

**KELIMPAHAN DAN KERAGAMAN MIKROORGANISME PENAMBAT
NITROGEN, PELARUT FOSFAT DAN KALSIUM PADA TANAH VULKAN
GUNUNGAPI IJEN**

Oleh
ANGGA AMENTA KELIAT

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
MALANG
2020**

**KELIMPAHAN DAN KERAGAMAN MIKROORGANISME PENAMBAT
NITROGEN, PELARUT FOSFAT DAN KALIUM PADA PROFIL TANAH
VULKAN GUNUNGAPI IJEN**

Oleh

ANGGA AMENTA KELIAT

155040200111230

**PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI
MINAT MANAJEMEN SUMBERDAYA LAHAN**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Sarjana Pertanian Strata Satu (S-1)**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
JURUSAN TANAH
MALANG
2020**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Malang,

Angga Amenta Keliat

LEMBAR PERSETUJUAN

Judul : **Kelimpahan dan Keragaman Mikroorganisme
Penambat Nitrogen, Pelarut Fosfat dan Kalium
Pada Tanah Vulkan Gunungapi Ijen**
Nama Mahasiswa : **ANGGA AMENTA KELIAT**
NIM : **155040200111230**
Jurusan : **TANAH**
Menyetujui : **Dosen Pembimbing**

Pembimbing Utama, Pembimbing Pendamping,

Cahyo Prayogo, SP. MP. PhD.
NIP. 19730103 199802 1 002

Dr. Ir. R. Cinta Badia Ginting, MSi.
NIP. 19661020 199303 2 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Tanah

Syahrul Kurniawan, SP. MP. Ph.D.
NIP. 19791018 20050 1 002

Tanggal Persetujuan



LEMBAR PENGESAHAN

Mengesahkan

MAJELIS PENGUJI

Penguji I

Penguji II

Novalia Kusumarini, SP. MP.
NIP. 19891108 201504 2 001

Cahyo Prayogo, SP. MP. PhD.
NIP. 19730103 199802 1 002

Penguji III

Penguji IV

Dr. Ir. R. Cinta Badia Ginting, MSi.
NIP. 19661020 199303 2 001

Ir. Sri Rahayu Utami, MSc. PhD.
NIP. 19611028 198701 2 001

Tanggal Lulus :



Skripsi ini kupersembahkan untuk kedua orang tua tercinta

Bapak Lewijaya Keliat dan Ibu Minda Flora Ginting

RINGKASAN

ANGGA AMENTA KELIAT. 155040200111230. Kelimpahan dan Keragaman Mikroorganisme Penambat Nitrogen, Pelarut Fosfat dan Kalium Pada Tanah Vulkan Gunungapi Ijen. Dibimbing Oleh Cahyo Prayogo, sebagai pembimbing utama dan Rohani Cinta Badia Ginting sebagai pembimbing pendamping.

Aktivitas gunungapi memberikan dampak yang merugikan dan menguntungkan bagi kehidupan manusia. Kerugian yang disebabkan diantaranya yaitu kerusakan pada daerah pemukiman, pertanian, hutan dan bahkan merenggut korban jiwa. Keuntungan yang ditimbulkan adalah material yang dikeluarkan saat terjadinya erupsi sangat kaya akan mineral penyubur tanah. Setelah mengalami proses pelapukan yang sempurna, bahan tersebut menjadi tanah vulkan yang subur. Sifat masam dari material vulkan dapat mengubah sifat fisik, kimia dan terutama biologi tanah. Sifat masam dari abu vulkan akan mempengaruhi kandungan dan aktivitas mikroorganisme di dalam tanah. Sebagai indikator sensitif dari status suatu ekosistem, mikroorganisme tanah tentu akan kehilangan peranannya untuk melaksanakan berbagai proses metabolisme di dalam tanah yang diakibatkan oleh dampak erupsi gunungapi. Mikroorganisme tanah umumnya berperan dalam proses penyediaan maupun penyerapan unsur hara oleh tanaman. Tiga unsur hara penting tanaman, yaitu nitrogen, fosfat, dan kalium seluruhnya melibatkan aktivitas mikroorganisme. Unsur hara nitrogen tidak dapat langsung diserap oleh tanaman karena harus difiksasi/ditambat oleh mikroorganisme tanah, sementara unsur hara fosfat dijerap kuat oleh bahan alumunium dan besi non-kristalin dan unsur kalium dijerap kuat oleh mineral pembawa kalium sehingga menjadi tidak tersedia untuk tanaman. Mikroorganisme memainkan peran kunci dalam penambatan nitrogen, pelarutan fosfat dan kalium di dalam tanah serta menyediakannya bagi tanaman. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian guna mengetahui kelimpahan dan keragaman mikroorganisme dalam menambat nitrogen, melarutkan fosfat dan kalium pada tanah vulkan gunungapi Ijen.

Penelitian dilaksanakan pada Februari 2019 hingga Juli 2019 di Laboratorium biologi tanah Balai Penelitian Tanah, Bogor. Sampel tanah yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari setiap horizon pada profil tanah vulkan gunungapi Ijen dengan jenis tanah dan lokasi yang berbeda yaitu Kambisol Andik (KA) merupakan profil tanah yang diambil dari dataran vulkan pada ketinggian 62 mdpl dengan penggunaan lahan tumpang sari jagung dan cabai yang terdiri dari 5 horizon. Sementara untuk sampel tanah lainnya yakni Andosol Eutrik pertama (AE1) diambil dari lereng bawah vulkan pada ketinggian 928 mdpl dengan penggunaan lahan tumpang sari dan rotasi cabai sayuran kubis, dan wortel yang terdiri dari 8 horizon dan sampel tanah Andosol Eutrik kedua (AE2) merupakan sampel tanah yang diambil dari lereng tengah vulkan pada ketinggian 1020 mdpl dengan penggunaan lahan hutan primer yang terdiri dari 8 horizon.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sebanyak 18 sampel tanah vulkan yang digunakan sebagai sumber mikroorganisme berasal dari 3 jenis profil tanah yang berbeda mampu menambat nitrogen, melarutkan fosfat dan kalium. Mikroorganisme yang mampu menambat nitrogen berasal dari kelompok bakteri. Potensi bakteri dalam menambat nitrogen tertinggi berasal dari profil tanah Kambisol Andik sebesar $5,91 \times 10^6$ cfu/ml. Mikroorganisme yang mampu melarutkan fosfat dengan berbagai sumber terdiri dari bakteri dan fungi. Potensi mikroorganisme dalam melarutkan fosfat dengan sumber fosfat alam tertinggi berasal dari profil tanah Kambisol Andik berkisar 5×10^3 – $2,65 \times 10^5$ cfu/ml, sementara mikroorganisme yang berpotensi dalam melarutkan fosfat dengan sumber Ca, tertinggi terdapat pada profil tanah Kambisol Andik sebesar $2,09 \times 10^5$ cfu/ml dan tidak ditemukan mikroorganisme yang mampu melarutkan fosfat dengan sumber Fe. Mikroorganisme yang mampu melarutkan kalium berasal dari kelompok bakteri dan tidak ditemukan kelompok fungi. Potensi bakteri dalam melarutkan kalium tertinggi terdapat pada profil tanah Kambisol Andik sebesar $1,00 \times 10^4$ cfu/ml. Dalam penelitian ini juga ditemukan sebanyak 5 isolat bakteri pelarut fosfat alam mampu melarutkan Ca dan menambat nitrogen serta 2 isolat bakteri pelarut fosfat dengan sumber fosfat alam lainnya mampu melarutkan Ca, melarutkan kalium dan menambat nitrogen. Sebanyak 16 isolat bakteri pelarut Ca mampu melarutkan fosfat dengan sumber fosfat alam dan menambat nitrogen serta 10 isolat bakteri pelarut fosfat dengan sumber Ca lainnya mampu melarutkan fosfat dengan sumber fosfat alam, melarutkan kalium dan menambat nitrogen. Sebanyak 2 fungi pelarut fosfat dengan sumber fosfat alam mampu melarutkan fosfat dengan sumber Ca, melarutkan kalium dan menambat nitrogen serta 1 isolat fungi pelarut fosfat dengan sumber fosfat alam mampu melarutkan fosfat dengan sumber Ca dan menambat nitrogen. Satu isolat fungi pelarut fosfat dengan sumber Ca mampu melarutkan fosfat dengan sumber fosfat alam dan menambat nitrogen serta 1 isolat fungi pelarut fosfat dengan sumber Ca mampu menambat nitrogen. Satu isolat bakteri pelarut kalium mampu melarutkan fosfat dengan sumber fosfat alam dan Ca serta menambat nitrogen.

SUMMARY

ANGGA AMENTA KELIAT. 155040200111230. Abundance and Diversity of Nitrogen Fixing Microorganisms, Solvents of Phosphate and Potassium in Volcanic Soils of Ijen. Supervised by Cahyo Prayogo, as the main supervisor and Rohani Cinta Badia Ginting as a co-supervisor.

Volcanic activity has a detrimental and beneficial impact on human life. Losses caused include damage to residential areas, agriculture, forests and even claimed lives. The advantage is that the material released during the eruption is very rich in soil fertility minerals. After experiencing the perfect weathering process, the material becomes fertile volcanic soil. The acidity of volcanic material can change the physical, chemical and especially biological behavior of the soil. The acidity of volcanic ash will affect the content and activity of microorganisms in the soil. As a sensitive indicator of the status of an ecosystem, soil microorganisms will certainly lose their role in carrying out various metabolic processes in the soil caused by the impact of volcanic eruptions. Soil microorganisms generally play a role in the process of supplying or absorbing nutrients by plants. Three important plant nutrients, namely nitrogen, phosphate, and potassium all involve the activity of microorganisms. Nitrogen nutrients cannot be directly absorbed by plants because they must be fixed/tethered by soil microorganisms, while phosphate nutrients are strongly absorbed by aluminum and non-crystalline iron and potassium are absorbed strongly by potassium-carrying minerals so that it becomes unavailable to plants. Microorganisms play a key role in nitrogen-fixing, phosphate and potassium dissolution in the soil and providing them to plants. Therefore it is necessary to research to determine the abundance and diversity of microorganisms in tethering nitrogen, dissolving phosphate and potassium in the volcanic soil of Ijen.

The study was conducted in February 2019 to July 2019 at the Soil Biology Laboratory, Soil Research Institute, Bogor. Soil samples used in this study were taken from each horizon in the Ijen volcanic soil profile with different types of soil and locations namely Kambisol Andik (KA) is a soil profile taken from volcanic plains at an altitude of 62 meters above sea level with the use of corn and chili intercropping land, which consists of 5 horizons. While for other soil samples, the first Andosol Eutrik (AE1) taken from the lower slope of the volcano at an altitude of 928 masl with intercropping land use and rotation of cabbage vegetable chili, and carrots consisting of 8 horizons and the second Andosol Eutric soil sample (AE2) are sampled land taken from the volcanic center slope at an altitude of 1020 masl with the use of primary forest land consisting of 8 horizons.

The results of this study indicate that as many as 18 soil samples used as microorganisms sources come from 3 types of soil profiles can tether nitrogen, dissolve phosphate and potassium. Microorganisms that can tether nitrogen come from groups of bacteria. The highest potential of bacteria in tethering nitrogen comes from the soil profile of Kambisol Andik at $5,91 \times 10^6$ cfu/ml. Microorganisms that

can dissolve phosphate with various sources consisting of bacteria and fungi. Potential of microorganisms in dissolving phosphate with the highest source of natural phosphate comes from the profile of Kambisol Andik in the range of 5×10^3 – $2,65 \times 10^5$ cfu/ml, while microorganisms which have the potential to dissolve phosphate with Ca sources, the highest found in the soil profile of Kambisol Andik that is equal to $2,09 \times 10^5$ cfu/ml and found no microorganisms that can dissolve phosphate with Fe sources. Microorganisms that can dissolve potassium comes from a group of bacteria and there is no fungi group found. The highest potency of bacteria in dissolving potassium is found in the soil profile of Kambisol Andik at $1,00 \times 10^4$ cfu/ml. In this study also found as many as 5 isolates of natural phosphate solubilizing bacteria capable of dissolving Ca and fixing nitrogen and 2 isolates of phosphate solubilizing bacteria with other natural phosphate sources capable of dissolving Ca, dissolving potassium and nitrogen-fixing. A total of 16 isolates of Ca solvent bacteria were able to dissolve phosphate with natural phosphate sources and tether nitrogen and 10 isolates of phosphate solvent bacteria with other Ca sources were able to dissolve phosphate with natural phosphate sources, dissolve potassium and tether nitrogen. A total of 2 phosphate solvent fungi with natural phosphate sources can dissolve phosphate with Ca sources, dissolve potassium and nitrogen-fixing, and 1 phosphate solvent fungi isolate with natural phosphate sources can dissolve phosphate with Ca sources and tether nitrogen. One phosphate solvent isolates with Ca source can dissolve phosphate with natural phosphate source and nitrogen-fixing and 1 phosphate solvent fungi isolate with Ca source is capable of nitrogen-fixing. One potassium solvent bacterial isolate can dissolve phosphate with natural phosphate sources and Ca and tether nitrogen.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan limpahan karunia dan kasihNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Kelimpahan dan Keragaman Mikroorganisme Penambat Nitrogen, Pelarut Fosfat dan Kalium Pada Tanah Vulkan Gunungapi Ijen”**.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya, kepada Cahyo Prayogo, SP. MP. Ph.D dan Dr. Ir. R. Cinta Badia Ginting, MSi., selaku dosen pembimbing atas segala kesabaran, nasihat, arahan dan bimbingannya kepada penulis. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Novalia Kusumarini, SP. MP., dan Ir. Sri Rahayu Utami, MSc. PhD., selaku penguji atas nasihat, arahan dan bimbingan kepada penulis. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Ketua Jurusan Syahrul Kurniawan, SP. MP. PhD., beserta seluruh dosen atas bimbingan dan arahan yang selama ini diberikan.

Penghargaan yang tulus penulis berikan kepada orang tua atas doa, cinta, kasih sayang, pengertian dan dukungan yang diberikan kepada penulis.

Penulis berharap semoga hasil dari penelitian ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak, dan memberikan sumbangan pemikiran dalam kemajuan ilmu pengetahuan.

Malang, Januari 2020

Angga Amenta Keliat

DAFTAR ISI

	Halaman
RINGKASAN	i
SUMMARY	iii
KATA PENGANTAR	v
RIWAYAT HIDUP	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Hipotesis	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6 Alur Pikir	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tanah Vulkan	5
2.2 Tanah Vulkan dan Hubungannya terhadap Mikroorganisme Tanah	6
2.3 Mikroorganisme Penambat Nitrogen	7
2.4 Mikroorganisme Pelarut Fosfat	8
2.5 Mikroorganisme Pelarut Kalium	9
III. METODE PENELITIAN	10
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	10
3.2 Alat dan Bahan	10
3.2.1 Alat penelitian	10
3.2.2 Bahan penelitian	10

3.3 Sampel Tanah	10
3.4 Pelaksanaan Penelitian.....	12
3.4.1 Isolasi mikroorganisme penambat N, pelarut P dan K.....	12
3.4.2 Pengamatan dan penghitungan mikroorganisme	13
3.4.3 Purifikasi isolat	13
3.4.4 Pengujian kemampuan fungsional pelarut P dan K secara kualitatif...	14
3.4.5 Pengujian kemampuan fungsional pelarut P dan K secara kuantitatif.	15
3.5 Parameter Pengamatan Penelitian.....	16
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	18
4.1 Mikroorganisme Penambat N	18
4.1.1 Populasi mikroorganisme penambat N	18
4.1.2 Morfologi mikroorganisme penambat N	21
4.2 Mikroorganisme Pelarut P	23
4.2.1 Populasi mikroorganisme yang tumbuh pada media Pikovskaya.....	23
4.2.2 Aktivitas mikroorganisme pelarut P	28
4.2.3 Uji aktivitas mikroorganisme pelarut P	35
4.3 Mikroorganisme Pelarut K	38
4.3.1 Populasi mikroorganisme yang tumbuh pada media Alexandrov	38
4.3.2 Aktivitas mikroorganisme pelarut K.....	41
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	44
5.1 Kesimpulan.....	44
5.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN.....	51

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
1.	Alur pikir Penelitian	4
2.	Purifikasi isolat	14
3.	Pengujian kemampuan fungsional pelarut P dan K secara kualitatif	14
4.	Pengujian kemampuan fungsional pelarut P dan K secara kuantitatif	16
5.	Bentuk morfologi isolat bakteri penambat N	21
6.	Bentuk morfologi makroskopis isolat bakteri.....	28
7.	Isolat bakteri membentuk zona bening pada media.....	30
8.	Bentuk morfologi makroskopis isolat fungi	34
9.	Isolat fungi membentuk zona bening pada media	34
10.	Kemampuan isolat bakteri dan fungi dalam melarutkan media lain	35
11.	Bakteri pelarut K; (a) bentuk morfologi dan; (b) zona bening yang mengindikasikan aktivitas pelarut K	42
12.	Kemampuan isolat bakteri pelarut K dalam melarutkan media lain.....	42
13.	Peta lokasi pengambilan sampel tanah vulkan gunungapi Ijen	51
14.	Profil tanah vulkan gunungapi Ijen	58
15.	Grafik konsentrasi standart (ppm)	88

DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
1.	Parameter pengamatan penelitian.....	17
2.	Total populasi mikroorganisme penambat N dari profil tanah vulkan gunungapi Ijen	20
3.	Karakteristik morfologi isolat bakteri penambat N dari profil tanah vulkan gunungapi Ijen	22
4.	Total populasi mikroorganisme pada media Pikovskaya dari profil tanah vulkan gunungapi Ijen	27
5.	Karakteristik makroskopis isolat bakteri pelarut P dari profil tanah vulkan gunungapi Ijen	29
6.	Hasil pengujian kualitatif dan kuantitatif isolat bakteri pelarut P	31
7.	Karakteristik makroskopis isolat fungi pelarut P dari profil tanah vulkan gunungapi Ijen.....	33
8.	Hasil pengujian kualitatif dan kuantitatif isolat fungi pelarut P	35
9.	Uji aktivitas bakteri dan fungi potensial pelarut P.....	37
10.	Total populasi mikroorganisme pada media Alexandrov dari profil tanah vulkan gunungapi Ijen	40
11.	Uraian morfologi profil tanah KA	53
12.	Uraian morfologi profil tanah AE1.....	55
13.	Uraian morfologi profil tanah AE2.....	57
14.	Komposisi media JNFB.....	59
15.	Komposisi media Pikovskaya.....	59
16.	Komposisi media Alexandrov	60

17.	Komposisi media Nutrient Agar	60
18.	Analisis kimia tanah vulkan gunungapi Ijen	61
19.	Kandungan mineral fraksi pasir tanah vulkan gunungapi Ijen	62
20.	Total populasi mikroba penambat N.....	63
21.	Total populasi mikroba pada media seleksi pikovskaya dengan sumber Fe	65
22.	Total populasi mikroba pada media seleksi Pikovskaya dengan sumber Fosfat alam	67
23.	Total populasi mikroba pada media seleksi Pikovskaya dengan sumber Ca.....	69
24.	Total populasi mikroba pada media seleksi Alexandrov	71
25.	Nilai indeks pelarutan isolat bakteri pelarut fosfat.....	85
26.	Nilai indeks pelarutan isolat fungi pelarut fosfat.....	86
27.	Nilai indeks pelarutan bakteri pelarut K.....	87
28.	Nilai dan grafik standar absorbansi spektrofotometri.....	88
29.	Hasil pengujian BPF dengan sumber fosfat alam secara kualitatif	89
30.	Hasil pengujian BPK secara kualitatif	90
31.	Hasil pengujian BPF dengan sumber Ca secara kualitatif.....	91



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Teks	Halaman
1.	Peta lokasi pengambilan sampel tanah vulkan gunungapi Ijen	51
2.	Uraian morfologi profil tanah KA	52
3.	Uraian morfologi profil tanah AE1.....	54
4.	Uraian morfologi profil tanah AE2.....	56
5.	Profil tanah vulkan gunungapi Ijen	58
6.	Komposisi media yang digunakan.....	59
7.	Analisis kimia tanah vulkan gunungapi Ijen	61
8.	Kandungan mineral fraksi pasir tanah vulkan gunungapi Ijen	62
9.	Total populasi mikroba penambat N.....	63
10.	Total populasi mikroba tersedia pada media seleksi Pikovskaya.....	65
11.	Total populasi mikroba tersedia pada media seleksi Alexandrov	71
12.	Karakteristik makroskopis bakteri penambat N	73
13.	Hasil pengujian isolat bakteri secara kualitatif.....	76
14.	Hasil pengujian isolat bakteri pada media lain.....	78
15.	Morfologi isolat fungi potensial terpilih secara makroskopis	81
16.	Mikroskopis fungi potensial dengan perbesaran 1000x	82
17.	Hasil pengujian isolat fungi secara kualitatif.....	83
18.	Hasil pengujian isolat fungi pada media lain.....	84
19.	Nilai indeks pelarutan isolat bakteri pelarut fosfat.....	85
20.	Nilai indeks pelarutan isolat fungi pelarut fosfat.....	86
21.	Nilai indeks pelarutan bakteri pelarut K.....	87

22.	Nilai dan grafik standar absorbansi spektrofotometri.....	88
23.	Hasil pengujian BPF dengan sumber fosfat alam secara kualitatif	89
24.	Hasil pengujian BPK secara kualitatif	90
25.	Hasil pengujian BPF dengan sumber Ca secara kualitatif.....	91
26.	Dokumentasi kegiatan penelitian.....	92



I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang terletak di daerah cincin api pasifik (*the ring of fire*) dengan jumlah gunungapi sekitar 127 gunung berada di sepanjang pulau Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi, dan Papua. Menurut Kementerian ESDM (2014), gunung Ijen terletak di bagian ujung timur pulau Jawa mulai dari selat Bali sampai daerah Bondowoso meliputi luas sekitar 500 km² yang terdiri dari endapan vulkanik antara lain leleran lava, bom gunungapi dan abu gunungapi. Aktivitas gunungapi tersebut memberikan dampak yang merugikan dan menguntungkan bagi kehidupan manusia di sekitarnya. Kerugian yang disebabkan oleh hasil letusan gunungapi yaitu kerusakan pada daerah pemukiman, pertanian, hutan dan bahkan merenggut korban jiwa yang diakibatkan oleh lava dan elvata dengan suhu tinggi yang dikeluarkan saat erupsi, awan panas dan debu vulkanik yang menyebabkan polusi udara, dan lain sebagainya. Selain itu, keuntungan yang ditimbulkan salah satunya adalah material gunungapi yang dikeluarkan saat terjadinya erupsi sangat kaya akan mineral penyubur tanah. Setelah mengalami proses pelapukan yang sempurna, bahan tersebut menjadi tanah vulkan yang subur (Utoyo, 2007).

