ISOLASI DAN IDENTIFIKASI KEANEKARAGAMAN BAKTERI PADA TEPHRA GUNUNG ANAK KRAKATAU PASCA ERUPSI DESEMBER 2018

(Skripsi)

Oleh

INDAH SELVIANA OKTAVIANI
NPM 1714181017

FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021

ISOLASI DAN IDENTIFIKASI KEANEKARAGAMAN BAKTERI PADA TEPHRA GUNUNG ANAK KRAKATAU PASCA ERUPSI DESEMBER 2018

Oleh

INDAH SELVIANA OKTAVIANI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA PERTANIAN

Pada

Jurusan Ilmu Tanah
Fakultas Pertanian Universitas Lampung

FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021

ABSTRACT

ISOLATION AND IDENTIFICATION OF BACTERIAL DIVERSITY ON TEPHRA MOUNTAIN ANAK KRAKATAU POST ERUPTION DECEMBER 2018

By

INDAH SELVIANA OKTAVIANI

The eruption of Mount Anak Krakatau (GAK) in December 2018 caused significant morphological changes and land damage in the form of deposition of new pyroclastic material and the destruction of all pioneer vegetation. Pyroclastic material (tephra) contains primary minerals that have a positive impact on the formation of soil fertility and biodiversity. This exploratory research aims to identify the population, diversity, and dominance of soil bacteria in GAK's tephra after the December 2018 eruption.

Sampling of GAK's tephra was carried out using toposquence on 4 different profiles and 19 samples were obtained. Isolation and calculation of the bacterial population used the Total Plate Count (TPC) method with three replications (triplo) in each dilution. Then, identification of bacterial morphology, purification of bacterial isolates, and testing of bacterial isolates in high temperature was performed.

The results showed that the total population of GAK's tephra bacteria was still low. In general, the total population of bacteria from the top layer to the bottom layer decreased. Meanwhile, in toposquence, the highest total bacterial population was found in profile 3 with 3.41 Log CFUg-1 and the lowest total bacterial population was found in profile 4 with 1.98 Log $CFUg^{-1}$. The level of diversity (H') of GAK's tephra bacteria is low, ranging from 0 – 0.92, means that the level of bacterial dominance is high (D = 0.5 – 1). The group of bacteria that dominates in tephra are thermophilic bacteria that are able to grow within the temperatures of 40°C and 45°C.

Keywords: dominance (D), diversity (H'), tephra GAK, total bacterial population ($CFUg^{-1}$).

ABSTRAK

ISOLASI DAN IDENTIFIKASI KEANEKARAGMAN BAKTERI PADA TEPHRA GUNUNG ANAK KRAKATAU PASCA ERUPSI DESEMBER 2018

Oleh

INDAH SELVIANA OKTAVIANI

Erupsi Gunung Anak Krakatau (GAK) pada Desember 2018 menyebabkan perubahan morfologi dan kerusakan lahan yang signifikan berupa pengendapan material piroklastik baru dan musnahnya seluruh vegetasi pionir. Material piroklastik (tephra) mengandung mineral primer yang berdampak positif bagi pembentukan kesuburan tanah dan keanekaragaman hayati. Penelitian eksplorasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi populasi, keanekaragaman, dan dominansi bakteri tanah pada tephra GAK pasca erupsi Desember 2018.

Pengambilan sampel tephra GAK dilakukan secara *toposquence* pada 4 profil berbeda dan diperoleh 19 sampel. Isolasi dan perhitungan populasi bakteri dilakukan dengan metode *Total Plate Count* (TPC) sebanyak tiga ulangan (triplo) pada setiap pengenceran. Selanjutnya, dilakukan identifikasi morfologi bakteri, pemurnian isolat bakteri, dan pengujian isolat bakteri pada suhu tinggi.

Hasil penelitian menunjukkan total populasi bakteri tephra GAK tergolong masih rendah. Secara umum total populasi bakteri dari lapisan atas ke lapisan bawah mengalami penurunan. Sedangkan, secara *toposquence* total populasi bakteri tertinggi terdapat pada profil 3 sebesar 3,41 Log $CFUg^{-1}$ dan total populasi bakteri terendah terdapat pada profil 4 sebesar 1,98 Log $CFUg^{-1}$. Tingkat keanekaragaman (H') bakteri tephra GAK tergolong rendah berkisar 0 – 0,92 sehingga, tingkat dominansi bakteri tergolong tinggi (D = 0,5 – 1). Kelompok bakteri yang mendominasi pada tephra yaitu bakteri termofilik yang mampu tumbuh pada cekaman suhu 40°C dan 45°C.

Kata kunci: dominansi (D), keanekaragaman (H'), tephra GAK, total populasi bakteri ($CFUg^{-1}$).

Judul Skripsi	: **ISOLASI DAN IDENTIFIKASI KEANEKARAGAMAN BAKTERI PADA TEPHRA GUNUNG ANAK KRAKATAU PASCA ERUPSI DESEMBER 2018**
Nama Mahasiswa	: ***Indah Selviana Oktaviani***
Nomor Pokok Mahasiswa	: **1714181017**
Jurusan	: **Ilmu Tanah**
Fakultas	: **Pertanian**

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Ainin Niswati, M.S., M.Agr.Sc.	**Dedy Prasetyo, S.P., M.Si.**
NIP 19630509 198703 2 001	NIP 19911221 201903 1 016

2. Ketua Jurusan Ilmu Tanah

Prof. Dr. Ir. Ainin Niswati, M.S., M.Agr.Sc.
NIP 19630509 198703 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Prof. Dr. Ir. Ainin Niswati, M.S., M.Agr.Sc.**

Sekretaris : **Dedy Prasetyo, S.P., M.Si.**

Anggota : **Prof. Dr . Ir. Sri Yusnaini, M.Si.**

2. Dekan Fakultas Pertanian

Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.
NIP 19611020 198603 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **10 November 2021**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **"Isolasi dan Identifikasi Keanekaragaman Bakteri pada Tephra Gunung Anak Krakatau Pasca Erupsi Desember 2018"** merupakan hasil karya sendiri dan bukan hasil karya orang lain.

Penelitian ini merupakan bagian dari Penelitian Hibah Skema Dosen Pemula DIPA BLU Universitas Lampung Tahun 2020 a.n Astriana Rahmi Setiawati, S.P., M.Si (Ketua), Septi Nurul Aini, S.P., M.Si. (Anggota), dan Prof. Dr. Ir. Jamalam Lumbanraja, M.Sc. (Anggota). Semua hasil yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung.

Apabila dikemudian hari ditemukan bahwa skripsi ini merupakan salinan atau karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 10 November 2021

Yang membuat pernyataan,

Indah Selviana Oktaviani

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Kabupaten Lampung Tengah, pada tanggal 12 Oktober 1999, sebagai anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Tukiman dan Ibu Supiyati.

Penulis menyelesaikan Pendidikan di Taman Kanak-kanak (TK) Pertiwi Mojopahit, Lampung Tengah pada tahun 2005, Madrasah Ibtidaiyah (Mi) An-nur Guppi Mojopahit pada tahun 2011, Madrasah Tsanawiyah (MTs) An-nur Guppi Mojopahit pada tahun 2014, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 1 Kotagajah pada tahun 2017.

Pada tahun 2012, Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lampung melalui jalur masuk Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menjadi mahasiswa, Penulis pernah menjadi asisten dosen praktikum Kimia Dasar (2018/2019), Dasar-dasar Ilmu Tanah (2019/2020), Stastistika (2019/2020 dan 2020/2021), Biologi Tanah (2020/2021), serta Teknologi Pengelolaan Agen Biologis Hara (2020/2021). Penulis pernah mengikuti Unit Kegiatan Mahasiswa Penelitian (UKMP) sebagai anggota Hubungan Luar dan Pengabdian Masyarakat (HLPM), Gabungan Mahasiswa Ilmu Tanah Unila (Gamatala) sebagai anggota Bidang 1 (Pendidikan

dan Pelatihan) dan pernah mengemban amanah sebagai Ketua Bidang 2 (Penelitian dan Pengembangan) pada himpunan tersebut (2019/2020).

Pada tahun 2019, Penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Pekon Balak, Kecamatan Batu Brak, Kabupaten Lampung Barat selama 60 hari. Kemudian di tahun yang sama juga penulis menjadi finalis dalam kegiatan Lomba Karya Tulis Ilmiah Nasional (LKTIN) yang diadakan di Universitas Brawijaya dan mengikuti kompetisi *Soil Judging Contest* yang diadakan di Institut Pertanian Bogor. Penulis pernah melakukan kegiatan Praktik Umum (PU) pada tahun 2020 di PKK Agropark Lampung, Lampung Selatan selama 30 hari. Selanjutnya, pada tahun 2020 juga Penulis pernah menerima pendanaan Program Kreativitas Mahasiswa Bidang Pengabdian Masyarakat (PKMM) dan Program Holistik Pembinaan dan Pemberdayaan Desa (PHP2D) dari Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia, dalam kegiatan tersebut penulis di amanahi sebagai Ketua Tim.

PERSEMBAHAN

اللهِ بِسْمِ الرَّحِيْمِ الرَّحْمَنِ

Dengan penuh rasa syukur dan atas ridho dari Allah SWT
saya persembahkan skripsi ini kepada :

Kedua orang tuaku tercinta Ibu Supiyati dan Bapak Tukiman
Adikku tersayang M. Daffa Pratama
Serta seluruh keluarga

Terimakasih atas semua doa dan dukungan yang terucap untuk kesuksesanku,
serta motivasi yang telah diberikan kepadaku selama ini

Serta

Almamater Tercinta
Ilmu Tanah
Fakultas Pertanian
Universitas Lampung

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat ALLAH SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "*Isolasi dan Identifikasi Keanekaragaman Bakteri Pada Tephra Gunung Anak Krakatau Pasca Erupsi Desember 2018*".

Pada kesempatan ini, dengan segenap rasa hormat, saya mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Prof. Dr. Ir. Ainin Niswati, M.S., M.Agr.Sc., selaku Ketua Jurusan Ilmu Tanah dan pembimbing utama atas bimbingan, nasehat, ilmu, dan motivasi selama penulis menjalankan proses penelitian sampai penulis menyelesaikan penulisan skripsi ini.
3. Dedy Prasetyo, S.P., M.Si., selaku pembimbing kedua, atas ide, bimbingan, ilmu, bantuan dan nasehat selama penulis menjalankan proses penelitian dari awal hingga akhir, sampai penulis menyelesaikan penulisan skripsi ini.
4. Prof. Dr. Ir. Sri Yusnaini, M.Si., selaku pembahas, atas segala masukan yang membangun dalam penulisan skripsi ini.
5. Prof. Ir. Jamalam Lumbanraja, Ph.D., Astriana Rahmi Setiawati, S.P., M.Sc., dan Septi Nurul Aini, S.P., M.Si selaku tim dosen penelitian Krakatau, atas segala ide, masukan, bantuan, dan motivasi selama penelitian hingga penyelesaian skripsi ini.
6. Ir. Sarno M.S., selaku Pembimbing Akademik atas bimbingan dan nasihat kepada penulis selama melaksanakan kegiatan perkuliahan.
7. Kedua orang tuaku tercinta Ibu Supiyati dan Bapak Tukiman. Adik ku M. Daffa Pratama, serta keluarga besar tercinta yang telah mencurahkan segala

cinta, kasih sayang, dukungan, serta do'a dan semangat yang tulus di sepanjang hidup Penulis.

8. Sahabatku, Dini Setia Efendi atas kesabaran, keceriaan, semangat, bantuan, motivasi serta do'a yang tulus sehingga penulisan skripsi ini berjalan dengan lancar.
9. Mbak Icak Deska Rani S.P., M.P dan Mbak Rizki Afriliyanti S.P atas bantuan dalam melakukan analisis di laboratorium.
10. Teman-teman satu tim penelitian Krakatau Meri Fitriani Saipul, Manarul Hidayat, Ananda Ika Kurnia, dan Nurul Auliana atas kerjasamanya dalam melaksanakan penelitian.
11. Teman-teman tercinta Ilmu Tanah 2017 dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang telah membantu, memberikan semangat, doa dan kebahagiaan kebersamaan selama perkuliahan hingga penyelesaian skripsi ini.
12. Almamaterku tercinta Universitas Lampung.

Akhir kata, Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, dan Penulis berharap semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat Amin.

