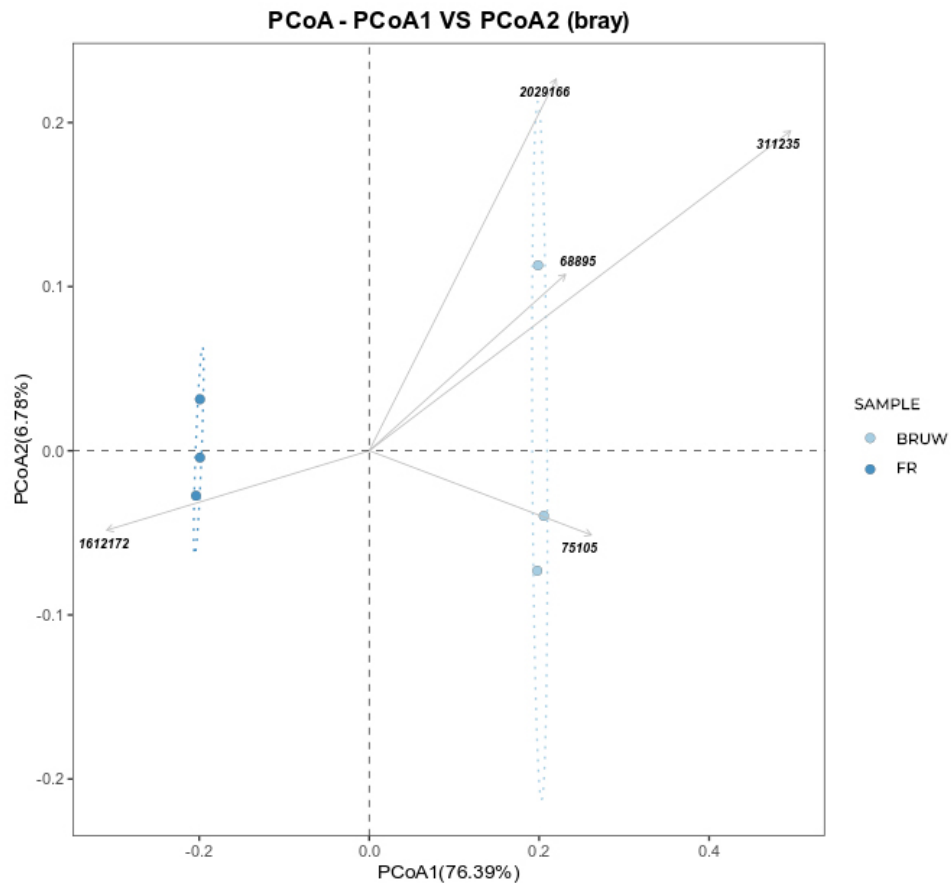
Tabel 4. 7 Indeks Keragaman ChaoI Komunitas Bakteri pada Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW, *Bebeng River Upper Weathering*) dan Tanah Hutan (FR, *Bebeng Forest*)

Sampel	Indeks Keragaman - ChaoI	
	Hasil Perhitungan	Penelitian Terdahulu*
BRUW	6272.8 ± 109.72	531 ± 21*
FR	7461.8 ± 160.21	1627 ± 138*

\*Lathifah *et al.*, (2019)

Dari kedua sampel, menunjukkan bahwa keanekaragaman komunitas bakteri di BRUW lebih rendah dibandingkan komunitas bakteri di FR. Hasil tersebut menunjukkan bahwa dampak jangka panjang dari vulkanik deposit letusan Gunung Merapi berusia 13 tahun mempengaruhi keragaman komunitas bakteri. Penelitian yang dilakukan Lathifah *et al.*, (2019) menunjukkan bahwa ada selisih yang besar antara BRUW dan FR dibandingkan sekarang. Disimpulkan, bahwa kondisi vulkanik deposit letusan Gunung Merapi berusia 13 tahun memiliki nilai keragaman bakteri yang mirip dengan tanah hutan di sekitar yang tidak terkena vulkanik deposit.





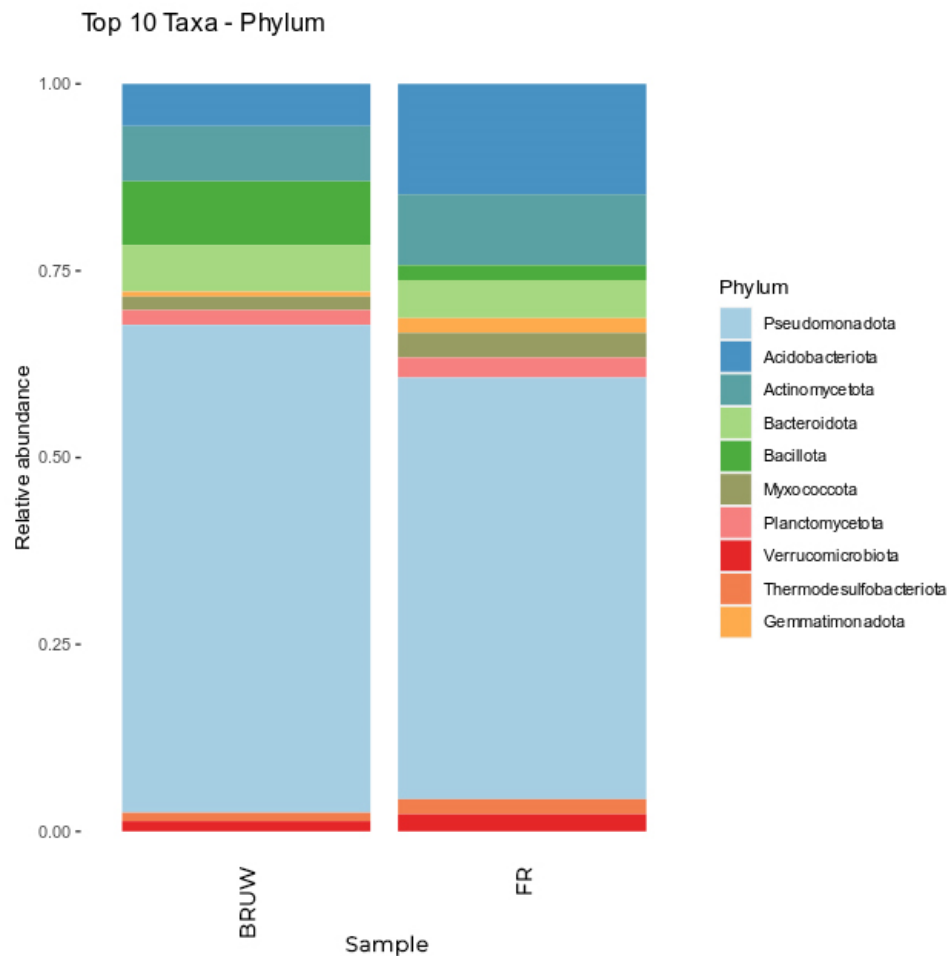
Gambar 4. 2 *Principle Coordinate Analysis* (PCoA) dari Komunitas Bakteri pada Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW) dan Tanah Hutan (FR)

Kekayaan spesies (*species richness*) dan kelimpahan relatif (*relative abundance*) merupakan dua faktor yang mempengaruhi keanekaragaman spesies. Kelimpahan relatif atau *relative abundance* didefinisikan sebagai persentase dari total sekuend mikroba dalam sampel (Luo *et al.*, 2017).

### Taxa - *Phylum*

*Pseudomonadota* adalah filum yang paling melimpah di dalam komunitas bakteri (rata-rata persen kelimpahan relatif sampel rangkap tiga, BRUW: 65.24%) dan (rata-rata persen kelimpahan relatif sampel rangkap tiga, FR: 56.4%). *Bacillota* adalah filum paling melimpah kedua di komunitas BRUW (8.51%) dan diikuti oleh filum *Actinomycetota* (7.39%). Pada komunitas FR, *Acidobacteriota*

(14.78%) dan *Actinomycetota* (9.48%) menjadi filum paling melimpah kedua dan ketiga (Gambar 4.2). Dalam penelitian yang dilakukan Lathifah *et al.*, (2019), filum *Proteobacteria* atau *Pseudomonadota* adalah filum yang paling melimpah di komunitas bakteri tanah hutan (50%) dan vulkanik deposit letusan Gunung Merapi berusia 13 tahun (66%).



Gambar 4. 3 10 Kelimpahan Relatif dari Filum yang Mendominasi Tanah

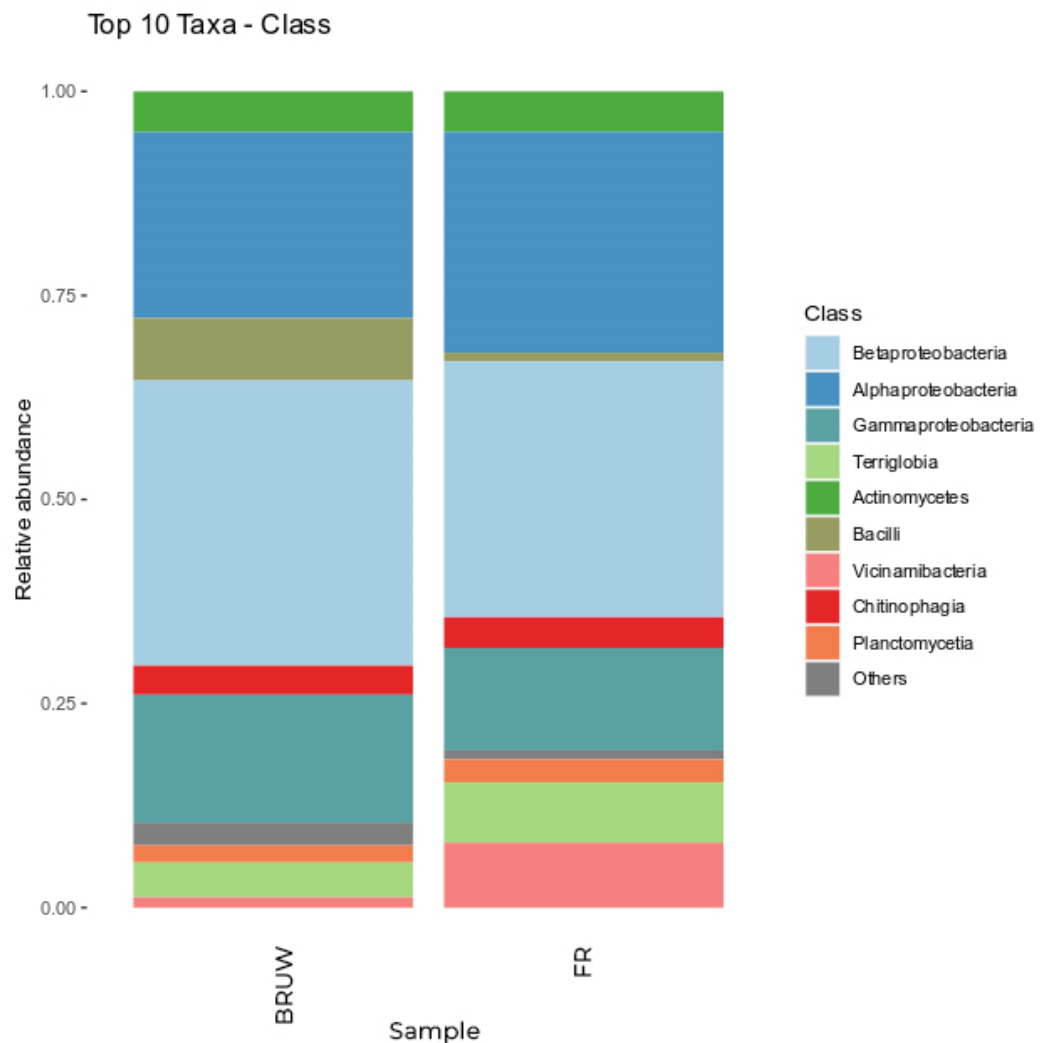
Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW, *Bebeng River Upper Weathering*) dan Tanah Hutan (FR, *Bebeng Forest*)

*Pseudomonadota* berhubungan erat dengan perubahan karakteristik tanah. Filum *Pseudomonadota* berhubungan erat dan positif dengan amandemen kompos. Hasil pengamatan memperlihatkan adanya peningkatan kelimpahan relatif beberapa filum sebagai respon terhadap perubahan kompos (Kraut-Cohen *et al.*, 2003). Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Soelaeman dan Abdullah

(2014) yang menyebutkan bahwa sifat asam abu vulkanik dapat mengubah sifat fisik, kimia dan biologi tanah. *Pseudomonadota* atau *Proteobacteria* kelimpahannya pada kondisi tanah dengan kelembaban tanah yang optimal mendominasi dan menurun ketika kondisi tanah mengalami kekeringan (Bogati *et al.*, 2023).

### **Taxa - Class**

*Betaproteobacteria* adalah kelas yang paling melimpah di dalam komunitas bakteri (rata-rata persen kelimpahan relatif sampel rangkap tiga, BRUW: 34.95%) dan (rata-rata persen kelimpahan relatif sampel rangkap tiga, FR: 31.36%). *Alphaproteobacteria* adalah kelas paling melimpah kedua di komunitas BRUW (22.79%) dan FR (27.07%), diikuti oleh kelas *Gammaproteobacteria* (15.68%) untuk komunitas BRUW dan (12.53%) untuk komunitas FR (Gambar 4.3). Lathifah *et al.*, (2019) menemukan kelimpahan relatif bakteri *Betaproteobacteria* pada tanah vulkanik deposit (35%) dan alfa-, beta-, gamma-, dan *Deltaproteobacteria* pada tanah hutan (11 – 18%).



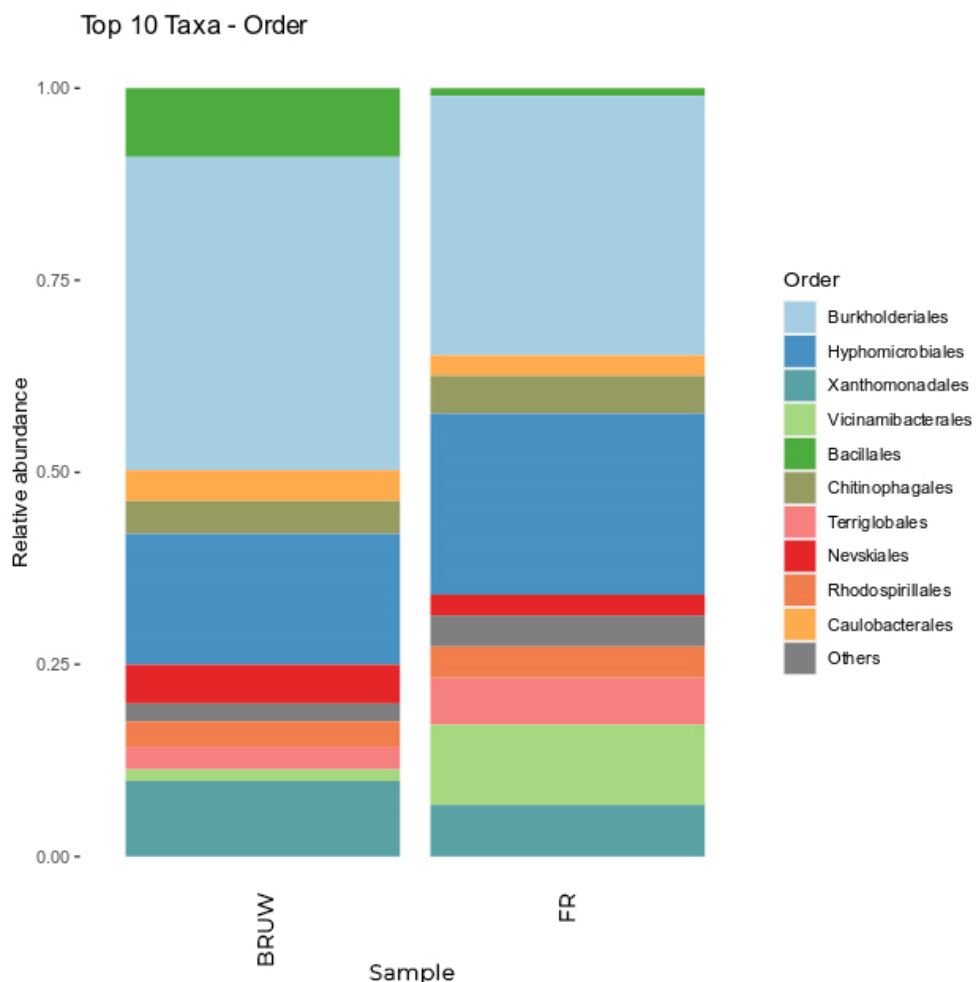
Gambar 4. 4 10 Kelimpahan Relatif dari Kelas yang Mendominasi Tanah Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW, *Bebeng River Upper Weathering*) dan Tanah Hutan (FR, *Bebeng Forest*)

*Betaproteobacteria* adalah kelompok bakteri tanah yang berperan dalam oksidasi ammonia berupa proses mengubah nitrogen organik menjadi bentuk anorganik. Keberadaan bakteri *Betaproteobacteria* yang melimpah di komunitas BRUW dan FR disebabkan kondisi tanah yang mengandung nitrogen yang tinggi. Dai *et al.*, (2021) dalam penelitiannya melihat kelimpahan relatif *Betaproteobacteria* dalam tanah dengan kondisi pH yang asam dan kandungan C-Organik tanah yang lebih rendah. Lathifah *et al.*, (2019) mendapatkan hasil bahwa

sukseksi antar-famili *Betaproteobacteria* terjadi sebagai respons terhadap kolonisasi oleh lumut, diikuti oleh tanaman.

### Taxa - Order

*Burkholderiales* adalah ordo yang paling melimpah di dalam komunitas bakteri (rata-rata persen kelimpahan relatif sampel rangkap tiga, BRUW: 40.76%) dan (rata-rata persen kelimpahan relatif sampel rangkap tiga, FR: 33.75%). *Hyphomicrobiales* adalah ordo paling melimpah kedua di komunitas BRUW (17.03%) dan FR (23.57%), diikuti oleh class *Xanthomonadales* untuk komunitas BRUW (9.82%) dan *Vicinamibacterales* untuk komunitas FR (10.42%) (Gambar 4.4).