Tanah vulkan merupakan tanah yang terbentuk dari bahan piroklastik yang terdiri atas fragmen-fragmen pijar berukuran halus (debu) hingga berukuran bongkah-bongkah besar hasil erupsi gunungapi yang mengandung mineral alofan yang sangat penting guna mendukung kesuburan tanah (Dill, 2015). Abu vulkanis yang dikeluarkan saat erupsi gunungapi memiliki pH yang masam (Sitepu, 2011). Sifat masam dari abu vulkanik dapat mengubah sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Sifat fisik tanah yang berubah akibat abu vulkanik adalah *bulk density* yang relatif tinggi dan daya pegang air yang sangat rendah, sedangkan perubahan pada sifat kimia yang diakibatkan oleh abu vulkanik terjadi pada pH dan Kapasitas Tukar Kation (KTK). Sifat masam dari abu vulkanik juga mempengaruhi sifat biologi tanah yaitu kandungan dan aktivitas mikroorganisme di dalam tanah (Balittanah, 2011). Sebagai indikator sensitif dari status suatu ekosistem, mikroorganisme tanah tentu akan

kehilangan peranannya untuk melaksanakan berbagai proses metabolisme di dalam tanah yang diakibatkan oleh dampak erupsi gunungapi.

Tanah yang subur mengandung lebih dari 100 juta mikroorganisme per gram tanah dan menjadi salah satu faktor penting dalam ekosistem tanah karena mempengaruhi siklus dan ketersediaan unsur hara tanaman serta stabilitas struktur tanah (Susilawati dkk., 2013). Selain dipengaruhi oleh aktivitas gunung api, ketersediaan mikroorganisme di dalam tanah juga dipengaruhi oleh berbagai faktor lainnya seperti pengolahan lahan, aktivitas pemupukan, tekstur tanah, kadar pH tanah dan ketinggian tempat. Mikroorganisme tanah umumnya berperan dalam proses penyediaan maupun penyerapan unsur hara oleh tanaman. Tiga unsur hara penting tanaman, yaitu nitrogen (N), fosfat (P), dan kalium (K) seluruhnya melibatkan aktivitas mikroorganisme tanah. Mikroorganisme tanah yang berperan dalam penyediaan unsur hara tanaman adalah mikroorganisme penambat nitrogen. Hara N merupakan unsur yang melimpah di alam, sekitar 80 % atmosfer terdiri dari molekul nitrogen. Hara N tidak dapat langsung diserap oleh tanaman karena harus difiksasi/ditambat oleh mikroorganisme tanah dan diubah bentuknya menjadi tersedia bagi tanaman. Mikroorganisme tanah lain yang berperan dalam penyediaan unsur hara tanaman adalah mikroorganisme pelarut fosfat dan kalium. Pada tanah vulkan, unsur hara P dan K selalu menjadi pembatas pertumbuhan tanaman karena suplainya selalu rendah. Unsur P dijerap kuat oleh bahan aluminium dan besi non-kristalin sementara unsur K dijerap kuat oleh mineral pembawa kalium sehingga menjadi tidak tersedia untuk tanaman (Mukhlis, 2011). Mikroorganisme pelarut P akan melepaskan ikatan P dari bahan aluminium dan besi non-kristalin sehingga menjadi bentuk tersedia bagi tanaman, sementara mikroorganisme pelarut K akan menghasilkan asam-asam organik melalui siklus kalium alami yang membantu melepaskan kalium yang terikat pada mineral pembawa kalium (Archana, 2007). Berdasarkan permasalahan di atas, maka perlu dilakukan penelitian guna mengetahui kelimpahan dan keragaman mikroorganisme penambat nitrogen, pelarut fosfat dan kalium pada tanah vulkan gunungapi Ijen.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, dapat disimpulkan beberapa rumusan masalah diantaranya :

1. Bagaimana kelimpahan dan keragaman mikroorganisme dalam bentuk bakteri dan fungi dalam menambat N, melarutkan P dan K dari tanah vulkan gunungapi Ijen?
2. Bagaimana potensi mikroorganisme dalam bentuk bakteri dan fungi dalam menambat N, melarutkan P dan K dari tanah vulkan gunungapi Ijen?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang sudah dijabarkan maka, tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah :

1. Mengetahui kelimpahan dan keragaman mikroorganisme dalam bentuk bakteri dan fungi dalam menambat N, melarutkan P dan K dari tanah vulkan gunungapi Ijen.
2. Mengetahui potensi mikroorganisme dalam bentuk bakteri dan fungi yang mampu menambat N, melarutkan Fosfat P dan K dari tanah vulkan gunungapi Ijen.

1.4. Hipotesis

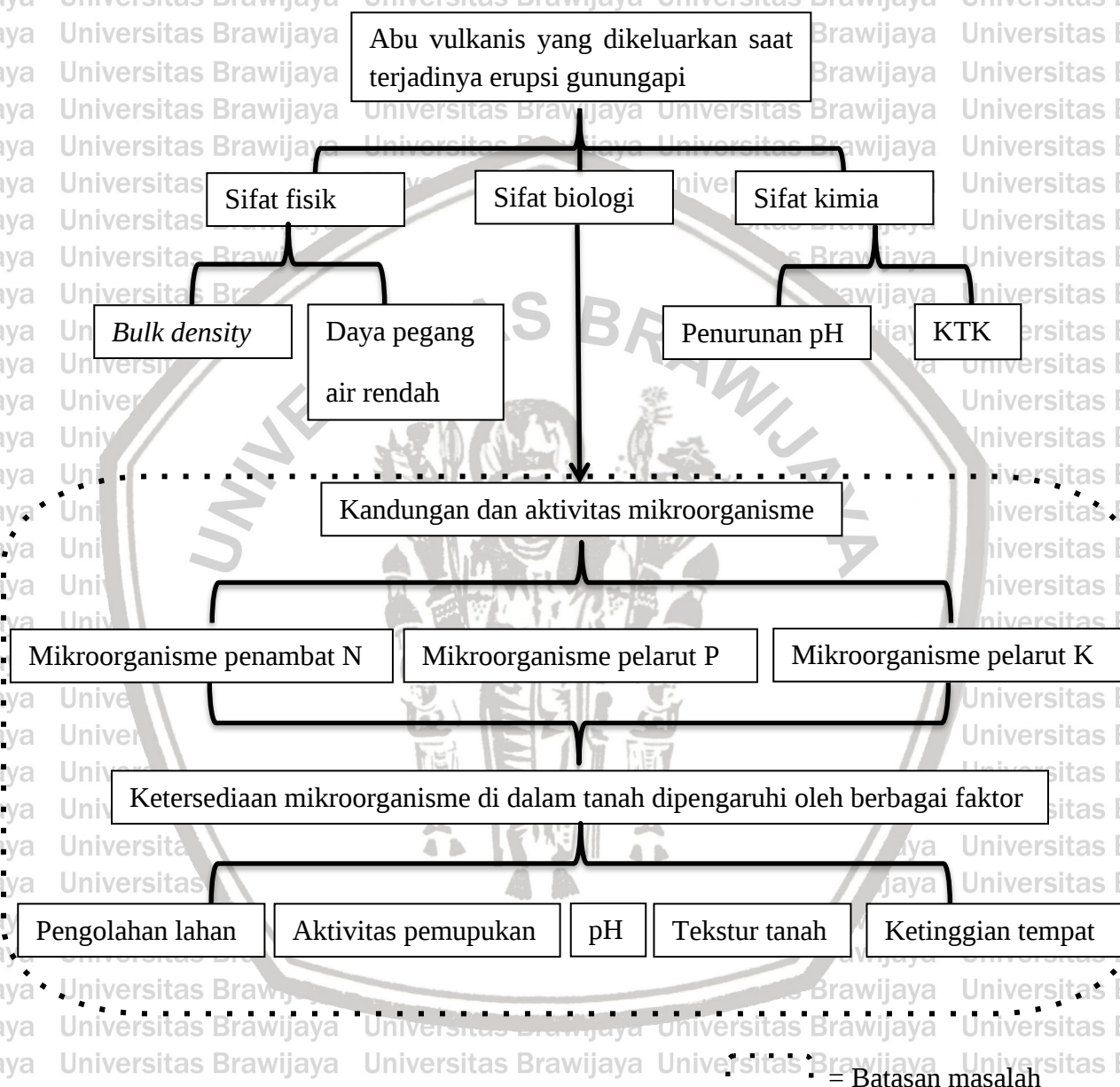
Hipotesis dari penelitian ini adalah :

1. Kelimpahan dan keragaman mikroorganisme penambat N, pelarut P dan K dipengaruhi oleh faktor pengolahan lahan, aktivitas pemupukan, tekstur tanah, kadar pH tanah dan ketinggian tempat.
2. Mikroorganisme tanah yang berasal dari sampel tanah vulkan gunungapi Ijen berpotensi dalam menambat N, melarutkan P dan K.

1.5. Manfaat Penelitian

Melalui penelitian ini diharapkan dapat mengetahui kelimpahan keragaman mikroorganisme tanah dalam menambat N, melarutkan P dan K pada tanah vulkan gunungapi Ijen.

1.6 Alur Pikir



Gambar 1. Alur pikir Penelitian

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Vulkan

Tanah vulkan merupakan tanah yang berada di daerah lingkungan gunungapi yang terbentuk dari bahan material vulkanik jatuhnya yang disebarkan ke udara saat terjadi suatu letusan (Utoyo, 2007). Lingkungan gunungapi mempengaruhi faktor pembentuk tanah baik secara langsung maupun tidak langsung. Lingkungan gunungapi secara aktif mendapatkan suplai bahan induk tanah melalui material baru yang dikeluarkan akibat aktivitas vulkanisme (Joyontono dan Sartohadi, 2016). Secara umum komposisi material vulkanik terdiri atas silika. Berdasarkan kadar silika material vulkanik dapat dikelompokkan menjadi batu vulkanis masam (kadar $\text{SiO}_2 > 65\%$), sedang ($35 - 65\%$) dan basa/alkali ($< 35\%$). Abu vulkanik mengandung mineral yang dibutuhkan oleh tanah dengan komposisi total unsur tertinggi yaitu Ca, Na, K, Mg, dan unsur makro lain berupa P dan S, sedangkan unsur mikro terdiri dari Fe, Mn, Zn, dan Cu. Mineral tersebut berpotensi sebagai penyuplai cadangan mineral tanah sehingga dapat memperbaiki tanah-tanah miskin hara atau tanah yang sudah mengalami pelapukan lanjut (Fiantis, 2006). Abu vulkan maupun debu vulkan terdiri atas 5 batuan berukuran besar hingga berukuran halus. Batuan berukuran besar jatuh disekitar radius 5 hingga 7 km dari kawah, sedangkan yang berukuran halus jatuh pada jarak mencapai ratusan hingga ribuan kilometer (Sudaryo dan Sucipto, 2009).

Sifat dan ciri morfologi, kimia dan fisika tanah vulkan mempunyai keunikan bila dibandingkan dengan yang lainnya. Hal ini berkaitan erat dengan perilaku dan asal dari Al dan Fe aktif terdiri dari mineral liat nonkristalin seperti alofan dan ferihidrit serta mineral parakristalin. Senyawa aktif Al dan Fe yang cukup banyak dalam tanah vulkan menyebabkan struktur mineral terjerap kuat pada tanah atau terikat gugus fungsional OH dan H yang bermuatan negatif akibat fiksasi fosfat oleh mineral (Hardjowigeno, 2007). Sartohadi dkk. (2012), menjelaskan bahwa ciri dari tanah vulkan bertipikal tebal, berwarna gelap, KTK tinggi, kejenuhan basa (KB) rendah dan horison berasal dari endapan piroklastik. Sedov dkk. (2010) menyimpulkan bahwa tanah yang berkembang dari abu vulkanik akan bertekstur geluhan dan membentuk tanah berjenis andosol dan podzol.

2.2 Tanah Vulkan dan Hubungannya terhadap Mikroorganisme Tanah

Material vulkanik yang dikeluarkan saat terjadinya letusan gunungapi mengandung mineral alofan yang sangat penting guna mendukung kesuburan tanah setelah mengalami proses pelapukan yang sempurna (Dill, 2015). Abu vulkanik hasil erupsi gunungapi akan melapuk menjadi bahan induk dan selanjutnya akan mempengaruhi sifat dan ciri tanah yang akan terbentuk. Sifat-sifat tanah yang dipengaruhi yaitu sifat fisik, kimia serta biologi tanah. Tanah yang terkena abu vulkanik akan mempengaruhi aktivitas mikroorganisme tanah, hal tersebut disebabkan oleh semakin tebalnya abu akan membuat tanah menjadi padat dan akan mengganggu aerasi tanah. Ketersediaan oksigen di dalam tanah mempengaruhi keberadaan dan aktivitas mikroorganisme tanah karena terhambatnya sirkulasi udara akibat bercampurnya tanah dengan abu vulkanik sehingga mengakibatkan mikroorganisme sukar untuk melaksanakan aktivitasnya di dalam tanah (Sumarsih, 2003).

Abu vulkanis yang dikeluarkan saat erupsi gunungapi mengandung pH yang masam (Sitepu, 2011). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Rauf (2014), kandungan abu vulkanik hasil erupsi gunung Sinabung tergolong masam yakni dengan kisaran pH 4,30–4,98. Kadar pH tanah akan mempengaruhi aktivitas mikroorganisme di dalam tanah. Kadar pH tanah yang rendah akan menyebabkan tanah menjadi masam sehingga berdampak terhadap kehidupan mikroorganisme di dalam tanah. Penelitian yang dilakukan oleh Sinaga dkk. (2014) menjelaskan bahwa umumnya pada tanah-tanah masam, kehidupan mikroorganisme akan terhambat sehingga mempengaruhi nilai respirasi di dalam tanah, karena besar kecilnya respirasi yang terjadi dalam tanah ditunjukkan oleh seberapa banyak mikroorganisme dalam suatu tanah. Penelitian yang dilakukan oleh Suriadikarta dkk. (2011) menunjukkan bahwa aktivitas mikroorganisme pada tanah yang tidak terkena abu vulkanik lebih tinggi jika dibandingkan dengan tanah yang terkena debu vulkanik. Hal tersebut ditandai dengan terjadinya penurunan keragaman dan populasi mikroorganisme tanah terutama pada tanah yang berada pada lapisan atas, sedangkan keragaman dan

populasi mikroorganisme pada tanah yang berada pada lapisan bawah tidak terpengaruh.

2.3 Mikroorganisme Penambat Nitrogen

Nitrogen merupakan salah satu unsur yang sangat melimpah di alam. Unsur N dapat ditemukan di udara, tanah maupun di dalam air. Keberadaan nitrogen di alam sangat dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk melangsungkan kehidupannya. Meskipun hampir 80% dari atmosfer terdiri dari molekul nitrogen, namun sangat sedikit makhluk hidup yang dapat memanfaatkan N dalam keadaan bebas. Penambatan nitrogen secara hayati non simbiotik dilakukan oleh mikroorganisme yang hidup bebas. Faktor-faktor yang mempengaruhi penambatan nitrogen non simbiotik adalah faktor lingkungan, terutama ciri kimia dan fisika habitatnya (Benson, 2001).

Faktor-faktor tersebut meliputi:

a) Ketersediaan senyawa nitrogen

Jasad mikro penambat N_2 pada umumnya juga mampu menggunakan amonium (NH_4^+), nitrat, dan senyawa nitrogen organik.

b) Ketersediaan nutrisi anorganik

Bila jasad mikro penambatan nitrogen ditumbuhkan pada media yang mengandung garam-garam amonium dan senyawa nitrogen lainnya, beberapa nutrisi anorganik diperlukan dalam jumlah lebih sedikit dari pada medium tersebut bebas dari nitrogen.

c) Ketersediaan sumber energi

Bagi jasad heterotrof, tersedianya sumber energi merupakan faktor utama yang membatasi laju dan besarnya asimilasi N_2 .

d) Kadar pH

Kadar pH mempunyai pengaruh yang nyata, sebagai contoh *Azotobacter* dan *Sianobakteri* tergolong sangat peka pada tanah-tanah dengan pH kurang dari 6,0 sedangkan *Beijerinckia* tidak peka dan dapat tumbuh dan menambat N_2 pada pH 3-9.

e) Kelembaban tanah

Kelembaban tanah sering kali menentukan laju penambatan nitrogen dan kandungan air optimum tergantung pada tanah yang bersangkutan dan jumlah bahan organik yang tersedia. Bila kelembaban terlalu tinggi maka keadaan aerobik berubah menjadi anaerobik.

f) Suhu

Suhu optimum bagi penambatan nitrogen adalah suhu sedang. Penambatan terhenti pada suhu beberapa derajat di atas suhu optimum.

2.4 Mikroorganisme Pelarut Fosfat

Fosfat (P) termasuk unsur hara esensial makro yang sangat penting untuk pertumbuhan tanaman, seperti halnya dengan nitrogen dan kalium. Tanaman memperoleh unsur P seluruhnya berasal dari tanah atau hasil dekomposisi dan mineralisasi bahan organik. Jumlah P total di dalam tanah cukup banyak, namun yang tersedia bagi tanaman jumlahnya sangat rendah hanya berkisar 0,01-0,2 mg/kg tanah (Handayanto dan Hairiah, 2007). Menurut Charman (2002), unsur fosfor pada tanah sebagian besar dijumpai dalam bentuk P-organik, yang selanjutnya akan mengalami proses mineralisasi menjadi P-anorganik oleh jasad mikro. Sebagian besar bentuk fosfat diikat oleh koloid tanah sehingga tidak tersedia bagi tanaman. Pada kebanyakan tanah tropika diperkirakan hanya 25% fosfat yang diberikan dalam bentuk superfosfat yang diserap tanaman dan sebagian besar atau 75% diikat oleh tanah (Thamrin dkk., 2013). Ketersediaan fosfor di dalam tanah sangat bergantung pada aktivitas mikroorganisme untuk memineralisasikannya.