Bandar Lampung, November 2021
Penulis

Indah Selviana Oktaviani

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR GAMBAR xv

DAFTAR TABEL xvi

I. PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Tujuan Penelitian 4
1.3 Kerangka Pemikiran 4

II. TINJAUAN PUSTAKA **7**
2.1 Karakteristik Material Vulkanik Terhadap Kesuburan Tanah 7
2.2 Keanekaragaman Bakteri Tanah Pasca Erupsi Gunung Berapi 8
2.3 Peran Organisme dalam Pedogenesis 10
2.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Bakteri Tanah 12
2.4.1 Suhu 13
2.4.2 Ph Tanah 13
2.4.3 Kelembapan Tanah 13
2.4.4 Ketersediaan Oksigen 13
2.4.5 Sumber Energi 14
2.5 Teknik Analisis Bakteri 14

III. METODE PENELITIAN **16**
3.1 Waktu dan Tempat 16
3.2 Bahan dan Alat 16
3.3 Metode Penelitian 16
3.4 Pelaksanaan Penelitian 17
3.4.1 Observasi dan Pengambilan Sampel Tephra Gunung Anak Krakatau 17
3.4.2 Isolasi Bakteri 19
3.4.3 Pemurnian Bakteri 20
3.4.4 Uji Lanjutan Isolat Bakteri 20
3.4.5 Identifikasi Keanekaragaman Bakteri 20
3.4.6 Variabel Pengamatan 22
3.4.6.1 Variabel Utama 22
3.4.6.2 Variabel Pendukung 24

3.4.7 Pengelolaan dan Analisis Data 26

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN 27
4.1 Hasil Penelitian
4.1.1 Populasi Bakteri Tephra Gunung Anak Krakatau Pasca Erupsi Desember 2018 27
4.1.2 Karakteristik Morfologi Isolat Bakteri Tephra Gunung Anak Krakatau Pasca Erupsi Desember 2018 28
4.1.3 Keanekaragaman dan Dominansi Populasi Bakteri Tephra Gunung Anak Krakatau Pasca Erupsi Desember 2018 31
4.1.4 Uji Termofilik Isolat Bakteri Gunung Anak Krakatau Pasca Erupsi Desember 2018 33
4.1.5 Morfologi, Sifat Fisika, dan Kimia Sampel Tephra Gunung Anak Krakatau Pasca Erupsi Desember 2018 34
4.2 Pembahasan 36

V. SIMPULAN DAN SARAN 46
5.1 Simpulan 46
5.2 Saran 46

DAFTAR PUSTAKA 47

LAMPIRAN 56
Tabel 7-8 60
Gambar 6-11 57

DAFTAR TABEL

Tabel Halaman

1. Pengambilan sampel tephra GAK pasca erupsi Desember 2018 18

2. Total populasi bakteri tephra GAK 27

3. Karakteristik morfologi isolat bakteri dari empat profil Tephra Gunung Anak Krakatau 30

4. Keanekaragaman dan Dominansi bakteri tephra GAK 32

5. Hasil pengujian suhu pertumbuhan isolat bakteri GAK 33

6. Hasil analisis morfologi, sifat fisika, dan kimia tephra GAK 35

7. Total populasi koloni isolasi Bakteri tephra GAK 60

8. Indeks keanekaragaman dan dominansi bakteri tephra GAK 61

DAFTAR GAMBAR

Gambar Halaman

1. Diagram alir kerangka pemikiran 6

2. Peta pengambilan sampel tephra GAK pasca erupsi Desember 2018 18

3. Karakteristik Morfologi Bakteri 21

4. Total populasi bakteri ($CFUg^{-1}$) tephra GAK 28

5. Morfologi isolat bakteri tephra GAK..... 29

6. Profil tephra GAK pasca erupsi Desember 2018 57

7. Pengamatan morfologi disekitar profil pengambilan sampel GAK 58

8. Analisis segitiga tekstur USDA tephra GAK pasca erupsi Desember 2018 .. 59

9. Karakteristik morfologi seluruh isolat bakteri tephra Gunung Anak Gunung Krakata Pasca Erupsi Desember 2018..... 64

10. Hasil uji termofilik bakteri tephra GAK Pasca Erupsi Desember 2018 67

11. Dokumentasi kegaiatan penelitian 68

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia terdiri dari pulau-pulau yang dikelilingi oleh deretan gunung-gunung berapi aktif yang berada pada jalur Cincin Api Pasifik (*ring of fire).* Tersebar 129 gunung api aktif sepanjang 7000 km dari ujung utara Sumatera, Jawa, Nusa Tenggara, Maluku hingga ke Sulawesi Utara. Gunung Anak Krakatau (GAK) merupakan gunung berapi aktif yang berada di permukaan laut terletak di Provinsi Lampung tepatnya di Selat Sunda, Lampung Selatan, dengan posisi geografi gunung terletak pada koordinat 06°03’01” – 06°08’43” LS dan 105 ^{o}21’25” – 105°28’08” BT. GAK muncul dipermukaan sejak tahun 1927 yang berasal dari kaldera Krakatau pasca erupsi Krakatau 1883 (Sutawidjaja, 2006). Material penyusun gunung api ini berasal dari perselingan lapisan antara aliran lava dan endapan piroklastika, lapisan-lapisan inilah yang membentuk kerucut yang tingginya telah mencapai 338 mdpl pada Desember 2018. Sejak 88 tahun lalu gunung api ini aktif melakukan erupsi baik secara eksplosif maupun impulsif (PVMBG, 2019).

Erupsi GAK Desember 2018 mengeluarkan material piroklastik (tephra) yang menyebabkan kerusakan lahan, hutan, dan perubahan topografi berupa penurunan tinggi gunung dari 338 mdpl menjadi 110 mdpl sehingga kehilangan 70–80% volumnya (PVMBG, 2019). Penurunan tersebut disebkan oleh longsoran tubuh GAK bagian barat daya yang masuk ke dalam laut dan mengakibatkan tsunami setinggi 13 m di bibir pantai (Muhari *et al*., 2019). Erupsi GAK mengakibatkan terjadinya kembali proses suksesi ekologi, melalui transformasi awan panas atau wedus gembel dengan suhu tinggi yang mencapai 700°C, dan lelehan lava yang dapat membakar vegetasi atau organisme yang dilaluinya (Sutomo and Faradilla, 2013) seperti musnahnya vegetasi cemara laut (*Casuarina* sp.) dan gelagah

(*Saccharum* sp.). Vegetasi tersebut merupakan tumbuhan pionir pada GAK (Sutawidjaja, 2006). Disisi lain tephra dapat berdampak positif bagi kesuburan ekologi dan kekayaan habitat terutama berpotensi terhadap kesuburan tanah pada masa yang akan datang (Tantri, 2014). Material piroklastik mengandung mineral primer yang merupakan bahan induk faktor penting pembentukan kesuburan tanah. Kondisi tersebut menyebabkan GAK berada pada waktu nol (*time zero)* atau awal mula proses pembentukan tanah (Fiantis *et al*., 2010).

Proses pelapukan bahan induk yang terjadi secara terus menerus dipengaruhi oleh faktor alam berupa perubahan suhu, sinar matahari, gerakan angin, gelombang pasang surut air laut, curah hujan, dan aktivitas mikroorganisme tanah yang menyebabkan bahan induk tersebut lambat laun akan menjadi tanah yang subur. Proses pembentukan tanah juga dipengaruhi oleh pelapukan bahan organik yang berasal dari suksesi tanaman sebelum erupsi seperti dari akar, batang dan dedaunan serta mikroorganisme yang tertimbun (Mukharomah, 2020). Tephra hasil erupsi akan mempengaruhi sifat fisik, kimia dan biologi tanah (Balitbangtan, 2014).

Berdasarkan laporan Fiantis *et al*. (2019) pada tanah GAK sebelum erupsi Desember 2018 kandungan C-organik berkisar 1,3-1,7 %, silika (SiO_2) berkisar 52–75%, dan mengandung belerang (S) yang cukup tinggi. Indeks pelapukan tanah GAK sebelum erupsi tergolong rendah sehigga memberikan indikasi pelapukan mineral primer masih pada tahap awal dan masih terdapat cadangan unsur hara makro yang tersimpan pada tanah. Menurut penelitian Ridho *et al*. (2018) penambahan material vulkanik hasil erupsi secara terus menerus akan menghambat proses perkembangan pembentukan tanah.

Keberadaan material piroklastik berupa abu vulkanik yang bersifat masam pada tanah berpengaruh nyata terhadap sifat biologi tanah yaitu populasi dan aktivitas mikroorganisme terutama bakteri (Sarah *et al.*, 2015). Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan Suriadikarta *et al*. (2011) penambahan abu vulkanik hasil erupsi Gunung Merapi menyebabkan terjadinya penurunan keanekaragaman dan populasi mikroorganisme tanah, terutama pada tanah lapisan atas sedangkan,

keanekaragaman dan populasi mikroba tanah pada lapisan bawah tidak berpengaruh. Hal tersebut disebabkan kandungan belerang (S) yang cukup tinggi pada tanah lapisan atas yang dapat menurunkan pH tanah secara perlahan, akibat adanya perubahan unsur belerang (S) menjadi asam sulfat (Supriatin, *et al*., 2017). Menurut penelitian Anda *et al*. (2016) abu vulkanik dari letusan Gunung Sinabung tahun 2013 yang mengalami pengendapan memiliki kandungan pH yang sangat rendah (3,3–3,5). Abu vulkanik yang tertimbun dipermukaan tanah akan mengeras dan mengakibatkan terganggunya aerasi tanah, sehingga aktivitas mikroorganisme tanah berupa bakteri akan terganggu dan bahkan kehilangan perannya dalam proses metabolisme.

Keberadaan mikroorganisme tanah memegang peranan penting bagi proses pembentukan tanah dan tingkat kesuburan tanah. Menurut Jenny (1941) salah satu faktor penting pembentuk tanah adalah adanya organisme (O). Bahan induk pembentuk tanah hasil pelapukan secara mekanik maupun kimiawi akan bercampur membentuk lapisan-lapisan bakal tanah di permukaan kerak bumi. Bahan hasil pelapukan inilah yang merupakan substrat bagi pertumbuhan jasad renik seperti bakteri dan ganggang yang menjadi awal dari proses pembentukan tanah (Kartasapoetra dan Sutedjo, 2005). Selanjutnya, bakteri sebagai organisme prokariotik bersel tunggal dengan kemampuan metabolik yang beragam akan merombak senyawa organik dan mentransformasi unsur hara menjadi nutrien yang tersedia bagi tanaman. Menurut Purwaningsih (2005) kesuburan tanah dapat diprediksi dari jumlah populasi mikroba yang hidup di dalamnya. Semakin tinggi populasi dan aktivitas mikroorganisme tanah maka akan semakin cepat proses pelapukan tephra menjadi tanah dan semakin subur suatu tanah. Lingkungan gunungapi tersusun atas lereng-lereng yang terdiri atas igir dan lembah. Faktor topografi sangat berpengaruh terhadap proses transformasi dan translokasi material pembentuk tanah. Waktu sekitar 8 bulan pasca erupsi Desember 2018 memungkinkan telah terjadinya pengaruh terhadap tephra yaitu perubahan unsur biotik terhadap populasi mikroorganisme tanah (bakteri) dan proses pembentukan tanah. Selain itu belum adanya penelitian mengenai keanekaragaman dan populasi mikroorganisme tanah terutama bakteri pada tephra GAK pasca erupsi

Desember 2018. Oleh karena itu dilakukan penelitian eksplorasi mengenai populasi dan keanekaragaman bakteri pada tephra GAK pasca erupsi Desember 2018 dengan cara pengambilan sampel pada tephra GAK secara *toposquence* (perbedaan topografi) dan analisis laboratorium.

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana populasi bakteri pada tephra GAK pasca erupsi Desember 2018?
2. Bagaimana keanekaragaman dan dominansi bakteri pada tephra GAK pasca erupsi Desember 2018?

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Mempelajari populasi bakteri pada tephra GAK pasca erupsi 2018.
2. Mempelajari keanekaragaman dan dominasi bakteri pada tephra GAK pasca erupsi Desember 2018.