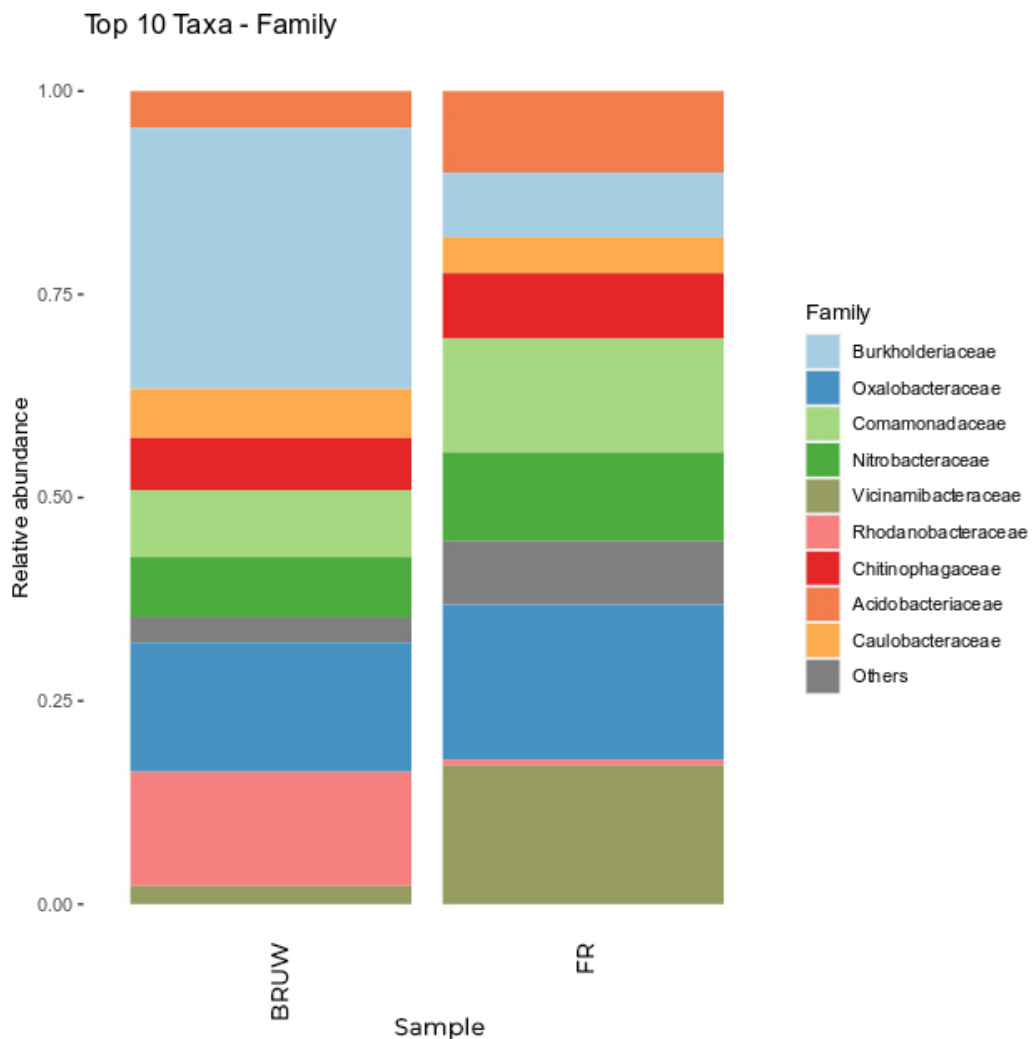


Gambar 4. 5 10 Kelimpahan Relatif dari Ordo yang Mendominasi Tanah Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW, *Bebeng River Upper Weathering*) dan Tanah Hutan (FR, *Bebeng Forest*)

Ordo *Burkholderiales* secara taksonomi termasuk dalam kelas *Betaproteobacteria* dan terdiri dari anggota yang beragam dengan identifikasi sebagai kemoorganotrof, fototrof, denitrifier, pengoksidasi hidrogen dan azobacter (Liu *et al.*, 2022). Deacon (2006) menambahkan sifat kemoorganotrof yakni mendapatkan senyawa organik sebagai sumber energi dan kerangka karbon untuk sintesis sel. Ordo *Burkholderiales* bergantung pada ketersediaan bahan organik berupa karbon yang rendah dan nitrogen yang tinggi sebagai sumber energi. Lathifah *et al.*, (2019) menemukan kelimpahan *Betaproteobacteria* pada ketersediaan karbon yang lebih rendah.

#### **Taxa - Family**

*Burkholderiaceae* adalah famili yang paling melimpah dalam komunitas bakteri (rata-rata persen kelimpahan relatif sampel rangkap tiga, BRUW: 32.12%) dan *Oxalobacteraceae* adalah famili yang paling melimpah dalam komunitas (rata-rata persen kelimpahan relatif sampel rangkap tiga, FR: 19.03%). *Oxalobacteraceae* adalah famili paling melimpah kedua di komunitas BRUW (15.91%) dan diikuti oleh famili *Rhodanobacteraceae* (14%) sebagai famili paling melimpah ketiga. Pada komunitas FR, *Vicinamibacteraceae* (17.06%) dan *Comamonadaceae* (13.97%) menjadi filum paling melimpah kedua dan ketiga (Gambar 4.5). Lathifah *et al.*, (2019) juga menemukan kelimpahan relatif *Oxalobacteraceae* (13.5%) pada tanah vulkanik deposit dan *Acidobacteriaceae* (5.6%) pada tanah hutan.



Gambar 4. 6 10 Kelimpahan Relatif dari Famili yang Mendominasi Tanah Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW, *Bebeng River Upper Weathering*) dan Tanah Hutan (FR, *Bebeng Forest*)

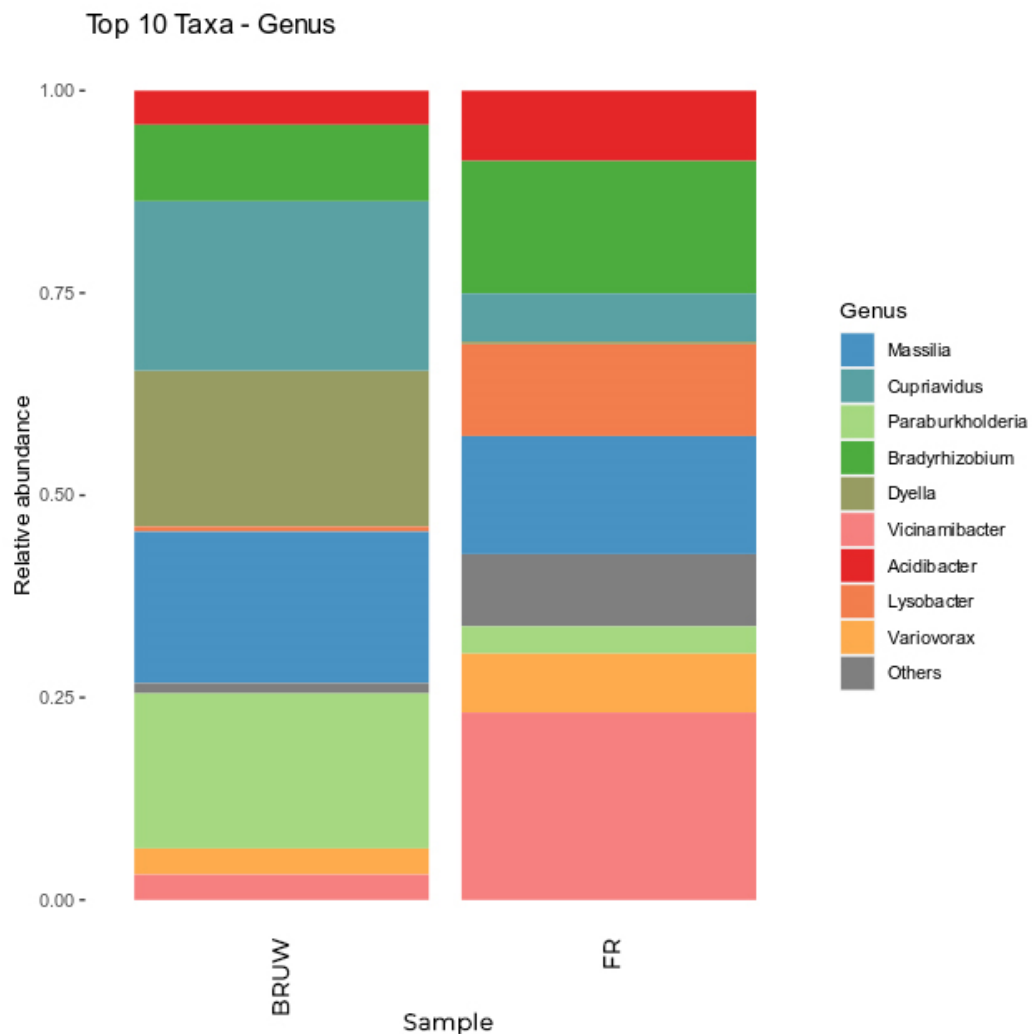
Lathifah *et al.*, (2019) menemukan bahwa famili *Burkholderiaceae* dari *Betaproteobacteria* mendominasi di lokasi vulkanik deposit letusan Gunung Merapi berusia 13 tahun (BRUW), dimana sekitar setengah dari anggota *Burkholderiaceae* masih baru ketika muncul selama perubahan dari vulkanik deposit menjadi tanah. Hal ini membuktikan adanya proses pelapukan pada batuan erupsi yang menjadi bahan induk dari penyusun tanah. *Oxalobacteraceae* merupakan famili yang secara filogenetik beragam dari mikroorganisme akuatik dan tanah yang biasanya berada di dalam kelas *Betaproteobacteria* (Eder *et al.*, 2011). *Oxalobacteraceae* memiliki bakteri heterotrofik yang mengkolonisasi akar

dalam suksesi komunitas bakteri selama perkembangan awal tanaman (Green *et al.*, 2006; Green *et al.*, 2007).

#### **Taxa - Genus**

*Cupriavidus* adalah genus yang paling melimpah dalam komunitas bakteri (rata-rata persen kelimpahan relatif sampel rangkap tiga, BRUW: 20.95%) dan *Vicinamibacter* adalah genus yang paling melimpah dalam komunitas (rata-rata persen kelimpahan relatif sampel rangkap tiga, FR: 23.17%). *Dyella* dan *Paraburkholderia* adalah genus paling melimpah berikutnya di komunitas BRUW (19.23%) dan (19.17%). Pada komunitas FR, *Bradyrhizobium* dan *Massilia* (16.37%) dan (14.59%) menjadi genus paling melimpah kedua dan ketiga (Gambar 4.6).





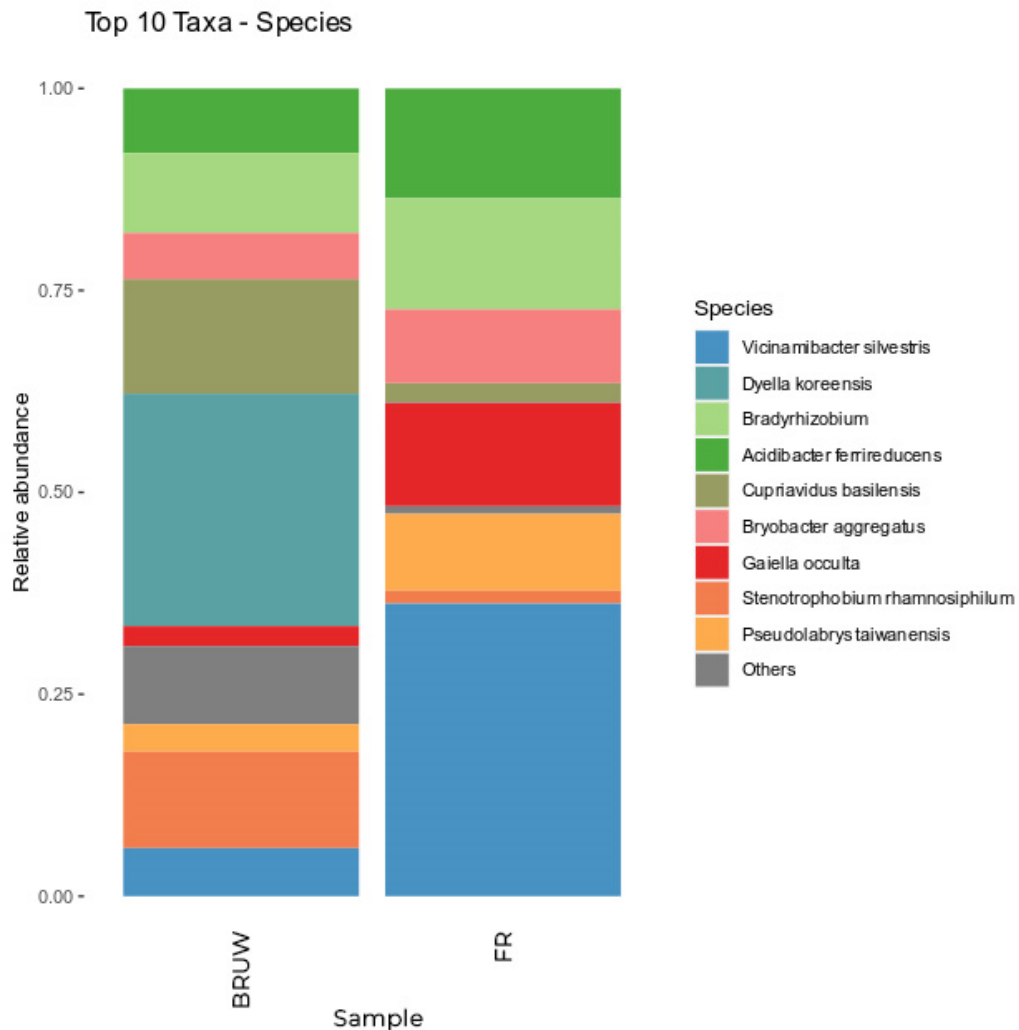
Gambar 4. 7 10 Kelimpahan Relatif dari Genus yang Mendominasi Tanah Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW, *Bebeng River Upper Weathering*) dan Tanah Hutan (FR, *Bebeng Forest*)

Genus *Cupriavidus* adalah bakteri Gram-negatif yang memanfaatkan beberapa asam amino, kecuali *L-lysine* atau *L-methionine* sebagai satu-satunya sumber karbon dan nitrogen untuk pertumbuhan. *Cupriavidus* akan tumbuh baik pada suhu optimal 27°C dengan pH 7.0 – 8.0 (Makkar & Casida JR, 1987). Kondisi pH pada komunitas BRUW yang sesuai yaitu 7.3 menyebabkan kelimpahan relatif *Cupriavidus* melimpah. Berbeda dengan genus *Vicinamibacter* pada komunitas FR, bakteri Gram-negatif yang tidak membentuk spora. Bakteri jenis ini toleran terhadap berbagai nilai pH, mesofil aerobik, kemoorganotrofik

yang tumbuh pada berbagai gula, asam organik dan substrat berprotein kompleks (Huber *et al.*, 2016).

### **Taxa - Species**

*Dyella koreensis* adalah spesies bakteri yang paling melimpah dalam komunitas bakteri (rata-rata persen kelimpahan relatif sampel rangkap tiga, BRUW: 28.78%) dan *Vicinamibacter silvestris* adalah famili yang paling melimpah dalam komunitas (rata-rata persen kelimpahan relatif sampel rangkap tiga, FR: 36.24%). *Cupriavidus basilensis* adalah spesies bakteri paling melimpah kedua di komunitas BRUW (14.17%) dan diikuti oleh *Stenotrophobium rhamnosiphilum* (11.94%) sebagai spesies bakteri paling melimpah ketiga. Pada komunitas FR, *Bradyrhizobium* (13.75%) dan *Acidibacter ferrireducens* (13.60%) menjadi spesies bakteri paling melimpah kedua dan ketiga (Gambar 4.7).



Gambar 4. 8 10 Kelimpahan Relatif dari Spesies yang Mendominasi Tanah Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW, *Bebeng River Upper Weathering*) dan Tanah Hutan (FR, *Bebeng Forest*) *Dyella koreensis* adalah bakteri Gram negatif yang diisolasi dari tanah rizosfer tanaman bambu. Pertumbuhan optimal terjadi pada suhu 30°C dengan pH 6.8 – 7.5 dan dapat mengurangi nitrat (An *et al.*, 2005). Kondisi tanah dengan pH 7.3 yang agak alkalis menyebabkan bakteri *Dyella koreensis* melimpah pada komunitas bakteri BRUW. Kondisi tanah pada komunitas bakteri FR kelimpahan relatif yang tinggi adalah spesies *Vicinamibacter silvestris*. Dilansir dari laman *BacDive*, *Vicinamibacter silvestris* diisolasi dari tanah hutan tepi sungai bagian selatan Sungai Okavango, Desa Mashare, Namibia. Tanah hutan (FR) merupakan tanah yang berada disepanjang Sungai Bebeng di kaki Gunung Merapi. Bakteri

*Vicinamibacter silvestris* adalah bakteri yang tumbuh pada suhu 12 – 40°C (optimal pada suhu 25.5 – 31.1°C) dan pH 4.7 – 9.0 (optimal pada pH 6.5 – 8.1) (Huber *et al.*, 2016).

Pelapukan adalah istilah yang menggambarkan proses umum dimana batuan terurai menjadi sedimen, tanah liat, tanah dan zat yang terlarut dalam air (Zaharescu *et al.*, 2020). Biasanya diperlukan waktu yang lama untuk mengubah batuan dasar anorganik menjadi tanah subur dengan karakteristik yang berbeda (Kalev and Toor, 2018), karena proses awal pembentukan tanah sangat bergantung pada aktivitas mikroba pada pelapukan bahan batuan dasar. Beberapa organisme lain juga bisa menjadi agen kuat dalam pelapukan awal batuan, termasuk jamur, bakteri, *Cyanobacteria*, archaea dan lumut. Pembentukan kehidupan awal mikroba dipengaruhi oleh komposisi kimia dan struktur fisik bahan induk pembentuk tanah, dimana senyawa berbasis C atau N seringkali langka (Schulz *et al.*, 2013). Lumut menjadi salah satu organisme pionir yang hidup di bebatuan.

Dalam suksesi ekologi, lumut menjadi spesies perintis dan pendorong dari siklus biogeokimia ekosistem (Bansal *et al.*, 2012; Lagerström *et al.*, 2007; Street *et al.*, 2013). Lumut menyumbangkan karbon untuk mendukung tanah dan juga menyediakan mikrohabitat untuk berbagai macam mikroorganisme (Lindo and Gonzalez, 2010). *Campylopus* telah menjadi vegetasi perintis di daerah vulkanik (Broady *et al.*, 1987; Clarkson *et al.*, 1995; Land *et al.*, 2001). Berdasarkan penelitian Wahyuni *et al* (2019), menemukan vegetasi yang mendominasi kawasan sekitar Gunung Merapi adalah lumut *Pogonatum sp.* tumbuh menempel di pohon maupun berada pada batuan cadas. Jackson (2015) melaporkan bahwa lumut mungkin dengan bantuan mikroorganisme meningkatkan pelapukan kimiawi dari batuan granit yang menjadi tempat tumbuhnya dan juga meremediasi pembentukan tanah yang mengandung berbagai mineral sekunder biogenik.

Pada komunitas tumbuhan, suksesi biasanya dibagi menjadi dua kategori, yaitu suksesi primer dan sekunder, di mana suksesi primer terjadi pada substrat yang belum terkolonisasi dan suksesi sekunder terjadi pada lingkungan yang telah terkolonisasi setelah adanya gangguan yang parah (Fierer *et al.*, 2010). Selama suksesi primer setelah letusan gunung berapi, komunitas tumbuhan berubah dari

didominasi lumut menjadi didominasi tumbuhan vascular (Sklenar *et al.*, 2010), dan mikroorganisme tanah memperoleh lebih banyak sumber karbon dan nutrisi dari serasah tumbuhan di atas tanah yang membusuk (Lange *et al.*, 2015). Kawasan erupsi Gunung Merapi termasuk suksesi sekunder, dimana suatu komunitas atau ekosistem alami terganggu baik secara alami atau buatan dan gangguan tersebut tidak merusak total tempat tumbuh organisme sehingga dalam komunitas tersebut substrat lama dan kehidupan masih ada dan masih bisa tumbuh spesies-spesies tanpa menunggu waktu yang lama (Mueller-dombois dan Ellenberg, 1974).

Suksesi mikroba telah digambarkan menjadi primer dan sekunder suksesi, terminologi yang berasal dari ekologi tumbuhan (Prach *et al.*, 2019). Suksesi primer adalah jenis suksesi biologi dalam sistem asli yang tidak pernah dimiliki oleh organisme tumbuh atau telah tumbuh tetapi terhapus, yang ditentukan oleh perubahan sumber daya. Berbeda dengan suksesi berbasis sumber daya, suksesi sekunder mikroba terjadi setelah adanya gangguan terhadap ekosistem yang sudah ada sebelumnya (Kearns dan Shade, 2018). Suksesi mikroba melibatkan interaksi spesies yang membentuk jaringan kompleks melalui berbagai jenis asosiasi, seperti predasi, kompetisi dan mutualisme (Steele *et al.*, 2011).