Umumnya di dalam tanah ditemukan mikroorganisme pelarut P sekitar 10^4 - 10^6 per gram tanah dan sebagian besar berada pada daerah perakaran. Fosfor relatif tidak mudah tercuci, tetapi karena pengaruh lingkungan maka statusnya dapat berubah dari P yang tersedia bagi tanaman menjadi tidak tersedia yaitu dalam bentuk Ca-P, Mg-P, Al-P dan Fe-P. Mikroorganisme pelarut fosfat memainkan peran penting dalam melarutkan P yang terikat di dalam tanah serta mengubahnya menjadi bentuk yang tersedia bagi tanaman (Girish dkk., 2010). Mekanisme pelarutan fosfat dari bahan yang sukar larut banyak dikaitkan dengan aktivitas mikroorganisme yang

memiliki kemampuan menghasilkan enzim fosfatase, fitase dan asam organik hasil metabolisme. Pelarutan fosfat dapat pula dilakukan oleh mikroorganisme yang tidak menghasilkan asam organik, yaitu melalui mekanisme pelepasan proton (ion H^+) pada proses respirasi, asimilasi ammonium, dan adanya kompetisi pada anion organik di permukaan koloid. Pelarutan fosfat oleh mikroorganisme pelarut fosfat selain terjadi karena proses kelasi dan reaksi pertukaran, juga disebabkan oleh menurunnya pH rizosfer akibat adanya asam organik (Joner dkk., 2000).

2.5 Mikroorganisme Pelarut Kalium

Unsur hara kalium (*potassium*) merupakan salah satu unsur hara makro yang berperan penting dalam pertumbuhan dan produksi tanaman. Total kandungan kalium di dalam tanah berbeda pada tiap daerah tergantung pada jenis batuan induk dan letak geografis, tetapi secara umum kalium total di tanah diperkirakan 0.5-2.5%. Hanya saja, sekitar 90-98 % dari kalium total berada dalam bentuk tidak tersedia sehingga tidak dapat diserap secara langsung oleh tanaman (Havlin dkk, 2005). Rendahnya kandungan kalium dalam bentuk yang tersedia di tanah menyebabkan rendahnya penyerapan kalium oleh tanaman yang berdampak pada pertumbuhan dan kualitas hasil tanaman yang kurang baik (Schaad dkk., 2001). Mikroorganisme memainkan peran kunci dalam siklus kalium alami dengan menghasilkan asam-asam organik yang membantu melepaskan kalium yang terikat pada mineral pembawa kalium (Archana, 2007). Beberapa spesies mikroorganisme mampu menyediakan kalium dalam bentuk tersedia di dalam tanah. Secara umum, mikroorganisme pelarut kalium dapat ditemukan baik di tanah maupun di daerah rizosfer akar. Berbagai mikroorganisme pelarut kalium (MPK) telah ditemukan seperti di India oleh Prajapati dan Modi (2012), yang menemukan mikroorganisme pelarut kalium spesies *Enterobacter hormaechei* dari tanah industri keramik di daerah Kadi, Kalol dan Himmatnagar. Mikroorganisme pelarut kalium dilaporkan sudah banyak dimanfaatkan di bidang pertanian untuk meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Biologi Balai Penelitian Tanah yang berlokasi di Jalan Tentara Pelajar No 12 Bogor, pada bulan Februari hingga Juli 2019.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: tabung reaksi, cawan petri, botol selai, botol pengenceran, labu Erlenmeyer, autoklaf, *laminar air flow*, mikro pipet, rak tabung reaksi, inkubator bergoyang, pH meter, stirer magnetik, tip, jarum ose, kertas label, plastik wrap, pinset, sedotan, tissue, plastik anti panas, alumunium foil, karet gelang, lampu bunsen, *spatel drigalski*, vortex, tabung sentrifuse, timbangan analitik, gelas beaker, kamera dan alat tulis.

3.2.2 Bahan penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: aquades, garam fisiologis (NaCl 0,85%), alkohol, spiritus, *Nutirent Agar* (NA, himedia), *Nutrient Broth* (NB, himedia), *Potato Dextrose Agar* (PDA, himedia), *Potato Dextrose Broth* (PDB, himedia), media JNFB (N-free), media Pikovskaya (dengan sumber $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Fe}(\text{PO}_4)_2$, dan fosfat alam), media Alexandrov, glukosa, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, CaCO_3 , FeCl_3 , KCl, NH_4SO_4 , MnSO_4 , FeSO_4 , NaCl, sukrosa, K_2HPO_4 , Na_2MoO_4 , KH_2PO_4 , bubuk mika, agar, dan yeast extract.

3.3 Sampel Tanah

Proses pengambilan dan penanganan sampel tanah dilakukan sesuai dengan prosedur yang ada di Balai Penelitian Tanah. Pengambilan sampel tanah diawali dengan metode survey melalui observasi, pengumpulan data primer dan data sekunder. Metode survey dibutuhkan guna memperoleh fakta-fakta dari gejala-gejala yang ada dan mencari keterangan-keterangan secara faktual. Selanjutnya dilakukan pemilihan lokasi observasi dengan cara *purposive* atau teknik penentuan lokasi penelitian berdasarkan pertimbangan-pertimbangan tertentu. Penentuan titik sampel

yang diambil harus mewakili daerah yang diteliti seperti profil tanah, bentuk lahan, bahan induk, bentuk wilayah, kemiringan lereng, penggunaan lahan, lokasi pengambilan sampel, dan koordinat *Universal Transver Mercator* (UTM). Sampel tanah yang telah diperoleh kemudian dipindahkan ke ruang dingin (*cold room*) laboratorium biologi dan kesehatan tanah Balai Penelitian Tanah guna menjaga keutuhan sampel. Pengambilan sampel tanah merupakan tahapan penting dalam penetapan sifat-sifat tanah di laboratorium. Pada prinsipnya, sifat-sifat tanah yang dilakukan pengujian pada laboratorium harus dapat menggambarkan keadaan sesungguhnya sifat-sifat tanah di lapangan. Pengambilan dan penanganan sampel tanah vulkan gunungapi Ijen tentu memiliki keuntungan dan kerugian. Keuntungan dari pengambilan dan penanganan sampel tanah yakni penetapan sifat-sifat tanah yang dilakukan di laboratorium dapat dikerjakan lebih cepat, sementara kerugiannya adalah pengambilan dan penanganan sampel tanah dapat dipengaruhi oleh faktor luar sehingga mempengaruhi sifat sifat tanah.

Sampel tanah yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari setiap horizon pada profil tanah vulkan gunungapi Ijen dengan jenis tanah dan lokasi yang berbeda (lampiran 1). Profil tanah Kambisol Andik (KA) merupakan sampel tanah yang diambil dari dataran vulkan pada ketinggian 62 mdpl dengan penggunaan lahan tumpang sari jagung dan cabai dengan lokasi pengambilan sampel terletak di Desa Alas Rejo, Kecamatan Wongso Rejo, Kabupaten Banyuwangi yang terdiri dari 5 horizon (lampiran 2). Sementara untuk sampel tanah lainnya yakni Andosol Eutrik pertama (AE1) diambil dari lereng bawah vulkan pada ketinggian 928 mdpl dengan penggunaan lahan tumpang sari dan rotasi cabai sayuran kubis, dan wortel dengan lokasi pengambilan sampel terletak di Desa Taman Sari, Kecamatan Licin, Kabupaten Banyuwangi yang terdiri dari 8 horizon (lampiran 3), dan sampel tanah Andosol Eutrik kedua (AE2) merupakan sampel tanah yang diambil dari lereng tengah vulkan pada ketinggian 1020 mdpl dengan penggunaan lahan hutan primer dengan lokasi pengambilan sampel terletak di Desa Taman Sari, Kecamatan Licin, Kabupaten Banyuwangi yang terdiri dari 5 horizon (lampiran 4).

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Isolasi mikroorganisme penambat N, pelarut P dan K

Dalam melaksanakan isolasi mikroorganisme penambat N, pelarut P dan K diperlukan beberapa langkah yaitu sebagai berikut:

1. Pembuatan larutan pengenceran

Masing-masing sampel tanah ditimbang sebanyak 10 gr kemudian dimasukkan ke dalam 90 ml larutan garam fisiologis dengan total keseluruhan dianggap sebanyak 100 ml yang kemudian dihomogenkan menggunakan inkubator bergoyang dengan kecepatan 100 rpm pada suhu ruang selama 10 menit dan dianggap sebagai pengenceran pertama (10^{-1}). Setelah homogen, sampel diencerkan secara berseri dengan mengambil 10 ml larutan pengenceran pertama (10^{-1}) menggunakan mikro pipet kemudian dimasukkan kedalam tabung reaksi yang berisi 10 ml garam fisiologis yang kemudian disebut sebagai pengenceran kedua (10^{-2}) yang kemudian dihomogenkan. Selanjutnya pada pengenceran kedua (10^{-2}) diambil sebanyak 10 ml larutan menggunakan mikro pipet lalu dimasukkan kedalam tabung reaksi yang berisi 10 ml garam fisiologis yang kemudian disebut sebagai pengenceran ketiga (10^{-3}). Langkah yang sama dilakukan hingga didapatkan pengenceran 10^{-4}

2. Isolasi mikroorganisme menggunakan teknik penyebaran (*spread*)

Masing-masing 1 ml hasil pengenceran 10^{-3} dan 10^{-4} diambil menggunakan mikro pipet dan disebar ke masing-masing permukaan media yang kemudian diratakan dengan menggunakan *spatel drigalski* dan diinkubasi selama 3-4 hari pada suhu ruang. Media yang digunakan dalam penambatan N oleh mikroorganisme adalah media James Nitrogen Free Malat Bromthymol Blue (JNFB), sementara untuk media yang digunakan dalam pelarutan fosfat adalah media Pikovskaya yang terdiri dari berbagai sumber yaitu $\text{Ca}_3 (\text{PO}_4)_2$, $\text{Fe} (\text{PO}_4)_2$, dan fosfat alam, dan media yang digunakan untuk pelarutan kalium adalah media Alexandrov. Untuk media JNFB, Pikovskaya dengan sumber $\text{Ca}_3 (\text{PO}_4)_2$, dan fosfat alam, dan media Alexandrov menggunakan pengenceran 10^{-3} dan 10^{-4} , sementara untuk media Pikovskaya dengan sumber $\text{Fe} (\text{PO}_4)_2$, pengenceran yang digunakan adalah 10^{-2} dan 10^{-3} (lampiran 6).

3.4.2 Pengamatan dan penghitungan mikroorganisme

Penentuan jumlah koloni mikroorganisme yang tumbuh pada masing-masing media dilakukan secara makroskopis dengan menghitung jumlah koloni mikroorganisme yang tumbuh pada media dan kemudian dibedakan antara kelompok bakteri dengan kelompok fungi. Untuk mikroorganisme penambat N, jumlah populasi mikroorganisme penambat N (fungsional) dihitung berdasarkan mikroorganisme yang tumbuh pada media JNFB, sementara untuk mikroorganisme yang tumbuh pada media Pikovskaya dan Alexandrov disebut sebagai populasi/jumlah koloni yang tersedia. Penghitungan populasi mikroorganisme pelarut P dan K fungsional didasarkan pada jumlah mikroorganisme yang mampu membentuk zona bening (*halozone*) pada masing-masing media. Untuk mengetahui total populasi mikroorganisme dihitung menggunakan rumus *Colony Forming Unit* (CFU) yakni sebagai berikut:

$$\text{Total populasi (CFU)} = \frac{\text{Jumlah bakteri/fungi}}{\text{Faktor pengenceran} \times \text{Jumlah yang disebar}}$$

3.4.3 Purifikasi isolat

Bakteri dan fungi yang tumbuh dan membentuk *halozone* pada masing-masing media Pikovskaya dan Alexandrov memiliki penampilan morfologi yang berbeda sehingga perlu dilakukan purifikasi untuk memperoleh isolat murni. Purifikasi bakteri dilakukan dengan cara mengambil satu koloni isolat bakteri secara aseptis dan diinokulasikan ke permukaan media NA menggunakan jarum ose dengan metode kuadran dan diinkubasi selama 2-3 hari pada suhu ruang. Purifikasi fungi dilakukan dengan cara memotong sedikit bagian fungi menggunakan pinset steril lalu dipindahkan ke permukaan media PDA. Pemurnian isolat dilakukan hingga diperoleh koloni tunggal (Gambar.2).



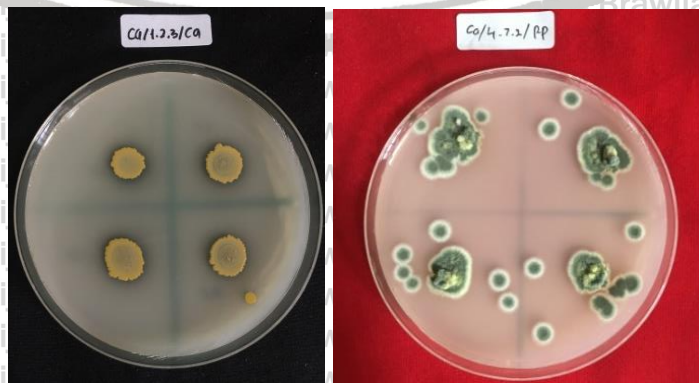
Gambar 2. Purifikasi isolat

3.4.4 Pengujian kemampuan fungsional pelarut P dan K secara kualitatif

Isolat bakteri yang telah murni dilakukan peremajaan dan disubkulturkan ke dalam media NB yang diinkubasi dalam inkubator bergoyang selama 3-4 hari dengan kecepatan 100 rpm. Sebanyak 5 µl kultur isolat diinokulasikan pada masing-masing media yang sama menggunakan metode tetes dan diinkubasi selama 7 hari pada suhu ruang. Zona bening yang terbentuk di sekitar koloni diukur dan dihitung indeks pelarutan (IP) pada masing-masing media (Gambar 3)

Untuk isolat fungi, pengujian dilakukan dengan mengambil hifa fungi yang telah murni 1 cm x 1 cm menggunakan pinset steril, kemudian diinokulasikan pada masing-masing media dan diinkubasi selama 7 hari pada suhu ruang. Setelah 7 HSI (hari setelah isolasi), pengamatan IP dilakukan dengan cara mengukur zona bening yang terbentuk di sekitar koloni sesuai persamaan Paul dan Sinha (2016).

$$IP = \frac{\text{Diameter zona bening (mm)}}{\text{Diameter koloni (mm)}}$$



Gambar 3. Pengujian kemampuan fungsional pelarut P dan K secara kualitatif

3.4.5 Pengujian kemampuan fungsional pelarut P dan K secara kuantitatif

Isolat mikroorganisme yang mempunyai kemampuan fungsional diuji kembali secara kuantitatif dengan metode *Optical Density* (OD) dan direaksikan dengan pereaksi warna menggunakan spektrofotometer. Dalam pengujian ini, tahap pelaksanaan sebagai berikut:

1. Larutan standar

Pembuatan larutan standar diawali dengan melarutkan 0,493 g KH_2PO_4 dengan 700 ml aquades pada labu takar lalu dicukupkan menjadi 1 L. Larutan ini digunakan sebagai pereaksi.

2. Pengujian mikroorganisme pelarut P dan K menggunakan metode *Optical Density*

Bakteri pelarut P dan K yang diperoleh ditumbuhkan berturut-turut pada media cair Pikovskaya dan Alexandrov lalu diinkubasi menggunakan inkubator bergoyang dengan kecepatan 100 rpm selama 7 hari pada suhu ruang. Bakteri ditumbuhkan dengan cara mengambil satu koloni bakteri secara aseptis dan dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer yang berisi 50 ml masing-masing media cair Pikovskaya dan Alexandrov dengan pH normal 6,8-7,2. Setelah melewati masa inkubasi, bakteri yang sudah tumbuh pada media cair kemudian dipindahkan ke dalam tabung sentrifuse dan disentrifugasi dengan kecepatan 5.000 rpm pada suhu ruang selama 15 menit untuk memisahkan supernatan dan pelet. Supernatan sebanyak 5,0 ml diambil menggunakan mikro pipet dan dipindahkan ke tabung reaksi, lalu ditambah dengan 1,0 ml pereaksi KH_2PO_4 dan diinkubasi selama 30 menit. Absorbansi larutan diukur menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 693 nm. Sebagai perlakuan kontrol, untuk kelarutan P digunakan media Pikovskaya dan untuk kelarutan K digunakan media Alexandrov cair yang tidak diinokulasi bakteri.

Untuk fungi pelarut P dan K, fungi ditumbuhkan dengan cara memotong sekelumit hifa menggunakan pinset dan sedotan steril, dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer yang berisi masing-masing media Pikovskaya dan Alexandrov cair, dan diinkubasi menggunakan inkubator bergoyang dengan kecepatan 100 rpm

selama 14 hari pada suhu ruang. Setelah melewati masa inkubasi, fungi yang sudah tumbuh pada media cair kemudian dipindahkan ke dalam tabung sentrifuse dan disentrifugasi dengan kecepatan 5.000 rpm selama 15 menit pada suhu ruang untuk memisahkan supernatan dan pelet. Supernatan sebanyak 5,0 ml diambil menggunakan mikro pipet dan dipindahkan ke tabung reaksi, kemudian ditambah dengan 1,0 ml pereaksi KH_2PO_4 dan diinkubasi selama 30 menit (Gambar 4). Absorbansi larutan diukur menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 693 nm (Yuniarti dan Purwani, 2007).



Gambar 4. Pengujian kemampuan fungsional pelarut P dan K secara kuantitatif

3.5 Parameter Pengamatan Penelitian

Parameter pengamatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Jumlah populasi mikroorganisme yang tumbuh pada masing-masing media.
2. Jumlah populasi mikroorganisme fungsional. Untuk mikroorganisme penambat N, mikroorganisme yang tumbuh pada media seleksi merupakan jumlah populasi mikroorganisme sekaligus juga jumlah populasi mikroorganisme fungsional. Untuk mikroorganisme pelarut P dan K, mikroorganisme yang dihitung adalah mikroorganisme yang tumbuh pada media seleksi dan membentuk zona bening.
3. Aktivitas bakteri dan fungi fungsional pelarut P dan K. Bakteri dan fungi yang membentuk zona bening, diuji aktivitasnya secara semi kualitatif dan kuantitatif. Pegujian bakteri dan fungi secara semi kualitatif dilakukan dengan menumbuhkan bakteri pada media seleksi yang sama lalu diamati indeks

pelarutannya. Pengujian bakteri secara kuantitatif dilakukan dengan metode *Optical Density* guna mengetahui kemampuan mikroorganisme dalam mendegradasi PO_4 .

4. Kemampuan mikroorganisme fungsional yang diperoleh dari kegiatan sebelumnya sebagai pelarut P dan K lainnya. Sebagai contoh, mikroorganisme yang tumbuh dan membentuk zona pada media seleksi pelarut P dengan sumber Ca, diuji kembali aktivitasnya pada media seleksi pelarut P dengan sumber Fe, Rockfosfat, Alexandrov dan media JNFB.

Tabel 1. Parameter pengamatan penelitian

No	Parameter pengamatan	Metode analisa	Satuan
1	Populasi mikroorganisme penambat N	Isolasi pada media seleksi JNFB	cfu/ml
2	Aktivitas mikroorganisme penambat N	Karakteristik makroskopis	
3	Populasi mikroorganisme pelarut P	<i>Plate count</i> pada media Pikovskaya dengan sumber $FePO_4$, $Ca_3(PO_4)_2$ dan fosfat alam	cfu/ml
4	Aktivitas mikroorganisme pelarut P	Aktivitas secara semi kualitatif dan kuantitatif, Aktivitas mikroorganisme potensial pelarut P	IP dan ppm
5	Populasi mikroorganisme pelarut K	<i>Plate count</i> pada media Alexandrov	cfu/ml
6	Aktivitas mikroorganisme pelarut K	Karakteristik Makroskopis, Aktivitas secara kualitatif dan kuantitatif, Aktivitas mikroorganisme potensial pelarut K	IP dan ppm

Keterangan: Cfu: *Colony forming unit*; IP: Indeks pelarutan; ppm: *parts per million*

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Mikroorganisme Penambat N

4.1.1 Populasi mikroorganisme penambat N

Jumlah populasi mikroorganisme fungsional yang berhasil diisolasi dari ketiga profil tanah vulkan gunungapi Ijen sangat beragam. Seluruh mikroorganisme yang mampu menambat N diperoleh dari kelompok bakteri dan tidak ditemukan mikroorganisme dari kelompok fungi (Tabel 2). Berdasarkan profil tanah dan penggunaan lahan, populasi bakteri penambat N tertinggi diperoleh dari profil tanah Kambisol Andik dengan penggunaan lahan tumpang sari jagung dan cabai (KA) dengan total populasi sebesar $5,91 \times 10^6$ cfu/ml, sedangkan profil tanah Andosol Eutrik pertama dengan penggunaan lahan tumpang sari dan rotasi cabai sayuran kubis, dan wortel (AE1) dan profil tanah Andosol Eutrik kedua dengan penggunaan lahan hutan primer (AE2) memiliki total populasi yang sama yaitu sebesar $4,45 \times 10^6$ cfu/ml.