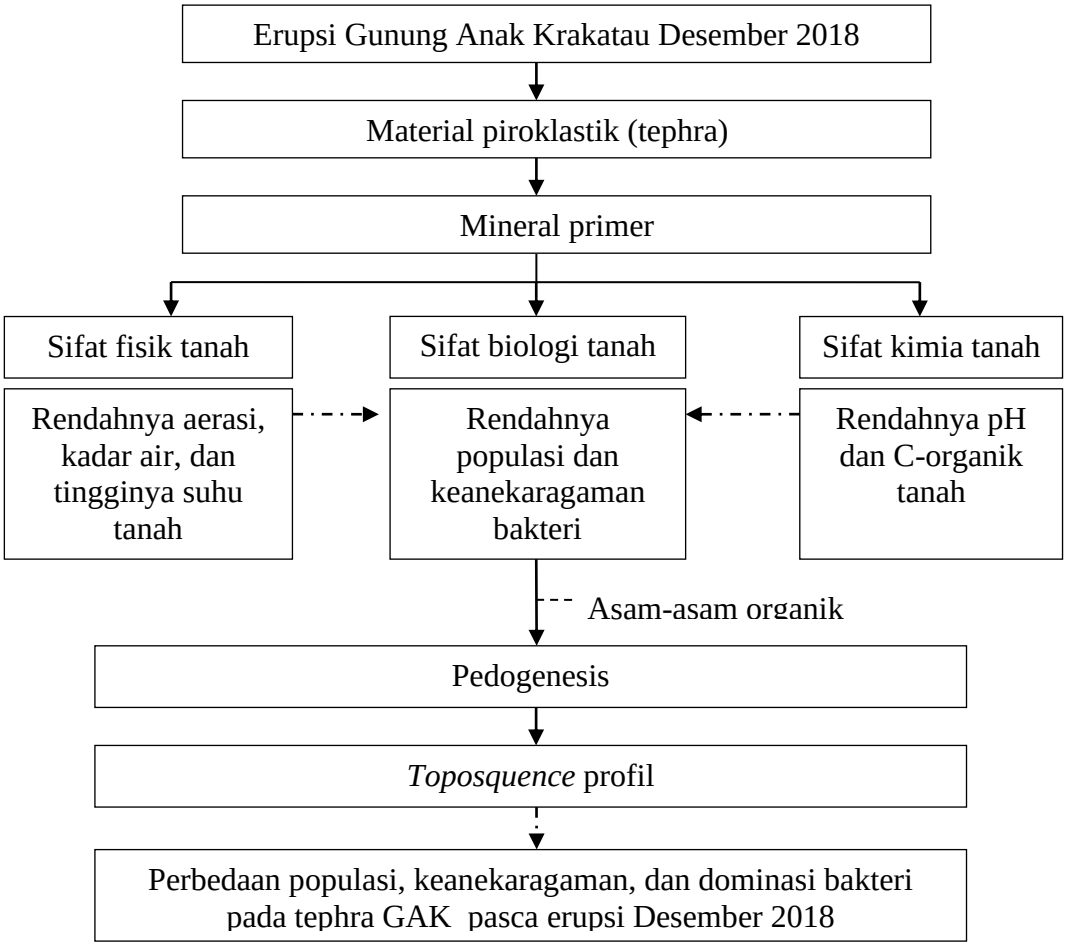
1.3 Kerangka Pemikiran

GAK mengalami erupsi Desember 2018 menyebabkan perubahan yang signifikan pada daerah tersebut terutama pada topografi lahan. Material piroklastik (tephra) yang dikeluarkan mengandung mineral primer berpengaruh terhadap sifat fisik, kimia, dan biologi tanah yaitu populasi dan keanekaragaman bakteri. Setiawati *et al*. (2020) melaporkan sampel tephra sebelum erupsi Desember 2018 yang diambil secara *toposequence* pada kedalaman 0 – 20 cm dan 20 – 40 cm memilki tekstur berpasir dengan persentase fraksi pasir 98,82 – 99,59%; debu 0 – 0,59% dan liat 0,41– 0,74%. Serta, kandungan pH rendah hingga sedang berkisar 4,75 – 5,89 (pH KCl) atau 4,95 – 6,27 (pH H_2O) dan C-organik tergolong rendah hingga sangat rendah berkisar 0.06% –1.28%. Fiantis (2021) juga melaporkan sampel tephra GAK pasca erupsi Desember 2018 memiliki tekstur berpasir, kandungun (pH H_2O) 5,95 – 6,10 atau (pH KCl) 4,74 – 5,45 dengan komposisi magma basaltik-andesit dengan konsentrasi rata-rata 54,9% SiO_2, 17,2% Al_2O_3, dan 8,5% Fe_2O_3. Kondisi-kondisi tersebut menjadikan lingkungan GAK mengalami

perubahan pasca erupsi Desember 2018 diantaranya aerasi, kadar air, pH, C-organik menjadi rendah dan suhu tanah menjadi tinggi hal tersebut berpengaruh terhadap populasi dan keanekaragaman bakteri tanah.

Menurut penelitian Suriadikarta *et al*. (2011) penambahan tephra berupa abu vulkanik hasil erupsi Gunung Merapi menyebabkan terjadinya penurunan keanekaragaman dan populasi mikroorganisme tanah. Sarah *et al*. (2015) juga melaporkan dalam penelitiannya bahwa aktvitas mikroorganisme pada tanah yang terkena abu vulkanik dengan kedalaman 5 – 20 cm lebih tinggi dibandingkan dengan tanah yang terkena *abu* vulkanik dengan kedalaman 0 – 5 cm. Adanya curah hujan yang terjadi pada daerah tersebut mengakibatkan tercucinya C-organik pada lapisan atas (0 – 5cm) sehingga kandungan C-organik dengan kedalaman 5-20 cm lebih tinggi. Balitbangtan (2014) melaporkan unsur belerang (S) yang tinggi pada abu segar akan mengalami penurunan akibat pencucucian oleh air hujan sehingga kandungan belerang pada lapisan bawah dapat lebih tinggi dibandingkan lapisan atas.

Keberadaan populasi dan keanekaragaman bakteri tanah pada tephra GAK pasca erupsi Desember 2018 dapat membantu dalam pelapukan bahan induk selama proses pedogenesis. Bakteri yang berada pada lingkungan tephra yaitu rendah karbon dan kaya mineral secara biologi dapat melakukan pengendapan dan pelarutan mineral dengan memproduksi asam-asam organik dan agen pengkelat untuk menghasilkan senyawa tersedia yang dapat digunakan sebagai sumber energi (Uroz *et al*., 2009). Perbedaan ketinggian tempat pada *toposequence* tephra GAK setiap profil dapat mempengaruhi transformasi dan translokasi material tephra sehingga, menghasilkan populasi dan keanekaragaman bakteri yang berbeda-beda pada setiap profilnya.



Gambar 1. Diagram alir kerangka pemikiran

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Material Vulkanik Terhadap Kesuburan Tanah

Erupsi gunung berapi secara umum dalam jumlah melimpah mengeluarkan gas dan air (H_2O), nitrogen (N_2) dan karbon dioksida (CO_2) (Robock, 2000). Sedangkan secara spesifik bahan-bahan tersebut dipilah menjadi 4 kelompok yaitu aliran lava, gas dan uap, serta piroklastik (Shoji *et al*., 1993). Bahan piroklastik merupakan bahan padatan hasil erupsi gunung berapi. Bahan piroklastik memiliki ukuran diameter yang berbeda-beda, yang dapat dikelompokan menjadi abu vulkan (< 0.26 mm), pasir (0.25 – 4 mm) yang lepas dan tumpul, lapilli atau l*ittle stone* (4 – 32 cm) yang berbentuk bulat hingga persegi dan bom (> 32 mm) yang bertekstur kasar. Berdasarkan penyusun kandungan silikanya batuan hasil erupsi dikelompokkan menjadi vulkanis masam (kadar SiO_2> 65%), sedang (35 – 65%) dan basa (< 35%).

Abu vulkanik merupakan material padat berukuran halus, bersifat ringan dan rapuh yang dihembuskan ke atmosfir, akan terbawa angin jatuh disekitar daerah letusan hingga jatuh di tempat yang sangat jauh dari sumber letusan serta. Menurut Sedov *et al*. (2010) abu vulkanik bersifat *amorf* dan mudah mengalami pelapukan. Abu vulkanik mengandung mineral dan silika yang dapat digunkan sebagai cadangan mineral tanah dan memperbaiki sifat fisik tanah, dengan unsur penyusun Ca, Na, K dan Mg dengan total unsur tertinggi, unsur makro lain berupa P dan S, serta unsur mikro berupa Fe, Mn, Zn, dan Cu (Fiantis, 2006). Selain itu, juga bentuk fisik yang berongga dan mudah terdegradasi dapat berpotensi sebagai bahan pembenah tanah (Sutono, 2017). Unsur belerang (S) yang tinggi pada abu segar akan mengalami penurunan akibat pencucucian oleh air hujan (Balitbangtan, 2014), sehingga kandungan belerang pada lapisan bawah dapat lebih tinggi.

Kandungan S yang tinggi pada abu vulkanik menyebabkan abu vulkanik memiliki pH masam.

Menurut penelitian Suparman dan Suparto (2015) pada Gunung Sinabung, abu vulkanik yang menutupi lahan pertanian dengan klasifikasi tipis (< 2 cm) mempunyai sifat rapuh bila kering maupun lembab dan basah. Sedangkan, tutupan abu yang tergolong sedang sampai tebal umumnya mempunyai sifat fisik keras bila kering, tetapi rapuh jika lembab atau basah yang dapat mengganggu aerasi tanah, respirasi, dan ketersediaan oksigen di dalam tanah. Keberadaan abu vulkanik atau tephra inilah yang menetukan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah yang akan terbentuk.

Bahan induk yang berasal dari material piroklastik mengandung mineral primer yang akan mengalami pelapukan sempurna membentuk tanah baru yang subur (Fiantis *et al*., 2009). Dalam ilmu klasifikasi tanah, tanah vulkanik tergolong dalam jenis tanah andisols (Soil Survey Staff, 2014). Tanah vulkan memiliki ciri-ciri yaitu solum yang tebal dengan horison berasal dari endapan piroklastik, berwarna gelap, kapasitas tukar kation (KTK) tinggi, dan kejenuhan basa (KB) rendah (Sartohadi *et al.*, 2012).

2.2 Keanekaragaman Bakteri Tanah Pasca Erupsi Gunung Berapi

Keanekaragama bakteri tanah setelah erupsi mengalami penurunan. Pasca erupsi pada tahun 2010 di gunung Merapi memberi dampak positif yaitu ditemukannya bakteri yang dapat hidup pada suhu tinggi yang disebut bakteri termofilik. Bakteri termofilik memiliki daya adaptasi yang tinggi terhadap kondisi lingkungan yang bersifat ekstrim, seperti temperatur, kadar garam, pH, tekanan dan oksigen. Habitat alami mikroorganisme termofilik yaitu daerah panas bumi dan vulkanik yang kaya mineral, yang umumnya mengandung belerang (S), besi (Fe), bikarbonat (HCO_3^-), dan klorida (Cl) serta, memiliki komposisi spesies yang terbatas. Kelompok bakteri termofilik mampu tumbuh pada lingkungan asam dengan pH <1. Bakteri ini dibedakan menjadi 3 kategori berdasarkan suhu optimum pertumbuhannya yaitu *Moderate thermophiles* (40 – 60ºC), *Extreme*

thermophiles (60 – 85ºC) dan *Hyperthermophiles* (>85ºC) (Mehta and Satyanarayana, 2013). Bakteri termofilik memiliki membrane lipid yang mengandung banyak asam lemak jenuh dan membentuk ikatan hidrofobik yang sangat kuat dan menghasilkan enzim termostabil sehingga makromolekulnya stabil pada suhu tinggi (Eswari et al., 2019). Kelompok bakteri ini memproduksi asam-asam organik cukup tinggi yang dapat mempercepat pelapukan mineral (Brock, 1986). Bakteri termofilik memiliki kemampuan dalam memproduksi enzim yang mampu mengkatalis reaksi pada suhu lebih tinggi dibandingkan organisme mesofilik (Demirjian *et al*., 2001). Berdasarkan penelitian yang dilakukan Rakhmawati *et al*. (2013) menyatakan Isolat bakteri termofilik pasca erupsi Merapi 2010 mampu menghasilkan enzim amilase dan protease. Bakteri termofilik dapat berperan dalam pelarutan fosfat dalam tanah, pada penelitian tersebut digunkaan perlakuan 45ºC, 55ºC, dan 65ºC dan pH 5, 7, dan 9 (Respati, 2017).

Tanah yang terkena atau tercampur abu vulkanik memiliki pH masam berkisar pH 5,4 – 5,9 sedangkan, pH abu vulkanik Gunung Merapi berkisar pH 4,8 – 6,8 (Suriadikarta et al., 2011). Abu vulkanik akan mengendap dan mengeras pada permukaan tanah yang akan mengganggu aerasi tanah dan ketersediaan oksigen didalam tanah. Kondisi tersebut dan kandungan Sulfur dan Al-dd yang tinggi pada abu vulkanik akan mempengaruhi jumlah total mikroorganisme di dalam tanah. Semakin tinggi kadar Sulfur dan Al-dd di dalam tanah maka jumlah mikroorganisme akan semakin sedikit. Aktivitas mikroorganisme di tanah masam didominasi oleh fungi karena pertumbuhan fungi optimum pada pH 3 – 5,5 sedangkan pertumbuhan bakteri menurun (Sembiring and Fauzi, 2017).