Struktur dan komposisi komunitas mikroba dipengaruhi oleh ketersediaan hara tanah (Chen *et al.*, 2020a), komunitas mikroba mampu merespon perubahan lingkungan lebih cepat dibandingkan komunitas tumbuhan, yang pada gilirannya mempengaruhi proses ekosistem, seperti siklus karbon dan nitrogen, karena luasnya biomassa dan keanekaragaman mikroba serta menjadi sinyal awal arah pemulihan (Harris, 2008; Lopez-Lozano *et al.*, 2013). Struktur dan komposisi komunitas mikroba berkaitan erat dengan sifat tanah dan vegetasi, dimana tanah berbeda dan sifat vegetasi dapat menginduksi mikroorganisme tanah yang berbeda karena terbentuknya beragam habitat mikro yang mendukung koleksi spesies (Bell, *et al.*, 2009; Zak *et al.*, 2003).

Jumlah bakteri yang ditemukan pada lumut sangat tinggi dibandingkan dengan permukaan dedaunan tanaman tingkat tinggi. Hodkinson *et al.*, (2012) mempelajari secara menyeluruh komunitas bakteri yang berasosiasi dengan

berbagai spesies lichen yang terdiri dari 24 tipe mikobiont dengan semua kombinasi fotobiont. Hodkinson *et al.*, (2012) menambahkan bahwa perbedaan komposisi komunitas dapat disebabkan oleh ketersediaan nitrogen terfiksasi dan jenis karbon terfiksasi. Bakteri yang berasosiasi dengan *Cyanolichen* memiliki akses terhadap nitrogen atmosfer yang tetap karena fotobiont *Cyanobacterial*, sedangkan bakteri *Chlorolichen* tidak memiliki manfaat ini dalam lingkungan yang dibatasi nitrogen. Sebagian perbedaan komunitas berdasarkan deskripsi taksonomi karena bakteri dapat bertukar dan berbagi gen yang mengkode fungsi tertentu melalui transfer gen horizontal. Burke *et al.*, (2011) berpendapat bahwa relung ekologi dikolonisasi secara acak oleh bakteri yang dilengkapi dengan fungsi yang sesuai dan bukannya mengikuti taksonomi bakteri.

Perbedaan komposisi komunitas bakteri juga disebabkan oleh tipe pertumbuhan lichen, misalnya penelitian sebelumnya mengamati bahwa adanya komposisi komunitas bakteri pada lichen krustosa berbeda dengan komposisi komunitas bakteri pada lichen foliosa atau fruticose (Grube *et al.*, 2009; Hodkinson *et al.*, 2012). Sementara lumut foliosa sebagian besar dijajah oleh *Alphaproteobacteria*, lumut krustosa *Ophioparma sp.* didominasi oleh *Acidobacteria* (Hodkinson *et al.*, 2012). Lumut krustosa penghuni batuan lainnya *Hydropunctaria sp.* terutama dijajah oleh *Cyanobacteria*, *Actinobacteria* dan *Deinococcus* (Bjelland *et al.*, 2011). Namun jenis pertumbuhannya sendiri tidak menjelaskan dominasi taksa tertentu karena lumut daun *Solorina sp.* juga didominasi oleh *Acidobacteria* (Grube *et al.*, 2012). Hal tersebut sesuai dengan hasil sebelumnya dari Cardinale *et al.*, (2012b) yang menunjukkan bahwa tipe pertumbuhan tidak mempengaruhi komunitas bakteri utama.

Komunitas mikroba telah diidentifikasi di batuan vulkanik dengan komposisi basaltik dan riolitik. Mereka dianggap memfasilitasi ekstraksi elemen-elemen yang menyebabkan pelapukan hayati (Staudigel *et al.*, 1994; Fisk *et al.*, 1998; Torsvik *et al.*, 1998; Thorseth *et al.*, 2001; Edwards *et al.*, 2003; Thorseth *et al.*, 2003; Puente *et al.*, 2006; Gorbushina, 2007; Herrera *et al.*, 2008; Wu *et al.*, 2008; Cockell *et al.*, 2009; Fendorf & Kocar, 2009; Hausrath *et al.*, 2009). Eksperimen laboratorium telah menunjukkan bahwa mikroorganisme dapat

mempercepat pelepasan elemen dari batuan dengan memodifikasi pH dan alkalinitas larutan di sekitarnya, dengan kation kompleks dan mengubah kondisi sementasi mineral (Vandevivere *et al.*, 1994; Liermann *et al.*, 2000; Huston & Logan, 2004; Wu *et al.*, 2008). Pelapukan kimiawi oleh organisme fototrofik, seperti *Cyanobacteria* sangat penting karena mereka pada awalnya mengkolonisasi permukaan batuan yang baru terbuka (Friedmann, 1980; Budel, 1999; Crispim & Gaylarde, 2005). Hubungan antara mikroorganisme fotosintetik, peningkatan pH dan pelapukan hayati, telah disarankan (Budel *et al.*, 2004). Peningkatan pH lingkungan mikro secara langsung disebabkan oleh metabolisme fotosintesis (Miller & Colman, 1980; Badger *et al.*, 1985; Thompson & Ferris, 1990).

Kolonisasi bakteri tidak sepenuhnya bergantung pada ketersediaan karbon dan nitrogen dalam endapan. Tetapi, kekurangan nutrisi organik menyebabkan terjadinya kemolitotrofik yang signifikan (King, 2007). Ada banyak faktor yang mempengaruhi keanekaragaman struktur komunitas mikroba tanah, termasuk sifat fisik dan kimia tanah serta jenis komunitas vegetasi, seperti ukuran partikel tanah, kandungan air, pH, aktivitas enzim dan kandungan bahan organik, yang secara langsung mempengaruhi kuantitas dan aktivitas mikroorganisme tanah. Mineral tanah adalah sisa-sisa dan mineral yang baru terbentuk dari pelapukan batuan dasar dan bahan induk melalui pembentukan tanah. Sekitar 80 – 90% mikroorganisme yang hidup di dalam tanah menempel pada permukaan mineral atau kompleks mineral organik untuk membentuk koloni mikroba tunggal atau biofilm (Nannipieri *et al.*, 2003). Penelitian ini menunjukkan adanya komunitas mikroorganisme yang beragam dan berkembang di vulkanik deposit letusan Gunung Merapi berusia 13 tahun didominasi oleh spesies *Dyella koreensis*. Dengan membandingkan komunitas bakteri pada vulkanik deposit, kita dapat mengasumsikan bahwa bakteri mengalami suksesi dengan mengasosiasikan lumut sebagai agen pelapukan vulkanik deposit.

Keanekaragaman hayati mendorong proses ekologi dan lingkungan hidup, sehingga penurunan keanekaragaman hayati di seluruh dunia mengancam jasa ekosistem penting yang diandalkan oleh semua kehidupan (Cardinale *et al.*,

2012). Perubahan iklim dan gangguan lingkungan akibat aktivitas manusia merupakan faktor utama kepunahan tumbuhan dan hewan, tetapi upaya konservasi sering kali mengabaikan populasi mikroba saat menangani hilangnya keanekaragaman hayati. Studi ekologi mikroba menyumbangkan pengetahuan penting bagi konservasi keanekaragaman hayati, karena mikrobioma yang sehat telah terbukti berperan sebagai penjaga yang meningkatkan ketahanan satwa liar dan ekosistem terhadap hilangnya keanekaragaman hayati (Peixoto *et al.*, 2022).

Mempelajari komunitas mikroba membantu kita memahami bagaimana mikroba memainkan peran penting dalam siklus biogeokimia dan fungsi ekosistem (Falkowski *et al.*, 2008). Hal ini sangat penting terutama di area transisi ekologi, dimana gangguan mikrobioma berkorelasi dengan efek yang merusak pada kesehatan hewan, manusia dan tumbuhan. Dengan mendorong survei mikroba di wilayah di mana interaksi ekologi belum dieksplorasi atau di mana dengan memahami dan mencegah hilangnya keanekaragaman hayati, maka akan lebih banyak taksa yang dapat diprospek, yang selanjutnya memberikan kesempatan untuk menemukan jawaban berbasis mikroba untuk solusi berkelanjutan. Pelestarian keanekaragaman hayati mikroba harus dipromosikan karena sama saja dengan berinvestasi untuk mengamankan sumber produktivitas di masa depan (Vuong *et al.*, 2022). Merujuk pada pemahaman Michael Allaby dalam *A Dictionary of Ecology* (2010), konservasi lingkungan pada dasarnya bisa diartikan sebagai pengelolaan biosfer secara bebas dan aktif yang bertujuan untuk menjaga kelangsungan hidup keragaman spesies, memelihara keragaman genetik yang dimiliki setiap spesies dan merawat siklus nutrisi dan fungsi ekosistem. Oleh karena itu, diperlukannya interaksi antara tanaman dan mikroba dalam upaya konservasi lingkungan dan mempercepat pemulihan lahan.

Interaksi tanaman dan mikroba bersifat simbiosis dan antagonis. Tanaman hidup bersama dengan mikroorganisme berbeda yang bertahan hidup di rizosfer di bawah tanah dan di filosfer di atasnya (Bennett dan Lynch, 1981; Lindow dan Brandl, 2003). Interaksi tanaman-mikroba yang menguntungkan termasuk *Plant Growth Promotion* (PGP), perlindungan terhadap stress biotik dan abiotik dengan priming sistem kekebalan tanaman atau mengaktifkan mekanisme pertahanan



tanaman, adaptasi ekosistem yang bervariasi, simbiosis mikoriza, serapan hara dan transfer sumber hara yang tidak dapat diakses oleh tanaman telah dirangkum sebelumnya (Lugtenberg dan Kamilova, 2009). Pemulihan lahan akibat erupsi Gunung Merapi 2010 memerlukan waktu yang lama apabila mengikuti proses suksesi alami. Maka dari itu, diperlukan penanaman tanaman pioner guna mempercepat pemulihan lahan dan merawat siklus serta fungsi ekosistem yang ada.

Tanaman *Leguminose* dan *Mucuna bracheteata L.* bisa menjadi tanaman pioner yang digunakan karena pertumbuhannya cepat dan mampu menambah unsur hara ke dalam tanah (Pujiasmanto, 2011). Upaya untuk memulihkan lahan pasca erupsi Gunung Merapi bertujuan untuk mengurangi erosi dan aliran permukaan, sehingga dapat mengurangi kerusakan infrastruktur pertanian akibat lahar dingin. Beberapa metode rehabilitasi lahan mencakup: (1) Penggunaan teknik pengolahan dalam untuk mengatasi sifat fisik abu Gunung Merapi yang cenderung mengeras saat jatuh ke tanah, sehingga mempersulit penetrasi air dan pertumbuhan akar tanaman dengan rata-rata BD (*Bulk Density*) 1.37 g/cc, (2) Penanaman tanaman secara kontur pada lereng hingga 20%, termasuk tanaman *insitu* seperti rumput pakan ternak, serta tanaman introduksi seperti rumput akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) yang memiliki perakaran yang mampu menembus kedalaman tanah dan beradaptasi dengan tekstur berpasir dan (3) Penerapan teknik stabilisasi tanah khususnya pada lereng lebih dari 20% yang rentan terhadap erosi parit dengan kedalaman lebih dari 1 meter dan lebar lebih dari 10 meter penanggulangan (Balittanah, 2011). Disisi lain, pemilihan tanaman alternatif lainnya juga diperlukan sebagai upaya menjaga kelangsungan hidup keragaman spesies dan memelihara keragaman genetik yang dimiliki setiap spesies mikroorganisme yang ada. Vegetasi dari spesies *Akasia*, *Boscia*, *Combretum* dan *Terminalia* bisa menjadi tanaman alternatif lainnya guna memelihara keragaman mikroorganisme seperti *Vicinamibacter silvetris* (Datasheet, 2015).

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Vulkanik deposit letusan Gunung Merapi berusia 13 tahun (BRUW) memiliki nilai kadar air, C-Organik dan Nitrogen Total lebih rendah dengan pH yang cenderung agak alkalis dibandingkan tanah hutan (FR) yang netral. Kandungan unsur hara P, K dan Fe pada vulkanik deposit letusan Gunung Merapi berusia 13 tahun (BRUW) lebih banyak dibandingkan tanah hutan (FR). Adapun total mikroorganisme pada vulkanik deposit letusan Gunung Merapi berusia 13 tahun (BRUW)  $1.1 \times 10^6$  CFU/mL dan tanah hutan (FR)  $1.3 \times 10^9$  CFU/mL dengan perbandingan 1:1.182.

Keragaman bakteri di BRUW dan FR didominasi oleh bakteri dari filum *Pseudomonadota* (65.24%; 56.40%), kelas *Betaproteobacteria* (34.95%; 31.36%) dan ordo *Burkholderiales* (40.76%; 33.75%). Dalam komunitas BRUW didominasi oleh bakteri dari famili *Burkholderiaceae* (32.12%), genus *Cupriavidus* (20.95%) dan spesies *Dyella koreensis* (28.78%). Sebaliknya, komunitas FR didominasi oleh bakteri dari famili *Oxalobacteriaceae* (19.03%), genus *Vicinamibacter* (23.17%) dan spesies *Vicinamibacter silvetris* (36.24%).

#### **5.2 Saran**

Berikut adalah saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan:

1. Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai hubungan bakteri *Dyella koreensis* pada vulkanik deposit Gunung Merapi dan *Vicinamibacter silvetris* pada tanah hutan terhadap pertumbuhan vegetasi yang ada.

2. Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai isolasi bakteri *Dyella koreensis* dan *Vicinamibacter silvetris* sebagai upaya menjaga kelangsungan hidup keragaman spesies mikroorganismenya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Allaby, M. 2010. Dictionary of Ecology (4th ed.). Oxford University Press Inc. New York
- An, D. S., Im, W. T., Yang, H. C., Yang, D. C., & Lee, S. T. 2005. *Dyella koreensis* sp. nov., a  $\beta$ -glucosidase-producing bacterium. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 55(4), 1625–1628. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.63695-0>
- Andermann, T., Antonelli, A., Barrett, R. L., & Silvestro, D. 2022. Estimating Alpha, Beta, and Gamma Diversity Through Deep Learning. *Frontiers in Plant Science*, 13(April). <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.839407>
- Adimihiardja, A., et al. 2022. Sifat Fisik Tanah dan Metode Analisisnya. Bogor: Balai Penelitian Tanah.
- Alima, N., Nugroho, E. C., Rizki, E. W., Intan, A., & Ifani, E. F. 2020. Analisis Vegetasi Di Sekitar Area Bunker Kawasan Taman Nasional Gunung Merapi. *Jurnal Bioma*, 22(2), 110–114.
- Ammor S, C Rachmanb, S Chaillouc, H Prevostb, X Doussetb, M Zagorecc, E Dufaoura, I Chevalliera. 2005. Phenotypic and genotypic identification of lactic acid bacteria isolated from small-scale facility producing traditional dry sausages. *J Food Microbiol* 22: 373 - 382.
- Ariyanto, D. P., Komariah dan V. T. Cahyani. 2011. Upaya Pemulihan Lahan Akibat Erupsi Merapi. *Prosiding Seminar Nasional*, Surakarta, 26 - 27 April 2011.
- Azizah, A., & Soesetyaningsih, E. 2020. Akurasi Perhitungan Bakteri pada Daging Sapi Menggunakan Metode Hitung Cawan. *Jurnal Berkala Sainstek*, 8(3), 75 - 79. <https://doi.org/10.19184/bst/v8i3.16828>
- B. N. Widarti, W.K. Wardhini, A., & Sarwono, E. 2015. Pengaruh Rasio C/N Bahan Baku Pada Pembuatan Kompos Dari Kubis Dan Kulit Pisang. *Integr. Proses*, 5, 77.

- BPBD Kabupaten Sleman. 2021. *Dokumen Kajian Risiko Bencana Kabupaten Sleman Tahun 2021*.
- Bachtiar, E. 2006. Ilmu Tanah. Medan : Fakultas Pertanian USU
- Badan Geologi Kementerian Sumberdaya Energi dan Mineral. 2014. Karakteristik Gunung Merapi. [http://merapi.bgl.esdm.go.id/informasi\\_merapi.php?page=informasimerapi&subpage=karakteristik](http://merapi.bgl.esdm.go.id/informasi_merapi.php?page=informasimerapi&subpage=karakteristik)
- Badan Litbang Pertanian. 2010. Laporan Hasil Kajian Singkat (Quick Assessment) Dampak Erupsi Gunung Merapi di Sektor Pertanian. Desember 2010.
- Badan Penanggulangan Bencana Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta. 2015. Laporan Akhir Kajian Pembuatan Jalur Evakuasi di Kawasan Rawan Bencana Kabupaten Sleman. Yogyakarta: Badan Penanggulangan Bencana Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta.
- Badger MR, Bassett M, Comins HN. 1985. A model for HCO<sub>3</sub> accumulation and photosynthesis in the cyanobacterium *Synechococcus* sp.: theoretical predictions and experimental observations. *Plant Physiology* 77, 465 - 471.
- Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk. 2023. Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk. In *Petunjuk Teknis Edisi 3 Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk*.
- Balittanah. 2011. Teknologi Rehabilitas Lahan Pasca Erupsi Merapi. <http://balittanah.litbangdeptan.go.id>.
- Banfield, J. F., Barker, W. W., Welch, S. A., and Taunton, A. 1999. Biological impact on mineral dissolution: application of the lichen model to understanding mineral weathering in the rhizosphere. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 96, 3404 - 3411.
- Basyuni, Z. 2009. Mineral dan Batuan Sumber Unsur Hara P dan K. Purbalingga: Universitas Jendral Soedirman.
- Bell, C. W. et al. 2009. Linking microbial community structure and function to seasonal differences in soil moisture and temperature in a Chihuahuan desert grassland. *Microbial Ecol.* 58, 827–842.