Tingginya populasi bakteri penambat N pada profil tanah KA dengan penggunaan lahan tumpang sari jagung dan cabai dikarenakan jumlah populasi bakteri yang tumbuh pada setiap horizon di dalam profil tanah relatif lebih seragam bila dibandingkan dengan dua profil tanah lainnya. Profil tanah KA dengan penggunaan lahan tumpang sari jagung dan cabai memiliki 5 lapisan dengan kedalaman 0-126 cm dan jumlah bakteri penambat N yang diperoleh $4,6-8,4 \times 10^6$ cfu/ml. Berbeda dengan profil tanah AE2 pada penggunaan lahan hutan primer dengan jumlah lapisan yang sama pada kedalaman 0-146 cm, jumlah mikroorganisme yang tumbuh dari setiap lapisan cenderung tidak seragam. Sebagai contoh pada horizon pertama dengan kedalaman 0-23 cm, total populasi mikroorganisme sebesar $6,62 \times 10^6$ cfu/ml, mengalami penurunan pada lapisan kedua dengan kedalaman 23-46 cm sebesar $3,38 \times 10^6$ cfu/ml, dan naik kembali pada lapisan ketiga dengan kedalaman 46-73 cm sebesar $8,73 \times 10^6$ cfu/ml, lalu mengalami penurunan kembali pada lapisan keempat dan kelima dengan jumlah populasi bakteri berturut-turut $1,59 \times 10^6$ dan $1,93 \times 10^6$ cfu/ml.

Demikian juga, profil tanah AE1 dengan penggunaan lahan tumpang sari dan rotasi cabai sayuran kubis, dan wortel, memiliki 8 lapisan dengan kedalaman 0-136 cm, jumlah populasi bakteri penambat N yang tumbuh di setiap lapisan cenderung tidak seragam. Populasi bakteri penambat N yang hidup di lapisan pertama sebesar $9,4 \times 10^6$ cfu/ml, mengalami penurunan di lapisan dua sebesar $4,08 \times 10^6$ cfu/ml, lalu mengalami peningkatan di lapisan tiga sebesar $6,16 \times 10^6$ cfu/ml, turun kembali di lapisan empat sebesar $1,33 \times 10^6$ cfu/ml, mengalami peningkatan drastis di lapisan lima sebesar $1,11 \times 10^7$, turun kembali di lapisan enam hingga ke tujuh sebesar $5-8,9 \times 10^5$, dan naik di lapisan delapan sebesar $2,08 \times 10^6$ cfu/ml. Dari ketiga profil di atas, bakteri penambat N banyak terdapat di lapisan atas. Pada lapisan atas tersebut umumnya merupakan wilayah perakaran tanaman. Simatupang (2008) menjelaskan bahwa rhizosfer merupakan bagian tanah yang berada di sekitar tanaman dan populasi mikroorganisme di rhizosfer umumnya lebih banyak dan beragam dibandingkan pada tanah non-rhizosfer.

Populasi bakteri penambat N tertinggi diperoleh dari sampel Andosol Eutrik pertama pada lapisan kelima (AE1/5) yaitu sebesar $1,11 \times 10^7$ cfu/ml. Sampel tanah tersebut merupakan profil tanah dengan penggunaan lahan tumpang sari jagung/rotasi cabai sayuran, dan wortel pada kedalaman 62-72/80 cm dengan tekstur tanah pasir sedang. Tingginya populasi bakteri yang tumbuh pada lapisan tersebut diduga dipengaruhi oleh tekstur tanah. Transformasi atau perpindahan bahan organik menjauhi daerah perakaran tanaman dilakukan oleh mikroorganisme untuk mengkolonisasi daerah baru dan berlangsung lebih baik pada tanah bertekstur pasir dibandingkan dengan tanah bertekstur liat. Ukuran pori tanah yang lebih besar menyebabkan pergerakan mikroorganisme tanah dan eksudatnya lebih leluasa. Dengan demikian, ukuran butir atau agregat tanah yang semakin besar akan mengakibatkan asosiasi mikroorganisme tanah dengan lingkungan sekitarnya semakin meluas (Sylvia, 2005).

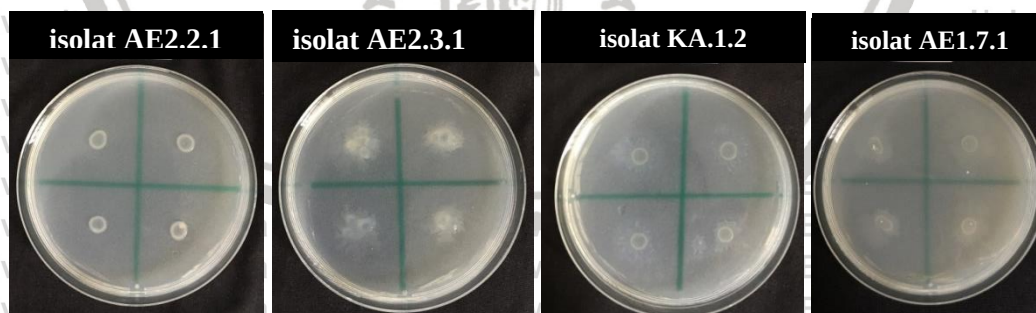
Tabel 2. Total populasi mikroorganisme penambat N dari profil tanah vulkan gunungapi Ijen

Jenis tanah	Bentuk lahan	Penggunaan lahan	Ketinggian (mdpl)	Kode sampel	Tekstur tanah	Kedalaman (cm)	Penambat N (cfu/ml)	
							Fungi	Bakteri
Kambisol Andik	Dataran Vulkan	Tumpang sari jagung dan cabai	62	KA/1	Lempung Berdebu	0-22	0	8,40 x 10 ⁶
				KA/2		22-41	0	5,20 x 10 ⁶
				KA/3		41-70	0	5,26 x 10 ⁶
				KA/4		70-96	0	4,60 x 10 ⁶
				KA/5		96-126	0	6,13 x 10 ⁶
Andosol Eutrik	Lereng bawah vulkan	Tumpang sari dan rotasi cabai sayuran kubis, dan wortel	928	AE1/1	Lempung Berdebu	0-18	0	9,40 x 10 ⁶
				AE1/2	Lempung Berdebu	18-33	0	4,08 x 10 ⁶
				AE1/3	Pasir Halus	33-43	0	6,16 x 10 ⁶
				AE1/4	Lempung Berdebu	43-62	0	1,33 x 10 ⁶
				AE1/5	Pasir Sedang	62-72/80	0	1,11 x 10 ⁷
				AE1/6	Lempung Berdebu	72/80-80/100	0	5,00 x 10 ⁵
				AE1/7	Pasir Sedang Kasar	80/100-110/120	0	8,90 x 10 ⁵
				AE1/8	Lempung Berdebu	110/120-136	0	2,08 x 10 ⁶
Andosol Eutrik	Lereng tengah Vulkan	Hutan Primer	1020	AE2/1	Lempung Berdebu	0-23	0	6,62 x 10 ⁶
				AE2/2		23-46	0	3,38 x 10 ⁶
				AE2/3		46-73	0	8,73 x 10 ⁶
				AE2/4		73-105	0	1,59 x 10 ⁶
				AE2/5		105-146	0	1,93 x 10 ⁶

Keterangan: seluruh mikroorganisme yang mampu menambat N adalah bakteri

4.1.2 Morfologi mikroorganisme penambat N

Bakteri penambat N yang diperoleh dari ketiga profil tanah vulkan gunungapi Ijen kemudian dikarakterisasi secara makroskopis meliputi bentuk morfologi seperti bentuk permukaan, tepian, dan warna koloni guna mengetahui keragaman bakteri tersebut. Sebanyak 27 isolat bakteri penambat N terdiri dari 14 isolat yang berasal dari profil tanah Kambisol Andik (KA), 10 isolat berasal dari profil tanah Andosol Eutrik pertama (AE1), dan 3 isolat berasal dari profil tanah Andosol Eutrik kedua (AE2). Bakteri yang diperoleh umumnya berbentuk bulat dan sebagian kecil berbentuk oval dan tidak beraturan. Koloni bakteri tersebut sebagian besar berwarna putih dan sebagian kecil berwarna kuning (Tabel 3). Sebagai contoh koloni isolat bakteri AE2.2.1 yang diisolasi dari profil tanah Andosol Eutrik kedua pada lapisan kedua dengan nomor isolat pertama berbentuk bulat dan berwarna putih dengan permukaan koloni rata dan tepi koloni juga rata, isolat bakteri AE2.3.1 memiliki bentuk koloni tidak beraturan dengan permukaan koloni timbul, tepi koloni menyebar seperti akar dan koloni berwarna putih kekuningan, isolat KA.1.2 memiliki bentuk koloni bulat dengan permukaan rata, tepi koloni seperti akar dengan warna koloni putih kekuningan dan, isolat AE1.7.1 memiliki bentuk koloni bulat dengan permukaan cekung, tepi koloni seperti akar dengan warna koloni putih (Gambar 5).



Gambar 5. Bentuk morfologi isolat bakteri penambat N

Tabel 3. Karakteristik morfologi isolat bakteri penambat N dari profil tanah vulkan gunungapi Ijen

Kode isolat	Bentuk	Permukaan	Tepi	Warna
KA.1.1	Bulat	Cekung	Bergerigi	Putih kekuningan
KA.1.2	Bulat	Rata	Seperti akar	Putih kekuningan
KA.1.3	Bulat	Timbul	Berlekuk	Putih
KA.1.4	Bulat	Cekung	Seperti akar	Putih
KA.2.1	Bulat	Rata	Rata	Putih kekuningan
KA.2.2	Bulat	Cekung	Seperti akar	Putih
KA.2.3	Bulat	Cekung	Bergerigi	Kuning
KA.2.4	Bulat	Rata	Rata	Putih
KA.2.5	Bulat	Cembung	Rata	Putih
KA.3.1	Bulat	Cekung	Seperti akar	Putih
KA.3.2	Bulat	Cembung	Rata	Putih
KA.3.3	Tidak beraturan	Cekung	Seperti akar	Putih kekuningan
KA.4.1	Bulat	Cekung	Bergerigi	Putih
KA.4.2	Oval	Cekung	Seperti akar	Putih
AE1.2.1	Bulat	Cekung	Rata	Kuning
AE1.2.2	Bulat	Rata	Rata	Putih
AE1.3.1	Bulat	Cekung	Berombak	Kuning
AE1.3.2	Bulat	Cekung	Seperti akar	Putih
AE1.5.1	Bulat	Cekung	Berombak	Putih
AE1.5.2	Bulat	Cekung	Rata	Kuning
AE1.6.1	Bulat	Rata	Rata	Putih
AE1.7.1	Bulat	Cekung	Seperti akar	Putih
AE1.7.2	Bulat	Cekung	Seperti akar	Putih
AE1.7.3	Bulat	Cekung	Seperti akar	Putih
AE2.2.1	Bulat	Rata	Rata	Putih
AE2.3.1	Tidak beraturan	Cembung	Seperti akar	Putih kekuningan
AE2.4.1	Bulat	Cekung	Berombak	Putih kekuningan

4.2 Mikroorganisme Pelarut P

4.2.1 Populasi mikroorganisme yang tumbuh pada media Pikovskaya

Total populasi mikroorganisme yang tumbuh pada media Pikovskaya dengan sumber fosfat alam sangat beragam yang terdiri dari bakteri dan fungi (Tabel 4).

Berdasarkan profil tanah dan penggunaan lahan secara keseluruhan, total populasi mikroorganisme tertinggi diperoleh dari profil tanah Kambisol Andik dengan penggunaan lahan tumpang sari jagung dan cabai (KA) yakni sebesar $6,09 \times 10^6$ cfu/ml. Pada profil tanah Andosol Eutrik pertama dengan penggunaan lahan tumpang sari rotasi/cabai sayuran kubis, dan wortel (AE1), total populasi mikroorganisme secara keseluruhan sebesar $3,43 \times 10^6$ cfu/ml dan pada profil tanah Andosol Eutrik kedua dengan penggunaan lahan hutan primer (AE2) secara keseluruhan sebesar $2,16 \times 10^6$ cfu/ml. Dari keseluruhan sampel tanah, total populasi mikroorganisme yang tumbuh pada media P dengan sumber fosfat alam tertinggi terdapat pada profil tanah Kambisol Andik pada lapisan pertama dengan penggunaan lahan tumpang sari jagung dan cabai (KA/1) sebesar $7,79 \times 10^6$ cfu/ml. Kelimpahan populasi mikroorganisme tersebut berhubungan dengan bentuk lahan dan ketinggian. Total populasi mikroorganisme terendah diperoleh dari hutan primer yang berada di ketinggian 1.020 mdpl dan terletak pada lereng tengah vulkan, sementara populasi mikroorganisme tertinggi diperoleh dari lahan dengan penggunaan tumpang sari rotasi jagung dan cabai yang berada di ketinggian 62 mdpl dan terletak pada dataran vulkan.

Populasi mikroorganisme terlihat dipengaruhi oleh ketinggian tempat. Semakin rendah ketinggian lahan terlihat semakin meningkatnya populasi mikroorganisme. Abu vulkanik yang dikeluarkan oleh gunungapi Ijen memberikan dampak yang lebih besar terhadap lahan di sekitarnya terutama lahan-lahan yang berada dekat dengan sumber abu (AE1 dan AE2) dibandingkan dengan lahan yang jauh dari sumber abu seperti profil tanah KA yang berada di dataran vulkan. Abu vulkan yang dikeluarkan akan menutupi dan mengendap pada permukaan tanah sehingga mempengaruhi aktivitas mikroorganisme. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Lubis (2011) yang menyatakan bahwa abu vulkanik berpengaruh nyata

menurunkan nilai respirasi mikroorganisme tanah dan menyebabkan terganggunya aerasi tanah yang berdampak pada kehidupan mikroorganisme tanah.

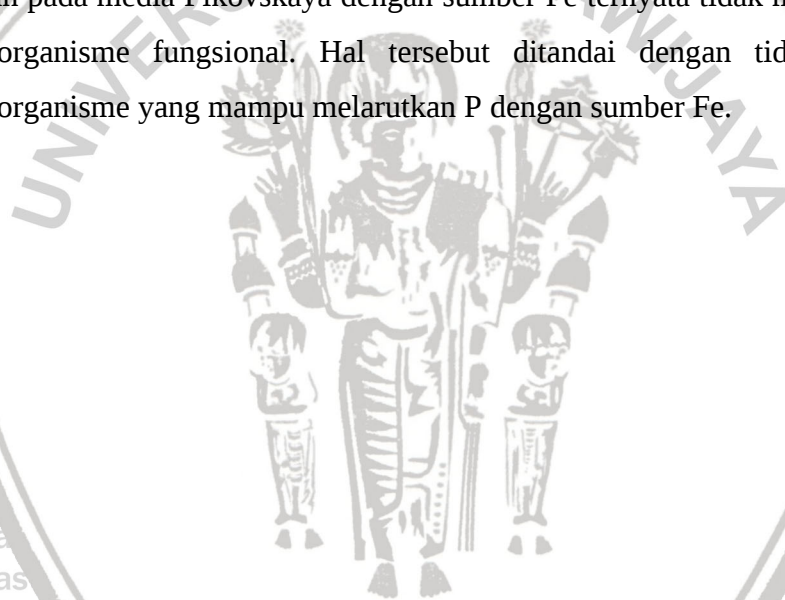
Populasi mikroorganisme pelarut P dengan sumber fosfat alam (P-Fa) yang diperoleh dari profil tanah KA berkisar 5×10^3 – $2,65 \times 10^5$ cfu/ml. Profil di lahan tersebut terdiri dari 5 lapisan dan mikroorganisme pelarut P diperoleh di lapisan kedua hingga keempat dan seluruh mikroorganisme adalah kelompok bakteri, sementara pada lapisan pertama dan kelima tidak ditemukan keberadaan mikroorganisme yang mampu melarutkan P dengan sumber fosfat alam. Pada profil AE1, seluruh mikroorganisme pelarut P ditemukan pada lapisan 1, 2, 6 dan 7, sedangkan pada lapisan lainnya tidak ditemukan mikroorganisme pelarut P dengan sumber fosfat alam. Seluruh mikroorganisme pelarut P yang ditemukan pada lapisan 1 dan 2 adalah bakteri sementara yang ditemukan pada lapisan 6 dan 7 adalah fungi. Fungi pelarut P yang berada pada lapisan 6 dan 7 dengan kedalaman 72-94 cm tersebut mempunyai ketahanan hidup yang tinggi terhadap dampak abu vulkanik. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Suriadikarta dkk. (2011) abu vulkanik yang dikeluarkan saat terjadinya erupsi Gunung Merapi mengakibatkan terjadinya penurunan keragaman dan populasi mikroorganisme tanah terutama pada tanah yang berada pada lapisan atas, sedangkan keragaman dan populasi mikroorganisme yang berada pada lapisan bawah tidak terpengaruh. Profil di lahan hutan primer terdiri dari 5 lapisan dan mikroorganisme pelarut P hanya diperoleh di lapisan ketiga (kedalaman 46-73 cm) dan seluruhnya adalah bakteri dengan kelimpahan sebesar $1,50 \times 10^4$ cfu/ml.

Total populasi mikroorganisme yang tumbuh pada media Pikovskaya dengan sumber Ca secara keseluruhan tertinggi terdapat pada profil tanah KA sebesar $3,86 \times 10^6$ cfu/ml. Pada profil tanah AE1, total populasi mikroorganisme yang tumbuh sebesar $3,01 \times 10^6$ cfu/ml dan profil tanah AE2 yakni sebesar $1,92 \times 10^6$ cfu/ml. Perbedaan jumlah total populasi mikroorganisme tersebut dipengaruhi oleh aktivitas pemupukan dan P total di dalam tanah. Unsur P dijerap sangat kuat pada profil tanah AE2 dengan penggunaan lahan hutan primer yaitu sebesar 75,1-88,4% dibandingkan dengan profil tanah KA dengan penggunaan lahan tumpang sari jagung dan cabai

sebesar 19,1-27%. Fosfor merupakan unsur yang menjadi faktor pembatas paling utama pada tanah Andosol karena suplainya sangat rendah. Penyerapan unsur P oleh mineral Al dan Fe non kristalin menyebabkan P menjadi tidak tersedia bagi tanaman dan dikenal sebagai retensi P (Shoji dan Takahasi, 2002). Konsentrasi unsur hara P dan tersedia pada profil tanah AE2 dengan penggunaan lahan hutan primer mencolok lebih rendah dibandingkan dengan KA dan AE1 yang dikelola secara intensif (lampiran 7). Hal tersebut mencerminkan adanya aktivitas mikroorganisme dalam menyediakan unsur hara P bagi tanaman. Kandungan P total pada penggunaan lahan jagung dan cabai yang diolah secara intensif cukup tinggi berkisar 15-26 mg/kg pada lapisan permukaan, sedangkan kandungan P total pada penggunaan lahan hutan primer sekitar 12-18 mg/kg dan berstatus sedang. Hal tersebut dikarenakan pada penggunaan lahan hutan primer tidak lakukan aktivitas pemupukan. Tingginya P total di dalam tanah dalam kaitannya dengan aktivitas pemupukan mendukung jumlah mikroorganisme yang tumbuh pada media Pikovskaya dengan sumber Ca pada penggunaan lahan tumpang sari jagung dan cabai. Spedding dkk. (2003) menjelaskan bahwa aktivitas pemupukan memberikan pengaruh terhadap aktivitas mikroorganisme dan kelimpahan populasi mikroorganisme tanah ditentukan oleh perubahan kondisi fisika dan kimia tanah. Mikroorganisme pelarut P dengan sumber Ca (P-ca) tertinggi diperoleh dari profil tanah KA yakni sebesar $2,09 \times 10^5$ cfu/ml sedangkan pada profil tanah AE1 yakni sebesar $1,63 \times 10^5$ cfu/ml dan AE2 sebesar $3,3 \times 10^4$ cfu/ml. Seluruh mikroorganisme pelarut fosfat yang diperoleh dalam penelitian ini merupakan kelompok bakteri kecuali dari sampel tanah AE1/6 dan AE1/7 semuanya berasal dari kelompok fungi. Kedua sampel tersebut terdapat pada kedalaman 72-120 cm.