Menurut Maira *et al*. (2014) bahwa pada lapisan abu vulkanik saja tanpa adanya tanah, perkembangan mikroorganisme tanah justru lebih baik. Hal tersebut disebabkan karena mikroorganisme menggunakan mineral dalam abu vulkanik sebagai sumber karbon. Tinggi rendahnya kandungan C-organik didalam tanah akan mempengaruhi keberadaan mikroorganisme tanah. Senyawa anorganik dan organik dalam lingkungan merupakan sumber energi bagi mikroorganisme, yang menggambarkan banyak atau sedikitnya populasi mikroorganisme di dalam tanah.

Sarah *et al*. (2015) melaporkan dalam penelitiannya bahwa aktvitas mikroorganisme pada tanah yang terkena abu vulkanik dengan kedalaman 5 – 20 cm lebih tinggi dibandingkan dengan tanah yang terkena abu vulkanik dengan kedalaman 0 – 5 cm. Adanya curah hujan yag terjadi pada daerah tersebut mengakibatkan tercucinya C-organik pada lapisan atas (0 – 5cm) sehingga kandungan C-Organik dengan kedalaman 5 – 20 cm lebih tinggi. Penelitian yang dilakukan Keliat (2020) tanah vulkan pada Gunung Ijen memiliki keanekaragaman mikroorganisme bakteri dintaranya penambat nitrogen, pelarut fosfat, dan kalium. Sutono *et al*. (2017) melaporkan jenis mikroorganisme tanah yang teridentifkasi pada lahan terkena dampak erupsi Gunung Merapi dan Bromo setelah 6 bulan erupsi yaitu bakteri penambat nitrogen (*Rhizobium* sp bakteri penambat nitrogen (*Rhizobium* sp *dan Azotobacter* sp) dan bakteri pelarut fosfat.

2.3 Peran Organisme dalam Pedogenesis

Organisme tanah merupakan faktor pembentukan tanah aktif selain iklim yang melakukan katalis dalam pedogenesis sehingga mempengaruhi faktor pembentuk tanah lain yaitu bahan induk, topografi, dan waktu (Sharma and Bhakri, 2019). Proses pelapukan biologis akibat kehadiran dan aktivitas dari organisme melibatkan solubilisasi dan insolubilisasi elemen yang mengarah pada degradasi dan transformasi mineral primer dan sekunder, pembentukan endapan dan agregat tanah, serta sintesis mineral (Robert and Berthelin, 1986). Organisme tanah dapat berupa mikroorganisme maupun makroorganisme. Mikroorganisme sebagai pengurai biologis pertama bahan vulkanik, menyediakan nutrisi yang diperlukan untuk tumbuhan tingkat tinggi.

Bakteri adalah organisme kecil bersel tunggal yang berperan utama dalam pembentukan kesuburan tanah. Mineral partikel mengandung nutrisi anorganik (aluminium, silika dan kalsium) yang dapat digunakan oleh bakteri sehingga komposisi mineral pada bahan induk akan mempengaruhi komunitas bakteri (Sharma dan Bhakri, 2019). Mikroorganisme yang mendominasi dalam suatu ekosistem pedogenesis adalah pionir spesies yang bertanggung jawab atas

pelapukan bahan induk (Gorbushina *et al*., 2003). Hasil simbiosis asosiasi antara jamur dan kelompok bakteri berupa alga fotosintetik atau *Cyanobacteria* menghasilkan lumut kerak sebagai organisme pioner dalam pelapukan mineral (Banfield *et al*., 1999).

Proses pelapukan fisika maupun kimia akan mempengaruhi ketersedian senyawa anorganik pada bahan induk yang berpengaruh terhadap ketersediaan bakteri, namun apabila nutrisi tidak tersedia, mikroorganisme dapat melakukan pengendapan (oksida) melalui pelarutan dengan memproduksi asam organik dan agen pengkelat untuk menghasilkan senyawa tersedia yang dapat digunakan sebagai energi (Uroz *et al*., 2009). Secara biologis, habitat mikroorganisme tersebut berada pada lingkungan yang rendah karbon dan kaya mineral. Aktivitas mikroorganisme di dalam tephra yang masih terbatas disebabkan karena rendahnya masukan karbon (C) segar sebagai energi (Blagodatskaya and Kuzyakov, 2008). Mikroorganisme memanfaatkan H_2, CO dan CO_2 yang dikumpulkan dari atmosfer yang digunakan sebagai sumber energinya. Terutama organisme yang terkait dengan filum *Actinobacteria, Chloroflexi, Acidobacteria, Planctomycetes, Verrucomicrobia,* dan *Proteobacteria* (Greening *et al*., 2015). Proses metabolisme mikroorganisme menghasilkan asam-asam organik, basa-basa, zat pengompleksan, dan zat pereduksi yang dapat melarutkan mineral (Robert and Berthelin, 1986*)*. Kelarutan ion hara seperti fosfat, sulfat, kalsium, kalium, besi, tembaga, seng, mangan, kobalt dan magnesium sehingga menyediakan energi bagi organisme lain.

Proses pelapukan biologis oleh mikroorganisme juga dapat dilakukan dengan pengikisan batuan dengan membentuk mikro koloni, biofilm, dan kerak biologis di permukaan batuan bahan induk melalui degradasi kalsium dan pelapukan akibat asam organik hasil metabolisme. Aktivitas bakteri metabolit bersama dengan fungi yang diselingi hifa pada permukaan batuan akan mempercepat proses pelapukan kalsium karbonat (Bin *et al.,* 2008). Aktivitas Mikroorganisme berupa bakteri, *archaea* dan jamur mendorong siklus nutrisi selama suksesi awal dalam pedogenesis kemudian menjadi pendorong daur ulang hara (Crisafulli *et al*., 2015). Selain itu, mikroorganisme juga berperan utama dalam siklus karbon

konstituen yang akan berpengaruh bagi organisme hidup lainnya (Sharma and Bhakri, 2019).

2.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Bakteri Tanah

Bakteri merupakan mikroorganisme prokariotik uniseluler yang berkembang biak secara aseksual dengan pembelahan sel. Bakteri memiliki bentuk dasar bulat, batang, dan lengkung. Bakteri tanah adalah salah satu mikroorganisme tanah yang memiliki peran penting dalam proses pembentukan tanah yang berhubungan dengan dekomposisi dan siklus hara. Bakteri dapat melakukan metabolisme dan mineralisasi pada berbagai senyawa organik yang berat molekulnya rendah (Boyd, 1984). Fungsi lain dari bakteri tanah adalah memecahkan tanah mineral, melepaskan kalium (K), fosfor (P), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan besi (Fe), serta melepaskan hormon pertumbuhan bagi tanaman dan merangsang pertumbuhan akar (Schloss and Handelsman, 2006).

Bakteri didalam tanah juga berperan dalam peningkatan kelarutan nutrisi, memperbaiki struktur tanah, dan menetralkan racun di dalam tanah. Beberapa bakteri memiliki kemampuan dalam menghasilkan substansi yang dapat membuat ikatan dengan partikel tanah menjadi agregat kecil sehingga dapat meningkatkan infiltrasi air dan kapasitas menahan air. Di dalam tanah keberadaan bakteri paling dominan dibandingkan fungi dan protozoa, menyebar pada beragam tipe tanah namun populasinya akan menurun dengan bertambahnya kedalaman tanah (Widawati *et al*., 2005).

Di dalam satu gram tanah dapat ditemukan kurang lebih 10^8 bakteri (Paul, 2015). Secara umum profil horizon A mengandung lebih banyak mikroorganisme tanah dari pada horizon B dan C. Hal tersebut pada horizon A mengandung bahan organik yang lebih tinggi. Bakteri dapat mengalami involusi atau perubahan bentuk yang disebabkan oleh faktor sumber energi, suhu, dan lingkungan yang kurang menguntungkan bagi bakteri (Voroney and Hack, 2017). Keberadaan dan pertumbuhan bakteri didalam tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya suhu, pH tanah, kelembapan, aearasi tanah, dan sumber energi.

2.4.1 Suhu

Bakteri dapat tumbuh dalam rentang suhu -5ºC sampai 80ºC, namun setiap spesies memiliki rentang suhu optimum berbeda-beda yang ditentukan oleh sensitifitas sistem enzimnya terhadap panas. Bakteri dapat dikelompokkan berdasarkan suhu pertumbuhannya yaitu bakteri psikofilik (-5 – 15ºC), bakteri mesofilik (20 – 37ºC), dan bakteri termofilik (40 – 121ºC) (Morse dan Meitzner, 2013). Pada umumnya keanekaragaman dan aktivitas mikroorganisme didalam tanah optimum pada kisaran suhu 30ºC. Aktivitas mikroorganisme pada suhu dingin akan lebih lambat dari pada suhu yang hangat (Voroney and Heck 2017).

2.4.2 pH Tanah

pH tanah akan mempengaruhi aktivitas dan perkembangan mikroorganimse tanah
pH tanah akan mempengaruhi aktivitas dan perkembangan mikroorganimse tanah
terutama bakteri tanah. Pada umumnya bakteri tanah tumbuh pada pH 5 – 8 dan akan tumbuh optimum di pH sekitar 7 (Frey, 2015). Kebanyakan bakteri tidak dapat tumbuh pada pH dibawah 4,0 dan diatas 8,0.

2.4.3 Kelembapan Tanah

Bakteri pada umumnya memerlukan kelembapan sekitar 85% untuk pertumbuhannya dan kurang toleran terhadap kondisi tanah yang kering. Kebanyakan bakteri dapat hidup pada Aw (aktivitas air) > 90 (Voroney and Heck 2017). Pada Kelembapan tanah yang rendah dapat menyebabkan kematian pada bakteri, hal tersebut karena sel-sel bakteri akan berdifusi ke luar sebagai akibat terjadinya proses kesetimbangan osmotik sehingga alan menyebabkan dehidrasi.

2.4.4 Ketersediaan Oksigen

Bakteri tanah dapat hidup di berbagai kondisi lingkungan yang mengandung sedikit (*mikroaerifilik)* atau tanpa O_2 (anaerob), dan keberadaanya akan dominan pada tanah yang memiliki aerasi baik (Kertesz and Frossard, 2015).

2.4.5 Sumber Energi

Bakteri tanah berdasarkan sumber energinya dikelompokkan menjadi dua yaitu bakteri autotrof (*lighontropik)* dengan sumber energi berbentuk senyawa anorganik dan bakteri heterotrof (*organotropik*) dengan sumber energinya dapat berasal dari sinar matahari atau hasil oksidasi bahan organik (Killham and Prosser, 2015). Bakteri membutuhkan unsur mineral dalam penyusunan sel, berupa karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), P (fosfor), sulfur (S), dan unsur mineral lainya yang diperlukan seperti kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), Na (natrium), (Fe), mangan (Mn), kobalt (Co), tembaga (Cu), Zn (seng), dan Aluminium (Al) (Burton and Engelkrik, 2014). Bakteri tanah akan dominan pada tanah yang mengandung bahan organik yang tinggi. Bakteri autotrof merupakan bakteri yang dapat mengasimilasi karbon anorganik (CO_2, CO_3, CH_4) atau senyawa dengan satu karbon menjadi karbon organik. Contoh bakteri autotrof yaitu bakteri nitrifikasi, denitrifikasi, pengoksidasi belerang, peruduksi sulfat dan lain-lain. Bakteri heterotrof (*organotropik*) merupakan bakteri yang mendapatkan sumber energinya dari bahan organik atau sisa-sisa dari mahluk hidup lain berupa karbohidrat, lemak, protein, asam amino, garam asam organik, dan polialkohol.

2.5 Teknik Analisis Bakteri

Teknik pengenceran bertingkat dalam enumerasi mikroba pada media cawan agar (*plate count*) merupakan teknik enumerasi (perhitungan populasi) mikroorganisme tertua yang sampai saat ini masih digunakan. Teknik pengenceran ini digunakan untuk menghitung dan mempelajari populasi bakteri tanah yang beragam dan perubahah kerapatan populasinya. Jumlah mikroba yang tumbuh pada media tertentu ditunjukkan oleh C*olony Forming Units* (CFU) atau satuan bentuk koloni. Prinsip dasar metode cawan pengenceran adalah setiap sel mikroorganisme yang hidup dalam suspensi tanah akan berkembang dan membentuk suatu koloni dalam kondisi lingkungan yang sesuai. Menumbuhkan mikroorganisme hasil pengenceran di dalam cawan petri dapat dilakukan dengan metode sebar (*spread plate count*) atau metode tuang (*pour plate count*). Perhitungan koloni bakteri

dihitung dari cawan petri yang memiliki 30 – 300 koloni atau yang mendekati (Hastuti dan Ginting, 2007).