- Bennett, P. C., Rogers, J. R., Choi, W. J., and Hiebert, F. K. 2001. Silicates, silicate weathering, and microbial ecology. *Geomicrobiol. J.* 18, 3 - 19.
- Berg G, Smalla K. 2009. Plant species and soil type cooperatively shape the structure and function of microbial communities in the rhizosphere. *FEMS Microbiology Ecology*. 68: 1 - 13.
- Bjelland, T., Grube, M., Hoem, S., Jorgensen, S. L., Daae, F. L., Thorseth, I. H., et al. 2011. Microbial metacommunities in the lichen-rock habitat. *Environ. Microbiol. Rep.* 3, 434 - 442
- Bogati, K. A., Golińska, P., Sewerniak, P., Burkowska-But, A., & Walczak, M. 2023. Deciphering the Impact of Induced Drought in Agriculture Soils: Changes in Microbial Community Structure, Enzymatic and Metabolic Diversity. *Agronomy*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/agronomy13051417>
- Bonanomi, G., De Filippis, F., Cesarano, G., La Stora, A., Ercolini, D. and Scala, F. 2016. Organic farming induces changes in soil microbiota that affect agroecosystem functions. *Soil Biology and Biochemistry* 103: 327-336.
- Bosshard PP, Abels S, Zbinden R, Bottger EC, Altwegg M. 2003. Ribosomal DNA sequencing for identification of aerobic gram-positive rods in the clinical laboratory (an 18-month evaluation). *J Clin Microbiol.* 41: 4134 - 4140.
- Bosshard PP, Abels S, Altwegg M, Bottger EC, Zbinden R. 2004. Comparison of conventional and molecular methods for identification of aerobic catalase-negative gram-positive cocci in the clinical laboratory. *J Clin Microbiol.* 42: 2065 - 2073.
- Bosshard PP, Zbinden R, Abels S, Boddingtonhaus B, Altwegg M, Bottger EC. 2006. 16S rRNA gene sequencing versus the API 20 NE system and the VITEK 2 ID-GNB card for identification of nonfermenting Gram-negative bacteria in the clinical laboratory. *J Clin Microbiol.* 44: 1359 -1366.
- Buckman, H. O dan Brady, N. C. 1982. Ilmu Tanah. C.V Bhartara Karya Aksara. Jakarta.
- Budel B. 1999. Ecology and diversity of rock-inhabiting cyanobacteria in tropical regions. *European Journal of Phycology* 34, 361-370

- Budel B, Weber B, Kuhl M, Pfanzen H, Sultermeyer D, Wessels D. 2004. Reshaping of sandstone surfaces by cryptoendolithic cyanobacteria: bioalkalization causes chemical weathering in arid landscapes. *Geobiology* 2, 261 - 268.
- Budi-Santoso, A., Philippe L., Sapari, D., Sri S., Philippe J., Jean Philippe, M. 2013. Analysis of The Seismic Activity Associated with The 2010 Eruption of Merapi Volcano, Java. *Journal of Volcano and Geothermal Research*. 261:153 - 170.
- Burke, C., Steinberg, P., Rusch, D., Kjelleberg, S., and Thomas, T. 2011. Bacterial community assembly based on functional genes rather than species. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 108, 14288 - 14293.
- Cardinale, B. J. *et al.* 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Natur.* 486, 59 - 67.
- Cardinale, M., Steinová, J., Rabensteiner, J., Berg, G., and Grube, M. 2012b. Age, sun and substrate: triggers of bacterial communities in lichens. *Environ. Microbiol. Rep.* 4, 23 - 28.
- Cas, R.A.F. and Wright, J.V. 1988. *Volcanic Successions: Modern and Ancient: Champan & Hall, London, p.528.*
- Chen, J., Guo, Y., Li, F., Zheng, Y., Xu, D., Liu, H., Liu, X., Wang, X., & Bao, Y. (2020). Exploring the effects of volcanic eruption disturbances on the soil microbial communities in the montane meadow steppe. *Environmental Pollution*, 267, 115600. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115600>
- Chen, J., Mo, L., Zhang, Z.C., Nan, J., Xu, D.L., Chao, L.M., Bao, Y.Y., 2020a. Evaluation of the ecological restoration of a coal mine dump by exploring the characteristics of microbial communities. *Appl. Soil Ecol.* 147.
- Christenson, B.W. 2000. Geochemistry of fluids associated with the 1995 - 1996 eruption of Mt. Ruapehu, New Zealand: signatures and processes in the magmatic-hydrothermal system: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, (97), 1 - 30.
- Clarridge III, J. E. 2004. Impact of 16S rRNA gene sequence analysis for identification of bacteria on clinical microbiology and infectious diseases. *Clinical Microbiology Reviews*, 17(4), 840 - 862.

- Clements FE. 1916. *Plants Successio: An Analysis of the Development of Vegetation*. Carnegie Institution: Washington, D.C.
- Cockell CS, Olsson K, Knowles F, Kelly L, Herrera A, Thorsteinsson T, Marteinsson V. 2009. Bacteria in weathered basaltic glass, Iceland. *Geomicrobiology Journal* 26, 491 - 507.
- Corkill G, Rapley R. 2008. *The Manipulation of Nucleic Acid: Basic Tools & Techniques in Molecular Biomethods Handbook*. Ed ke-2. New York (US): Humana Press
- Crispim CA, Gaylarde CC. 2005. Cyanobacteria and biodeterioration of cultural heritage: a review. *Microbial Ecology* 49, 1 - 9.
- Cronin, S. J., G. Lube, D. S. Dayudi, S. Sumarti, dan S. Subrandiyo. 2013. Insights into the October - November 2010 Gunung Merapi eruption (Central Java, Indonesia) from the stratigraphy, volume and characteristics of its pyroclastic deposits. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 261 : 244 - 259.
- Dai, Z., Xiong, X., Zhu, H., Xu, H., Leng, P., Li, J., Tang, C., & Xu, J. 2021. Association of biochar properties with changes in soil bacterial, fungal and fauna communities and nutrient cycling processes. *Biochar*, 3(3), 239–254. <https://doi.org/10.1007/s42773-021-00099-x>
- Datasheet, W. H. 2015. Okvango Delta. International Union for Conservation of Nature and UN Environment World Conservation Monitoring Centre. <http://world-heritage-datasheet.unep-wcmc.org/datasheet/output/site/okavango-delta/> (2/3/2024)
- Deacon, J. W. 2006. *Fungal Biologu* (4<sup>th</sup> edition). Australia: BlackWell Publishing
- Dedy Erfandi, M., Idjudin, A. A., & Sutono, S. 2012. Teknologi Peningkatan Produktivitas Lahan Endapan Vulkanik Pasca Erupsi Gunung Merapi. *Teknologi Peningkatan Produktivitas Lahan Endapan Vulkanik Pasca Erupsi Gunung Merapi*, 6(1), 33–44.
- Dewanata, P. A., & Mushlih, M. 2021. Differences in DNA Purity Test Using UV-Vis Spectrophotometer and Nanodrop Spectrophotometer in Type 2 Diabetes Mellitus Patients. *Indonesian Journal of Innovation Studies*. 15, 1 - 10.



- Djajakirana, G. 1993. The Ergosterol Measurement in Soil and Fairy Ring Phenomena as an Example. *Thesis*. Faculty of Agriculture. George-August University
- Don, N, T., C.N. Diep. 2014. Isolation, characterization and identification of phosphate and potassium solubilizing bacteria from weathered materials of granite rock mountain, That Son, an Giang province, Vietnam. *Americ J Life Sci*. 2(5):282 - 291.
- Drancourt M, Bollet C, Carlioz A, Martelin R, Gayral JP, Raoult D. 2000. 16S ribosomal DNA sequence analysis of a large collection of environmental and clinical unidentifiable bacterial isolates. *J Clin Microbiol*, 38: 3623 - 3630.
- de Coster W, D'Hert S, Schultz DT, Cruts M, van Broeckhoven C. 2018. NanoPack: visualizing and processing long-read sequencing data. *Bioinformatics*. 34(15): 2666 - 2669. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bty149>.
- Eder, W., Wanner, G., Ludwig, W., Busse, H.-J., Ziemke-Kägeler, F. & Lang, E. 2011. Description of *Undibacterium oligocarboniphilum* sp. nov., isolated from purified water, and *Undibacterium pigrum* strain CCUG 49012 as the type strain of *Undibacterium parvum* sp. nov., and emended descriptions of the genus *Undibacterium* and the species *Undibacterium pigrum*. *Int J Syst Evol Microbiol*. 61, 384 - 391.
- Edwards KJ, Rogers DR, Wirsén CO, McCollom TM. 2003. Fe-oxidizing, chemolithoautotrophic alpha- and gamma- Proteobacteria from the deep sea. *Applied and Environmental Microbiology* 69, 2906 - 2913.
- Eviati, *et al.* 2005. Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk. Balai Penelitian Tanah. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian: Bogor, Jawa Barat.
- Fajar, I., Yudha Perwira, I., & Made Ernawati, N. 2022. Pengaruh Derajat Keasaman (pH) terhadap Pertumbuhan Bakteri Toleran Kromium Heksavalen dari Sedimen Mangrove di Muara Tukad Mati, Bali. *Current Trends in Aquatic Science V*, 6(1), 1–6.

- Falkowski, P. G., Fenchel, T., Delong, E. F., 2008. The microbial engines that drive Earth's biogeochemical cycles. *Science* 320, 1034 - 2039.
- Fendorf S, Kocar BD. 2009. Biogeochemical process controlling the fate and transport of arsenic: implications for south and southeast Asia. *Advances in Agronomy* 104, 137 - 164.
- Fiantis. 2006. Laju Pelapukan Kimia Debu Vulkanis Gunung Talang dan Pengaruhnya Terhadap Proses Pembentukan Mineral Liat Non-Kristalin. Universitas Andalas. Padang.
- Fiantis, D., M. Nelson, Van Ranst, E., J. Shamshuddin, and N.P. Qafoku. 2009. Chemical Weathering of New Piroclastic Deposit from Mt. Merapi (Java), Indonesia. *J.Mt.Sci.* 6: 240 - 254
- Fierer, N., Nemergut, D., Knight, R., & Craine, J. M. 2010. Changes through time: Integrating microorganisms into the study of succession. *Research in Microbiology*, 161(8), 635–642. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2010.06.002>
- Fisher, M.M. and E.W. Triplett. 1999. Automated approach for ribosomal intergenic spaces analysis of microbial diversity and its application to freshwater bacterial communities. *Appl. Environ.Microbiol.*, 65(10). 4630 - 4636
- Fisk MR, Iovannoni SJ, Thorseth IH. 1998. Alteration of oceanic volcanic glass: terxtural evidence of microbial activity. *Science* 281, 978 - 980.
- Friedmann EI. 1980. Endolithic microbial life in hot and cold deserts. *Origins of Life and Evolution of the Biosphere* 10, 223 - 235.
- Fujimura, R., Sato, Y., Nishizawa, T., Nanba, K., Oshima, K., Hattori M., Ohta, H., 2012. Analysis of early bacterial communities on volcanic deposits on the Island of Miyake (Miyake-jima), Japan: a 6-year study at a fixed site. *Microb. Environ.* 27, 19 - 29.
- Gofar, N., M.A. Diha & A. Napoleon. 2007. Keragaman Mikroba Tanah pada Lahan Budidaya Daerah Lebak. *Jurnal Akta Agrosia Edisi Khusus*, 1. 5-10
- Green, M. R., & Sambrook, J. 2019. Polymerase chain reaction. *Cold Spring Harbor Protocols*, 2019(6), 436–456. <https://doi.org/10.1101/pdb.top095109>

- Green, S.J., E. Inbar, F.C. Michel, Y. Hadar, and D. Minz. 2006. Succession of bacterial communities during early plant development: transition from seed to root and effect of compost amendment. *Appl. Environ. Microbiol.* 72: 3975 - 3983.
- Green, S.J., E. Inbar, F.C. Michel, Y. Hadar, and D. Minz. 2007. Contrasting pattern of seed and root colonization by bacteria from the genus *Chryseobacterium* and from the family *Oxalobacteraceae*. *ISME J.* 1:291-299.
- Grube, M., Cardinale, M., de Castro, J. V., Müller, H., and Berg, G. 2009. Species-specific structural and functional diversity of bacterial communities in lichen symbioses. *ISME J.* 3, 1105 - 1115.
- Grube, M., Köberl, M., Lackner, S., Berg, C., and Berg, G. 2012. Host-parasite interaction and microbiome response: effect of fungal infections on the bacterial community of the Alpine lichen *Solorina crocea*. *FEMS Microbiol. Ecol.* 82, 472 - 481.
- Gua, Y., Fujimura, R., Sato, Y., Suda, W., Kim, S. W., Oshima, K., Ohta, H., 2014. Characterization of early microbial communities on volcanic deposit along a vegetation gradient on the Island of Miyake, Japan. *Microb. Environ.* 29, 38 - 49.
- Hall L, Doerr KA, Wohlfiel SL, Roberts GD. 2003. Evaluation of the MicroSeq system for identification of mycobacteria by 16S ribosomal DNA sequencing and its integration into a routine clinical mycobacteriology laboratory. *J Clin Microbiol*, 41: 1447 - 1453.
- Harahap, I. 2007. Skripsi Kajian Sifat Kimia Tanah Vulkanis Pasca Erupsi Gunung Talang 12 April 2005 Di Aie Batumbuk Kecamatan Gunung Talang Kabupaten Solok. Universitas Andalas. Padang
- Hardjowigeno, S. dan Widiatmaka. 2007. Evaluasi Kesesuaian Lahan dan Perencanaan Tataguna Lahan. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Harris, J. 2008. Soil Microbial Communities and Restoration. *Oikos* 117, 1833.
- Haryadi, H., Sunarto, S. and Sugiyarto, S. 2019. Vegetation Analysis of the Secondary Forest Area of Mount Merapi National Park. *Jurnal Biodjati*, 4(1), pp. 50 - 57.

- Heikens E, Fleer A, Paauw A, Florijn A, Fluit AC. 2005. Comparison of genotypic and phenotypic methods for species level identification of clinical isolates of coagulase-negative staphylococci. *J Clin Microbiol.* 43: 2286 - 2290.
- Herrera A, Cockell CS, Self S, Blaxter M, Reitner J, Arp G, Drose W, Thorsteinsson T, Tindle AG. 2008. Bacterial colonization and weathering of terrestrial obsidian in Iceland. *Geomicrobiology Journal* 25, 25 - 37.
- Hodkinson, B. P., Gottel, N. R., Schadt, C. W., and Lutzoni, F. 2012. Photoautotrophic symbiont and geography are major factors affecting highly structured and diverse bacterial communities in the lichen microbiome. *Environ. Microbiol.* 4, 147 - 161.
- Holme DJ, Peck H. 1998. Analytical Biochemistry. Ed ke-3 Harlow (GB): Pearson Education Limited
- Horwitz, William. (Ed.). 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th edition, Volume I, Agricultural Chemicals, Contaminants, Drugs. AOAC International, 27 Maryland USA.
- Hu X, J. Chen, and J. Guo. 2006. Two phosphate and potassium solubilizing bacteria isolated from Tianmu Mountain, Zhejiang, China. *World J Microbiol Biotechnol.* 22:983 - 990.
- Huang, J., Hu, B., Qi, K., Chen, W., Pang, X., Bao, W., *et al.* 2016. Effects of phosphorus addition on soil microbial biomass and community composition in a subalpine spruce plantation. *Eur. J. Soil Biol.* 72, 35 -41.
- Huber, K. J., Geppert, A. M., Wanner, G., Fösel, B. U., Wüst, P. K., & Overmann, J. 2016. The first representative of the globally widespread subdivision 6 Acidobacteria, *Vicinamibacter silvestris* gen. nov., sp. nov., isolated from subtropical savannah soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 66(8), 2971–2979. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.001131>
- Huston DL, Logan GA. 2004. Barite, BIFs and bugs: evidence for the evolution of the Earth's early hydrosphere. *Earth and Planetary Science Letters* 220, 41 - 55.

- Jin, C. W., Ye, Y. Q., Zheng, S. J. 2014. An underground tale: Contribution of microbial activity to plant iron acquisition via ecological processes. *Annals of Botany*, 113(1), 7 - 18
- Kalev, S. D., and Toor, G. S. 2018. The composition of soils and sediments. in *Green Chemistry*, eds. Török and T. Dransfield (Amsterdam: Elsevier), 339 - 357.
- Kasi, P. D., Ariandi, & Tenriawaru, E. P. (2019). Identifikasi Bakteri Asam Laktat dari Limbah Cair Sagu dengan Gen 16S rRNA. *Majalah Ilmiah Biologi Biosfera*, 36(1), 35–40. <https://doi.org/10.20884/1.mib.2019.36.1.924>
- Kearns PJ, Shade A. 2018. Trait-based patterns of microbial dynamics in dormancy potential and heterotrophic strategy: case studies of resource-based and post-fire succession. *ISME J* 12:2575 - 2581.
- Kim D, Song L, Breitwieser FP, Salzberg SL. 2016. Centrifuge: Rapid and sensitive classification of metagenomic sequences. *Genome Res*. <https://doi.org/10.1101/gr.210641.116>.
- Kim, J. S., Kim, D. S., Lee, K. C., Lee, J. S., King, G. M., Kang, S., 2018. Microbial community structure and functional potential of lava-formed Gotjawal soils in Jeju, Korea. *PloS One* 13.
- Kim, S. W., W. Suda, S. Kim, K. Oshima, S. Fukuda, H. Ohno, H. Morita, and M. Hattori. 2013. Robustness of gut microbiota of healthy adults in response to probiotic intervention revealed by high-throughput pyrosequencing. *DNA Res*. 20:241-253.
- Kraut-Cohen, J., Zolti, A., Rotbart, N., Bar-Tal, A., Laor, Y., Medina, S., Shawahna, R., Saadi, I., Raviv, M., Green, S. J., Yermiyahu, U., & Minz, D. 2023. Short- and long-term effects of continuous compost amendment on soil microbiome community. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 21, 3280–3292. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2023.05.030>
- Kusuma, Y. R., & Yanti, I. 2021. Effect of Water Content in Soil on C-Organic Levels and Soil Acidity (pH). *Indonesian Journal of Chemical Research*, 6(2), 92–97.
- Lange, M., Eisenhauer, N., Sierra, C.A., Bessler, H., Engels, C., Griffiths, R.I.,

- Gleixner, G., 2015. Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage. *Nat. Commun.* 6.
- Lathifah, A. N. 2019. Characterization of Pioneer Bacterial Communities in Recent Volcanic Deposits of Mt. Merapi, Indonesia. Tokyo, Jepang: Tokyo University of Agriculture and Technology.
- Lathifah, A. N., Guo, Y., Sakagami, N., Suda, W., Higuchi, M., Nishizawa, T., Prijambada, I. D., & Ohta, H. 2019. Comparative characterization of bacterial communities in moss-covered and unvegetated volcanic deposits of mount Merapi, Indonesia. *Microbes and Environments*, 34(3), 268–277.
- Lau SK, Ng KH, Woo PC *et al.* 2006. Usefulness of the MicroSeq 500 16S rDNA bacterial identification system for identification of anaerobic Gram positive bacilli isolated from blood cultures. *J Clin Pathol.* 59: 219 - 222.
- Liang C, Jesus EC, Duncan DS, Jackson RD, Tiedje JM, Balser TC. 2012. Soil microbial communities under model biofuel cropping systems in southern Wisconsin, USA: impact of crop species and soil properties. *Applied Soil Ecology* 54: 24 - 31.
- Liermann LJ, Kalinowski BE, Brantley SL, Ferry JG. 2000. Role of bacterial siderophores in dissolution of hornblende. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 64, 587 - 602.
- Lindow, S. E., Brandl, M. T. 2003. Microbiology of the phyllosphere. *Appl. Environ. Microbiol.* 69(4), 1875 - 1883.
- Liu, M., Liu, J., Chen X., Jiang, C., Wu, M., dan Li, Z. 2018. Shift in bacterial and fungal diversity in a paddy soil faces with phosphorus surplus. *Biol. Fertil. Soils* 54, 259 - 267.
- Liu, Y., Du, J., Pei, T., Du, H., Feng, G.-D., & Zhu, H. (2022). Genome-based taxonomic classification of the closest-to-Comamonadaceae group supports a new family Sphaerotilaceae fam. nov. and taxonomic revisions. *Systematic and Applied Microbiology*, 45(6), 126352.
- Lopez-Lozano, N. E. et al. 2013. Microbial secondary succession in soil microcosms of a desert oasis in the Cuatro Ciénegas Basin, Mexico. *PeerJ.* 1, e47.