Total populasi mikroorganisme yang tumbuh pada media seleksi P dengan sumber Fe secara keseluruhan tertinggi terdapat pada profil tanah AE1 yakni sebesar $6,4 \times 10^4$ cfu/ml, sedangkan pada profil tanah KA sebesar $2,05 \times 10^4$ cfu/ml dan AE2 sebesar $2,51 \times 10^4$ cfu/ml yang didominasi oleh kelompok fungi. Perbedaan total populasi mikroorganisme yang tumbuh pada media P dengan sumber Fe (P-Fe) dipengaruhi oleh kadar pH tanah. Pada tanah masam, aktivitas mikroorganisme didominasi oleh kelompok fungi sebab fungi lebih toleran terhadap kemasaman bila

dibandingkan dengan bakteri, dan akan menurun bila pH meningkat (Hanafiah, 2009). Sesuai dengan pernyataan Hardjowigeno (2007), yang menjelaskan bahwa fungi mampu hidup pada segala tingkat kemasaman tanah bila dibandingkan dengan bakteri yang membutuhkan pH netral untuk pertumbuhannya. Pada penggunaan lahan tumpang sari dan rotasi cabai sayuran kubis, dan wortel kadar pH tanah berkisar 4,9 hingga 5,5 dan cenderung lebih masam bila dibandingkan dengan penggunaan lahan tumpang sari jagung dan cabai dengan pH sebesar 5,9 hingga 6,2 dan hutan primer sebesar 5 hingga 5,2 sehingga mendukung jumlah populasi yang ada (lampiran 7). Tingkat kemasaman tanah yang mempengaruhi total populasi mikroorganisme yang tumbuh pada media Pikovskaya dengan sumber Fe ternyata tidak mendukung adanya mikroorganisme fungsional. Hal tersebut ditandai dengan tidak ditemukannya mikroorganisme yang mampu melarutkan P dengan sumber Fe.



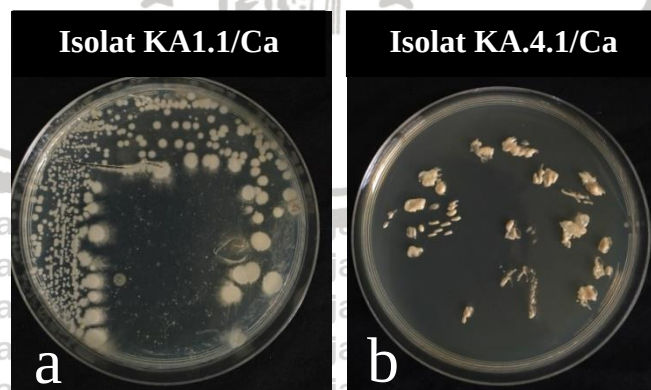
Tabel 4. Total populasi mikroorganisme pada media Pikovskaya dari profil tanah vulkan gunungapi Ijen

Jenis tanah	Bentuk lahan	Penggunaan lahan	Ketinggian (mdpl)	Kode sampel	Tekstur tanah	Kedalaman (cm)	Pelarut P (cfu/ml)					
							PM-Fe *	Zona Bening	PM-Fa **	Zona Bening	PM-Ca ***	Zona Bening
Kambisol Andik	Dataran Vulkan	Tumpang sari jagung dan cabai	62	KA/1	Lempung Berdebu	0 – 22	2,75x10 ⁴	0	7,79 x 10 ⁶	0	9,25 x 10 ⁶	7,00x 10 ⁵
				KA /2		22 – 41	2,10x10 ⁴	0	3,69 x 10 ⁶	2,65x 10 ⁵	3,56 x 10 ⁶	1,75x10 ⁵
				KA /3		41-70	4,90x10 ⁴	0	6,96 x 10 ⁶	5,00x 10 ³	2,06 x 10 ⁶	1,55x 10 ⁵
				KA /4		70-96	5,00x10 ³	0	5,70 x 10 ⁶	7,50x 10 ⁴	3,34 x 10 ⁶	1,5 x 10 ⁴
				KA /5		96-126	0	0	6,33 x 10 ⁶	0	1,09 x 10 ⁶	0
Andosol Eutrik	Lereng bawah vulkan	Tumpang sari dan rotasi cabai sayuran kubis, dan wortel	928	AE1/1	Lempung Berdebu	0 – 18	1,80x10 ⁴	0	5,83 x 10 ⁶	1,75x 10 ⁵	4,00 x 10 ⁶	1,00x 10 ⁵
				AE1/2	Lempung Berdebu	18-33	2,00x10 ³	0	4,00 x 10 ⁶	5,00x 10 ³	5,40 x 10 ⁶	1,05x 10 ⁵
				AE1/3	Pasir Halus	33-43	9,75x10 ⁴	0	7,92 x 10 ⁶	0	3,25 x 10 ⁶	4,50x 10 ⁵
				AE1/4	Lempung Berdebu	43-62	1,05x10 ⁴	0	5,92 x 10 ⁶	0	1,18 x10 ⁶	2,70x 10 ⁵
				AE1/5	Pasir Sedang	62-72/80	2,82x10 ⁵	0	2,70 x 10 ⁶	0	4,65 x 10 ⁶	1,50 x10 ⁴
				AE1/6	Lempung Berdebu	72/80-80/100	0	0	3,40 x10 ⁵	1,00x 10 ^{5*}	1,50 x x10 ⁵	7,00x 10 ⁴
				AE1/7	Pasir Sedang Kasar	80/100-110/120	1,06x10 ⁵	0	6,10 x10 ⁵	2,00x 10 ^{5*}	7,95 x10 ⁵	2,90x 10 ⁵
				AE1/8	Lempung Berdebu	110/120-136	5,00x10 ²	0	1,10 x10 ⁵	0	8,15 x10 ⁵	0
Andosol Eutrik	Lereng tengah Vulkan	Hutan Primer	1020	AE2/1	Lempung Berdebu	0-23	4,75x10 ⁴	0	5,02 x 10 ⁶	0	3,86 x 10 ⁶	1,00x 10 ⁵
				AE2/2		23-46	1,05x10 ⁴	0	2,27 x 10 ⁶	0	2,50 x 10 ⁶	1,00x 10 ⁴
				AE2/3		46-73	4,05x10 ⁴	0	2,06 x 10 ⁶	1,50x 10 ⁴	1,69 x 10 ⁶	5,00x 10 ⁴
				AE2/4		73-105	1,60x10 ⁴	0	1,04 x 10 ⁵	0	7,70 x 10 ⁵	5,00x 10 ³
				AE2/5		105-146	1,10x10 ⁴	0	1,38 x 10 ⁶	0	8,15 x 10 ⁵	0

Keterangan : (*) didominasi kelompok fungi; (**) bakteri dan fungi; PM-Fe: populasi mikroorganisme pada media Fe; PM-Fa: populasi mikroorganisme pada media Fa; PM-Ca: populasi mikroorganisme pada media fosfat alam.

4.2.2 Aktivitas mikroorganisme pelarut P

Sebanyak 33 isolat bakteri berhasil diisolasi dari profil tanah vulkan gunungapi Ijen. Bakteri tersebut terdiri dari 7 bakteri pelarut fosfat dengan sumber fosfat alam (P-Fa), 26 bakteri pelarut fosfat dengan sumber Ca (P-Ca), dan tidak ditemukan bakteri pelarut fosfat dengan sumber Fe (P-Fe). Bakteri pelarut P-Fa diperoleh dari ketiga sampel profil tanah, yaitu profil tanah KA diperoleh 3 isolat, AE1 sebanyak 3 isolat, dan AE2 diperoleh 1 isolat. Bakteri pelarut P-Ca juga diperoleh dari ketiga sampel profil tanah yaitu 13 isolat dari profil KA, 10 isolat dari profil AE1, dan 3 isolat dari profil AE2. Bakteri yang diperoleh kemudian dikarakterisasi secara makroskopis meliputi bentuk morfologi dari segi permukaan, tepian dan warna koloni. Bakteri yang diperoleh umumnya berbentuk bulat dan yang lainnya berbentuk oval dan tidak beraturan. Koloni bakteri tersebut sebagian besar berwarna putih dan sebagian kecil berwarna kuning (Tabel 5). Sebagai contoh isolat bakteri yang berasal dari profil tanah Kambisol Andik pada lapisan pertama dengan isolat pertama pada media Pikovskaya dengan sumber Ca (KA.1.1/Ca) memiliki koloni bulat, permukaan koloni cembung, tepi koloni rata dan koloni berwarna putih keruh, sementara isolat bakteri KA.4.1/Ca memiliki bentuk koloni tidak beraturan, permukaan koloni cembung, tepi koloni menyebar seperti akar dan koloni berwarna putih kekuningan (Gambar 6).

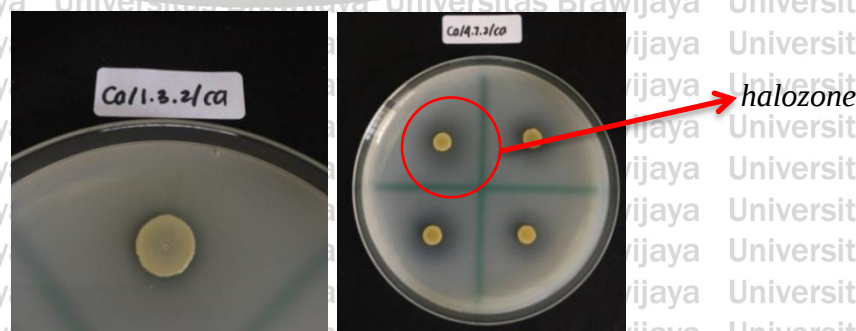


Gambar 6. Bentuk morfologi makroskopis isolat bakteri

Tabel 5. Karakteristik makroskopis isolat bakteri pelarut P dari profil tanah vulkan gunungapi Ijen

Media Seleksi	Kode Isolat	Bentuk	Permukaan	Tepi	Warna
P-Fosfat alam	KA.2.2	Oval	Timbul	Rata	Putih Keruh
	KA.3.2	Bulat	Rata	Rata	Putih Krem
	KA.4.2	Bulat	Cekung	Seperti akar	Putih Kekuningan
	AE1.1.1	Bulat	Cekung	Berombak	Kuning Terang
	AE1.1.2	Tidak Beraturan	Cekung	Seperti akar	Putih Krem
	AE1.7.1	Bulat	Cekung	Berombak	Kuning Terang
	AE2.3.1	Tidak Beraturan	Cekung	Seperti akar	Putih Keruh
	KA.1.1	Bulat	Cembung	Rata	Putih Keruh
	KA.1.2	Bulat	Rata	Rata	Putih Keruh
	KA.1.3	Bulat	Rata	Berlekuk	Putih Krem
P-Ca	KA.1.4	Oval	Rata	Rata	Putih Keruh
	KA.2.1	Oval	Cekung	Bergerigi	Putih Kekuningan
	KA.2.2	Bulat	Rata	Berombak	Putih Keruh
	KA.2.3	Bulat	Cekung	Seperti akar	Kuning Terang
	KA.2.4	Bulat	Cekung	Berlekuk	Putih Keruh
	KA.2.5	Tidak Beraturan	Rata	Berlekuk	Putih Keruh
	KA.3.1	Bulat	Rata	Berlekuk	Putih Krem
	KA.3.2	Bulat	Rata	Berlekuk	Kuning Terang
	KA.3.3	Bulat	Rata	Bergerigi	Putih Keruh
	KA.4.1	Tidak Beraturan	Cembung	Seperti akar	Putih Kekuningan
	AE1.2.1	Bulat	Cekung	Bergerigi	Kuning Terang
	AE1.2.2	Bulat	Cekung	Berombak	Putih Kemerahan
	AE1.3.1	Bulat	Rata	Rata	Kuning Terang
	AE1.3.2	Tidak Beraturan	Cekung	Seperti akar	Putih Kekuningan
	AE1.5.1	Bulat	Cekung	Bergerigi	Putih Krem
	AE1.5.2	Tidak Beraturan	Cekung	Berlekuk	Putih Krem
	AE1.6.1	Tidak Beraturan	Rata	Rata	Kuning Terang
	AE1.7.1	Bulat	Rata	Rata	Kuning Terang
	AE1.7.2	Bulat	Rata	Rata	Kuning Terang
	AE1.7.3	Bulat	Rata	Rata	Kuning Terang
	AE2.2.1	Bulat	Cekung	Bergerigi	Putih Keruh
	AE2.3.1	Bulat	Rata	Rata	Putih Krem
	AE2.4.1	Bulat	Rata	Rata	Putih Krem

Bakteri pelarut P yang diperoleh diuji kembali aktivitasnya secara semi kualitatif pada media seleksi yang sama dan diperoleh hasil bahwa bakteri pelarut P-Fa mempunyai nilai IP berkisar 1,12-3,25 dan bakteri pelarut P-Ca mempunyai nilai IP 1,00-5,00. Bakteri pelarut P-Fa dan pelarut P-Ca yang mempunyai aktivitas tertinggi berturut-turut adalah isolat bakteri KA.4.2/Fa dan KA.1.3/Ca (Tabel 6). Luas zona bening di sekitar koloni yang beragam dari masing-masing isolat bakteri menjelaskan kemampuan bakteri dalam melarutkan fosfat juga beragam (Gambar 7). Keragaman tersebut berkaitan dengan sifat genetik dari masing-masing mikroorganisme seperti kemampuan memproduksi asam organik yang berperan dalam menentukan pelarutan P (Chen dkk., 2006). Situmorang dkk (2015) menjelaskan bahwa semakin tinggi aktivitas enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme, maka semakin besar zona bening yang terbentuk. Zona bening merupakan tanda untuk mengetahui kemampuan bakteri dalam melarutkan P. Semakin luas zona bening, secara kualitatif dapat dianggap sebagai tanda kemampuan mikroorganisme dalam melarutkan P pada media tumbuh semakin besar. Demikian pula semakin bening/terang zona bening menunjukkan pelarutan semakin intensif. Berdasarkan hasil uji aktivitas bakteri pelarut P secara semi kualitatif maka dapat diklasifikasikan indeks pelarutan menjadi 3 kategori, yaitu rendah ($IP < 2,00$), intermediate ($IP 2,00 \leq IP \leq 4,00$), dan tinggi ($IP \geq 4,00$). Isolat KA.4.2/Fa merupakan bakteri pelarut P-Fa yang memiliki nilai IP tertinggi yaitu 3,25 dan tergolong ke dalam klasifikasi intermediate, sementara isolat KA.1.3 merupakan bakteri pelarut P-Ca yang memiliki nilai IP tertinggi sebesar 5,00 dan tergolong ke dalam klasifikasi tinggi.



Gambar 7. Isolat bakteri membentuk zona bening pada media

Tabel 6. Hasil pengujian kualitatif dan kuantitatif isolat bakteri pelarut P

No.	Sumber Fosfat	Kode Isolat	IP	Kadar PO ₄ (ppm)	pH
1	P-Fosfat alam	KA.2.2	3,00	1,80	4,61
2		KA.3.2	1,37	0,80	4,32
3		KA.4.2	3,25	1,10	4,45
4		AE1.1.1	1,62	0,70	4,42
5		AE1.1.2	2,00	1,28	4,33
6		AE1.7.1	3,00	1,76	5,19
7		AE2.3.1	1,12	0,79	4,64
8	P-Ca	KA.1.1	2,62	5,22	5,03
9		KA.1.2	2,25	4,96	5,31
10		KA.1.3	5,00	5,31	5,21
11		KA.1.4	2,27	4,97	5,56
12		KA.2.1	1,00	1,00	5,31
13		KA.2.2	1,00	0,79	5,54
14		KA.2.3	2,87	5,26	5,13
15		KA.2.4	2,87	5,26	5,10
16		KA.2.5	2,20	4,83	5,41
17		KA.3.1	4,00	5,30	5,19
18		KA.3.2	2,50	5,19	5,31
19		KA.3.3	2,27	4,96	4,99
20		KA.4.1	3,30	5,28	5,92
21		AE1.2.1	2,37	4,98	4,85
22		AE1.2.2	2,50	5,17	4,94
23		AE1.3.1	2,50	5,14	4,92
24		AE1.3.2	2,40	5,09	5,12
25		AE1.5.1	1,25	3,81	5,17
26		AE1.5.2	1,12	2,06	5,37
27		AE1.6.1	1,00	0,89	6,80
28		AE1.7.1	1,60	4,57	6,13
29		AE1.7.2	2,87	5,27	5,91
30		AE1.7.3	2,00	4,60	5,45
31		AE2.2.1	2,62	5,25	5,07
32		AE2.3.1	1,12	2,06	5,52
33		AE2.4.1	2,00	4,79	5,01

Bakteri yang diperoleh diuji lebih lanjut aktivitasnya secara kuantitatif dalam melarutkan P dan diperoleh bakteri dapat melarutkan P-Fa 0,70-1,80 ppm dan P-Ca 0,79-5,31 ppm. Bakteri isolat KA.2.2/Fa mempunyai kelarutan P-Fa tertinggi sebesar 1,80 ppm dan isolat KA.1.2/Ca mempunyai kelarutan P-Ca sebesar 5,31 ppm. Widawati (2006) mengisolasi bakteri pelarut P dari tanah latosol dengan

penggunaan lahan perkebunan pada media cair dengan sumber fosfat alam, dan bakteri tersebut dapat melarutkan P-Fa mencapai 5,61 ppm dengan pH yang terbentuk sebesar 4,10. Pelarutan PO_4 merupakan suatu mekanisme kimia yang dilakukan oleh mikroorganisme. Bakteri pelarut fosfat mampu mengekskresikan enzim fosfatase yang berperan dalam proses hidrolisis P organik menjadi anorganik serta menghasilkan zat pengatur tumbuh (Purwaningsih, 2003). Meningkatnya asam-asam organik tersebut diikuti dengan penurunan pH yang disebabkan oleh terbebasnya asam sulfat dan nitrat oleh bakteri (Simanungkalit dan Suriadikarta, 2006).

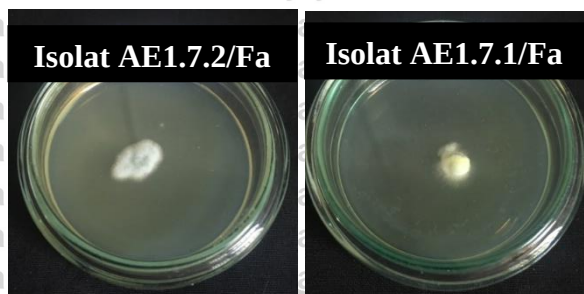
Isolat bakteri KA.1.3/Ca dapat melarutkan P-Ca dengan nilai IP tertinggi yaitu 5,00 dan berdasarkan nilai IPnya termasuk ke dalam klasifikasi tinggi. Selanjutnya, berdasarkan uji kuantitatif, bakteri tersebut dapat melarutkan P-Ca sebesar 5,31 ppm dan pH media yang terbentuk sebesar 5,21 dan hasil kelarutan tersebut tergolong menengah atau sedang. Pengujian pelarutan PO_4 dengan sumber Ca yang dilakukan oleh Suhendra (2013) dengan menginokulasikan bakteri yang berasal dari tanah gambut mencapai 19,99 ppm dengan pH yang terbentuk sebesar 3,81. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi aktivitas enzimatik mikroorganisme dalam melepaskan asam organik dengan mengikat senyawa PO_4 mempengaruhi nilai pH yang terbentuk. Hal ini sesuai dengan pernyataan Ginting dkk (2006) yang menjelaskan bahwa asam organik yang dilepaskan oleh isolat memiliki kemampuan dalam mengikat PO_4 .

Sebanyak 5 isolat fungi pelarut P berhasil diisolasi dari profil tanah vulkan gunungapi Ijen. Fungi tersebut terdiri dari 3 fungi pelarut P-Fa yang berasal dari profil Andosol Eutrik pertama dengan penggunaan lahan tumpang sari dan rotasi cabai sayuran kubis, dan wortel pada lapisan keenam (AE1/6) dan ketujuh (AE1/7), dan 2 fungi pelarut P-Ca yang berasal dari penggunaan lahan tumpang sari dan rotasi cabai sayuran kubis, dan wortel pada lapisan ketujuh. Pada penelitian ini tidak ditemukan fungi yang mampu melarutkan P-Fe. Fungi yang diperoleh kemudian dikarakterisasi secara makroskopis guna mengetahui keragaman morfologi masing-masing fungi yang ditemukan (Tabel 7).