Penemuan agar (polisakarida dari ganggang laut) sebagai media padat sangat bermanfaat dalam mempelajari mikroorganisme karena sifat-sifatnya yang unik, yakni mencair pada suhu 100°C dan membeku pada suhu sekitar 42°C serta tahan terhadap perombakan oleh kebanyakan mikroorganisme. Nutrien Agar (NA) merupakan media yang digunkan dalam menumbuhkan bakteri, media ini mengandung unsur hara sebagai sumber energi bakteri. Media NA yang digunakan merupakan media padat yang umumnya digunakan untuk mengamati morfologi koloni dan mengisolasi bakteri (Brown and Smith, 2012).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini telah dilaksanakan dengan dua tahap yaitu tahap observasi dan pengambilan sampel tephra serta tahap isolasi dan identifikasi bakteri tanah. Tahap pengambilan sampel tephra dilaksanakan pada 13 Agustus 2019 di tephra Gunung Anak Krakatau (GAK). Tahap isolasi dan identifikasi bakteri tephra dilaksanakan dari November 2020 – Mei 2021 di Laboratorium Biologi Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

3.2 Bahan dan Alat

Bahan yang telah digunakan dalam penelitian ini adalah sampel tephra yang berasal dari tephra GAK pasca erupsi Desember 2018, *Nutrient Agar* (NA), anti jamur berbahan aktif kentoconazole 200 mg, larutan fisiologis (NaCl 0,85 %), aquades, alkohol 96 %, dan spirtus. Alat yang digunakan yaitu cawan petri, autoklaf, *Laminar Air Flow* (LAF), batang penyebar, jarum ose, tabung reaksi, rak tabung reaksi, erlenmeyer, pipet tetes, *micropipette* 1000 µl dan 100 µl, tip, gelas ukur, *colony counter*, termometer tanah, *Global Positioning System* (GPS), peta dasar, *coolbox*, *ice gel*, lemari es, sekop tanah, kantong plastik, meteran, cangkul, kapas, *alumunium foil*, botol semprot, kantong plastik, kantong plastik tahan panas, *plastic wraping*, kertas label, dan karet.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksploratif, yang dilakukan dengan dua tahapan yaitu survei dan analisis di laboratorium. Sampel tanah yang akan digunakan pada penelitian ini sebanyak 19 sampel yang berasal pada 4 titik

pengambian. Perbedaan pengambilan sampel dilakukan berdasarkan sifat-sifat tanah yang saling berdekatan namun berbeda pada setiap sampelnya, karena dipengaruhi oleh ketinggian tempat dari permukaan laut (*toposequence*). Setiap sampel tanah akan dilakukan isolasi dan identifikasi bakteri dengan tiga ulangan (triplo) pada setiap pengenceran, tahap ini akan menghasilkan data berupa jumlah populasi bakteri dan keanekaragaman morfologi bakteri. Selanjutnya tahap pemurnian bakteri digunakan dua ulangan (duplo), melalui tahap ini akan diperoleh bakteri tunggal. Pada penelitian ini juga dilakukan pembuatan peta pengambilan sampel tanah menggunakan Arc GIS 10.5.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Observasi dan Pengambilan Sampel Tanah

Observasi dan pengambilan sampel tephra dilakukan bersamaan secara *toposequents* di lereng utara GAK (Gambar 2). Kegiatan observasi yang dilakukan meliputi keadaan umum fisik lingkungan lokasi pengambilan sampel yaitu lereng, ketinggian tempat, suhu, dan keadaan permukaan tephra (berbatu, dan lain-lain). Pada tahap ini juga dilakukan analisis citra satelit untuk menentukan lokasi awal pengambilan dengan GPS (*Global Positioning System)*.

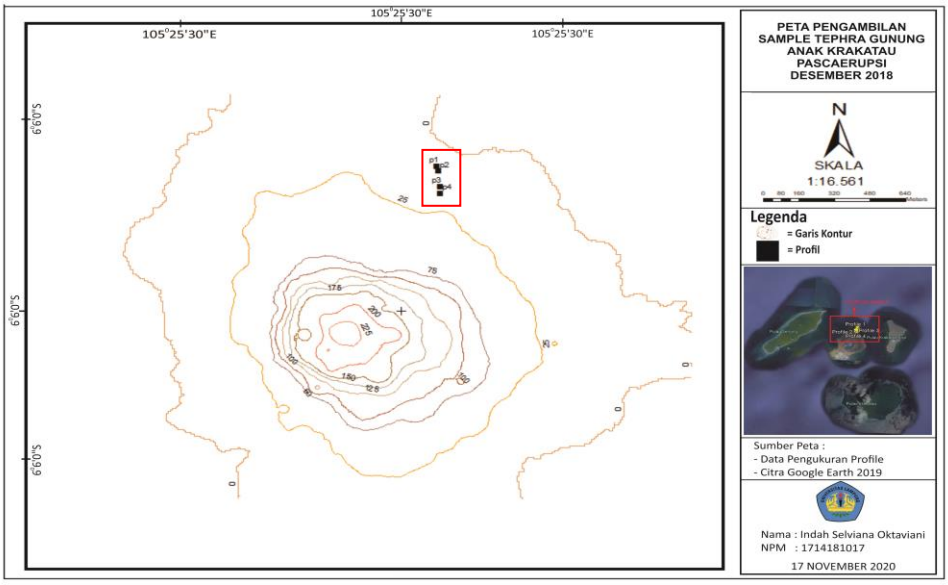
Sampel tephra diambil pada 4 profil pengamatan dengan lokasi ketinggian yang berbeda, setiap profil lapisan dilakukan pengambilan sampel tephra sebanyak 2 kg dengan 19 sampel. Dasar penarikan batas lapisan didasarkan atas sifat-sifat yang saling berdekatan yaitu dari segi konsistensi, sebaran ukuran butir, dan warna. Penentuan konsistensi atau kepadatan dilakukan dengan menusuk-nusuk profil menggunakan pisau, untuk mengetahui perbedaan kekerasan atau kepadatan dari keseluruhan profil. Sedangkan, penentuan sebaran ukuran butir dilakukan dengan pengamatan kandungan butir kasar. Pengamatan warna tephra pada profil ditentukan berdasarkan buku *Munsell Soil Color Chart.* Pengambilan sampel tanah dimulai dengan membuat profil tanah dengan ukuran 1x1x1 m dan profil tebing, keempat profil tersebut yaitu :

1. Profil 1 terletak pada ketinggian ± 5 mdpl (dekat dengan bibir pantai) dengan titik koordinat 06°25′33″ LS dan 105°22′36,2″ BT yang terdiri dari 4 lapisan.
2. Profil 2 terletak pada ketinggian ± 12 mdpl dengan titik koordinat 06°05′32,1″

LS dan 105°25′35,9 BT yang terdiri dari 5 lapisan.

3. Profil 3 terletak pada ketinggian ± 17 mdpl dengan titik koordinat 06°05′36,6″ LS dan 105°25′36,6 BT yang terdiri dari 6 lapisan.
4. Profil 4 terletak pada ketinggian ± 22 mdpl dengan titik koordinat 06°53′37,3″ LS dan 105°25′36,6 BT yang terdiri dari 4 lapisan.

Profil 2, 3, dan 4 merupakan profil tebing yang terbentuk pada lahan sehingga langsung dilakukan pengambilan sampel sesuai dengan lapisan yang ditentukan. Sampel disimpan pada *cool box* dan kemudian dipindahkan ke lemari es Laboratorium Biologi Tanah.



Gambar 2. Peta pengambilan sampel tephra GAK pasca erupsi Desember 2018

Tabel 1. Pengambilan sampel tephra GAK pasca erupsi Desember 2018

Sampel Tephra dan Kedalaman (cm)			
Profil 1	Profil 2	Profil 3	Profil 4
P1L1 (0 – 35)	P2L1 (0 – 56)	P3L1 (0 – 50)	P4L1 (0 – 23)
P1L2 (35 – 60)	P2L2 (56 – 85)	P3L2 (50 – 67)	P4L2 (23 – 47)
P1L3 (60 – 88)	P2L3 (85 – 106)	P3L3 (67 – 103)	P4L3 (47 – 87)
P1L4 (88 – 100)	P2L4 (106 – 143)	P3L4 (103 – 125)	P4L4 (87 – 100)
	P2L5 (143 – 170)	P3L5 (125 – 139)	
		P3L6 (139 – 200)	

Keterangan: Profil (P), Lapisan (L)

3.4.2 Isolasi Bakteri

Metode isolasi bakteri yang digunakan untuk mengetahui jumlah populasi bakteri yaitu metode sebar (*spread plate method*) dengan tahapan cawan pengenceran (*dilution-plate* atau *dilution-count*) (Hastuti dan Ginting, 2007). Pengenceran yang digunakan yaitu pengenceran bertingkat yang berfungsi untuk mengurangi jumlah mikroba dalam cairan (Wasteson dan Hornes , 2009) dalam Yunita *et al*. (2015). Tahapan metode cawan pengenceran dilakukan dengan pengenceran secara seri yaitu dengan memasukkan 10 g tanah ke dalam erlenmeyer 250 ml yang telah berisi 90 ml larutan fisiologis steril (NaCl 0,85 %) kemudian dikocok selama 2–3 menit, larutan ini sebagai pengenceran 10^{-1}. Setelah dikocok pipetlah 1 ml larutan tanah kedalam tabung reaksi yang berisi 9 ml larutan NaCl steril, kocok dengan vortex agar tercampur sempurna, larutan ini sebagai pengenceran 10^{-2} dan larutan 10^{-2} dipipet kembali 1 ml untuk membuat larutan 10^{-3}. Setiap pemindahan 1 ml larutan sampel baru digunakan pipet yang baru atau berbeda.

Sedangkan tahapan metode sebar dimulai dengan membuat media NA yang telah di sterilisasi pada suhu 121°C selama 15 menit menggunakan autoklaf. Medium steril tersebut yang telah dimodifikasi anti jamur dituang 10 –15 ml dalam cawan yang berfungsi sebagai media untuk menumbuhkan bakteri. Sebelum penuangan media perlu dilakukan sterilisasi lanjutan pada mulut wadah (erlenmayer) media NA dengan cara melewatkannya pada api Bunsen (Brown and Smith, 2012).

Pembiakan bakteri dilakukan dengan memipet 0,1 ml larutan tanah pada setiap pengenceran serial 10^{-1} – 10^{-3}dan teteskan di bagian tengah cawan petri pada permukaan agar, setiap pengenceran diulang tiga kali (triplo). Selanjutnya sebar dengan batang penyebar steril yang telah dicelupkan dalam alkohol dan dibakar dengan api bunsen, setelah batang penyebar diperkirakan dingin baru digunakan untuk penyebaran. Semua tahapan penuangan media hingga penyebaran dilakukan dalam LAF. Proses inkubasi bakteri dilakukan selama 3 – 5 hari pada suhu ruang. Jumlah populasi bakteri dapat diketahui dengan menghitung bakteri yang tumbuh pada media NA (Hastuti dan Ginting, 2007). Selama proses isolasi dilakukan secara aseptis dan sama setiap pelaksanaan sampel untuk mecegah kontaminasi dan eror data sehingga data yang diperoleh dapat dibandingkan.