- Lugtenberg, B., Kamilova, F. 2009. Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annu. Rev. Microbiol.*, 63, 541 - 556.
- Luo, J. H., Wu, M., Yuan, Z., & Guo, J. 2017. Biological Bromate Reduction Driven by Methane in a Membrane Biofilm Reactor. *Environmental Science and Technology Letter*, 4(12), 562 - 566.
- Madigan, M.T., J.M. Martinko, D.A. Stahl, D.P. Clark. 2012. Brock biology of microorganism 13<sup>th</sup> ed. Benjamin Cumming, San Fransisco, CA.
- Makkar, N. S. & Casida, L. E., Jr. 1987. *Cupriavidus necator* gen. nov., sp. nov.: a nonobligate bacterial predator of bacterial in soil. *Int J Syst Bacteriol.* 37, 323 - 326.
- Mardis E R. 2017. DNA Sequencing Technologis : 2006 - 2016. *Nature Protocols*, 12(2), 213. <https://www.cd-genomics.com/blog/dna-sequencing-definition-methods-and-applications/> (30/10/2023).
- Mignard S, Flandrois JP. 2006. 16S rRNA sequencing in routine bacterial identification: a 30-month experiment. *J Microbiol Methods*, 67: 574 - 581.
- Miller AG, Colman B. 1980. Evidence for HCO<sub>3</sub> transport by the blue green alga (cyanobacterium) *Coccochloris Peniocyctis*. *Plant Physiology* 65, 397 - 402.
- Mueller-Dombois, D dan H. Ellenberg. 1974. Aims and Methods of Vegetation Ecology. John Wiley and Sons. New York.
- Mukhlis. 2011. Tanah Andisol Genesis, Klasifikasi, Karakteristik, Penyebaran dan Analisa. USU Press. Medan.
- Mukhtar, A. S. and Heriyanto, N. M. 2012. Keadaan Suksesi Tumbuhan Pada Kawasan Bekas Tambang Batubara di Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam.* 9(4), pp. 341 - 350
- Mutmainnah, Laily. 2013. Isolasi dan Identifikasi Mikroba Pelarut Kalium Dari Rhizosfer Tanaman Tebu (*Saccharum* sp.). Thesis. Universitas Jember.
- Nannipieri, P., Ascher, J., Ceccherini, M.T., Landi, L., Pietramellara, G., Renella, G. 2003. Micorbial diversity and soil functions. *Eur. J. Soil Sci.* 54, 665 - 670.
- Newhall, C. G. *et al.* 2000. 10,000Years of explosive eruptions of Merapi Volcano, Central Java: archaeological and modern implications. *Journal of Volcanology and Geothermal Research.* 100(1-4), pp. 9 -50

- Nie, Y., Wang, M., Zhang, W., Ni, Z., Hashidoko, Y., Shen, W., *et al.* 2018. Ammonium nitrogen content is a dominant predictor of bacterial community composition in an acidic forest soil with exogenous nitrogen enrichment. *Sci. Total Environ.* 624, 407 - 415.
- Nuzulah, S. N., Purwanto, P. dan Bachri, S. 2016. Kajian dinamika sukseksi vegetasi di kawasan terdampak erupsi gunung api kelud berbasis data penginderaan jauh tahun 2013 - 2016. *Jurnal Media Komunikasi Geografi.* 17(1), pp. 1 - 17
- Nygaard, A.B., Tunsjø, H.S., Meisal, R. and Charnock, C. 2020. A preliminary study on the potential of Nanopore MinION and Illumina MiSeq 16S rRNA gene sequencing to characterize building-dust microbiomes. *Scientific Report.* 10.1: 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59771-0>.
- Ozinga, W. A. *et al.* . 2005. Predictability of plant species composition from environmental conditions is constrained by dispersal limitation. *Oikos.* 108(3), pp. 555 - 561.
- Paul, E.A and F.E.Clark. 1989. Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press, Inc. London
- Peixoto, R. S. *et al.* 2022. Harnessing the microbiome to prevent global biodiversity loss. *Nat. Microbiol.* 7, 1726 - 1735.
- Prach K, Walker LR, Chang C. 2019. Differences between primary and secondary plant succession among biomes of the world. *J Ecol* 107:510 - 516.
- Prijambada, I.D., J.Widada & R.A. Sitompul. 2006. Impact of land use intensity on microbial community in agroecosystems of Southern Sumatera. *Final Report of International Symposium* 18(3) : 49 - 54.
- Puente ME, Rodriguez-Jaramillo MC, Li CY, Bashan Y. 2006. Image analysis of quantification of bacterial rock weathering. *Journal of Microbiological Methods* 64, 275 - 286.
- Pujiasmanto, B. 2011. Strategi Pemulihan Lahan Pasca Erupsi Gunung Api (Segi Agroekosistem, Domestikasi Tumbuhan Herba untuk Obat; dan Action Research). *Journal of Rural and Development*, 11(2), 85 - 96
- QIAGEN. 2017. DNeasy PowerSoil Kit Handbook (*Issue May*).



- Rahayu, Priyo Ariyanto, D., Komariah, & Hartati, S. 2014. DAMPAK ERUPSI GUNUNG MERAPI TERHADAP LAHAN DAN UPAYA-UPAYA PEMULIHANNYA. *Jurnal Ilmu Ilmu Pertanian*, XXIX (1), 61 - 72.
- Resource, G. C. B., & Resource, E. C. D. BacDive Explore Bacterial Diversity. <https://bacdive.dsmz.de/> (08/02/2024)
- Richardson, A.E. 2001. Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. *Funct Plant Biol* 28: 897 - 906.
- Rinanda, T. 2011. Analisis sekuensing 16S rRNA di bidang mikrobiologi. *Jurnal Kedokteran Syiah Kuala*, 11, 172 - 177.
- Risma, S., Maryam, & Rahayu, A. Y. 2023. Penentuan C-organik pada Tanah untuk Meningkatkan Produktivitas Tanaman dan Berkelanjutan umur Tanaman dengan Metoda Spektrofotometri UV VIS. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 12(1), 11–19.
- Samuels, T., Bryce, C., Landenmark, H., Marie-Loudon, C., Nicholson, N., Stevens, A. H., et al. 2020. "Microbial weathering of minerals and rocks in natural environments", in *Biogeochemical Cycles: Ecological Drivers and Environmental Impact*, eds K. Dontsova, Z. Balogh-Brunstad, and G. Le Roux (Hoboken, NJ: John Wiley & Sons), 59 - 79.
- Saragih, E., & Pinem, K. 2016. Identifikasi Sifat Kimia Tanah Vulkanik Di Lereng Timur Pasca Erupsi Gunung Sinabung Kabupaten Karo. *Jupiis: Jurnal Pendidikan Ilmu-Ilmu Sosial*, 13(1), 48. <https://doi.org/10.24114/jupiis.v8i1.3676>
- Saraswati, R., Husen, E., Simanungkalit R.D.M. 2007. Pengambilan Contoh Tanah untuk Analisis Biologi Tanah. Balitbang, Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor.
- Schulz, S., Brankatschk, R., Dümig, A., Kögel-Knabner, I., Schloter M., and Zeyer, J. 2013. The role of microorganisms at different stages of ecosystem development for soil formation. *Biogeosciences* 10, 3983 - 3996.
- Simanungkalit, RDM., R. Saraswati, R.D., Hastuti, and E. Husen. 2006. Organic Fertilizer and Biofertilizer. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.

- Singh G, D. R. Biswas, and T. S. Marwah. 2010. Mobilization of potassium from waste mica by plant growth promoting rhizobacteria and its assimilation by maize (*Zea mays*) and wheat (*Triticum aestivum* L). *J Plant Nutr.* 33:1236 - 1251.
- Siregar, B. (2017). Analisa Kadar C-Organik Dan Perbandingan C/N Tanah Di Lahan Tambak Kelurahan Sicanang Kecamatan Medan Belawan. *Jurnal Warta*, 53, 1–14.
- Sklenar, P., Kovar, P., Palice, Z., Stancik, D., Soldan, Z., 2010. Primary succession of high-altitude Andean vegetation on lahars of Volcan Cotopaxi, Ecuador. *Phytocoenologia* 40, 15e28.
- Smith, D. B., Zielinski, R.A., Taylor, H. E and Sawyer, M. B. 1983. Leaching character of ash from May 18, 1980, eruption of Mount St. Helens Volcano, Washington: *Bulletin of Volcanology*, (46) 103 - 124.
- Soelaman, Y dan A. I. Abdullah. 2014. Rehabilitasi Sifat Fisika Tanah Pertanian Pasca Erupsi Merapi. Balai Peneliti Tanah.
- Song Y, Liu C, Bolanos M, Lee J, McTeague M, Finegold SM. 2005. Evaluation of 16S rRNA sequencing and reevaluation of a short biochemical scheme for identification of clinically significant *Bacteroides* species. *J Clin Microbiol.* 43: 1531 - 1537.
- Staudigel H, Chastain RA, Yayanos A, Bourcier W. 1994. Biologically mediated dissolution of glass. *Chemistry Geology* 126, 147 - 154.
- Steele, J. A. et al. 2011. Marine bacterial, archaeal and protistan association networks reveal ecological linkages. *ISME J.* 5, 1414 - 1425.
- Sudaryono dan Sutjipto. 2009. Identifikasi dan penentuan logam berat pada tanah vulkanik di daerah Cangkringan, Kabupaten Sleman dengan metode Analisis Aktivasi Neutron Cepat. Makalah disampaikan pada Seminar Nasional V SDM Teknologi, Yogyakarta, 5 November 2009.
- Sukaryorini, P., Fuad, A. M., & Santoso, S. (2016). PENGARUH MACAM BAHAN ORGANIK TERHADAP KETERSEDIAAN AMONIUM (NH<sup>+</sup>), C-ORGANIK DAN POPULASI MIKROORGANISME PADA TANAH ENTISOL Effect of Organic Matter on Availability Ammonium (NH<sub>4</sub>), C-

- Organic and Population in Soil Microorganism Entisol. *Plumula*, 5(2), 99–106.
- Sulaeman, S., et al. 2023. Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk. Bogor: Balai Penelitian Tanah.
- Suprpto, Agus. 2015. Potensi Abu Erupsi Merapi terhadap Kesuburan Lahan Pertanian. *Dinamika*. Vol. 42 No: 1, 15 Maret 2015.
- Susilawati, -, Budhisurya, E., Anggono, R. C. W., & Simanjuntak, B. H. 2013. Analisis Kesuburan Tanah Dengan Indikator Mikroorganisme Tanah Pada Berbagai Sistem Penggunaan Lahan Di Plateau Dieng. *Agric*, 25(1), 64.
- Sutton, S. 2011. Accuracy of Plate Counts. *Journal of Validation Technology*, 17(3), 42 - 46.  
<http://connection.ebscohost.com/c/articles/65302618/accuracy-plate-counts>
- Tanah, B. P. (2022). Sifat Fisik Tanah dan Metode Analisisnya (Irawan, Maswar, R. D. Yustika, & R. Ariani (eds). 2<sup>nd</sup>. Balai Penelitian Tanah
- Thompson JB, Ferris FG. 1990. Cyanobacterial precipitation of gypsum, calcite, and magnesite from natural alkaline lake water. *Geology* 18, 995 - 998.
- Thorseth IH, Torsvik T, Torsvik V, Daae FL, Pedersen RB. 2001. Diversity of life in ocean floor basalt. *Earth and Planetary Science Letters* 1994, 31 - 37.
- Thorseth IH, Pedersen RB, Christie DM. 2003. Microbial alteration of 0 - 30 Ma seafloor and sub-seafloor basaltic glasses from the australian antarctic discordance. *Earth and Planetary Science Letters* 215, 237 - 247.
- Torsvik V, Daae FL, Sandaa RA, Ovreas L. 1998. Novel techniques for analyzing microbial diversity in natural and perturbed environments. *Journal of Biotechnology* 64, 53 - 62.
- Utami, S. N. h., A. Maas., Darmanto., R. Jayadi., E. Martono., B. H. Purwanto., A. Kusumandari., G. Murdjito., D. Marwasta dan Jamhari. 2011., Pengelolaan Lahan Kawasan Lereng Merapi Pasca Erupsi 2010.
- Utoyo, B. Geografi 1 Membuka Cakrawala Dunia. 2007. Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta.

- Vandevivere P, Welch SA, Ullman WJ, Kirchman DL. 1994. Enhanced dissolution of silicate minerals by bacteria at near neutral pH. *Microbial Ecology* 27, 241 - 251.
- Vuong, P., Chong, S., & Kaur, P. 2022. The little things that matter : how bioprospecting microbial biodiversity can build towards the realization of United Nations Sustainable Development Goals. *Npj Biodiversity*, 1(1), 1 - 5.
- van der Heijden, M.G., Bardgett, R. D., and Van Straalen, N. M. 2008. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecol. Lett.* 11, 296 - 310.
- Wahyuni, S. T., Parwati, A. F., Aptari, Z., Saputri, R. D., Akbarudin, A. M., dan Kirana, A. G. 2019. Analisis Vegetasi di Taman Nasional Gunung Merapi. *Jurnal Penelitian Ekosistem Dipterokarpa*, 5(2), 107 - 112
- Wakefield, R. D., Jones, M.S., 1998. An introduction to stone colonizing microorganisms and biodeterioration of building stones. *Q. J. Eng. Geol.* 1998 (31), 301 - 313.
- Wang, Q., Wang, C., Yu, W. W., Turak, A., Chen, D., Huang, Y., Ao, J., Jiang, Y., & Huang, Z. 2018. Effects of nitrogen and phosphorus inputs on soil bacterial abundance, diversity, and community composition in chinese fir plantations. *Frontiers in Microbiology*, 9(JUL), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01543>
- Ward, D.M. 1998. A natural species concepts for procaryotes. *Current Opinion in Microbiol* 1: 271 - 277.
- Wick RR, Judd LM, Holt KE. 2019. Performance of neural network basecalling tools for Oxford Nanopore sequencing. *Genome Biol.* 20: 129. <https://doi.org/10.1186/s13059-019-1727>.
- Willis, A. D., 2019. Rarefaction, alpha diversity, and statistics. *Frontiers in Microbiology*, 10(OCT). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02407>
- Wilson, K. and J. Walker. 2010. Principles and Techniques of Biochemistry and Molecular Biology. Cambridge University Press, UK.
- Woese, C. R., Stackebrandt, R., Macke, T. J., & Fox, G. E. 1985. A phylogenetic definition of the major eubacterial taxa. *Syst. Appl. Microbiol*, 6, 143 - 151.

- Wu LL, Jacobson AD, Hausner M. 2008. Characterization of elemental release during microbe-granite interactions at  $T = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ . *Geochimica et Cosmochimica Acta* 71, 2224 - 2239.
- Wulaningsih, T., H. Humaida, A. Harijoko, dan W. Koichiro. 2013. Major element and rare earth elements investigation of Merapi Volcano, Central Java, Indonesia. *Procedia Earth Planet.*
- Yan, J., Hang, X., Wang, S. 2009. Variation of soil microorganism under different vegetation coverages and fertilization system in black soil. *Chin. J. Soil Sci.* 40, 240 - 244.
- Yusuf, Zuhriana K. 2010. Polymerase Chain Reactor (PCR). *Saintek*, 5(6): Universitas Negeri Gorontalo.
- Zaharescu, D. G., Burghilea, C. I., Dontsova, K., Reinhard, C. T., Chorover, J., and Lybrand, R. 2020. Biological weathering in the terrestrial system. in *Encyclopedia of Earth Sciences Series*, eds K. Dontsova, Z. Balogh-Brunstad, and G. Le Roux (Washington, DC: American Geophysical Union), 1 - 32.
- Zainuddin, Zuraida, & Jufri, Y. 2019. Evaluasi Ketersediaan Unsur Hara Fosfor (P) pada Lahan Sawah Intensif Kecamatan Sukamakmur Kabupaten Aceh Besar. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 4, 603 - 609.
- Zak, D. R., Holmes, W. E., White, D. C., Peacock, A. D. & Tilman, D. 2003. Plant diversity, soil microbial communities, and ecosystem function: are there any links? *Ecology* 84, 2042–2050.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1 Perhitungan Karakteristik Sifat Fisik dan Kimia pada Sampel Tanah

#### a) Kadar Air Berdasarkan Berat Basah

##### Sampel Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW)

Diketahui:

Berat Cawan Kosong, gr ( $M_c$ )	= 74.5204 gram
Berat Sampel Tanah + H <sub>2</sub> O + Cawan, gr ( $M_{s+w}$ )	= 202.9536 gram
Berat Sampel Tanah + Cawan, gr ( $M_s$ )	= 194.5336 gram

Ditanya:

Kadar Air berdasarkan Berat Basah, % (H<sub>2</sub>O)?

Penyelesaian:

$$H_2O(\%) = \left[ \left( \frac{M_{s+w} - M_s}{M_s - M_c} \right) \right] \times 100$$

$$H_2O(\%) = \left[ \left( \frac{202.9536 \text{ gram} - 194.5336 \text{ gram}}{202.9536 \text{ gram} - 74.5204 \text{ gram}} \right) \right] \times 100$$

$$H_2O(\%) = 6.56\%$$

##### Sampel Tanah Hutan (FR)

Diketahui:

Berat Cawan Kosong, gr ( $M_c$ )	= 73.7624 gram
Berat Sampel Tanah + H <sub>2</sub> O + Cawan, gr ( $M_{s+w}$ )	= 179.5290 gram
Berat Sampel Tanah + Cawan, gr ( $M_s$ )	= 154.5476 gram

Ditanya:

Kadar Air berdasarkan Berat Basah, % (H<sub>2</sub>O)?