Tabel 7. Karakteristik makroskopis isolat fungi pelarut P dari profil tanah vulkan gunungapi Ijen

No	Kode Isolat	Warna depan	Warna Belakang	Bentuk Koloni	Tepi/warna	Tekstur
1	AE1.6.1/Fa	Hijau	Kuning kecoklatan	Bulat, hijau keputihan	Rata, putih	Halus seperti kapas
2	AE1.7.1/Fa	Hijau keputihan	Hijau kekuningan	Tidak beraturan, hijau	Rata, putih	Kasar Seperti serabut
3	AE1.7.2/Fa	Hijau keputihan	Hijau kekuningan	Tidak beraturan, hijau	Rata, putih	Halus seperti kapas
4	AE1.7.1/Ca	Kuning keputihan	Kuning keputihan	Tidak beraturan, kuning	Rata, putih	Halus seperti kapas
5	AE1.7.2/Ca	Putih	Kuning kecoklatan	Tidak beraturan, putih	Rata, putih	Halus seperti kapas

Berdasarkan hasil identifikasi secara makroskopis, isolat fungi yang diperoleh pada umumnya berwarna hijau keputihan pada bagian depan dan kuning kecoklatan pada bagian belakang dengan bentuk koloni tidak beraturan dan koloni berwarna hijau dan tepi koloni rata serta bertekstur halus seperti kapas dan seluruh fungi yang ditemukan tidak membentuk eksudat dan pigmentasi. Sebagai contoh isolat AE1.7.2/Fa memiliki warna hijau di tengah koloni dan putih di tepian koloni, dengan bentuk koloni tidak beraturan, tidak memiliki eksudat dan pigmentasi, tekstur halus seperti kapas, tepi koloni rata dan warna belakang isolat hijau kekuningan sementara isolat AE1.7.1/Ca memiliki warna putih dengan bentuk koloni tidak beraturan, tidak memiliki eksudat dan pigmentasi, tekstur halus seperti kapas, tepi koloni rata dan warna belakang isolat kuning kecoklatan (Gambar 8).



Gambar 8. Bentuk morfologi makroskopis isolat fungi

Fungi pelarut P yang diperoleh diuji aktivitasnya secara semi kualitatif dan diperoleh kemampuannya dalam melarutkan P-Fa dengan nilai IP 1,27-2,24. Luas zona bening di sekitar koloni dengan ukuran yang berbeda dari masing-masing isolat fungi menjelaskan kemampuan fungi dalam melarutkan P beragam (Gambar 9). Dari hasil uji kuantitatif, isolat fungi AE1.7.2/Fa mempunyai aktivitas tertinggi dapat melarutkan P-Fa sebesar 1,39 ppm dan pH yang terbentuk sebesar 4,28. Fungi pelarut P-Ca mempunyai nilai IP 1,1-1,97 dan isolat fungi AE1.7.1-ca mempunyai aktivitas tertinggi dengan nilai IP sebesar 2 dengan kadar PO_4 terlarut sebesar 5,87 dan pH yang terbentuk sebesar 4,72 (Tabel 8). Penelitian yang dilakukan oleh Fitriatin dkk. (2009) menjelaskan bahwa fungi yang diinokulasi dari tanah gambut mampu melarutkan P-Fa sebesar 29,83 ppm dengan pH yang terbentuk sebesar 4,70 dan P-Ca sebesar 55,87 dengan pH yang terbentuk sebesar 3,37 secara *in vitro*. Fungi pelarut P mampu meningkatkan ketersediaan fosfat di dalam tanah sebanyak 25% serta mampu melarutkan bentuk P-Ca dan P-Fe karena fungi umumnya dominan pada tanah-tanah dengan pH lebih masam dibanding bakteri yang membutuhkan pH netral untuk pertumbuhannya (Hanafiah, 2009).



Gambar 9. Isolat fungi membentuk zona bening pada media

Tabel 8. Hasil pengujian kualitatif dan kuantitatif isolat fungi pelarut P

No.	Sumber Fosfat	Kode isolat	IP	Kadar PO ₄ (ppm)	pH
1	P-fosfat alam	AE1.6.1	1,53	2,39	4,54
2		AE1.7.1	1,27	1,72	4,49
3		AE1.7.2	2,24	1,39	4,28
4	P-Ca	AE1.7.1	2,00	5,87	4,72
5		AE1.7.2	1,10	4,06	5,02

4.2.3 Uji aktivitas mikroorganisme pelarut P

Isolat bakteri dan fungi yang berhasil diperoleh dari media seleksi seperti yang telah dijelaskan di atas, kemudian diuji kembali dalam media seleksi yang berbeda (Gambar 10). Sebagai contoh, bakteri atau fungi yang berhasil diisolasi dari media seleksi pelarut P dengan sumber Ca diuji kembali aktivitasnya dalam media seleksi pelarut P dengan sumber yang berbeda, pelarut K dan penambat N. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan isolat dalam aktivitas fungsional lainnya seperti melarutkan P dengan sumber FePO₄, Ca dan fosfat alam, pelarut kalium dan penambat N.

**Gambar 10.** Kemampuan isolat bakteri dan fungi dalam melarutkan media lain

Mikroorganisme pelarut P umumnya berada di dalam tanah dan hidup disekitar perakaran tanaman, yaitu di daerah permukaan tanah sampai kedalaman 25 cm dari permukaan tanah. Keberadaan mikroorganisme tersebut berkaitan dengan jumlah bahan organik yang secara langsung mempengaruhi aktivitasnya. Secara fisiologis, mikroorganisme yang berada dekat dengan daerah perakaran akan lebih aktif daripada yang hidup jauh dari daerah perakaran (Ginting dkk., 2006). Pelarutan senyawa fosfat oleh mikroorganisme berlangsung secara kimia dan biologis baik

untuk bentuk fosfat organik maupun anorganik. Pelarutan fosfat secara kimia dilakukan oleh mikroorganisme dengan mengekskresikan sejumlah asam organik dan secara biologis dengan menghasilkan enzim seperti fofatase dan enzim fitase (Simanungkalit, dan Suriadikarta, 2006). Fosfatase merupakan enzim yang akan dihasilkan oleh akar tanaman dan mikroorganisme dan di dalam tanah fosfatase lebih dominan dihasilkan oleh mikroorganisme. Keberadaan mikroorganisme pelarut fosfat dari suatu tempat ke tempat lainnya sangat beragam disebabkan oleh sifat biologisnya. Ada yang hidup pada kondisi asam, dan ada pula yang hidup pada kondisi netral dan basa. Masing-masing mikroorganisme memiliki sifat khusus dan kondisi lingkungan optimal yang berbeda-beda yang mempengaruhi efektivitasnya melarutkan fosfat (Ginting dkk., 2006).

Berdasarkan hasil pengujian, sebanyak 5 isolat bakteri pelarut fosfat alam mampu melarutkan Ca dan menambat nitrogen dengan nilai IP berkisar 1,25-3,00 serta 2 isolat bakteri pelarut fosfat dengan sumber fosfat alam lainnya mampu melarutkan Ca, melarutkan kalium dan menambat nitrogen (Tabel 9). Hasil pengujian aktivitas bakteri pelarut P lainnya menunjukkan bahwa sebanyak 16 isolat bakteri pelarut Ca mampu melarutkan fosfat dengan sumber fosfat alam dan menambat nitrogen dengan nilai IP berkisar 0,80-3,00 serta 10 isolat bakteri pelarut fosfat dengan sumber Ca lainnya mampu melarutkan fosfat dengan sumber fosfat alam, melarutkan kalium dan menambat nitrogen. Sebanyak 2 fungi pelarut fosfat dengan sumber fosfat alam mampu melarutkan fosfat dengan sumber Ca, melarutkan kalium dan menambat nitrogen serta 1 isolat fungi pelarut fosfat dengan sumber fosfat alam mampu melarutkan fosfat dengan sumber Ca dan menambat nitrogen. Satu isolat fungi pelarut fosfat dengan sumber Ca mampu melarutkan fosfat dengan sumber fosfat alam dan menambat nitrogen serta 1 isolat fungi pelarut fosfat dengan sumber Ca mampu menambat nitrogen.



Tabel 9. Uji aktivitas bakteri dan fungi potensial pelarut P

No	Parameter Pengamatan	Kode Isolat	P-Fa	P-Ca	P-Fe	K	Menambat N
1	Bakteri	KA.2.2/Fa	3,00	1,60	0	0	✓
2		KA.3.2/Fa	1,37	2,25	0	1,25	✓
3		KA.4.2/Fa	3,25	1,00	0	2,00	✓
4		AE1.1.1/Fa	1,62	1,25	0	0	✓
5		AE1.1.2/Fa	2,00	3,00	0	0	✓
6		AE1.7.1/Fa	3,00	1,50	0	0	✓
7		AE2.3.1/Fa	1,12	2,00	0	0	✓
8		KA.1.1/Ca	1,80	2,62	0	0	✓
9		KA.1.2/Ca	2,00	2,25	0	0	✓
10		KA.1.3/Ca	1,00	5,00	0	1,00	✓
11		KA.1.4/Ca	2,00	2,27	0	0	✓
12		KA.2.1/Ca	1,00	1,00	0	1,00	✓
13		KA.2.2/Ca	3,00	1,00	0	2,00	✓
14		KA.2.3/Ca	2,00	2,87	0	2,50	✓
15		KA.2.4/Ca	1,00	2,87	0	1,25	✓
16		KA.2.5/Ca	2,00	2,20	0	2,00	✓
17		KA.3.1/Ca	1,60	4,00	0	1,00	✓
18		KA.3.2/Ca	1,00	2,50	0	0	✓
19		KA.3.3/Ca	1,00	2,27	0	0	✓
20		KA.4.1/Ca	2,75	3,30	0	0	✓
21		AE1.2.1/Ca	0,80	2,37	0	0	✓
22		AE1.2.2/Ca	2,00	2,50	0	1,00	✓
23		AE1.3.1/Ca	2,50	2,50	0	2,00	✓
24		AE1.3.2/Ca	1,00	2,40	0	0	✓
25		AE1.5.1/Ca	0,80	1,25	0	0	✓
26		AE1.5.2/Ca	2,00	1,12	0	0	✓
27		AE1.6.1/Ca	2,00	1,00	0	0	✓
28		AE1.7.1/Ca	2,00	1,60	0	1,60	✓
29		AE1.7.2/Ca	2,00	2,87	0	0	✓
30		AE1.7.3/Ca	1,00	2,00	0	0	✓
31		AE2.2.1/Ca	2,00	2,62	0	0	✓
32		AE2.3.1/Ca	1,00	1,12	0	0	✓
33		AE2.4.1/Ca	1,00	2,00	0	0	✓
34	Fungi	AE1.6.1/Fa	1,53	1,30	0	0	✓
35		AE1.7.1/Fa	1,27	1,00	0	1,56	✓
36		AE1.7.2/Fa	2,24	1,10	0	3,00	✓
37		AE1.7.1/Ca	2,00	1,72	0	1,25	✓
38		AE1.7.2/Ca	0	1,10	0	0	✓

Dalam aktivitasnya melarutkan K, sebanyak 2 isolat bakteri pelarut P yang diperoleh dari media seleksi fosfat alam mampu melarutkan K dengan nilai IP 1,25 hingga 2,00 dan 10 isolat bakteri pelarut P-Ca juga mampu melarutkan K dengan nilai IP 1,00 hingga 2,50. Archana (2007) menjelaskan bahwa bakteri pelarut fosfat memiliki kemampuan dalam melarutkan mineral K menjadi bentuk terlarut melalui produksi dan sekresi asam organik dengan genus seperti *Pseudomonas*, *Bacillus* dan *Streptomyces* yang hidup di daerah rhizosfer akar.

Sebanyak 3 isolat fungi mampu melarutkan P dengan 2 sumber yang berbeda, juga dapat melarutkan K, dan memfiksasi N, yaitu 2 isolat fungi pelarut P-Fa dan satu isolat fungi pelarut P-Ca. Selain itu, 1 isolat fungi pelarut P-Fa juga dapat melarutkan P-Ca. Fungi pelarut P yang diperoleh dari media fosfat alam secara keseluruhan mampu melarutkan P-Ca dengan nilai IP 1,00-1,30 sedangkan fungi pelarut P-Ca mampu melarutkan P-Fa dengan nilai IP 2,00-2,24. Dalam aktivitasnya melarutkan K, sebanyak 2 isolat fungi pelarut P-Fa mampu melarutkan K dengan nilai IP 1,56-3,00 dan 1 isolat fungi pelarut P-Ca juga mampu melarutkan K dengan nilai IP sebesar 1,25. Fungi pelarut P mampu meningkatkan ketersediaan fosfat di dalam tanah sebanyak 25% serta mampu melarutkan bentuk P-Ca dan P-Fe sedangkan fungi pelarut K mampu meningkatkan kelarutan feldspar dalam kaitannya menghasilkan asam-asam organik yang dapat membantu melepaskan kalium yang terikat pada mineral pembawa kalium menjadi bentuk tersedia bagi tanaman.

4.3 Mikroorganisme Pelarut K

4.3.1 Populasi mikroorganisme yang tumbuh pada media Alexandrov

Seluruh mikroorganisme yang tumbuh pada media Alexandrov adalah bakteri dan tidak dijumpai kelompok fungi. Populasi bakteri tertinggi terdapat pada profil tanah KA sebesar $3,37 \times 10^6$ cfu/ml, sementara pada profil tanah AE1, populasi bakteri sebesar $1,63 \times 10^6$ cfu/ml dan profil tanah AE2 sebesar $2,54 \times 10^6$ cfu/ml (Tabel 10). Kelimpahan jumlah populasi bakteri pada media Alexandrov diduga dipengaruhi oleh K total di dalam tanah dan aktivitas pemupukan. Kandungan K total pada tanah Kambisol Andik dengan penggunaan lahan tumpang sari jagung dan cabai

berkisar 34-61 mg/100 kg, pada tanah Andosol Eutrik dengan penggunaan lahan tumpang sari dan rotasi cabai sayuran kubis, dan wortel 10-23 mg/100 kg, dan hutan primer 19-32 mg/100 kg (lampiran 7). Hal tersebut disebabkan oleh pengelolaan tanah secara intensif pada penggunaan lahan tumpang sari jagung dan cabai. Pengelolaan tanah secara intensif dengan pemberian pupuk bertakaran tinggi mengakibatkan tingginya residu K di dalam tanah. Unsur hara dalam tanah erat kaitannya dengan mikroorganisme. Mikroorganisme di dalam tanah memperbanyak diri dan aktif dalam penyediaan unsur hara bagi tanaman dengan cara melepaskan unsur hara yang terikat (Syavitri, 2018).

Total populasi mikroorganisme tertinggi terdapat pada kode sampel AE2/3 dengan penggunaan lahan hutan primer. Mikroorganisme tersebut tumbuh di sekitar perakaran pohon pada kedalaman 46-73 cm. Daerah perakaran merupakan suatu ekosistem yang khas dan berbeda jelas dengan ekosistem di luarnya. Jones dkk. (2005) menjelaskan bahwa daerah rhizosfer dicirikan dengan jumlah populasi dan aktivitas yang tinggi dari mikroorganisme dibandingkan dengan daerah tanah yang jauh dari perakaran dikarenakan rhizosfer merupakan bagian dari tanah yang dipengaruhi oleh substansi yang dikeluarkan oleh akar. Melimpahnya substrat pada rhizosfer memicu persaingan antar mikroorganisme untuk mengkolonisasi rhizosfer. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan perbandingan antara lapisan pertama dan lapisan rhizosfer pada penggunaan lahan hutan primer. Pada lapisan pertama dengan kode sampel AE2/1, total kandungan bahan organik tertinggi sebesar 4,92 % dengan jumlah populasi mikroorganisme sebesar $1,87 \times 10^6$ cfu/ml, sedangkan pada daerah rhizosfer akar (AE2/3) hanya sebesar 1,47% dengan jumlah populasi mikroorganisme tertinggi sebesar $6,30 \times 10^6$ cfu/ml.

Tabel 10. Total populasi mikroorganisme pada media Alexandrov dari profil tanah vulkan gunungapi Ijen

Jenis tanah	Bentuk lahan	Penggunaan lahan	Ketinggian (mdpl)	Kode sampel	Tekstur tanah	Kedalaman (cm)	Pelarut K * Cfu/ml	
							Total	Zona Bening
Kambisol Andik	Dataran Vulkan	Tumpang sari jagung dan cabai	62	KA/1	Lempung Berdebu	0 – 22	5,74 x 10 ⁶	0
				KA /2		22 – 41	2,49 x 10 ⁶	0
				KA /3		41-70	2,70 x 10 ⁶	5,00 x 10 ⁴
				KA /4		70-96	3,82 x 10 ⁶	0
				KA /5		96-126	2,12 x 10 ⁶	0
Andosol Eutrik	Lereng bawah vulkan	Tumpang sari dan rotasi cabai sayuran kubis, dan wortel	928	AE1/1	Lempung Berdebu	0 – 18	4,07 x 10 ⁶	0
				AE1/2	Lempung Berdebu	18-33	2,31 x 10 ⁶	0
				AE1/3	Pasir Halus	33-43	3,57 x 10 ⁶	2,50 x 10 ⁴
				AE1/4	Lempung Berdebu	43-62	1,61 x 10 ⁶	0
				AE1/5	Pasir Sedang	62-72/80	1 x 10 ⁴	0
				AE1/6	Lempung Berdebu	72/80-80/100	1 x 10 ⁴	0
				AE1/7	Pasir Sedang Kasar	80/100-110/120	3 x 10 ⁵	0
				AE1/8	Lempung Berdebu	110/120-136	1,19 x 10 ⁶	0
Andosol Eutrik	Lereng tengah Vulkan	Hutan Primer	1020	AE2/1		0-23	1,87 x 10 ⁶	0
				AE2/2		23-46	2,18 x 10 ⁶	0
				AE2/3		46-73	6,3 x 10 ⁶	0
				AE2/4	Lempung Berdebu	73-105	1,02 x 10 ⁶	0
				AE2/5		105-146	1,31 x 10 ⁶	0

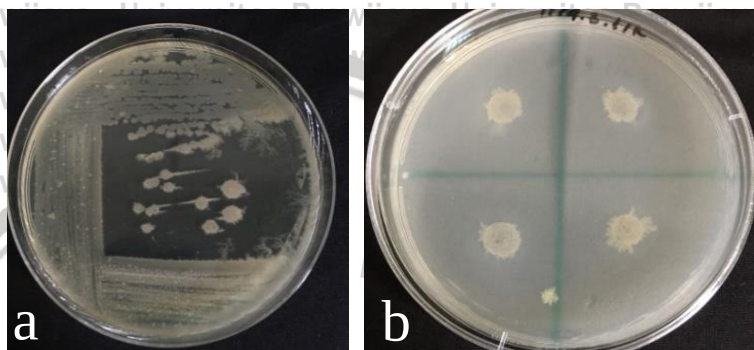
Keterangan : Semua mikroorganisme adalah bakteri dan tidak dijumpai kelompok fungi

Jumlah populasi mikroorganisme pelarut K tertinggi berasal dari profil tanah Kambisol Andik dengan penggunaan lahan tumpang sari jagung dan cabai dengan kode sampel KA/3 sebesar $5,00 \times 10^4$ cfu/ml dan yang lainnya berasal dari profil tanah Andosol Eutrik dengan penggunaan lahan tumpang sari dan rotasi cabai sayuran kubis, dan wortel dengan kode sampel AE1/3 sebesar $2,50 \times 10^4$ cfu/ml. Jumlah populasi mikroorganisme pelarut K dipengaruhi oleh tingkat pelapukan gelas vulkan. Tingkat pelapukan gelas vulkan pada sampel KA/3 dengan penggunaan lahan tumpang sari jagung dan cabai sebesar 5%, dan pada penggunaan lahan tumpang sari dan rotasi cabai sayuran kubis, dan wortel sebesar 20%, dan tertinggi dibandingkan dengan lapisan yang lainnya. Tingginya tingkat pelapukan gelas vulkan pada tanah tersebut disebabkan oleh pengelolaan lahan secara intensif. Pelapukan gelas vulkan diawali dengan tercucinya senyawa senyawa terlarut seperti H_4SiO_4 , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , dan sebagainya (Prasetyo dkk., 2004). Senyawa-senyawa tersebut dimanfaatkan oleh mikroorganisme dalam bentuk tersedia bagi tanaman. Archana (2007) menjelaskan bahwa kalium di dalam tanah dapat diserap oleh tanaman dalam bentuk ion K^+ dengan bantuan mikroorganisme. Semakin tinggi tingkat pelapukan gelas vulkan mendukung ketersediaan unsur hara yang digunakan oleh mikroorganisme untuk menyediakan kalium dalam bentuk tersedia bagi tanaman.