3.4.3 Pemurnian

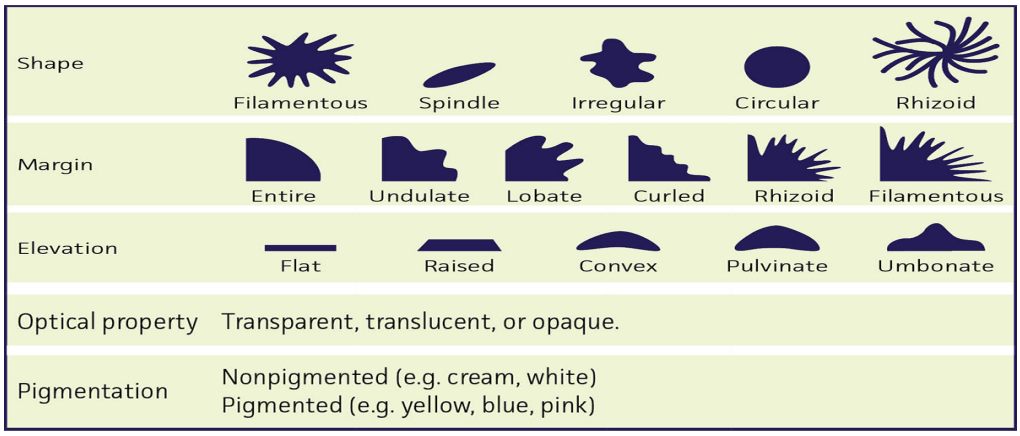
Tahapan pemurnian (*purification)* dilakukan untuk memperoleh biakan bekteri murni yang diinginkan tanpa adanya kontaminasi dari bakteri lain sehingga spesifikasi jenis bakteri dapat diketahui. Pemilihan pemurnian bakteri ditentukan berdasarkan perbedaan morfologi bakteri yaitu bentuk, elevasi (*elevation*), tepi koloni (margin), *opacity (optical property)*, dan warna (*pigmentation*). Pemurnian dilakukan dengan cara memindahkan isolat bekteri tunggal (pilih yang jauh dari kontaminasi) pada media NA steril dengan cara metode goresan kuadran (Brown and Smith, 2012), dan di inkubasi selama 3–5 hari. Tahapan pemurnian bakteri dapat dilakukan berkali-kali apabila belum diperoleh isolat tunggal bakteri.

3.4.4 Uji Lanjutan Isolat Bakteri

Hasil pemurnian isolat bakteri tunggal yang telah diperoleh selanjutnya dilakukan uji lanjutan pada suhu tinggi untuk mengetahui ada tidaknya bakteri termofilik pada sampel tephra GAK pasca Erupsi Desember 2018. Isolat bakteri tersebut ditumbukan pada media NA steril yang akan mendukung pertumbuhan bakteri termofilik pada suhu inkubasi tinggi (Akmar *et al*., 2011), dengan metode cawan gores (*streak plate*) sebanyak tiga ulangan. Penggoresan isolat dilakukan menggunakan jarum ose steril. Selanjutnya isolat diinkubasi pada suhu 50, 45, dan 40 ºC yang merupakan rentang suhu pertumbuhan bakteri termofilik (Guangrong *et al*., 2006) selama 48 jam. Pertumbuhan bakteri diamati secara periodik setiap harinya.

3.4.5 Identifikasi Keanekaragaman Bakteri

Identifikasi morfologi koloni bakteri dapat dilakukan dengan pengamatan secara makroskopis, yang digunakan sebagai identifikasi awal strain bakteri. Morfologi bakteri dapat bervariasi antara strain dan dalam suatu spesies karena ekspresi gen diferensial, yang dapat dilihat dari segi bentuk, elevasi, tepi koloni, warna, dan *opacity*. Perbedaan karakteristik morfologi pada tahap isolasi inilah yang menunjukan adanya indikator keanekaragaman bakteri pada tephra GAK.



Gambar 3. Karakteristik morfologi bakteri (ATTC, 2021)

a. Bentuk (*shape)*

Bentuk keseluruhan koloni bakteri pada umumnya yaitu melingkar (*circular*), bentuk seperti akar atau pertumbuhan menyebar (*rhizoid*), tidak beraturan atau tidak bertepi (*irregular*), berserabut (*filamentous*), dan lonjong (*spindle*) atau oval.

b. Tepi (*margin*)

Tepi pada umumnya yaitu tepi rata (*entire*), tepi bergelombang (*undulate*), tepi berlekuk (*lobate*), tepi melengkung (*curled*), tepi bergerigi (*rhizoid*), tepi seperti benang-benang atau berlekuk tidak beraturan (*filamentous*).

c. Permukaan (*elevation*)

Permukaan koloni bakteri dapat dilihat dari samping, diantaranya datar (*flat*), timbul namun datar (*raised*), timbul namun cembung atau melengkung (*convex*), membukit (*pulvinate*), dan cembung dibagian tengah lebih menonjol (*umbonate*).

d. *Opacity* (*optical property*)

Opacity menggambarkan sifat tidak tembus cahaya dari koloni bakteri. Koloni sering terlihat buram (*opaque*), atau tidak tembus cahaya, tembus cahaya atau cahaya menembus secara difusi (*translucent*), dan transparan atau cahaya lewat tanpa gangguan (*transparent*).

e. Warna (*Pigmentation*)

Warna atau pigmentasi dapat bervariasi tergantung pada kondisi lingkungan dan usia koloni. Warna koloni pada umumnya putih, kuning, orange, merah, ungu, hitam dan lain-lain (ATTC, 2021).

Setelah dilakukan identifikasi bakteri tunggal dan pemisahan berdasarkan karakteristik morfologinya, selanjutnya dilakukan pembuatan stok bakteri dengan cara menumbuhan bakteri pada media NA miring. Semua tahapan penelitian dilakukan secara aseptik, dilakukan dalam bilik LAF dan menggunakan dua api bunsen untuk mencegah kontaminasi dari mikroorganisme lain.

3.4.6 Variable Pengamatan

3.4.6.1 Variabel Utama

Variable utama dalam penelitian ini adalah populasi bakteri ($CFUg^{-1}$), keanekaragaman bakteri dengan indeks Shannon-Wiener, dan dominasi bakteri dengan indeks dominansi Simpson.

1. Perhitungan Populasi Bakteri (Arantika, 2019)

Bakteri yang tumbuh pada media NA hasil isolasi akan dihitung menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC), dengan prinsip perhitungan bahwa setiap sel yang ada dianggap hidup dan berkembang membentuk koloni yang dapat dilihat secara langsung (makroskopis), dan koloni tersebutlah yang dihitung. Pilih dan hitung cawan petri yang memililiki jumlah koloni bakteri 30 – 300 apabila tidak ada maka pilih yang mendekati.

Rumus perhitungan populasi bakteri:

$$CFUg^{-1} = \frac{\text{Jumlah rata-rata koloni}}{\text{Faktor pengencer x volume inokulum x BKO}}$$

Keterangan

Berat kering oven (BKO) = berat basah x (1 – KA)

KA = kadar air tephra

2. Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener (1948)

Indeks keanekaragaman Shannon-Wiener merupakan indeks yang menganalisis informasi jumlah individu masing-masing jenis pada suatu titik atau komunitas sehingga, dapat menggambarkan keadaan populasi organisme secara matematis.

Persamaan dari indeks keanekaragaman Shannon-Wiener:

$H' = -\sum_{i=1}^{s} pi \ln pi$ $\qquad$ $pi = \frac{ni}{N}$

Keterangan

H' : indeks keanekaragaman Shannon-Wiener

pi = indeks kemelimpahan

ni = jumlah individu dari suatu jenis ke-i

N = jumlah total individu seluruh jenis

Indeks keanekaragaman dapat digolongkan menjadi tiga kategori yaitu keanekaragaman jenis rendah apabila $H' \leq 1$, keanekaragaman jenis sedang apabila $1 < H' \leq 3$ dan keanekaragaman jenis tinggi apabila $H' > 3$ (Kamaluddin *et al*., 2019).

3. Indeks Dominansi Simpson (Oddum, 1993)

Indeks dominansi merupakan indeks yang menganalisis tingkat dominansi atau penguasaan spesies tertentu dalam suatu komunitas, yang dapat dihitung dengan rumus indeks dominansi Simpson (1949) dalam (Odum, 1993):

$D = \sum (ni / N)^2$

Keterangan:

D = indeks Dominansi Simpson

ni = jumlah Individu spesies ke-i

N = jumlah Individu seluruh spesies

Indeks dominansi Simpson berkisar antara 0 sampai 1, apabila nilai indeks dominansi kecil ($0 < D < 0,5$) menunjukan tidak terdapat spesies yang mendominasi atau penguasaan spesies mikroba rendah, dan apabila nilai indeks besar ($0,5 < D < 1$) terdapat spesies mikroba tertentu yang mendominasi.

3.4.6. 2 Variabel Pendukung

Variabel pendukung dalam penelitian ini adalah suhu tanah pada setiap profil, kadar air tanah, pH tanah, dan C-organik.

1. Pengukuran Suhu Tanah

Pada tahapan pengambilan sampel tanah dilakukan pengukuran suhu didalam tanah menggunakan termometer tanah kontak. Penggunaan termometer kontak harus hati-hati (Ham and Senock, 1992) agar diperoleh data yang akurat. Pengukuran suhu dilakukan pada setiap titik profil, dilakukan dengan cara menancapkan termometer dalam tanah. Termometer akan menunjukan skala suhu yang stabil (tidak berubah-ubah), maka skala tersebutlah yang dicatat.

2. Analisis Kadar Air Tephra Gunung Anak Krakatau dengan metode Gravimetri (Haridjaja, 2013)

Analisis kadar air tanah dengan metode gravimetri merupakan metode pengukuran secara langsung yang dilakukan dengan prinsip pemisahan air menggunakan pemanasan biasa (Reynolds and Topp, 2008) dan dan perbandingan dua massa. Tahapan analisis kadar air tephra GAK dilakukan dengan cara menimbang 10 g tephra GAK dengan menggunakan cawan porselin (Berat basah+cawan). Selanjutnya dilakukan pengeringan menggunakan oven dengan suhu 105°C selama 24 jam. Sampel yang telah dioven (berat kering mutlak) ditimbang bersamaan dengan cawan serta dilakukan juga penimbangan cawan tersebut.

Rumus perhitungan kadar air (gravimetri):

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{\text{berat basah tephra (g) - berat kering tephra (g)}}{\text{berat kering tephra (g)}} \times 100\%$$

3. Penetapan Tekstur Tanah 3 Fraksi (Soil Survey Staff, 1996)

Penetapan tekstur tanah 3 fraksi dilakukan dengan metode pipet dan ayak. Ditimbang sampel tephra GAK 20 gr dalam gelas piala 1 liter, lalu ditambahkan H_2O_2 10% sebanyak 100 ml, selanjutnya ditambahkan H_2O_2 30% sebanyak 15 ml lalu dipanaskan didalam ruang asam. Kemudian, ditambahkan HCl 0,2 N lalu didiamkan semalam. Keesokan harinya HCl dicuci menggunakan Aquades sebanyak 4 kali, dan ditambakan $Na_4P_2O_7$ (calgon) 25 ml lalu dikocok dengan mesin pengkocok horizontal selama 20 menit. Selanjutnya disaring dan dipisahkan antara pasir, debu, liat pada tabung sedimen pasir dalam cawan

porselin dengan saringan 50 µm. Pasir dikeringkan dalam oven 105°C sedangkan untuk debu dan liat dipipet 25 ml dikedalaman 0 cm selanjutnya ditampung dalam cawan, untuk liat ditunggu 3 ½ jam dan dipipet dikedalaman 5,2 cm. Terakhir dimasukan hasil pemipetan tadi ke dalam cawan lalu di oven selama 24 jam, selanjutnya hasil oven ditimbang.

Rumus perhitungan :

Bobot Total : pasir + (debu + liat) + liat

% Pasir : bobot total pasir x 100% / bobot total

% Debu : bobot total debu x 100% / bobot total

% Liat : bobot total liat x 100 % / bobot total

4. Analisis pH Tephra Gunung Anak Krakatau dengan Metode Elektroda pH Meter (Hendershot, W.H. and Lalande, 2005)

Pada penelitian telah dilakukan analisis pH tanah yaitu pH aktif menggunakan ekstraksi H_2O yang diukur dengan pH meter. Perbandingan sampel tephra dan bahan ekstraksi yang digunakan dalam penelitian yaitu 1 : 1. Sampel yang digunakan pada analisis ini yaitu sebanyak 5 g tephra yang telah dikering anginkan dan lolos ayakan 2 mm. Selanjutnya sampel yang telah ditimbang dimasukkan ke dalam botol film bervolume 50 ml dan ditambahkan 5 ml aquades. Selanjutnya, dikocok menggunakan *shaker* selama 30 menit dan dilanjutkan dengan penyaringan menggunakan kertas saring agar larutan jernih. Tahap terahir yaitu pengukuran dengan pH meter yang telah dikalibrasi menggunakan larutan sangga pH 7,0 dan pH 4,0 dan dicatat hasil dari pengukuran pH tersebut.