Penyelesaian:

$$H_2O(\%) = \left[ \left( \frac{M_{s+w} - M_s}{M_s - M_c} \right) \right] \times 100$$

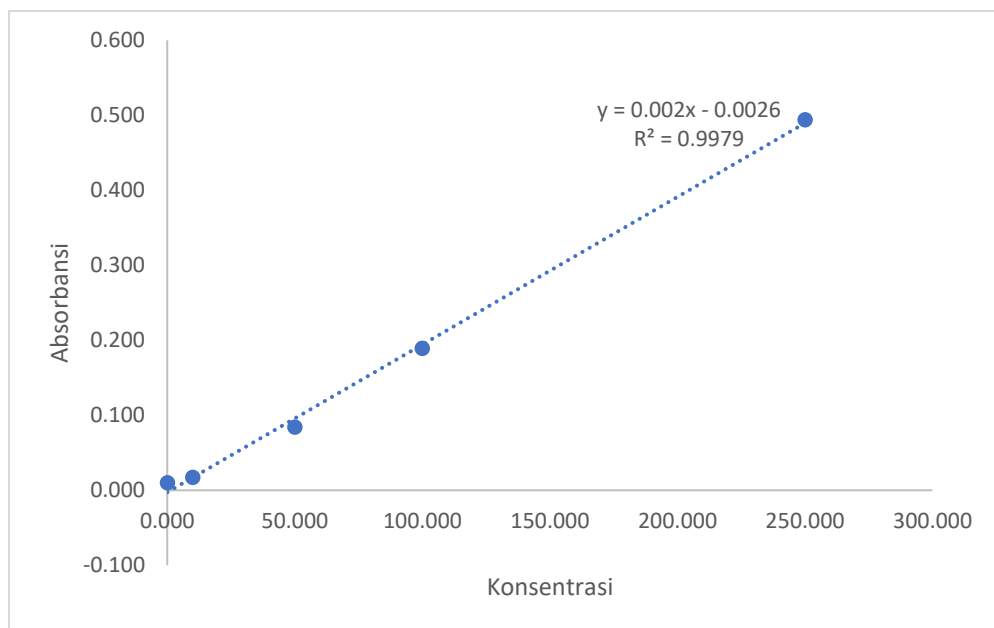
$$H_2O(\%) = \left[ \left( \frac{179.5290 \text{ gram} - 154.5476 \text{ gram}}{179.5290 \text{ gram} - 73.7624 \text{ gram}} \right) \right] \times 100$$

$$H_2O(\%) = 23.62\%$$

**b) C-Organik**

Tabel 1 Data Kurva Standar C-Organik

Sampel	Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
Standar 1	0.0000	0.010
Standar 2	10.000	0.017
Standar 3	50.000	0.084
Standar 4	100.000	0.189
Standar 5	250.000	0.494
<b>Slope</b>		<b>0.001968708</b>
<b>Intercept</b>		<b>-0.002634041</b>



Gambar 1 Kurva Standar C-Organik

**Sampel Sampel Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun**

Tabel 2 Hasil Pengukuran Sampel Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW)

Sampel	Berat (gram)	Absorbansi	Konsentrasi	Kadar C-Organik (%)	Kadar C-Organik (g/kg)
BRUW.1	0.497	0.007	4.894	0.1054	
BRUW.2	0.519	0.018	10.481	0.2161	
BRUW.3	0.504	0.002	2.354	0.05	
<b>Rerata</b>				0.1238	1.238

Sampel BRUW.1

Diketahui:

Berat Sampel = 0.497 gram = 497 mg

Absorbansi = 0.007

Kadar Air (%) = 6.56%

Penyelesaian:

**Mencari Konsentrasi Pengukuran atau ppm kurva**

$$\text{Konsentrasi Pengukuran (ppm kurva)} = \frac{(\text{Absorbansi} - \text{Intercept})}{\text{Slope}}$$

$$\text{Konsentrasi Pengukuran (ppm kurva)} = \frac{(0.007 - (-0.002634041))}{0.001968708}$$

$$\text{Konsentrasi Pengukuran (ppm kurva)} = 4.894 \text{ ppm}$$

**Kadar C-Organik Sampel BRUW.1 (%)**

$$C - \text{organik}(\%) = \text{ppm kurva} \times \text{ml ekstrak } 1.000 \text{ ml}^{-1} \times 100 \text{ mg contoh}^{-1} \times \text{fk}$$

$$C - \text{organik}(\%) = 4.894 \text{ ppm} \times \left(\frac{100 \text{ ml}}{1.000 \text{ ml}}\right) \times \left(\frac{100}{497 \text{ mg}}\right) \times \left(\frac{100}{(100 - 6.56\%)}\right)$$

$$C - \text{organik}(\%) = 0.1054\%$$

**Kadar C-Organik BRUW (%)**



$$C - \text{organik}(\%) = \frac{(0.1054 + 0.2161 + 0.05)\%}{3}$$

$$C - \text{organik}(\%) = 0.1238\%$$

### Kadar C-Organik (g/kg)

$$\text{ppm} = (\%) \times 10.000$$

maka,

$$C\text{-Organik (ppm)} = 0.1238\% \times 10.000$$

$$C\text{-Organik (ppm)} = 1238.217 \text{ ppm}$$

$$1 \text{ ppm} = 0.001 \text{ g/kg}$$

maka,

$$C\text{-Organik (g/kg)} = \text{ppm} \times 0.001 \text{ g/kg}$$

$$C\text{-Organik (g/kg)} = 1238.217 \text{ ppm} \times 0.001 \text{ g/kg}$$

$$C\text{-Organik (g/kg)} = 1.238 \text{ g/kg} \approx 1.24 \text{ g/kg}$$

### Standard Error

Tabel 3 Standard Error Pengujian C-Organik Sampel BRUW

Sampel	
BRUW.1	1.0537
BRUW.2	2.1611
BRUW.3	0.4998
<b>Standar Deviasi, <math>\sigma</math></b>	<b>0.690676</b>
<b>Jumlah Data, n</b>	<b>3</b>
<b>Standard Error, SE</b>	<b>0.40</b>

$$\text{Standard Error, SE} = \frac{\text{Standar Deviasi, } \sigma}{\sqrt{n}}$$

### Sampel Tanah Hutan (FR)

Tabel 4 Hasil Pengukuran Sampel Tanah Hutan (FR)

Sampel	Berat (gram)	Absorbansi	Konsentrasi	Kadar C-Organik (%)	Kadar C-Organik (g/kg)
FR.1	0.506	0.035	19.116	0.4946	

Sampel	Berat (gram)	Absorbansi	Konsentrasi	Kadar C-Organik (%)	Kadar C-Organik (g/kg)
FR.2	0.509	0.095	49.593	1.2756	
FR.3	0.513	0.073	38.418	0.9805	
<b>Rerata</b>				0.9169	9.169

Sampel FR.1

Diketahui:

Berat Sampel = 0.506 gram = 506 mg

Absorbansi = 0.035

Kadar Air (%) = 23.62%

Penyelesaian:

**Mencari Konsentrasi Pengukuran atau ppm kurva**

$$\text{Konsentrasi Pengukuran (ppm kurva)} = \frac{(\text{Absorbansi} - \text{Intercept})}{\text{Slope}}$$

$$\text{Konsentrasi Pengukuran (ppm kurva)} = \frac{(0.035 - (-0.002634041))}{0.001968708}$$

$$\text{Konsentrasi Pengukuran (ppm kurva)} = 19.116 \text{ ppm}$$

**Kadar C-Organik Sampel FR.1 (%)**

$$C - \text{organik}(\%) = \text{ppm kurva} \times \text{ml ekstrak } 1.000 \text{ ml}^{-1} \times 100 \text{ mg contoh}^{-1} \times fk$$

$$C - \text{organik}(\%) = 19.116 \text{ ppm} \times \left( \frac{100 \text{ ml}}{1.000 \text{ ml}} \right) \times \left( \frac{100}{506 \text{ mg}} \right) \times \left( \frac{100}{(100 - 23.62\%)} \right)$$

$$C - \text{organik}(\%) = 0.4946\%$$

**Kadar C-Organik FR(%)**

$$C - \text{organik}(\%) = \frac{(0.4946 + 1.2756 + 0.9805)\%}{3}$$

$$C - \text{organik}(\%) = 0.9169\%$$

**Kadar C-Organik FR (g/kg)**

$$\text{ppm} = (\%) \times 10.000$$

maka,

$$\text{C-Organik (ppm)} = 0.9169\% \times 10.000$$

$$\text{C-Organik (ppm)} = 9168.996 \text{ ppm}$$

$$1 \text{ ppm} = 0.001 \text{ g/kg}$$

maka,

$$\text{C-Organik (g/kg)} = \text{ppm} \times 0.001 \text{ g/kg}$$

$$\text{C-Organik (g/kg)} = 9168.996 \text{ ppm} \times 0.001 \text{ g/kg}$$

$$\text{C-Organik (g/kg)} = 9.169 \text{ g/kg} \approx 9.17 \text{ g/kg}$$

### Standard Error

Tabel 5 Standard Error Pengujian C-Organik Sampel FR

Sampel	
FR.1	4.9461
FR.2	12.7561
FR.3	9.8047
<b>Standar Deviasi, <math>\sigma</math></b>	<b>3.219951</b>
<b>Jumlah Data, n</b>	<b>3</b>
<b>Standard Error, SE</b>	<b>1.86</b>

$$\text{Standard Error, SE} = \frac{\text{Standar Deviasi, } \sigma}{\sqrt{n}}$$

### c) Nitrogen Total

#### Sampel Sampel Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW)

Tabel 6 Hasil Pengukuran Sampel Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW)

Sampel	Berat (gram)	Vol. Titrasi (mL)	Vol. Blanko (mL)	Kadar N Total (%)	Kadar N Total (g/kg)
BRUW.1	1.0192	0.6	0.2	0.9005	
BRUW.2	1.0129	0.6	0.2	0.9061	
BRUW.3	1.0151	1.0	0.2	1.8084	
<b>Rerata</b>				1.2050	12.05

Sampel BRUW.1

Diketahui:

Berat Sampel = 1.0192 gram = 1019.2 mg

Volume Titrasi = 0.6 mL

Volume Blanko = 0.2 mL

Normalitas H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 0.25 N

Kadar Air (%) = 6.56%

Penyelesaian:

#### **Nitrogen Total Sampel BRUW.1**

*Kadar Nitrogen (%) = (Vc - Vb) × N × bst N × 100/mg bobot contoh × fk*

*Kadar Nitrogen (%) = (0.6mL - 0.2mL) × 0.25N × 14 ×  $\frac{100}{1019.2}$  ×  $\left(\frac{100}{(100 - 6.56\%)}\right)$*

*Kadar Nitrogen (%) = 0.9005%*

#### **Kadar N Total BRUW(%)**

*Kadar Nitrogen (%) =  $\frac{(0.9005 + 0.9061 + 1.8084)\%}{3}$*

*Kadar Nitrogen (%) = 1.2050%*

#### **Kadar N Total BRUW (g/kg)**

ppm = (%) × 10.000

maka,

N Total (ppm) = 1.2050% × 10.000

N Total (ppm) = 12,050.1302 ppm

1 ppm = 0.001 g/kg

maka,

N Total (g/kg) = ppm × 0.001 g/kg

N Total (g/kg) = 12,050.1302 ppm × 0.001 g/kg

$$N \text{ Total (g/kg)} = 12.0501 \text{ g/kg} \approx 12.05 \text{ g/kg}$$

### Standard Error

Tabel 7 Standard Error Pengujian N-Total Sampel BRUW

Sampel	
BRUW.1	9.0054
BRUW.2	9.0614
BRUW.3	18.0836
<b>Standar Deviasi, <math>\sigma</math></b>	<b>4.266342</b>
<b>Jumlah Data, n</b>	<b>3</b>
<b>Standard Error, SE</b>	<b>5.85</b>

$$\text{Standard Error, SE} = \frac{\text{Standar Deviasi, } \sigma}{\sqrt{n}}$$

### Sampel Tanah Hutan (FR)

Tabel 8 Hasil Pengukuran Sampel Tanah Hutan (FR)

Sampel	Berat (gram)	Vol. Titrasi (mL)	Vol. Blanko (mL)	Kadar N Total (%)	Kadar N Total (g/kg)
FR.1	1.0036	0.6	0.2	3.2948	
FR.2	1.0121	0.9	0.2	5.7176	
FR.3	1.0237	0.7	0.2	4.0377	
<b>Rerata</b>				4.3500	43.5004

#### Sampel FR.1

Diketahui:

Berat Sampel = 1.0036 gram = 1003.6 mg

Volume Titrasi = 0.6 mL

Volume Blanko = 0.2 mL

Normalitas H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 0.25 N

Kadar Air (%) = 23.62%

Penyelesaian:

### Nitrogen Total Sampel FR.1

$$\text{Kadar Nitrogen (\%)} = (Vc - Vb) \times N \times bst N \times 100 / mg \text{ bobot contoh} \times fk$$

$$\text{Kadar Nitrogen (\%)} = (0.6mL - 0.2mL) \times 0.25N \times 14 \times \frac{100}{1019.2} \times \left( \frac{100}{(100 - 23.62\%)} \right)$$

$$\text{Kadar Nitrogen (\%)} = 3.2948\%$$

### Kadar N Total FR (%)

$$\text{Kadar Nitrogen (\%)} = \frac{(3.2948 + 5.7176 + 4.0377)\%}{3}$$

$$\text{Kadar Nitrogen (\%)} = 4.3500\%$$

### Kadar N Total FR (g/kg)

$$\text{ppm} = (\%) \times 10.000$$

maka,

$$\text{N Total (ppm)} = 4.3500\% \times 10.000$$

$$\text{N Total (ppm)} = 43,500.3581 \text{ ppm}$$

$$1 \text{ ppm} = 0.001 \text{ g/kg}$$

maka,

$$\text{N Total (g/kg)} = \text{ppm} \times 0.001 \text{ g/kg}$$

$$\text{N Total (g/kg)} = 43,500.3581 \text{ ppm} \times 0.001 \text{ g/kg}$$

$$\text{N Total (g/kg)} = 43.5004 \text{ g/kg} \approx 43.50 \text{ g/kg}$$

### Standard Error

Tabel 9 Standard Error Pengujian N-Total Sampel FR

Sampel	
FR.1	32.9485
FR.2	57.1756
FR.3	40.3770

<b>Standar Deviasi, <math>\sigma</math></b>	<b>10.134269</b>
<b>Jumlah Data, n</b>	<b>3</b>
<b>Standar Error, SE</b>	<b>5.85</b>

$$\text{Standard Error, } SE = \frac{\text{Standar Deviasi, } \sigma}{\sqrt{n}}$$

**d) Rasio C/N**

Tabel 10 Rasio C/N Sampel Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW) dan Tanah Hutan (FR)

<b>Sampel</b>	<b>C (g/kg)</b>	<b>N (g/kg)</b>	<b>Rasio C/N</b>
BRUW	1.24	12.05	0.10
FR	9.17	43.50	0.21

**Rasio C/N BRUW**

$$\text{Rasio C/N} = \frac{1.24}{12.05}$$

$$\text{Rasio C/N} = 0.10$$

**Standard Error**

Tabel 11 Standard Error Rasio C/N Sampel BRUW

<b>Sampel</b>	
BRUW.1	0.1170
BRUW.2	0.2385
BRUW.3	0.0276
<b>Standar Deviasi, <math>\sigma</math></b>	<b>0.086416</b>
<b>Jumlah Data, n</b>	<b>3</b>
<b>Standard Error, SE</b>	<b>0.05</b>

$$\text{Standard Error, } SE = \frac{\text{Standar Deviasi, } \sigma}{\sqrt{n}}$$

**Rasio C/N FR**

$$\text{Rasio } C/N = \frac{9.17}{43.50}$$

$$\text{Rasio } C/N = 0.21$$

### Standard Error

Tabel 12 Standard Error Rasio C/N Sampel FR

Sampel	
FR.1	0.1501
FR.2	0.2231
FR.3	0.2428
<b>Standar Deviasi, <math>\sigma</math></b>	<b>0.039877</b>
<b>Jumlah Data, n</b>	<b>3</b>
<b>Standar Error, SE</b>	<b>0.02</b>

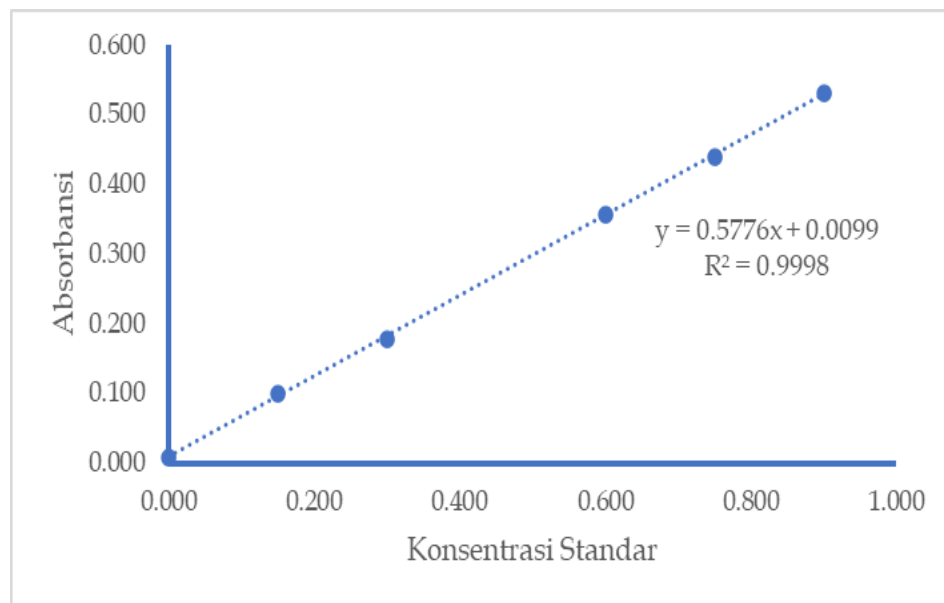
$$\text{Standard Error, } SE = \frac{\text{Standar Deviasi, } \sigma}{\sqrt{n}}$$

### e) P Tersedia

Tabel 13 Data Kurva Standar P

Sampel	Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
Standar 1	0.000	0.010
Standar 2	0.150	0.100
Standar 3	0.300	0.179
Standar 5	0.600	0.357
Standar 6	0.750	0.441
Standar 7	0.900	0.532
<b>Slope</b>		<b>0.577619048</b>
<b>Intercept</b>		<b>0.009904762</b>





Gambar 2 Kurva Standar P

**Sampel Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW)**

Tabel 14 Hasil Pengukuran Sampel Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW)

Sampel	Berat (gram)	Absorbansi	Konsentrasi	Kadar P Tersedia (mg/100g)	Kadar P Tersedia (g/kg)
BRUW.1	2.0086	0.203	0.3343	66.5564	
BRUW.2	2.0166	0.105	0.1646	32.6475	
BRUW.3	2.0702	0.255	0.4243	81.9661	
<b>Rerata</b>				60.3900	0.60

Sampel BRUW.1

Diketahui:

Berat Sampel = 2.0086 gram = 2008.6 mg

Absorbansi = 0.203

Kadar Air (%) = 6.56%

Faktor Pengenceran = 500x

Penyelesaian:

**Mencari Konsentrasi Pengukuran atau ppm kurva**

$$\text{Konsentrasi Pengukuran (ppm kurva)} = \frac{(\text{Absorbansi} - \text{Intercept})}{\text{Slope}}$$

$$\text{Konsentrasi Pengukuran (ppm kurva)} = \frac{(0.203 - 0.009904762)}{0.577619048}$$

$$\text{Konsentrasi Pengukuran (ppm kurva)} = 0.3343 \text{ ppm}$$

**Kadar P Potensial Sampel BRUW.1 (mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 100 g<sup>-1</sup>)**

$$\text{Kadar P Potensial (mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100g}^{-1})$$

$$= \text{ppm kurva} \times (\text{ml ekstrak}/1.000 \text{ mL}) \times 100 \text{ g (g contoh}^{-1}) \times fp$$

$$\times (142/190) \times fk$$

$$\text{Kadar P Potensial (mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100g}^{-1})$$

$$= 0.3343 \text{ ppm} \times \left(\frac{10 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}}\right) \times \left(\frac{100 \text{ gram}}{2.0086 \text{ gram}}\right) \times 500 \times (142/190)$$

$$\times \left(\frac{100}{(100 - 6.56\%)}\right)$$

$$\text{Kadar P Potensial (mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100g}^{-1}) = 66.56 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100g}^{-1}$$

**Kadar P Potensial BRUW (mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 100 g<sup>-1</sup>)**

$$\text{Kadar P Potensial (mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100g}^{-1}) = \frac{(66.56 + 32.65 + 81.97) \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100g}^{-1}}{3}$$

$$\text{Kadar P Potensial (mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100g}^{-1}) = 60.39 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100g}^{-1}$$