4.3.2 Aktivitas mikroorganisme pelarut K

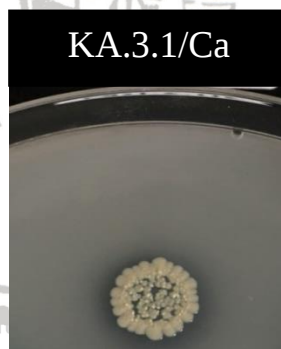
Sebanyak 1 isolat bakteri pelarut K berhasil diisolasi dari profil tanah vulkan gunungapi Ijen yaitu dari profil Kambisol Andik dengan penggunaan lahan tumpang sari jagung dan cabai (KA/3). Isolat bakteri KA.3.1/K memiliki bentuk bulat dengan permukaan rata, tepi koloni seperti akar dan warna koloni putih kekuningan (Gambar 11). Bakteri tersebut mampu melarutkan K dengan nilai IP sebesar 2,5 dengan K terlarut sebesar 2,82 ppm dan pH yang terbentuk sebesar 5,65 termasuk ke dalam klasifikasi intermediate. Elfiati (2005) menguji bakteri pelarut K yang berasal dari tanah bekas tambang timah dengan menggunakan media Alexandrov cair menunjukkan bahwa pelarutan K tertinggi sebesar 5,91 ppm. Pelarutan K merupakan salah satu cara untuk mengetahui kemampuan mikroorganisme dalam melepaskan kalium yang terikat dengan silikat pada berbagai feldspar dan mika. Mikroorganisme

pelarut K mampu menambah sumber kalium dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman terong (Bai dkk., 2005), meningkatkan biomassa hasil dan penyerapan kalium pada tanaman sorgum (Basak dan Biswas, 2009) serta meningkatkan kandungan kalium tersedia di dalam tanah (Prajapati dan Mohdi, 2012).



Gambar 11. Bakteri pelarut K; (a) bentuk morfologi dan; (b) zona bening yang mengindikasikan aktivitas pelarut K

Sama halnya dengan bakteri pelarut P, bakteri pelarut K juga diuji kemampuannya. Isolat bakteri KA.3.1-K diuji kembali aktivitasnya dalam melarutkan P (P-Fa, P-Ca, dan P-Fe), dan memfiksasi N bebas (Gambar 12). Pengujian dilakukan guna mengetahui kemampuan bakteri dalam menambat N maupun melarutkan fosfat dengan berbagai sumber.



Gambar 12. Kemampuan isolat bakteri pelarut K dalam melarutkan media lain

Berdasarkan hasil uji tersebut diperoleh bahwa bakteri tersebut mampu melarutkan fosfat dengan 2 sumber yang berbeda (fosfat alam dan Ca) serta mampu menambat N. Aktivitas bakteri pelarut kalium (BPK) dalam melarutkan kalium yakni sebesar 2,82 ppm dan melarutkan P-Ca dengan nilai IP sebesar 2,37 dan P-Fa dengan nilai IP sebesar 2,00. Sama halnya dengan bakteri pelarut fosfat yang memiliki

kemampuan dalam melarutkan mineral K menjadi bentuk terlarut, BPK yang diperoleh dari penelitian ini juga memiliki kemampuan dalam menghasilkan asam-asam organik dalam aktivitasnya melarutkan P serta memiliki kemampuan dalam menambat N, tetapi tidak mempunyai aktivitas dalam melarutkan P-Fe.





V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Sebanyak 18 sampel tanah vulkan yang digunakan sebagai sumber mikroorganisme berasal dari 3 jenis profil tanah mampu menambat nitrogen, melarutkan fosfat dan kalium. Mikroorganisme yang mampu menambat nitrogen berasal dari kelompok bakteri dengan potensi tertinggi berasal dari profil tanah Kambisol Andik sebesar $5,91 \times 10^6$ cfu/ml. Mikroorganisme pelarut fosfat dengan berbagai sumber berasal dari bakteri dan fungi. Potensi MPF dengan sumber fosfat alam tertinggi berasal dari profil tanah Kambisol Andik berkisar 5×10^3 – $2,65 \times 10^5$ cfu/ml, sementara MPF dengan sumber Ca, tertinggi terdapat pada profil tanah Kambisol Andik yakni sebesar $2,09 \times 10^5$ cfu/ml dan tidak ditemukan mikroorganisme yang mampu melarutkan fosfat dengan sumber Fe. Mikroorganisme yang mampu melarutkan kalium berasal dari kelompok bakteri dengan potensi tertinggi terdapat pada profil tanah Kambisol Andik sebesar $1,00 \times 10^4$ cfu/ml.
2. Sebanyak 5 isolat BPF dengan sumber alam mampu melarutkan Ca dan menambat nitrogen serta 2 isolat BPF dengan sumber fosfat alam lainnya mampu melarutkan Ca, melarutkan kalium dan menambat nitrogen. Sebanyak 16 isolat bakteri pelarut Ca mampu melarutkan fosfat dengan sumber fosfat alam dan menambat nitrogen serta 10 isolat bakteri pelarut fosfat dengan sumber Ca lainnya mampu melarutkan fosfat dengan sumber fosfat alam, melarutkan kalium dan menambat nitrogen. Sebanyak 2 fungi pelarut fosfat dengan sumber fosfat alam mampu melarutkan fosfat dengan sumber Ca, melarutkan kalium dan menambat nitrogen serta 1 isolat fungi pelarut fosfat dengan sumber fosfat alam mampu melarutkan fosfat dengan sumber Ca dan menambat nitrogen. Satu isolat fungi pelarut fosfat dengan sumber Ca mampu melarutkan fosfat dengan sumber fosfat alam dan menambat nitrogen serta 1 isolat fungi pelarut fosfat dengan sumber Ca mampu menambat nitrogen. Satu isolat bakteri pelarut kalium mampu melarutkan fosfat dengan sumber fosfat alam dan Ca serta menambat nitrogen.

5.2 Saran

Diperlukan adanya penelitian lanjutan tentang identifikasi dan karakterisasi bakteri dan fungi potensial hingga penamaan serta pengaplikasian bakteri dan fungi potensial pada tanah maupun tanaman untuk mengetahui peranan mikroba potensial di dalam tanah dalam mendukung pertumbuhan tanaman.



DAFTAR PUSTAKA

Archana, D.S. 2007. Studies of Potassium Solubilizing Bacteria. Ph.D Thesis. Department of Agricultural Microbiology. University of Agricultural Sciences

Bai, S.K., S.J., Lee., H.J. Na., K.S., Ha., J.A. Han., H. Lee., Y.G. Kwon., C.K., Chung., and Y.M. Kim. 2005. Betacarotene Inhibits Inflammatory Gene Expression in Lipopolysaccharide-Stimulated Macrophages by Suppressing Redox-Based NF-Kappa B Activation. *Exp Mol Med.* 31;37 (4): 323-324

Balai Penelitian Tanah. 2011. Teknologi Rehabilitasi Lahan Pasca Erupsi Merapi. <http://balittanah.litbang.deptan.go.id>

Basak, B., and B.P., Biswas. 2009. Influence of Potassium Solubilizing Microorganism (*Bacillus mucilaginosus*) and Waste Mica on Potassium Uptake dynamics by Sudan Grass (*Sorghum Vulgare Pers.*) Grown Under Two Alfisols. *Plant and Soil.* 317: 235-255

Benson. 2001. Microbial Application Lab Manual, 8th (ed). California: The McGraw-Hill Companies

Charman, D. 2002. Peatlands and Environmental Change. John Wiley and Sons: Ltd. England

Chen, Y.P., P.D. Rekha., A.B. Arun., F.T. Shen., W.A. Lai., and C.C. Young. 2006. Phosphate Solubilizing Bacteria from Subtropical Soil and the Tricalcium Phosphate Solubilizing Ability. *Applied Publishing Soil Ecology* 34: 33-41

Dill, H.G. 2015. What Minerals are Present in Volcanic Deposits Beneficial for Plant Growth. Retrieved from https://www.researchgate.net/post/What_minerals_a

Elfiati, E. 2005 Peranan Mikroba Pelarut Fosfat Terhadap Pertumbuhan Tanaman. Universitas Sumatera Utara. Medan

Fiantis. 2006. Laju Pelapukan Kimia Debu Vulkanis Gunung Talang dan Pengaruhnya Terhadap Proses Pembentukan Mineral Liat Non-Kristalin. Skripsi. Universitas Andalas, Padang

Fitriatin, B.N., A. Yuniarti., O. Mulyani., F.S. Fauziah., dan M.D. Tiara. 2009. Pengaruh Mikroba Pelarut Fosfat dan Pupuk P Tersedia, Aktivitas Fosfatase, P. Tanaman dan Hasil Padi Gogo (*Oryza sativa*. L.) pada Ultisol. J. Agrikultura. 20 (3): 210-215

Ginting, R.C., B.R. Saraswati., E. Husen. 2006. Mikroorganisme Pelarut Fosfat Dalam Pupuk Organik dan Pupuk Hayati. Balai Penelitian Tanah. Bogor. pp 265-271

Girish, K., B. Shrikant, and M. Sunil. 2010. Exploring the Potential of *Pseudomonas* Species as Phosphate Solubilizer, Plant Growth Promoter, Biocontrol Agent, and Pesticide Degradator. Asian J. Exp. Biol. Sci. Spl. (4): 40-44

Hanafiah, K.A. 2009. Dasar-dasar Ilmu Tanah. Divisi Buku Perguruan Tinggi. PT Grafindo Persada. Jakarta

Handayanto, E., dan K. Hairiah. 2007. Biologi Tanah Landasan Pengelolaan Tanah Sehat . Pustaka Adipura Press. Yogyakarta

Hardjowigeno, S. 2007. Ilmu Tanah. Akademika Pressindo. Jakarta. p 296

Joyontono. P., dan J. Sartohadi. 2016. Penilaian Perkembangan Tanah di Lereng Gunungapi Ijen Berdasarkan Pendekatan Pedogeomorfologi. J. Bumi Indonesia. 5 (2): 1-16

Havlin, J.L., Beaton., S.L., and W.L. Nelson. 2005. Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management. Seventh Ed. Pearson Education Inc. Upper Saddle River. New Jersey

Joner, E.J., I.M. van Arle, and M. Vosatka. 2000. Phosphatase Activity of Extracellular Arbuscular Mycorrhizal Hyphae: A review. Plant Soil 226: 190-210

Jones, D.L., P.A.W. van Hees., G. Jentschke., and D.L. Godbold. 2005. Organic Acid Concentrations in Soil Solution Effects of Young Coniferous Trees and Ectomycorrhizal Fungi. Soil Biol Biochem. 37: 771-776

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2014. Gunung Ijen. Data Dasar Gunungapi. Badan Geologi. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi

Lubis, A.H. 2011. Dampak Abu Vulkanik Letusan Gunung Sinabung Terhadap Ketersediaan dan Serapan Hara P oleh Tanaman Jagung serta Terhadap Respirasi Mikroorganisme pada Tanah Dystandepts. Skripsi. Universitas Sumatera Utara

Mukhlis. 2011. Tanah Andisol. Genesis, Klasifikasi, Karakteristik, Penyebaran dan Analisis. USU Press. Medan

Paul, D., and S.N. Sinha. 2016. Isolation and Characterization of Phosphate Solubilizing Bacterium *Pseudomonas Aeruginosa* KUPSB12 with Antibacterial Potential from River Ganga, India. Ann. Agrar. Sci. 130-136

Prajapati, K., and H.A. Modi. 2012. Isolation of Two Potassium Solubilizing Fungi From Ceramic Industry Soil. Life Science Leaflets Press. pp 71-75

Purwaningsih, S. 2003. Isolasi, Populasi dan Karakterisasi Bakteri Pelarut Fosfat pada Tanah dari Tanaman Nasional Bogani Nani Wartabone, Sulawesi Utara. Biologi. 3 (1): 22-31

Prasetyo, B.H., J.S. Adiningsih, K. Subagyo, dan R.D.M. Simanungkalit. 2004. Mineralogi, Kimia, Fisika dan Biologi Tanah Sawah. Hlm 29-82 Dalam F. Agus et al. (Eds.). Tanah Sawah dan Teknologi Pengelolaannya. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Departemen Pertanian.

Rauf, A. 2014. Debu Vulkanik Sinabung Dapat Menyuburkan Tanah. <http://usu.ac.id/id/article/776/timfakultaspertanianusudebuculkaniksinabungdapatmenyuburkant tanah>

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

Schaad, N.W., J.B. Jones., and W. Chun. 2001. Laboratory Guide for Identification off Plant Patogenic Bacteria. The American Phytopathological Society. APS Press. St Paul Minnesota. p 270

Sedov, S., G. Stoops, and S. Shoba. 2010. Regolith and Soils on Volcanic Ash. In Stoops G., Marcelino. V., and F. Mees (eds) Interpretation of

Micromorphological Features of Soil and Regolith. Elsevier Journal. Pp 275-303

Shoji, S., and T. Takahasi. 2002. Environmental and Agricultural Significance of Volcanic Ash Soils. Global Journal of Environmental Research 6: 113-135

Simanungkalit, R.D.M., dan Suriadikarta. 2006. Pupuk Organik dan Pupuk Hayati (*Organic Fertilizer and Biofertilizer*). Badan Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian Pertanian. pp 10-14

Simatupang, D.S. 2008. Berbagai Mikroorganisme Rhizosfer pada Tanaman Pepaya (*Carica papaya. L*) di Pusat Kajian Buah-buahan Tropika (PKBT) Desa Ciomas, Kecamatan Pasir Kuda, Kabupaten Bogor, Jawa Barat. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor

Sinaga, A. H., D. Elfiati., dan Delvian. 2014. Aktivitas Mikroorganisme Pada Tanah Bekas Kebakaran Hutan di Kabupaten Samosir. J. USU. 4 (1): 60-66

Sitepu, E.B. 2011. Dampak Debu Vulkanik Letusan Gunung Sinabung Terhadap Unsur Hara Makro Tanah di Kabupaten Karo. Skripsi. Departemen Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara. Medan.

Situmorang, E.C., A.S.H.C. Prameswara., N.T. Mathius., and T. Liwan. 2015. Indigenous Phosphate Solubilizing Bacteria from Peat Soil for an Ecofriendly Biofertilizer in Oil Palm Plantation Renewable Energy and Energy Conversion Conference and Exhibition. 1: 65-72

Spedding, T.A.C., G.R. Hamel., C.A. Mehuys., and Madramootoo. 2003. Soil Microbial Dynamics in Maize-growing Soil Under Different Tillage and Residue Management Systems. Soil Biology Biochemistry. 36:499-512

Sudaryo dan Sucipto. 2009. Identifikasi dan Penentuan Logam Berat pada Tanah Vulkanik di Daerah Cangkringan, Kabupaten Sleman dengan Metode Analisis Aktivasi Neutron Cepat. Seminar Nasional V SDM Teknologi. Yogyakarta. pp 715-722.

Suhendra. 2013. Isolat Tanah Gambut Rhizosfer Sawit. Skripsi. Universitas Sumatera Utara.

Sumarsih, S. 2003. Mikrobiologi Dasar. Jurusan Ilmu Tanah. Universitas Pembangunan Nasional Veteran, Yogyakarta. p 129-131

Suriadikarta, D.A., A. I. Abdullah., Sutono., E. Dedi., S. Edi., dan A. Kasno. 2011. Identifikasi Sifat Kimia Debu Volkan, Tanah dan Air di Lokasi Dampak Letusan Gunung Merapi. Balai Penelitian Tanah. Bogor.

Susilawati, Mustoyo, dan E. Budhisurya. 2013. Analisis Kesuburan Tanah dengan Indikator Mikroorganisme Tanah pada Berbagai Sistem Penggunaan Lahan di Plateau Dieng. J. Agric 25 (1): 64-72

Syavitri, D.A., P. Cahyo., dan S. Gunawan. 2018. Pengaruh Pupuk Hayati Terhadap Pertumbuhan Tanaman, Dan Populasi Bakteri Pelarut Kalium Pada Tanaman Tebu. JTSL. 6 (2): 1341-1352

Sylvia, D.M., J.J. Fuhrmann., P.G. Hartel., and D.A. Zuberer. 2005. Principles and Applications of Soil Microbiology. Pearson Education Inc. New Jersey

Thamrin, M., S. Susanto., A.D. Susila., dan A. Sutandi. Hubungan Konsentrasi Hara Nitrogen, Fosfor, dan Kalium Daun Dengan Produksi Buah Sebelumnya Pada Tanaman Jeruk Pamel. J.Hort. 23 (2): 225-234

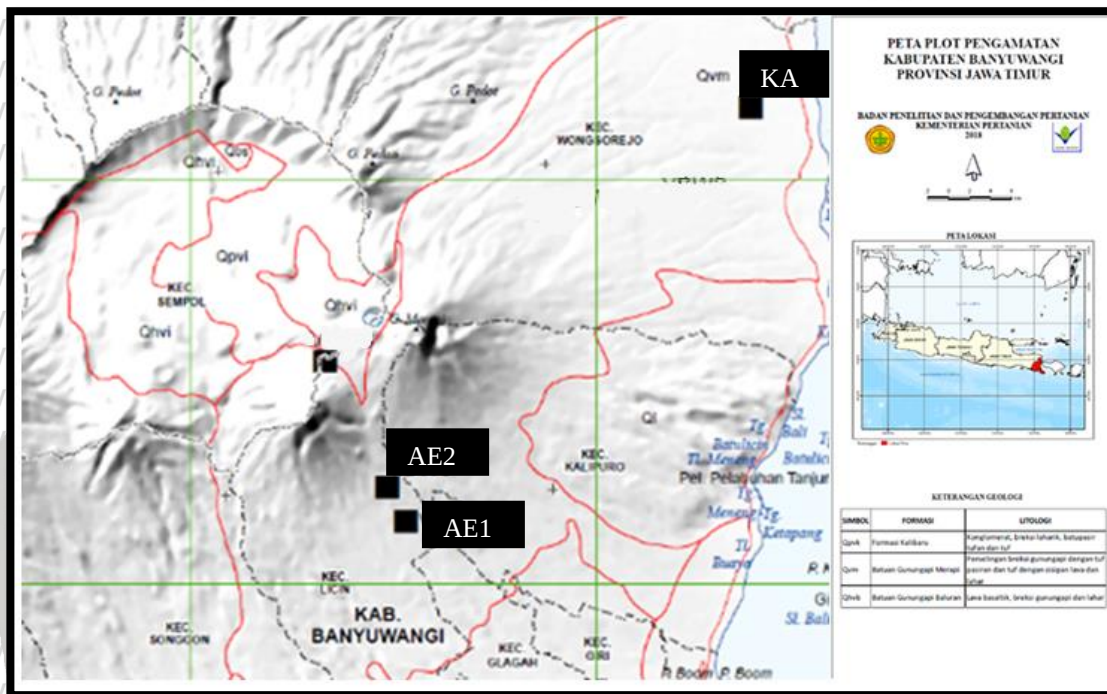
Utoyo, B. 2007. Geografi Membuka Cakrawala Dunia 3. Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional. pp 55-74

Widawati, S., dan Suliasih. 2006. Populasi Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) di Cikaniki, Gunung Botol, dan Ciptarasa, serta Kemampuannya Melarutkan P Terikat di Media Pikovskaya Padat. J. LIPI. 7 (2): 109-113

Yuniarti, E., dan J. Purwani. 2007. Metode Analisis Biologi Tanah. Balai Penelitian Tanah. Bogor

LAMPIRAN

Lampiran 1. Peta lokasi pengambilan sampel tanah vulkan gunungapi Ijen



Gambar 13. Peta lokasi pengambilan sampel tanah vulkan gunungapi Ijen

Lampiran 2. Uraian morfologi profil tanah KA

Pengamatan	: Profil KA
Klasifikasi Tanah	:
Soil Taxonomy (2014)	: Andik Haplustept
Klasifikasi Nasional (2016)	: Kambisol Andik
Landform	: Dataran vulkan
Bahan induk	: Bahan tufa pasir dan lava basaltik andesit
Bentuk wilayah (% Lereng)	: Nearly flat (2%)
Lereng site	: Sawah disurjan (1%)
Elevasi, mdpl	: 62
Drainase tanah	: Baik
Permeabilitas tanah	: Agak cepat
Kedalaman efektif (cm)	: 120
Kedalaman muka air tanah (cm)	: 12 m (berdasarkan galian sumur pompa)
Penggunaan lahan / vegetasi	: Tumpang sari Jagung dan cabai (sebulan sebelum panen jagung cabai ditanam disamping barisan jagung, kemudian diteruskan sampai habis buah cabai)
Lokasi Administrasi	: Desa Alas Rejo, Kec. Wongso Rejo, Kabupaten Banyuwangi, Prov. Jatim
Koordinat UTM	: Zona 50 L : X 213054; Y 9118044
Kode/jenis pengamatan/ tgl-bl-th	: KA/ Profil / 17 – 4 – 2018