5. Analisis C-Organik dengan Metode Walkley and Black (1934)

Analisis C-Organik sampel tephra GAK dilakukan dengan menggunakan metode Walkley and Black (1934). Prosedur kerja pada analisis ini yaitu dilakukan penimbangan 0,5 g tephra GAK kering udara (lolos ayakan 0,5 mm) dan dimasukkan kedalam Erlenmeyer 500 ml. Kemudian, ditambahkan 5 ml $K_2Cr_2O_7$ 1 N sambil digoyangkan perlahan dan ditambahkan 10 ml H_2SO_4 pada ruang asap sambil digoyang cepat hingga tercampur rata. Diusahakan tidak ada partikel yang

menempel di dinding Erlenmeyer. Selanjutnya, larutan tersebut dibiarkan pada ruang asap selama 30 menit. Setelah itu dilakukan pengenceran dengan menambahkan 100 ml air destilata, dan ditambahkan 5 ml H_3PO_4, 2,5 ml larutan NaF 4% serta 5 tetes indikator difenil amin dan dititrasi dengan $(NH_4)2Fe(SO_4)_2$ 0,5N hingga berubah warna dari coklat kehijauan menjadi biru keruh, serta dititrasi kembali hingga mencapai titik akhir yaitu berwarna hijau terang. Pembuatan blanko dilakukan dengan cara yang sama namun tidak menggunakan sampel tephra GAK (ISRIC, 2002).

Rumus Perhitungan :

% C-Organik =

$$\frac{((\text{Volume blanko} - \text{Volume sampel}) \times (M\ Fe^{2+}) \times (0{,}003) \times (100))}{\text{Berat sampel}} \times fk$$

Keterangan :

Volume blanko : ml titrasi blanko

Volume sampel : ml titrasi

M Fe^{2+} : molaritas Fe^{2+} (0,5 M)

0,003 : hasil pembagian dari AR C (12) dengan bilangan oksidasinya (4) (dikonversi dari milligram ke gram)

fk : faktor koreksi kadar air (1+ KA)

3.4.7 Pengelolaan dan Analisis Data

Data yang diperoleh berupa jumlah populasi, keanekaragaman dan dominansi populasi bakteri tanah pada tephra GAK pasca erupsi 2018. Pengolahan data menggunakan Microsoft excel. Data hasil penelitian akan disajikan dalam bentuk tabel, gambar, grafik, dan narasi.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Total populasi bakteri tephra Gunung Anak Krakatau (GAK) pasca erupsi Desember 2018 tergolong rendah yaitu berkisar 1,30 – 4,58 Log CFUg $^{-1}$ dengan potensi total populasi bakteri tertinggi terdapat pada profil 3 (3,41 Log CFUg^{-1}) dan potensi total populasi bakteri terendah terdapat pada profil 4 (1,98 Log CFUg^{-1}).
2. Tingkat keanekaragaman bakteri tephra GAK pasca erupsi Desember 2018 tergolong rendah (H' = 0 – 0,92) dengan tingkat dominansi bakteri tergolong tinggi (D = 0,5 – 1). Potensi keanekaragaman bakteri tertinggi (H' = 0,47) dan dominansi terendah (D = 0,65) terdapat pada profil 3 sedangkan, keanekaragaman terendah (H' = 0,25) dan dominansi tertinggi (D = 0,85) teradapat pada profil 4.

5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai identifikasi secara genetik isolat bakteri yang diperoleh pada tephra GAK pasca erupsi Desember 2018 serta mengetahui kemampuan fungsionalnya di bidang pertanian.

DAFTAR PUSTAKA

Akmar, H.N., Asma, I., Venugopal, B., Latha, L.Y., and Sasidharan,S. 2011. Identification of appropriate sample and culture method for isolation of new thermophilic bacteria from hot spring. *African Journal of Microbiology Research*. 5(3) : 217-221.

American Type Culture Collection (ATCC®). 2021. *Introduction to Microbiology*. University Boulevard Manassas. Virginia. 36 hal.

Anda, M., Suparto., and Suparman. 2016. Characteristics of pristine volcanic materials: beneficial and harmfull effect and their management for restoration of agroecosystem. *Science of the Total Environment*. 543 : 480-492.

Anwar, S., Tjahyandari, D., dan Idris, K. 2016. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah Edisi 2*. Universitas Terbuka. Tanggerang Selatan. 324 hal.

Arantika,W., Umboh, S. D., dan Peleaulu, J. J. 2019. Analisis tingkat populasi jamur tanah di lahan pertanaman kentang (*Solanum Tuberosum* L.) berdasarkan metode *total plate count* (TPC). *Jurnal Ilmiah Sains*. 19(2) : 105-110.

Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 2014. Hasil Kajian dan Identifikasi Dampak Erupsi Gunung Sinabung Pada Sektor Pertanian. *www.litbang.deptan.go.id*. Diakses pada tanggal 2 Januari 2021 pukul 20.00 WIB.

Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. 2014. *Tanah Andosol di Indonesia Karakteristik, Potensi, Kendala, dan Pengelolaannya untuk Pertanian*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor. 115 hal.

Blagodatskaya, E., and Kuzyakov, Y. 2008. Mechanisms of real and apparent priming effects and their dependence on soil microbial biomass and community structure: critical review. *Biology and Fertility of Soils.* 45 (2) : 115-131.

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. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96 (7) : 3404-3411.

Bin, L. I. A. N., Ye, C. H. E. N., Lijun, Z. H. U., and Ruidong, Y. A. N. G. 2008. Effect of microbial weathering on carbonate rocks. *Earth Science Frontiers*. 15(6). 90-99.

Boyd, R.F. 1984. *General Microbioloy*. Mosby College Publishing, St Louis. 863 hal.

Brock, T. D. 1986. Notes on the ecology of thermophilic archaebacteria. *System. Appl. Microbiol.* 72 :213–215.

Brown, A and Smith, H. 2012. *Cultural Characteristics. Benson's Microbiological Applications: Laboratory Manual in General Microbiology, Short Version, Thirteenth Edition*. McGraw-Hill Education. New York. 425 hal.

Burton, G. R. W and Engelkirk, P. G. 2014. Burton's, *Microbiology for the Health Science, Tenth Edition*. Wolters Kluwer Health. Philadelphia, USA. 133 hal.

Cohan, F.M. 2002. What are bacterial species. *Annual Review of Microbiology.* 56: 457-487. doi:10.1146/annurev.micro.56.012302.160634.

Crisafulli, C. M., Swanson, F. J., Halvorson, J. J., and Clarkson, B. D. 2015. *Volcano ecology: Disturbance characteristics and assembly of biological communities.* The encyclopedia of volcanoes. Academic Press. 1282 hal.

Demirjian, D. C., Moris-Varas, F., and Cassidy, C.S. 2001. Enzymes from extremophiles. *Current Opinion in Chemical Biology*. 5 (2) : 144-151. doi:10.1016/s1367-5931(00)00183-6.

Dwidjoseputro, D. 2005. *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Djambatan. Jakarta. 214 hal.

Eswari, J. S., Dhagat, S., and Sen, R. 2019. *Thermophiles for Biotech Industry*. Springer, Singapore.

Fiantis, D., 2006. *Laju Pelapukan Kimia Debu Vulkanis G. Talang dan Pengaruhnya Terhadap Proses Pembentukan Mineral Liat Non-kristalin* (Artikel Penelitian). Universitas Andalas. Padang.

Fiantis, D., Nelson M., Van Ranst., E, Shamshuddin, J., and Qafoku, N. P. 2009. Chemical weathering of new pyroclastic deposits from Mt. Merapi (Java), Indonesia. *Journal of Mountain Science*. 6 : 240-254.

Fiantis, D., Nelson, M., Shamshuddin , J., Goh , T.B., and Ranst, E.V. 2010. Leaching experiments in recent tephra deposits from talang volcano (West Sumatra), Indonesia. *Geoderma*. 156 : 161-172.

Fiantis, D. 2019. Dampak erupsi Anak Krakatau pada Biodiversitas dan Tanah. *https:// theconversation.com/dampak-erupsi-gununganak-krakatau-pada-biodiversitas-dan-tanah109332*. Diakses pada tanggal 2 Januari 2021 pukul 17.20 WIB.

Fiantis, D., Ginting, F.I., Nelson, M and Minasny, B. 2019. Volcanic ash, insecurity for the people but securing fertile soil for the future. *Sustainability.* 11: 1-19.

Fiantis, D., Ginting, F., Gusnidar, G., Nelson, M., VanRanst, E., and Minasny, B. 2020. Chemical and Geochemical Characterization of the Evolution of Soils of Krakatau Islands. *Authorea Preprints*. doi:10.22541/au.158930923.31689885/v2.

Fiantis, D., Ginting, F. I., Halfero, F., Saputra, A. P., Nelson, M., Van Ranst, E., and Minasny, B. 2021. Geochemical and mineralogical composition of the 2018 volcanic deposits of Mt. Anak Krakatau. *Geoderma Regional.* 25 : 1-9.

Frey, S. D. 2015. The spatial distribution of soil biota. In : Paul, E.A, (Ed). *Soil microbiology, ecology, and biochemistry*. Fourth Edition. Academic Press. San Diego, USA. 223 hal.

Ginting, F. I., Nelson, M., Minasny, B., and Fiantis, D. 2021. Changes in Anak Krakatau landscape after December 2018 eruption. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 708. 012088. doi:10.1088/1755-1315/708/1/012088.

Gorbushina, A. A., Whitehead, K., Dornieden, T., Niesse, A., Schulte, A., dan Hedges, J. I. 2003. Black fungal colonies as units of survival: hyphal mycosporines synthesized by rock-dwelling microcolonial fungi. *Canadian Journal of Botany*, 81(2) : 131-138.

Greening, C., Constant, P., Hards, K., Morales, S. E., Oakeshott, J. G., Russell, R. J., Taylor, M. C., Berney, M., Conrad, R., and Cook, G. M. 2015. Atmospheric hydrogen scavenging: from enzymes to ecosystems. *Applied and Environmental Microbiology*. 81(4) : 1190-1199.

Guangrong, H., Tiejing, Y., Po, H. dan Jiaxing, J. 2006. Purification and Characterization of a Protease from Thermophilic Bacillus Strain HS08. *African Journal of Biotechnology*. 5 : 2433- 2438.

Ham, J. M., and Senock, R. S. 1992. On the measurement of soil-surface temperature. *Soil Science Society of America Journal*. 56 (2) : 370-377.

Haridjaja, O.D., Baskoro, P.T., dan Setianingsih, M. 2013. Perbedaan nilai kadar air kapasitas lapang berdasarkan metode alhricks, drainase bebas, dan pressure plate pada berbagai tekstur tanah dan hubungannya dengan pertumbuhan bungan matahari (*Helianthus annuus* L.). *Jurnal Tanah Lingkungan*. 15 (2) : 52-59.

Hastuti, R. D dan Ginting, R. C. B. 2007. Enumerasi Bakteri, Fungi, dan Aktinomisetes, dalam Saraswati, R., Husein, E., dan Simanungklit, R.D.M (Ed.) *Metode Analisis Biologi Tanah*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor. 10 hal.

Hikmatullah. 2016. Sifat-Sifat Tanah Yang Berkembang Dari Bahan Volkan Di Halmahera Barat Maluku Utara. *Jurnal Ilmu-ilmu Pertanian Indonesia*. 12 (1): 40-48.

Indriyanto. 2015. *Ekologi Hutan*. PT Bumi Aksara, Jakarta. 210 hal.

International Soil Reference and Information Centre. *Procedures for Soil Analysis, Sixth Edition*. 2002. In: Van Reeuwijk, L.P (Ed). Technical Paper, International Soil Reference and Information Centre. Wageningen, The Netherlands. 100 hal.

Kamaluddin, A., Winarno, G. D., dan Dewi, B. S. 2019. Keanekaragaman Jenis Avifauna di Pusat Latihan Gajah (PLG) Taman Nasional Way Kambas. *Jurnal Sylva Lestari*. 7 (1). 10-21.

Kartasapoetra, A.G dan Sutedjo, M.M. 2005. *Pengantar Ilmu Tanah*, Rineka Cipta, Jakarta. 152 hal.

Keliat, A.M. 2020. *Kelimpahan dan Keragaman Mikroorganisme Penambat Nitrogen, Pelarut Fosfat dan Kalium pada Tanah Vulkan Gunung Ijen*. (Skripsi). Universitas Brawijaya. Malang.

Kertesz, M. A. and Frossard, E. 2015. Biological Cycling of Inorganic Nutrients and Metals in Soils and Their Role in Soil Biogeochemistry. In: Paul, E.A, (Ed). *Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry, Fourth Edition*. Academic Pres. San Diego, USA. 471 hal.