**Kadar P Potensial (g/kg)**

$$1 \text{ mg}/100\text{g} = 0.001 \text{ g}/100\text{g}$$

maka,

$$\text{P Tersedia (g}/100 \text{ g)} = \text{mg}/100\text{g} \times 0.001 \text{ g}/100\text{g}$$

$$\text{P Tersedia (g}/100 \text{ g)} = 60.39 \text{ mg}/100\text{g} \times 0.001 \text{ g}/100\text{g}$$

$$\text{P Tersedia (g}/100 \text{ g)} = 0.06039 \text{ g}/100\text{g}$$

$$1 \text{ g}/100\text{g} = 10 \text{ g}/\text{kg}$$

maka,

$$\text{P Tersedia (g}/\text{kg)} = 0.06039 \text{ g}/100\text{g} \times 10 \text{ g}/\text{kg}$$

$$P \text{ Tersedia (g/kg)} = 0.6039 \text{ g/kg} \approx 0.60 \text{ g/kg}$$

### Standard Error

Tabel 15 Standard Error Pengujian P Tersedia Sampel BRUW

Sampel	
BRUW.1	0.6656
BRUW.2	0.3265
BRUW.3	0.8197
<b>Standar Deviasi, <math>\sigma</math></b>	<b>0.206009</b>
<b>Jumlah Data, n</b>	<b>3</b>
<b>Standard Error, SE</b>	<b>0.12</b>

$$\text{Standard Error, SE} = \frac{\text{Standar Deviasi, } \sigma}{\sqrt{n}}$$

### Sampel Tanah Hutan (FR)

Tabel 16 Hasil Pengukuran Sampel Tanah Hutan (FR)

Sampel	Berat (gram)	Absorbansi	Konsentrasi	Kadar P Tersedia (mg/100g)	Kadar P Tersedia (g/kg)
FR.1	2.0347	0.108	0.1698	40.83	
FR.2	2.0134	0.129	0.2062	50.10	
FR.3	2.0334	0.111	0.1750	42.11	
<b>Rerata</b>				44.3485	0.44

Sampel FR.1

Diketahui:

Berat Sampel = 2.0347 gram = 2034.7 mg

Absorbansi = 0.108

Kadar Air (%) = 23.62%

Faktor Pengenceran = 500x

Penyelesaian:

**Mencari Konsentrasi Pengukuran atau ppm kurva**

$$\text{Konsentrasi Pengukuran (ppm kurva)} = \frac{(\text{Absorbansi} - \text{Intercept})}{\text{Slope}}$$

$$\text{Konsentrasi Pengukuran (ppm kurva)} = \frac{(0.108 - 0.009904762)}{0.577619048}$$

$$\text{Konsentrasi Pengukuran (ppm kurva)} = 0.1698 \text{ ppm}$$

**Kadar P Potensial Sampel FR.1 (mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 100 g<sup>-1</sup>)**

$$\begin{aligned} \text{Kadar P Potensial (mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100g}^{-1}) &= \text{ppm kurva} \times (\text{ml ekstrak}/1.000 \text{ mL}) \times 100 \text{ g (g contoh}^{-1}) \times fp \\ &\times (142/190) \times fk \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar P Potensial (mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100g}^{-1}) &= 0.1698 \text{ ppm} \times \left(\frac{10 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}}\right) \times \left(\frac{100 \text{ gram}}{2.0347 \text{ gram}}\right) \times 500 \times (142/190) \\ &\times \left(\frac{100}{(100 - 23.62\%)}\right) \end{aligned}$$

$$\text{Kadar P Potensial (mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100g}^{-1}) = 40.83 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100g}^{-1}$$

**Kadar P Potensial FR (mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 100 g<sup>-1</sup>)**

$$\text{Kadar P Potensial (mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100g}^{-1}) = \frac{(40.83 + 50.10 + 42.11) \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100g}^{-1}}{3}$$

$$\text{Kadar P Potensial (mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100g}^{-1}) = 44.35 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100g}^{-1}$$

**Kadar P Potensial (g/kg)**

$$1 \text{ mg}/100\text{g} = 0.001 \text{ g}/100\text{g}$$

maka,

$$\text{P Tersedia (g}/100 \text{ g)} = \text{mg}/100\text{g} \times 0.001 \text{ g}/100\text{g}$$

$$\text{P Tersedia (g}/100 \text{ g)} = 44.35 \text{ mg}/100\text{g} \times 0.001 \text{ g}/100\text{g}$$

$$\text{P Tersedia (g}/100 \text{ g)} = 0.04435 \text{ g}/100\text{g}$$

$$1 \text{ g}/100\text{g} = 10 \text{ g}/\text{kg}$$

maka,

$$\text{P Tersedia (g}/\text{kg)} = 0.04435 \text{ g}/100\text{g} \times 10 \text{ g}/\text{kg}$$

$$P \text{ Tersedia (g/kg)} = 0.4435 \text{ g/kg} \approx 0.44 \text{ g/kg}$$

### Standard Error

Tabel 17 Standard Error Pengujian P Tersedia Sampel FR

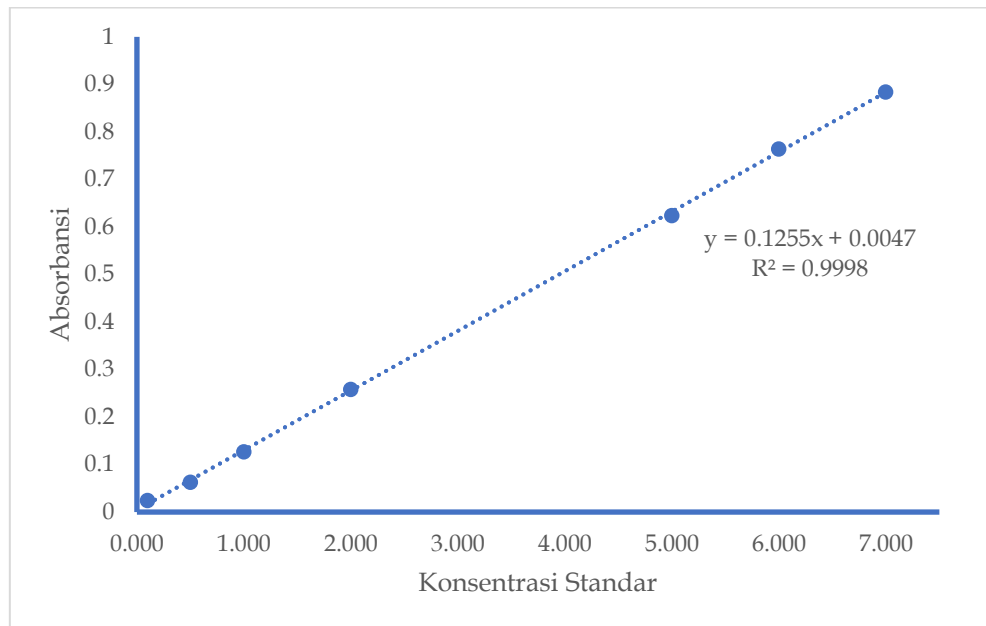
Sampel	
FR.1	0.4083
FR.2	0.5010
FR.3	0.4211
<b>Standar Deviasi, <math>\sigma</math></b>	<b>0.041007</b>
<b>Jumlah Data, n</b>	<b>3</b>
<b>Standard Error, SE</b>	<b>0.02</b>

$$\text{Standard Error, SE} = \frac{\text{Standar Deviasi, } \sigma}{\sqrt{n}}$$

### f) K Tersedia

Tabel 18 Data Kurva Standar K

Sampel	Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
Standar 1	0.100	0.024
Standar 2	0.500	0.063
Standar 3	1.000	0.127
Standar 4	2.000	0.258
Standar 5	5.000	0.624
Standar 6	6.000	0.764
Standar 7	7.000	0.884
<b>Slope</b>		<b>0.125527244</b>
<b>Intercept</b>		<b>0.00465879</b>



Gambar 3 Kurva Standar K

### **Sampel Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW)**

Tabel 19 Hasil Pengukuran Sampel Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW)

<b>Sampel</b>	<b>Berat (gram)</b>	<b>Absorbansi</b>	<b>Konsentrasi</b>	<b>Kadar K Tersedia (mg/100g)</b>	<b>Kadar K Tersedia (g/kg)</b>
BRUW.1	2.0086	0.0095	0.386	123.82	
BRUW.2	2.0166	0.0068	0.0171	54.54	
BRUW.3	2.0702	0.0086	0.0314	97.80	
<b>Rerata</b>				92.0527	0.92

#### Sampel BRUW.1

Diketahui:

Berat Sampel = 2.0086 gram = 2008.6 mg

Absorbansi = 0.0095

Kadar Air (%) = 6.56%

Faktor Pengenceran = 5000x

Penyelesaian:

**Mencari Konsentrasi Pengukuran atau ppm kurva**

$$\text{Konsentrasi Pengukuran (ppm kurva)} = \frac{(\text{Absorbansi} - \text{Intercept})}{\text{Slope}}$$

$$\text{Konsentrasi Pengukuran (ppm kurva)} = \frac{(0.0095 - 0.00465879)}{0.12552744}$$

$$\text{Konsentrasi Pengukuran (ppm kurva)} = 0.0386 \text{ ppm}$$

**Kadar K Potensial (mg K<sub>2</sub>O 100 g<sup>-1</sup>)**

$$\text{Kadar K Potensial (mg K}_2\text{O 100g}^{-1})$$

$$= \text{ppm kurva} \times (\text{ml ekstrak}/1.000 \text{ mL}) \times 100 \text{ g (g contoh}^{-1}) \times fp \\ \times (94/78) \times fk$$

$$\text{Kadar K Potensial (mg K}_2\text{O 100g}^{-1})$$

$$= 0.0386 \text{ ppm} \times \left(\frac{10 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}}\right) \times \left(\frac{100 \text{ gram}}{2.0086 \text{ gram}}\right) \times 5000 \times (94/78) \\ \times \left(\frac{100}{(100 - 6.56\%)}\right)$$

$$\text{Kadar K Potensial (mg K}_2\text{O 100g}^{-1}) = 123.82 \text{ mg K}_2\text{O 100g}^{-1}$$

**Kadar K Potensial BRUW (mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 100 g<sup>-1</sup>)**

$$\text{Kadar K Potensial (mg K}_2\text{O 100g}^{-1}) = \frac{(123.82 + 54.54 + 97.80) \text{ mg K}_2\text{O 100g}^{-1}}{3}$$

$$\text{Kadar K Potensial (mg K}_2\text{O 100g}^{-1}) = 92.0527 \text{ mg K}_2\text{O 100g}^{-1}$$

**Kadar K Potensial (g/kg)**

$$1 \text{ mg}/100\text{g} = 0.001 \text{ g}/100\text{g}$$

maka,

$$\text{K Tersedia (g}/100 \text{ g)} = \text{mg}/100\text{g} \times 0.001 \text{ g}/100\text{g}$$

$$\text{K Tersedia (g}/100 \text{ g)} = 92.0527 \text{ mg}/100\text{g} \times 0.001 \text{ g}/100\text{g}$$

$$\text{K Tersedia (g}/100 \text{ g)} = 0.09205 \text{ g}/100\text{g}$$

$$1 \text{ g}/100\text{g} = 10 \text{ g}/\text{kg}$$

maka,

$$\text{K Tersedia (g}/\text{kg)} = 0.09205 \text{ g}/100\text{g} \times 10 \text{ g}/\text{kg}$$

$$K \text{ Tersedia (g/kg)} = 0.9205 \text{ g/kg} \approx 0.92 \text{ g/kg}$$

### Standard Error

Tabel 20 Standard Error Pengujian K Tersedia Sampel BRUW

Sampel	
BRUW.1	1.2382
BRUW.2	0.5454
BRUW.3	0.9780
<b>Standar Deviasi, <math>\sigma</math></b>	<b>0.285699</b>
<b>Jumlah Data, n</b>	<b>3</b>
<b>Standard Error, SE</b>	<b>0.16</b>

$$\text{Standard Error, SE} = \frac{\text{Standar Deviasi, } \sigma}{\sqrt{n}}$$

### Sampel Tanah Hutan (FR)

Tabel 21 Hasil Pengukuran Sampel Tanah Hutan (FR)

Sampel	Berat (gram)	Absorbansi	Konsentrasi	Kadar P Tersedia (mg/100g)	Kadar P Tersedia (g/kg)
FR.1	2.0347	0.0061	0.0115	44.52	
FR.2	2.0134	0.0105	0.0465	182.33	
FR.3	2.0334	0.0056	0.0075	29.09	
<b>Rerata</b>				85.3113	0.85

Sampel FR.1

Diketahui:

$$\text{Berat Sampel} = 2.0347 \text{ gram} = 2034.7 \text{ mg}$$

$$\text{Absorbansi} = 0.0061$$

$$\text{Kadar Air (\%)} = 23.62\%$$

$$\text{Faktor Pengenceran} = 5000x$$



Penyelesaian:

**Mencari Konsentrasi Pengukuran atau ppm kurva**

$$\text{Konsentrasi Pengukuran (ppm kurva)} = \frac{(\text{Absorbansi} - \text{Intercept})}{\text{Slope}}$$

$$\text{Konsentrasi Pengukuran (ppm kurva)} = \frac{(0.0061 - 0.00465879)}{0.12552744}$$

$$\text{Konsentrasi Pengukuran (ppm kurva)} = 0.0115 \text{ ppm}$$

**Kadar K Potensial FR.1 (mg K<sub>2</sub>O 100 g<sup>-1</sup>)**

$$\text{Kadar K Potensial (mg K}_2\text{O 100g}^{-1})$$

$$= \text{ppm kurva} \times (\text{ml ekstrak}/1.000 \text{ mL}) \times 100 \text{ g (g contoh}^{-1}) \times fp \\ \times (94/78) \times fk$$

$$\text{Kadar K Potensial (mg K}_2\text{O 100g}^{-1})$$

$$= 0.0115 \text{ ppm} \times \left(\frac{10 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}}\right) \times \left(\frac{100 \text{ gram}}{2.0347 \text{ gram}}\right) \times 5000 \times (94/78) \\ \times \left(\frac{100}{(100 - 23.62\%)}\right)$$

$$\text{Kadar K Potensial (mg K}_2\text{O 100g}^{-1}) = 44.52 \text{ mg K}_2\text{O 100g}^{-1}$$

**Kadar K Potensial BRUW (mg K<sub>2</sub>O 100 g<sup>-1</sup>)**

$$\text{Kadar K Potensial (mg K}_2\text{O 100g}^{-1}) = \frac{(44.52 + 182.33 + 29.09) \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100g}^{-1}}{3}$$

$$\text{Kadar K Potensial (mg K}_2\text{O 100g}^{-1}) = 85.3113 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100g}^{-1}$$

**Kadar K Potensial (g/kg)**

$$1 \text{ mg}/100\text{g} = 0.001 \text{ g}/100\text{g}$$

maka,

$$\text{K Tersedia (g}/100 \text{ g)} = \text{mg}/100\text{g} \times 0.001 \text{ g}/100\text{g}$$

$$\text{K Tersedia (g}/100 \text{ g)} = 85.3113 \text{ mg}/100\text{g} \times 0.001 \text{ g}/100\text{g}$$

$$\text{K Tersedia (g}/100 \text{ g)} = 0.08531 \text{ g}/100\text{g}$$

$$1 \text{ g}/100\text{g} = 10 \text{ g}/\text{kg}$$

maka,

$$\text{K Tersedia (g}/\text{kg)} = 0.08531 \text{ g}/100\text{g} \times 10 \text{ g}/\text{kg}$$

$$\text{K Tersedia (g}/\text{kg)} = 0.8531 \text{ g}/\text{kg} \approx 0.85 \text{ g}/\text{kg}$$

### Standard Error

Tabel 22 Standard Error Pengujian K Tersedia Sampel FR

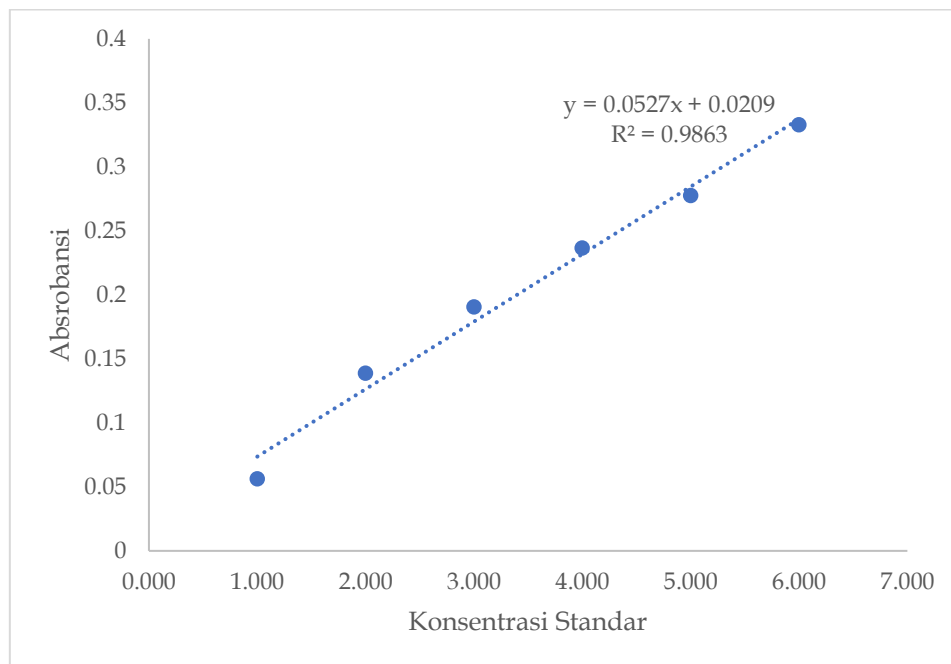
Sampel	
FR.1	0.4452
FR.2	1.8233
FR.3	0.2909
<b>Standar Deviasi, <math>\sigma</math></b>	<b>0.688900</b>
<b>Jumlah Data, n</b>	<b>3</b>
<b>Standard Error, SE</b>	<b>0.4</b>

$$\text{Standard Error, SE} = \frac{\text{Standar Deviasi, } \sigma}{\sqrt{n}}$$

### g) Fe Tersedia

Tabel 23 Data Kurva Standar Fe

Sampel	Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
Standar 2	1.000	0.0563
Standar 3	2.000	0.1387
Standar 4	3.000	0.1906
Standar 4	4.000	0.2367
Standar 5	5.000	0.2775
Standar 6	6.000	0.3329
<b>Slope</b>		<b>0.052728571</b>
<b>Intercept</b>		<b>0.0209</b>



Gambar 4 Kurva Standar Fe

### Sampel Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW)

Tabel 24 Hasil Pengukuran Sampel Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW)

Sampel	Berat (gram)	Absorbansi	Konsentrasi	Kadar Fe Tersedia (mg/100g)	Kadar Fe (g/kg)
BRUW.1	2.0086	0.0366	0.2978	6,169.27	
BRUW.2	2.0166	0.0688	0.9084	18,747.51	
BRUW.3	2.0702	0.0404	0.3698	7,434.47	
<b>Rerata</b>				10,783.75	107.84

#### Sampel BRUW.1

Diketahui:

Berat Sampel = 2.0086gram = 203.18 mg

Absorbansi = 0.0366

Kadar Air (%) = 6.56%

Faktor Pengenceran = 50000x

Penyelesaian:

**Mencari Konsentrasi Pengukuran atau ppm kurva**

$$\text{Konsentrasi Pengukuran (ppm kurva)} = \frac{(\text{Absorbansi} - \text{Intercept})}{\text{Slope}}$$

$$\text{Konsentrasi Pengukuran (ppm kurva)} = \frac{(0.0366 - 0.0209)}{0.052728571}$$

$$\text{Konsentrasi Pengukuran (ppm kurva)} = 0.2978 \text{ ppm}$$

**Kadar Fe Tersedia (mg FeO/100 g<sup>-1</sup>)**

$$\text{Kadar Fe Tersedia (mg FeO } 100\text{g}^{-1})$$

$$= \text{ppm kurva} \times (\text{ml ekstrak}/1.000 \text{ mL}) \times 100 \text{ g (g contoh}^{-1}) \times fp$$

$$\times (56/72) \times fk$$

$$\text{Kadar Fe Tersedia (mg FeO } 100\text{g}^{-1})$$

$$= 0.2978 \text{ ppm} \times \left(\frac{10 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}}\right) \times \left(\frac{100 \text{ gram}}{2.0086 \text{ gram}}\right) \times 50000 \times \left(\frac{56}{72}\right)$$

$$\times \left(\frac{100}{(100 - 6.56\%)}\right)$$

$$\text{Kadar Fe Tersedia (mg FeO } 100\text{g}^{-1}) = 6,169.27 \text{ mg FeO } 100\text{g}^{-1}$$