King, G. M. 2007. Chemolithotrohic bacteria: distributions, functions and significance in volcanic environments. *Microbes and Environments*. 22 (4): 309-319.

Killham, K and Prosser, J.I . 2015. The Bacteria and Archaea. In : Paul, E.A, (Ed). *Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry, Fourth Edition*. Academic Pres. San Diego, USA. 41 hal.

Kusuma S. 2007. *Penentuan Bentuk dan Luas Plot Contoh Optimal Pengukuran*

Keanekaragaman Spesies Tumbuhan pada Ekosistem Hutan Hujan Dataran Rendah: Studi Kasus di Taman Nasional Kutai. (Tesis). Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Kusumarini, N., Utami, S.R., dan Kusuma, Z. 2014. Pelepasan kation basa pada bahan piroklastik gunung api. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 1(2): 1-8.

Machulla, G., Thieme, J., and Niemeyer, J. 1998. Interaction of microorganisms with soil colloids observed by X-ray microscopy. In : Thieme. J., Schmahl, G., Rudolph, D., and Umbatch. E (Ed). *X-ray Microscopy and Spectromicroscopy*. Springer. Berlin, Heidelberg. 125 hal.

Magurran A. E. 1988. *Ecologycal Diversity and Its Measurement*. Pricenton University Press, New Jersey.

Maira, L., Fiantis, D., dan Azman, A. 2014. *Hubungan antara Mikrobia dengan Proses Pelapukan Abu Vulkanik.* Lembaga Penelitian Universitas Andalas, Padang.

Mehta, D., and Satyanarayana, T. 2013. Diversity of hot environments and thermophilic microbes. In: Satyanarayana, T., Littlechild, J., and Kawarabayasi, Y (Eds). *Thermophilic Microbes in Environmental and Industrial Biotechnology*. Springer, New York. 3 hal.

Morse, S. A., and Meitzner, T. A. 2013. Fundamentals of microbiology. In: Jawetz, E., Melnick. J.L and Adelberg's E.A. *Medical Microbiology.* McGraw-Hill Companies. New York. 67 hal.

Morris, S. J and Blackwood, C. B. 2015. The ecology of the soil biota and their function. In : Paul, E.A, (Ed). *Soil microbiology, ecology, and biochemistry*. Fourth Edition. Academic Press. San Diego, USA. 273 hal.

Muhari, A., Heidarzadeh, M.,Susmoro, H., Nugroho, H.D., Kriswati, E., Wijanarto, A.B., Imamura, F., and Arikawa, T. 2019. The December 2018 Anak Krakatau volcano tsunami as inferred from post-tsunami field surveys and spectral analysis. *Pure and Applied Geophysics*. 176 (12) : 5219-5233.

Mukharomah, E. 2020. *Konsep Dasar Ekologi Tumbuhan*. Bening Media Publishing, Palembang. 181 hal.

Nahlunnisa, H., Zuhud, E.A.M., dan Santosa, Y.2016 .Keanekaragaman spesies tumbuhan di arealnilai konservasi tinggi (NKT) perkebunan kelapa sawit Provinsi Riau. *Media Konservasi*. 21(1) : 91-98.

Odum, E. P. 1993. *Dasar-Dasar Ekologi*. Penerjemah: Tjahjono, Samingan. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta. 139 hal.

Paul, E.A. 2015. Soil microbiology, ecology, and biochemistry: an exciting present and great future built on basic knowledge and unifying concepts. In : Paul, E.A, (Ed). *Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry*, Fourth Edition. Academic Press. San Diego, USA. 5 hal.

Purwaningsih, S. 2005. Isolasi, Enumerasi, dan karakterisasi bakteri rhizobium dari tanah kebun biologi Wamena, Papua. *Biodiversitas.* 6(2) : 82-84.

Purwaningsih, S. 2009. Populasi Bakteri Rhizobium di Tanah Pada Beberapa Tanaman dari Pulau Buton, Kabupaten Muna, Provinsi Sulawesi Tenggara. *Jurnal Tanah Tropika*. 14(1) : 65-70.

Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. 2019. Laporan Kebencanaan Geologi 30 Desember. *http://www.vsi.esdm.go.id/*. Diakses tangga 15 April 2020 pukul 16.50 WIB.

Rahman, A dan Mujiyanto. 2013. Komunitas Fitoplankton di Taman Nasional Karimunjawa, Jepara, Jawa Tengah. *Widyariset.* 16 (3) : 395-402.

Rajmi, S. L., Gusnidar, G., Lubis, R. L., Ginting, F. I., Hidayat, F. R., Zulhakim, H., Armer, A N., Yulanda, N., Syukri, I F., and Fiantis, D. 2021. Improving Volcanic Soil Chemistry After the Eruption of Mt. Sinabung, North Sumatera in 2020. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 757. 012042. doi :10.1088/1755-1315/757/1/012042.

Rakhmawati, A.,Yulianti, E., dan Rohaeti, E. 2013. S*eleksi Bakteri Termofilik Pasca Erupsi Merapi Sebagai Penghasil Enzim Amilase Dan Protease*. (Laporan Akhir Penelitian Hibah Bersaing). Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.

Respati, N. Y., Yulianti, E., dan Rahmawati, A. 2017. Optimasi suhu dan pH media pertumbuhan bakteri pelarut fosfat dari isolat bakteri termofilik. *Jurnal Prodi Biologi*. 6 (7) : 423-430.

Ridho, M., Fiantis, D., dan Yasin, S. 2018. Klasifikasi Tanah pada Kepulauan Krakatau Kabupaten Lampung Selatan. *http://scholar.unand.ac.id/36599/*. Diakses pada 15 April 2020 17.30 WIB.

Robert, M., and Berthelin, J. 1986. Role of biologicaland biochemical factors in soil mineral weathering. In: Huang, P. M., dan Schnitzer, M. (Ed). *Interactions of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes*. Soil Science Society of America (SSSA). USA. 453 hal.

Robock, A. 2000. Volcanic eruptions and climate. *Reviews of Geophysics*. 38.(2) : 191-219.

Santana, M. M., and Gonzalez, J. M. 2015. High temperature microbial activity in upper soil layers. *FEMS Microbiology Letters*. 362 (22). doi: 10.1093/femsle/fnv182.

Sarah, P., Elfiati, D., dan Delvian, D. 2015. Aktivitas mikroorganisme pada tanah bekas erupsi gunung sinabung di kabupaten Karo. *Peronema Forestry Science Journal*. 4(4) : 59-64.

Sartohadi, J., Jamulya, dan Dewi, N. I. S. 2012. *Pengantar Geografi Tanah*. Pustaka Pelajar, Yogyakarta. 196 hal.

Schloss, P. D and Handelsman, J. 2006. Towards a census of bacteria in soil. *PLoS Computational Biology*. 2 (7) : 786-793.

Sedov, S., Stoops, G. and Shoba, S., 2010. Regoliths and soils on volcanic ash. In: Stoops, G., Marcelino, V. dan Mees, F. (Ed.), *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths.* Elsevier, Amsterdam. 275 hal.

Sembiring, M and Fauzi. 2017. Bacterial and fungi phosphate solubilization effect to increase nutrient uptake and potatoes (*Solanum tuberosum L.*) production on andisol Sinabung area. *Journal of Agronomy*. 16 (3) : 131-137. doi: 10.3923/ja.2017.131.137.

Setiawati, A.R., Lumbanraja, J., Aini, S.N., Dermiyati, Buchari, H., and Naspendra, Z. 2020. Texture and chemical properties of two depth soils in a toposequence of Anak Krakatau before December 2018 eruption. *Journal of Tropical Soils.* 25 (2) : 71-81.

Shannon, C. E. 1948. A mathematical theory of communication. *The Bell system technical journal.* 27 (3) : 379-423.

Sharma, P., and Bhakri, G. 2019. Role of Bacteria in Pedogenesis. In *Mycorrhizosphere and Pedogenesis*. Springer, Singapore. 167 hal.

Shoji, S., Nanzyo, M., and Dahlgren R, 1993. *Productivity and Utilization of Volcanic Ash Soils.* In : Shoji, S., Nanzyo, M., and Dahlgren, R (Ed). Volcanic Ash Soils Genesis, Properties and Utilization. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, The Netherlands. 209 hal.

Shoji, S., and Takahashi, T. 2002. Environmental and agricultural significance of volcanic ash soils. *Global Environmental Research-English Edition.* 6 (2). 113-135.

Sitepu, E.B. 2011. *Dampak Debu Vulkanik Letusan Gunung Sinabung Terhadap Unsur Hara Makro Tanah di Kabupaten Karo*. (Skripsi). Universitas Sumatera Utara. Medan.

Soil Survey Staff. 1996. *Soil Survey Laboratory Methods Manual*. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service-United States Department of Agricultural, Washington DC. 29 hal.

Soil Survey Staff. 2014. *Keys to Soil Taxonomy Twelfth Edition*. Natural Resources Conservation Service-United States Department of Agricultural, Washington DC. 87 hal.

Suparman dan Soeparto. 2015. Sebaran dan karateristik material vulkanik hasil erupsi Gunung Sinabung di Sumatera Utara. *Jurnal Tanah dan Iklim.* 39 (1): 9-18.

Supriatin, L.S., Cahyono, W. E., dan Syafrizon. 2017. Pengaruh Kualitas Air Hujan Pada Konsentrasi Metana. *Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*. 2 (2): 103-109.

Suriadikarta, D.A., Abbas, A. Id., Sutono., Erfandi, D., Santoso, E., dan Kasno. A. 2011. *Identifikasi Sifat Kimia Abu Volkan, Tanah Dan Air Di Lokasi Dampak Letusan Gunung Merapi*. (Makalah). Balai Penelitian Tanah, Bogor.

Sutawidjaja, I.S. 2006. Pertumbuhan Gunung Api Krakatu setelah letusan katatrofis 1883. *Jurnal Geologi Indonesia*. 1 (3):143-153.

Sutomo and Fardilla, D. 2013. Floristic composition of groundcover vegetation after the 2010 pyroclastic fire on Mount Merapi. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*. 19 (2) : 85-93. doi : 10.7226/jtfm.19.2.85.

Sutono, S., Purnomo, J., Purwanti, J., dan Jamil, A. 2017. *Berkah Abu Vulkanis Bahan Pembenah Tanah.* IAARD Press, Jakarta. 51 hal.

Tan, K.H. 2005. *Soil Sampling Preparation and Analysis 2nd Edition*. Taylor & Francis Group, Boca Raton, London. 622 hal.

Tantri, E. 2014. Letusan krakatau 1883: Pengaruhnya terhadap gerakan sosial Banten 1888. *Junal Masyarakat dan Budaya*. 16 (1) : 191-214.

Reynolds, W.D. and Topp, G. C. 2008. Soil Water Analyses. In : Carter, M.R. and Gregorich, E.G (Ed). *Soil Sampling and Methods of Analysis, Second Edition.* Taylor & Francis Group. USA. 913 hal.

Uroz, S., Calvaruso, C., Turpault, M. P., and Frey-Klett, P. 2009. Mineral Weathering by bacteria: ecology, actors and mechanism. *Trends in Microbiology.* 17 (8). 378-387.

Voroney, R.P. and Heck, R.J. 2015. The Soil Habitat. In : Paul, E.A, (Ed). *Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry, Fourth Edition*. Academic Press, Elsevier. USA. 33 hal.

Walter, T. R., Haghighi, M. H., Schneider, F. M., Coppola, D., Motagh, M., Saul, J., Babeyko, A., Dahm, T., Troll, V.R., Tilmann, F., Heimann, S., Valade, S., Triyono, R., Khomarudin, R., Kartadinata, N., Laiolo, M., Massimetti, F., and Gaebler, P. 2019. Complex hazard cascade culminating in the Anak Krakatau sector collapse. *Nature communications*. 10 (1) : 1-11.

Ward, D.M. 1998. A natural species concepts for procaryotes. *Current Opinion in Microbiology* 1: 271-277.

Widawati S., Suliasih, H. J. D., Latupapua, and Sugiharto, A. 2005. Biodeversity of soil microbes from rhizosphere at Wamena biological garden (WBiG), Jayawijaya, Papua. *Jurnal Biodervisitas.* 6 (1) : 6-11.

Wirakusumah S. 2003. *Dasar-dasar Ekologi bagi Populasi dan Komunitas.* UIP Press. Jakarta. 148 hal.

Yunita, M., Y. Hendrawan, dan R. Yulianingsih. 2015. Analisis kualitatif mikrobiologi pada makanan penerbangan (Aerofood ACS) garuda indonesia berdasarkan TPC (*Total Plate Count*) dengan metode pour plate. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*. 3(3): 237-248.