**Kadar Fe Tersedia BRUW (mg FeO 100g<sup>-1</sup>)**

$$\text{Kadar Fe Tersedia (mg FeO } 100\text{g}^{-1})$$

$$= \frac{(6,169.27 + 18,747.51 + 7,434.47) \text{ mg FeO } 100\text{g}^{-1}}{3}$$

$$\text{Kadar Fe Tersedia (mg FeO } 100\text{g}^{-1}) = 10,783.75 \text{ mg FeO } 100\text{g}^{-1}$$

**Kadar Fe Tersedia (g/kg)**

$$1 \text{ mg}/100\text{g} = 0.001 \text{ g}/100\text{g}$$

maka,

$$\text{Fe Tersedia (g}/100 \text{ g)} = \text{mg}/100\text{g} \times 0.001 \text{ g}/100\text{g}$$

$$\text{Fe Tersedia (g}/100 \text{ g)} = 10,785.75 \text{ mg}/100\text{g} \times 0.001 \text{ g}/100\text{g}$$

$$\text{Fe Tersedia (g}/100 \text{ g)} = 10.78375 \text{ g}/100\text{g}$$

$$1 \text{ g}/100\text{g} = 10 \text{ g}/\text{kg}$$

maka,

$$\text{Fe Tersedia (g/kg)} = 10.78375 \text{ g/100g} \times 10 \text{ g/kg}$$

$$\text{Fe Tersedia (g/kg)} = 107.84 \text{ g/kg}$$

### Standard Error

Tabel 25 Standard Error Pengujian Fe Tersedia Sampel BRUW

Sampel	
BRUW.1	61.6927
BRUW.2	187.4751
BRUW.3	74.3447
<b>Standar Deviasi, <math>\sigma</math></b>	<b>56.548656</b>
<b>Jumlah Data, n</b>	<b>3</b>
<b>Standard Error, SE</b>	<b>32.65</b>

$$\text{Standard Error, SE} = \frac{\text{Standar Deviasi, } \sigma}{\sqrt{n}}$$

### Sampel Tanah Hutan (FR)

Tabel 26 Hasil Pengukuran Sampel Tanah Hutan (FR)

Sampel	Berat (gram)	Absorbansi	Konsentrasi	Kadar Fe Tersedia (mg/100g)	Kadar Fe (g/kg)
FR.1	2.0347	0.0369	0.3034	6,206.51	
FR.2	2.0134	0.0318	0.2067	4,272.91	
FR.3	2.0334	0.0263	0.1024	2,096.04	
<b>Rerata</b>				4,191.82	41.92

Diketahui:

$$\text{Berat Sampel} = 2.0272 \text{ gram} = 202.72 \text{ mg}$$

$$\text{Absorbansi} = 0.0317$$

$$\text{Kadar Air (\%)} = 23.62\%$$

$$\text{Faktor Pengenceran} = 50000x$$

Penyelesaian:

**Mencari Konsentrasi Pengukuran atau ppm kurva**

$$\text{Konsentrasi Pengukuran (ppm kurva)} = \frac{(\text{Absorbansi} - \text{Intercept})}{\text{Slope}}$$

$$\text{Konsentrasi Pengukuran (ppm kurva)} = \frac{(0.0369 - 0.00465879)}{0.12552744}$$

$$\text{Konsentrasi Pengukuran (ppm kurva)} = 0.3034 \text{ ppm}$$

**Kadar Fe Tersedia (mg FeO/100 g<sup>-1</sup>)**

$$\text{Kadar Fe Tersedia (mg FeO } 100\text{g}^{-1})$$

$$= \text{ppm kurva} \times (\text{ml ekstrak}/1.000 \text{ mL}) \times 100 \text{ g (g contoh}^{-1}) \times fp$$

$$\times (56/72) \times fk$$

$$\text{Kadar Fe Tersedia (mg FeO } 100\text{g}^{-1})$$

$$= 0.3034 \text{ ppm} \times \left(\frac{10 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}}\right) \times \left(\frac{100 \text{ gram}}{2.0347 \text{ gram}}\right) \times 50000 \times \left(\frac{56}{72}\right)$$

$$\times \left(\frac{100}{(100 - 23.62\%)}\right)$$

$$\text{Kadar Fe Tersedia (mg FeO } 100\text{g}^{-1}) = 6,206.51 \text{ mg FeO } 100\text{g}^{-1}$$

**Kadar Fe Tersedia FR (mg FeO 100g<sup>-1</sup>)**

$$\text{Kadar Fe Tersedia (mg FeO } 100\text{g}^{-1})$$

$$= \frac{(6,206.51 + 4,272.91 + 2,096.04) \text{ mg FeO } 100\text{g}^{-1}}{3}$$

$$\text{Kadar Fe Tersedia (mg FeO } 100\text{g}^{-1}) = 4,191.82 \text{ mg FeO } 100\text{g}^{-1}$$

**Kadar Fe Tersedia (g/kg)**

$$1 \text{ mg}/100\text{g} = 0.001 \text{ g}/100\text{g}$$

maka,

$$\text{Fe Tersedia (g}/100 \text{ g)} = \text{mg}/100\text{g} \times 0.001 \text{ g}/100\text{g}$$

$$\text{Fe Tersedia (g}/100 \text{ g)} = 4,191.82 \text{ mg}/100\text{g} \times 0.001 \text{ g}/100\text{g}$$

$$\text{Fe Tersedia (g}/100 \text{ g)} = 4.19182 \text{ g}/100\text{g}$$

$$1 \text{ g}/100\text{g} = 10 \text{ g}/\text{kg}$$

maka,

$$\text{Fe Tersedia (g/kg)} = 4.19182 \text{ g/100g} \times 10 \text{ g/kg}$$

$$\text{Fe Tersedia (g/kg)} = 41.92 \text{ g/kg}$$

### Standard Error

Tabel 27 Standard Error Pengujian Fe Tersedia Sampel FR

Sampel	
FR.1	62.0651
FR.2	42.7291
FR.3	20.9604
<b>Standar Deviasi, <math>\sigma</math></b>	<b>16.790731</b>
<b>Jumlah Data, n</b>	<b>3</b>
<b>Standard Error, SE</b>	<b>9.69</b>

$$\text{Standard Error, SE} = \frac{\text{Standar Deviasi, } \sigma}{\sqrt{n}}$$

### Lampiran 2 Perhitungan Nilai Total Plate Count (TPC)

Tabel 28 Jumlah Koloni Bakteri

Sampel	Kode	Pengenceran	Jumlah Koloni	Rata-Rata	TPC (CFU/mL)
BRUW	1	$10^{-5}$	10	11	$1.1 \times 10^6$
	2	$10^{-5}$	12		
	1	$10^{-6}$	2		
	2	$10^{-6}$	9		
	1	$10^{-7}$	1		
	2	$10^{-7}$	0		
FR	1	$10^{-6}$	0	13	$1.3 \times 10^9$
	2	$10^{-6}$	3		
	1	$10^{-7}$	0		
	2	$10^{-7}$	0		
	1	$10^{-8}$	13		

Sampel	Kode	Pengenceran	Jumlah Koloni	Rata-Rata	TPC (CFU/mL)
	2	$10^{-8}$	0		

### Nilai TPC Sampel Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW)

Jumlah koloni/petridish 30 – 300, jika tidak ada yang memenuhi maka pilih yang terdekat. Maka dari itu, nilai TPC yang digunakan adalah:

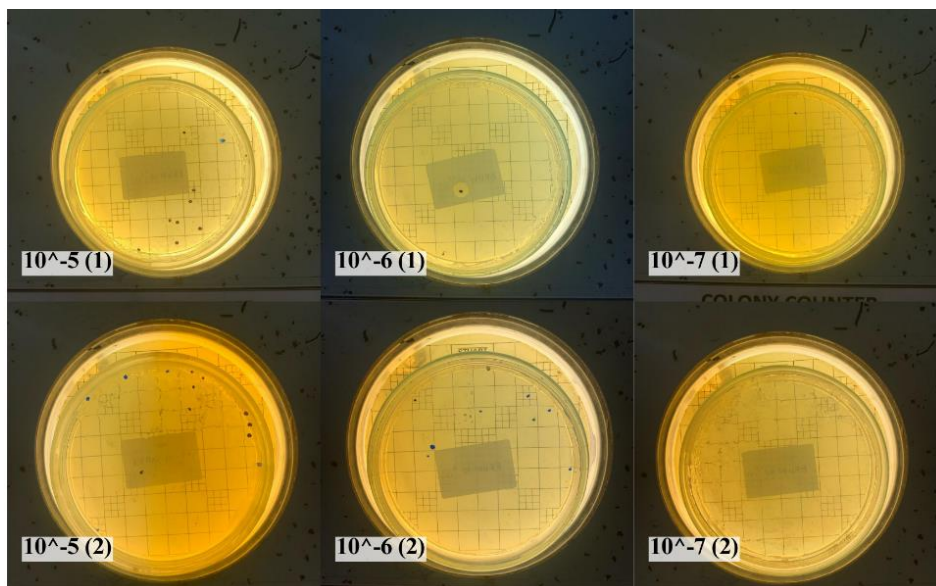
$$\begin{aligned} \text{Pengenceran } 10^{-5} &= 11 \times 10^5 \text{ CFU/mL} \\ &= 1.1 \times 10^6 \text{ CFU/mL} \end{aligned}$$

### Nilai TPC Sampel Tanah Hutan (FR)

Jumlah koloni/petridish 30 – 300, jika tidak ada yang memenuhi maka pilih yang terdekat. Maka dari itu, nilai TPC yang digunakan adalah:

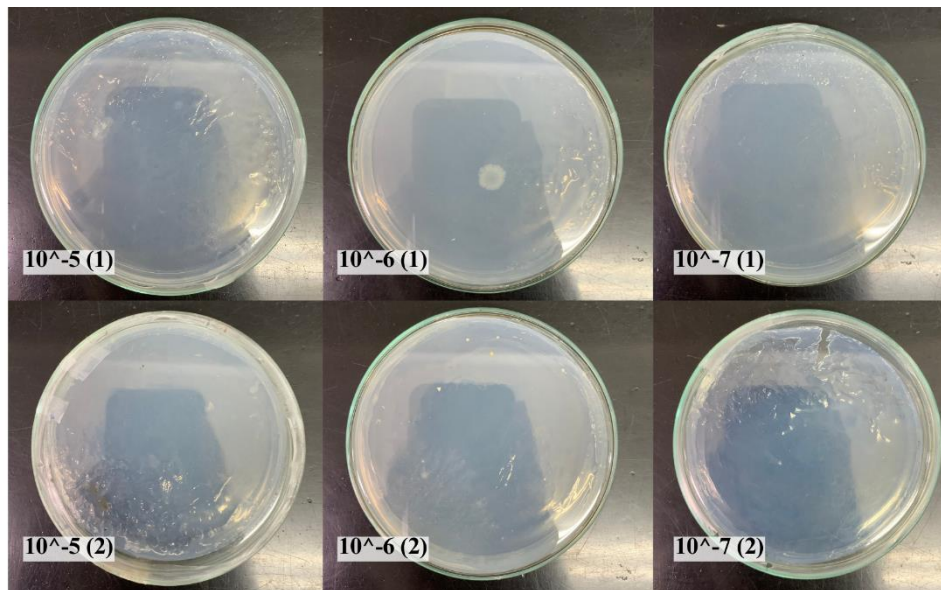
$$\begin{aligned} \text{Pengenceran } 10^{-8} &= 13 \times 10^8 \text{ CFU/mL} \\ &= 1.3 \times 10^9 \text{ CFU/mL} \end{aligned}$$

### Lampiran 3 Isolasi Bakteri menggunakan Metode *Pour Plate*

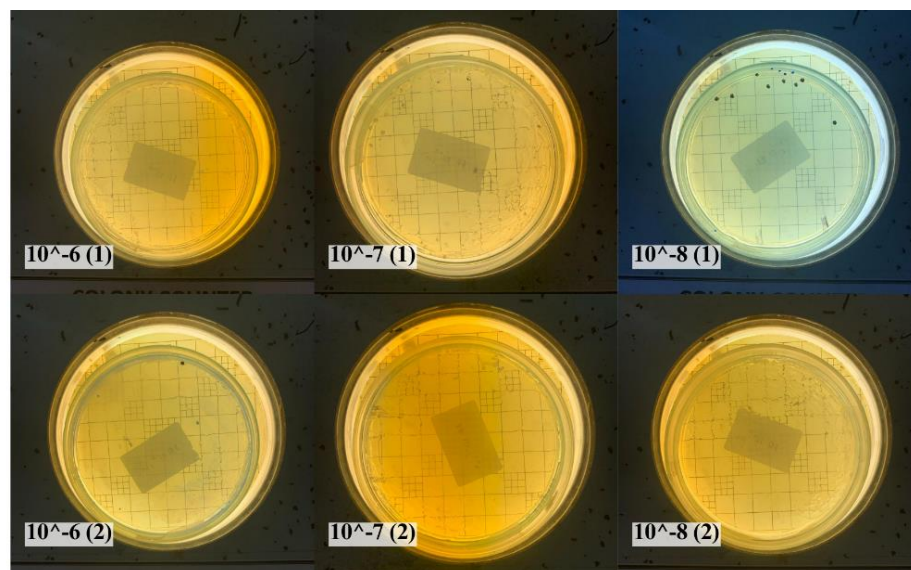


Isolasi Bakteri Sampel Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW)

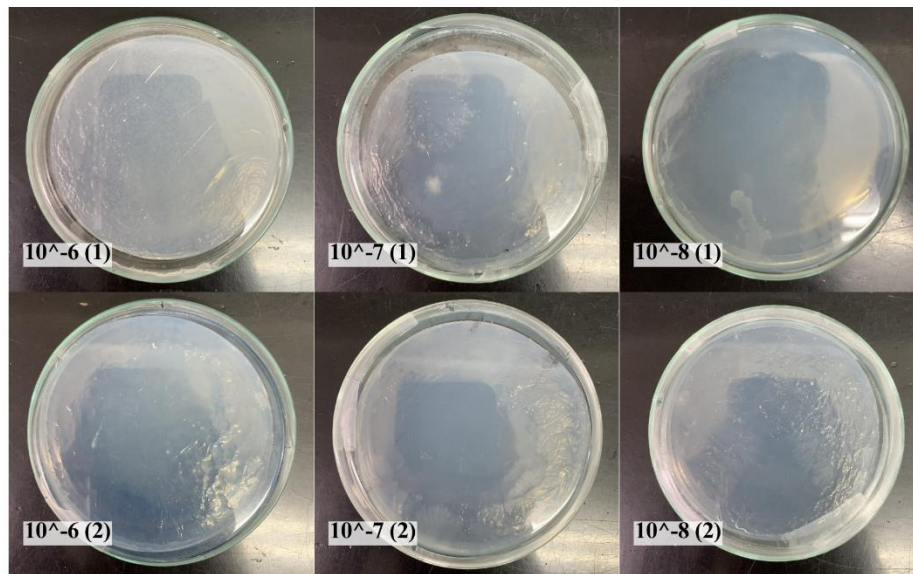




Isolasi Bakteri Sampel Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW)



Isolasi Bakteri Sampel Tanah Hutan (FR)



Isolasi Bakteri Sampel Tanah Hutan (FR)

#### Lampiran 4 Hasil Pengukuran Konsentrasi dan Kemurnian DNA

Tabel 29 Hasil Pengukuran Konsentrasi dan Kemurnian DNA pada Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW) dan Tanah Hutan (FR)

No.	Sampel	Nanodrop		
		Konsentrasi (ng/ $\mu$ L)	A <sub>260/280</sub>	A <sub>260/230</sub>
1	BRUW.1	6.3	2.09	0.43
2	BRUW.2	3.5	1.99	0.28
3	BRUW.3	8.4	1.89	0.36
4	FR.1	24.7	1.88	1.33
5	FR.2	24.4	1.99	0.77
6	FR.3	23.5	1.98	1.16

**Keterangan:**

BRUW.1 – BRUW.3 : Sampel Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun

FR.1 – FR.3 : Sampel Tanah Hutan

### Lampiran 5 Indeks Keragaman Bakteri

Tabel 30 Indeks Keragaman Bakteri pada Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW) dan Tanah Hutan (FR)

Sampel	Indeks Keragaman (Diversity Index)		
	Shannon	Inverse Simpson	ChaoI
BRUW.1	6.57404465989758	205.389765850298	6393.50462962963
BRUW.2	6.49773851166842	177.185691251044	6004.51751592357
BRUW.3	6.4610694112035	144.000898184593	6420.47535771065
FR.1	6.68774428813332	178.039112870277	7736.00432900433
FR.2	6.72639680053623	194.186639834199	7567.72206703911
FR.3	6.66709496633097	175.029040936833	7081.528

**Keterangan:**

BRUW.1 – BRUW.3 : Sampel Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun

FR.1 – FR.3 : Sampel Tanah Hutan

### Standard Error

Tabel 31 Standard Error Indeks Keragaman Bakteri Shannon pada Vulkanik Deposit Letusan Gunung Merapi Berusia 13 Tahun (BRUW)

Sampel	
BRUW 1	6.57404465989758
BRUW 2	6.49773851166842
BRUW 3	6.4610694112035
<b>Standar Deviasi, <math>\sigma</math></b>	<b>0.047059</b>
<b>Jumlah Data, n</b>	<b>3</b>
<b>Standard Error, SE</b>	<b>0.03</b>

$$\text{Standard Error, SE} = \frac{\text{Standar Deviasi, } \sigma}{\sqrt{n}}$$

## RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Bintang Ramadhan Prakasa lahir di Manna, 15 Desember 2001. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara pasangan Iskak Marjoko, S.P dan Meslen Haryanti, S.H. Adapun riwayat pendidikan penulis adalah TK Pertiwi 1 Bengkulu Selatan (2005 – 2008), SD Negeri 01 Bengkulu Selatan (2008 – 2014), SMP Negeri 1 Bengkulu Selatan (2014 – 2017), SMA Negeri 1 Bengkulu Selatan (2017 – 2020) dan Universitas Islam Indonesia Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (2020 – 2024).

Berikut beberapa kegiatan yang pernah diikuti penulis selama menempuh pendidikan, baik kegiatan akademik maupun non akademik yaitu:

1. Lembaga Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
2. Peserta Sekolah Mahasiswa Berprestasi Tingkat Universitas Islam Indonesia Tahun 2023 serta Finalis Mahasiswa Berprestasi Tingkat Universitas Islam Indonesia Tahun 2023.
3. Delegasi Universitas Islam Indonesia dalam Seleksi Regional Olimpiade Nasional Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (ONMIPA-PT) Bidang Kimia Tahun 2022.
4. Asisten Praktikum, Asisten Dosen dan Moderator dalam kegiatan kampus.
5. Kepanitiaan Kegiatan Kemahasiswaan di tingkat Universitas, Fakultas dan Program Studi.
6. Delegasi Provinsi Bengkulu dalam Forum Anak Nasional Tahun 2019 di Makassar, Sulawesi Selatan sebagai Duta Anak Kabupaten Bengkulu Selatan.