Tabel 11. Uraian morfologi profil tanah KA

Horison	Kedalaman (cm)	Uraian
Ap	0 – 22	Coklat gelap (7.5YR 3/2); tekstur lempung berdebu; bentuk struktur granuler, ukuran halus dan perkembangan lemah; konsistensi tidak lekat dan tidak plastis (basah); reaksi tanah agak masam (pH 6,0); batas horizon berangsur rata. Catatan lapisan 13-22 cm struktur pejal agak memadat, tetapi tidak dipisah terlalu tipis).
Bw1	22 – 41	Coklat gelap (7.5YR 3/2); tekstur lempung berdebu; bentuk struktur granuler, ukuran halus dan perkembangan lemah; konsistensi tidak lekat dan tidak plastis (basah); reaksi tanah agak masam (pH 6,0); batas horizon berangsur rata.
Bw2	41-70	Coklat gelap (7.5YR 3/2); tekstur lempung berdebu; bentuk struktur granuler, ukuran halus dan perkembangan lemah; konsistensi tidak lekat dan tidak plastis (basah); reaksi tanah agak masam (pH 6,0); batas horizon jelas rata.
Bw3	70-96	Coklat (7.5YR 4/2); tekstur lempung berdebu; bentuk struktur granuler, ukuran sedang dan perkembangan lemah; konsistensi tidak lekat dan tidak plastis (basah); reaksi tanah agak masam (pH 6,0); batas horizon jelas rata.
Bw4	96-126	Coklat (7.5YR 4/3); tekstur lempung berdebu; bentuk struktur granuler, ukuran sedang dan perkembangan lemah; konsistensi tidak lekat dan tidak plastis (basah); reaksi tanah agak masam (pH 6,0);

Lampiran 3. Uraian morfologi profil tanah AE1

Pengamatan	: Profil AE1
Klasifikasi Tanah	:
Soil Taxonomy (2014)	: Typic Hapludand
Klasifikasi Nasional (2016)	: Andosol Eutrik
Landform	: Lereng bawah vulkan
Bahan induk	: Bahan tufa pasir dan lava basaltik andesit
Bentuk wilayah (% Lereng)	: Lungur memanjang (25%)
Lereng site	: Diteras (5%)
Elevasi, mdpl	: 928
Drainase tanah	: Baik
Permeabilitas tanah	: Agak cepat
Kedalaman efektif (cm)	: 120
Kedalaman muka air tanah (cm)	: Tidak ada informasi
Penggunaan lahan / vegetasi	: Tumpang sari dan rotasi cabai sayuran kubis, dan wortel
Lokasi Administrasi	: Desa Taman Sari, Kec. Licin, Kabupaten Banyuwangi, Prov. Jatim
Koordinat UTM	: Zona 50 L : X 196863; Y 9099935
Kode/jenis pengamatan/ tgl-bl-th	: AE1/ Profil / 18 – 4 – 2018

Tabel 12. Uraian morfologi profil tanah AE1

Horison	Kedalaman (cm)	Uraian
Ap (I)	0 – 18	Coklat gelap (7.5YR 3/2); tekstur lempung berdebu; bentuk struktur granular, ukuran halus dan perkembangan lemah; konsistensi tidak lekat dan tidak plastis (basah) dan gembur saat kering; reaksi tanah masam (pH 5.0); batas horizon jelas rata.
Bw1 (II)	18-33	Coklat kelabu gelap (10YR 4/2); tekstur lempung berdebu; bentuk struktur granular, ukuran halus dan perkembangan lemah; konsistensi tidak lekat dan tidak plastis (basah) dan gembur saat kering; reaksi tanah agak masam (pH 5.3); batas horizon sangat nyata (abrupt) rata.
C1 (III)	33-43	Coklat (7.5 YR 4/3); tekstur pasir halus; struktur lepas; konsistensi tidak lekat dan tidak plastis (basah); reaksi tanah masam (pH 5.3); batas horizon nyata, rata.
BW2 (IV)	43-62	Coklat kelabu gelap (10YR 4/2); tekstur lempung berdebu; konsistensi tidak lekat dan tidak plastis (basah) dan gembur saat kering; reaksi tanah masam (pH 5.0); batas horizon nyata, rata.
C2 (V)	62-72/80	Coklat sangat pucat (10 YR 8/2, 60%) dan coklat terang (7.5YR 6/4, 40%); tekstur pasir ukuran sedang; struktur lepas; konsistensi tidak lekat dan tidak plastis (basah); reaksi tanah masam (pH 5.3); batas horizon nyata, berombak.
Bw3 (VI)	72/80- 80/100	Coklat (7.5YR 4/3, 50%) dan kelabu kehijauan (10Y 6/1, 50%); tekstur lempung berdebu; konsistensi tidak lekat dan tidak plastis (basah) dan gembur saat kering; reaksi tanah masam (pH 5.3); batas horizon nyata, berombak.
C3 (VII)	80/100- 110/120	Coklat (7.5YR 4/3, 70%) dan kelabu kehijauan (7.5YR 6/1, 30%); tekstur pasir ukuran sedang sampai kasar; struktur lepas; konsistensi tidak lekat dan tidak plastis (basah); reaksi tanah masam (pH 5.3)
Bw4 (VIII)	110/120- 136	Coklat (7.5YR 5/4); tekstur lempung berdebu; konsistensi tidak lekat dan tidak plastis (basah) dan gembur saat kering; reaksi tanah masam (pH 5.3)

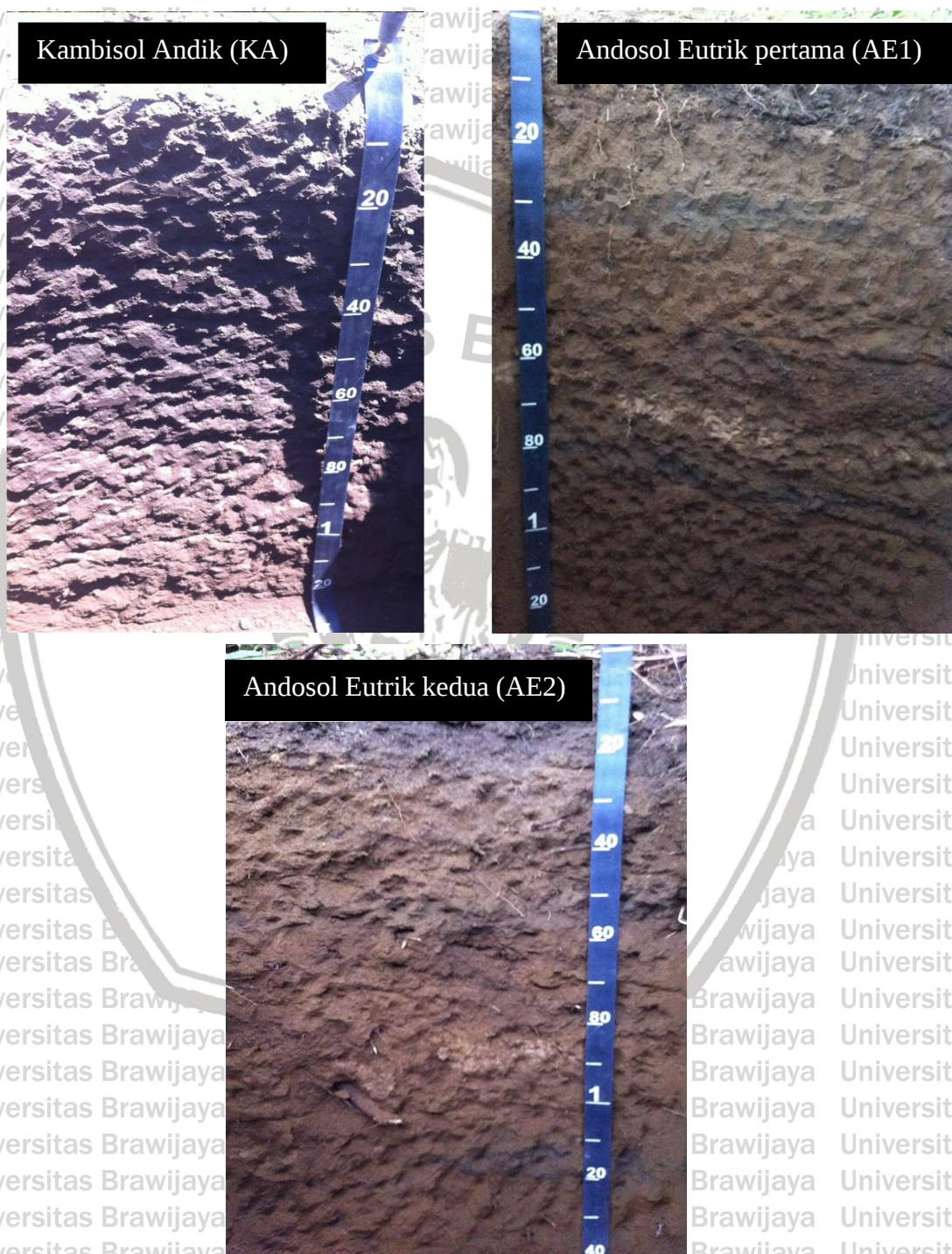
Lampiran 4. Uraian morfologi profil tanah AE2

Pengamatan	: Profil AE2
Klasifikasi Tanah	:
Soil Taxonomy (2014)	: Typic Hapludand
Klasifikasi Nasional (2016)	: Andosol Eutrik
Landform	: Lereng tengah vulkan
Bahan induk	: Bahan tufa pasir dan lava basaltik andesit
Bentuk wilayah (% Lereng)	: Lungur memanjang (35%)
Lereng site	: 8 %
Elevasi, mdpl	: 1020
Drainase tanah	: Baik
Permeabilitas tanah	: Agak cepat
Kedalaman efektif (cm)	: 120
Kedalaman muka air tanah (cm)	: Tidak ada informasi
Penggunaan lahan / vegetasi	: Hutan primer
Lokasi Administrasi	: Kampung Gantasana, Desa Taman Sari, Kec. Licin, Kabupaten Banyuwangi, Prov. Jatim
Koordinat UTM	: Zona 50 L : X 196676; Y 9100604
Kode/jenis pengamatan/ tgl-bl-th	: AE2/ Profil / 18 – 4 – 2018

Tabel 13. Uraian morfologi profil tanah AE2

Horison	Kedalaman (cm)	Uraian
A (I)	0 – 23	Coklat gelap (10YR 3/1); tekstur lempung berdebu; bentuk struktur granular, ukuran halus sampai sedang dan perkembangan lemah; konsistensi tidak lekat dan tidak plastis (basah) dan gembur saat kering; reaksi tanah masam (pH 5.0); batas horizon jelas rata.
Bw1 (II)	23-46	Coklat kelabu gelap (5YR 3/1); tekstur lempung berdebu; bentuk struktur granular, ukuran halus dan perkembangan lemah; konsistensi tidak lekat dan tidak plastis (basah) dan gembur saat kering; reaksi tanah masam (pH 5.0); batas horizon baur rata.
Bw2 (III)	46-73	Coklat (5 YR 4/2); tekstur lempung berdebu; bentuk struktur granular, ukuran halus dan perkembangan lemah; konsistensi tidak lekat dan tidak plastis (basah) dan gembur saat kering; reaksi tanah masam (pH 5.0); batas horizon baur rata.
BW3 (IV)	73-105	Coklat kelabu gelap (5YR 3/3); tekstur lempung berdebu; bentuk struktur granular, ukuran halus dan perkembangan lemah; konsistensi tidak lekat dan tidak plastis (basah) dan gembur saat kering; reaksi tanah masam (pH 5.0); batas horizon baur rata.
Bw5 (V)	105-146	Coklat sangat pucat (5 YR 4/3); tekstur lempung berdebu; bentuk struktur granular, ukuran halus dan perkembangan lemah; konsistensi tidak lekat dan tidak plastis (basah) dan gembur saat kering; reaksi tanah masam (pH 5.3);

Lampiran 5. Profil tanah vulkan gunungapi Ijen



Gambar 14. Profil tanah vulkan gunungapi Ijen

Lampiran 6. Komposisi media yang digunakan

Tabel 14. Komposisi media JNFB

No.	Bahan	Komposisi (gr)/L
1	Sukrose	21,8
2	MgSO ₄	0,5
3	FeSO ₄	0,1
4	K ₂ HPO ₄	1
5	NaCl	5
6	Na ₂ MOo ₄	Trace (sangat sedikit)
7	CaCO ₃	2
8	Agar	20
9	Aquades	1 liter

Tabel 15. Komposisi media Pikovskaya

No	Bahan	Komposisi (gr)/L
1	Fe(PO ₄) ₂ , Ca ₃ (PO ₄) ₂ , Rockfosfat	5
2	KCl	0,2
3	NaCl	0,2
4	NH ₄ SO ₄	0,5
5	Yeast Extract	0,5
6	MnSO ₄	0,0025
7	FeSO ₄	0,0025
8	Glukosa	10
9	Agar	20
10	Aquades	1 liter

Tabel 16. Komposisi media Alexandrov

No	Bahan	Komposisi (gr)/L
1	Glukosa	5
2	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	2
3	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,5
4	CaCO_3	0,1
5	FeCl_3	0,006
6	Bubuk Mika Powder	3
7	Agar	20
8	Aquades	1 liter

Tabel 17. Komposisi media Nutrient Agar

No	Bahan	Komposisi (gr)/L
1	Bubuk Na instan	28
2	Agar	15
3	Aquades	1 liter

Lampiran 7. Analisis kimia tanah vulkan gunungapi Ijen

Tabel 18. Analisis kimia tanah vulkan gunungapi Ijen

Profil/ Horizon	Kedalaman	Tekstur			pH		Bahan organik			HCl 25%		Olsen P ₂ O ₅	Ret P	
		(cm)	Pasir	deb u	Liat	H ₂ O	KCl	C	N	C/N	P ₂ O ₅			K ₂ O
			%						%		mg/100g			mg/kg
Kambisol Andik														
Ap	0 – 22	47	35	18	7,4	5,9	0,62	0,06	10	104	57	26	20,7	
Bw1	22 – 41	46	34	20	7,7	6,0	0,66	0,07	9	95	35	20	22,0	
Bw2	41-70	43	38	19	7,8	6,2	0,43	0,05	9	88	34	19	27,0	
Bw3	70-96	45	33	22	7,7	6,1	0,28	0,03	9	76	46	17	20,0	
Bw4	96-126	43	37	20	7,7	6,2	0,49	0,06	8	73	61	15	19,1	
Typic Hapludand (Andosol Eutrik)														
Ap	0-18	51	40	9	5,5	4,9	3,90	0,41	10	81	20	21	76,6	
Bw1	18-33	40	58	2	5,8	5,1	2,91	0,24	9	84	23	21	85,9	
C1	33-43	55	40	5	6,0	5,2	0,56	0,07	8	136	17	29	66,2	
Bw2	43-62	53	44	3	6,1	5,3	1,97	0,22	9	83	22	21	86,6	
C2	62-72	61	31	8	6,2	5,3	0,53	0,07	8	147	15	30	75,1	
Bw3	72-87	53	41	6	6,3	5,4	1,52	0,19	8	68	13	18	84,6	
C3	87-94	56	36	8	6,3	5,4	0,87	0,11	8	76	10	20	81,9	
Bw4	94-136	55	37	8	6,4	5,5	2,34	0,25	9	91	23	25	96,8	
Typic Hapludand (Andosol Eutrik)														
A	0-23	54	35	11	5,9	5,0	4,92	0,42	12	45	26	12	75,1	
Bw1	23-46	37	51	12	6,2	5,1	2,64	0,26	10	50	28	13	88,4	
Bw2	46-73	46	44	10	6,1	5,1	1,46	0,16	9	66	20	16	81,9	
Bw3	73-105	46	39	15	6,3	5,2	1,11	0,12	9	74	19	19	85,3	
Bw4	105-146	44	44	18	6,3	5,2	1,36	0,15	9	61	32	16	85,5	

Lampiran 8. Kandungan mineral fraksi pasir tanah vulkan gunungapi Ijen

Tabel 19. Kandungan mineral fraksi pasir tanah vulkan gunungapi Ijen

Profil / Horiz on	Kedalaman	Jenis mineral					
		Op	Si-O	Ze	LM	Fb	Gv
(cm)	%						
Kambisol Andik							
Ap	0 – 22	43	Sp	-	4	11	3
Bw1	22 – 41	42	Sp	-	5	12	2
Bw2	41-70	36	1	-	2	10	5
Bw3	70-96	43	Sp	-	2	13	2
Bw4	96-126	44	1	Sp	2	14	3
Typic Hapludand (Andosol Eutrik)							
Ap	0-18	16	Sp	-	3	30	18
Bw1	18-33	20	Sp	-	2	36	16
C1	33-43	22	-	-	2	29	20
Bw2	43-62	23	Sp	-	1	33	15
C2	62-72	25	-	-	3	31	10
Bw3	72-87	26	-	-	2	32	7
C3	87-94	23	Sp	-	2	40	14
Bw4	94-136	21	Sp	-	4	43	11
Typic Hapludand (Andosol Eutrik)							
A	0-23	16	Sp	Sp	2	40	5
Bw1	23-46	12	-	-	1	50	6
Bw2	46-73	15	Sp	-	3	48	8
Bw3	73-105	14	-	Sp	1	55	5
Bw4	105-146	16	-	sp	2	46	9

Keterangan: Op: opak, Si-O: SiO₂ organik, Ze: zeolit, Lm: lapukan mineral, Fb: fragmen batuan, Gv : gelas vulkan

Lampiran 9. Total populasi mikroba penambat N

Tabel 20. Total populasi mikroba penambat N

Media N	Pengenceran	Total	Fungi	Bakteri
KA/1	-3	140	0	140
	-3	91	0	91
	-4	81	0	81
	-4	64	0	64
KA /2	-3	136	0	136
	-3	132	0	132
	-4	44	0	44
	-4	33	0	33
KA /3	-3	182	0	182
	-3	171	0	171
	-4	37	0	37
	-4	33	0	33
KA /4	-3	145	0	145
	-3	94	0	94
	-4	35	0	35
	-4	33	0	33
KA /5	-3	157	0	157
	-3	139	0	139
	-4	49	0	49
	-4	44	0	44
AE1/1	-3	210	0	210
	-3	175	0	175
	-4	91	0	91
	-4	58	0	58
AE1/2	-3	218	0	218
	-3	138	0	138
	-4	25	0	25
	-4	21	0	21
AE1/3	-3	104	0	104
	-3	69	0	69
	-4	64	0	64
	-4	42	0	42
AE1/4	-3	28	0	28
	-3	18	0	18
	-4	12	0	12
	-4	10	0	10
AE1/5	-3	109	1	108
	-3	72	2	72
	-4	108	3	105



	-4	99	0	99
AE1/6	-3	8	0	8
	-3	2	0	2
	-4	8	0	8
	-4	1	0	1
AE1/7	-3	42	0	42
	-3	37	0	37
	-4	6	0	6
	-4	4	0	4
AE1/8	-3	73	0	73
	-3	64	0	64
	-4	17	0	17
	-4	11	0	11
AE2/1	-3	115	0	115
	-3	110	0	110
	-4	56	0	56
	-4	54	0	54
AE2/2	-3	124	0	124
	-3	83	0	83
	-4	24	0	24
	-4	23	0	23
AE2/3	-3	169	0	169
	-3	167	0	167
	-4	73	0	73
	-4	68	0	68
AE2/4	-3	31	0	31
	-3	27	0	27
	-4	13	0	13
	-4	13	0	13
AE2/5	-3	75	0	75
	-3	41	0	41
	-4	18	0	18
	-4	9	0	9

Lampiran 10. Total populasi mikroba tersedia pada media seleksi Pikovskaya

Sumber Fe

Tabel 21. Total populasi mikroba pada media seleksi pikovskaya dengan sumber Fe

Media Fe	Pengenceran	Total	Fungi	Zona Bening	Bakteri	Zona Bening
KA/1	-2	14	14	0	0	0
	-2	11	11	0	0	0
	-3	3	3	0	0	0
	-3	0	0	0	0	0
KA /2	-2	42	42	0	0	0
	-2	0	0	0	0	0
	-3	0	0	0	0	0
	-3	0	0	0	0	0
KA /3	-2	98	98	0	0	0
	-2	0	0	0	0	0
	-3	0	0	0	0	0
	-3	0	0	0	0	0
KA /4	-2	10	10	0	0	0
	-2	0	0	0	0	0
	-3	0	0	0	0	0
	-3	0	0	0	0	0
KA /5	-2	0	0	0	0	0
	-2	0	0	0	0	0
	-3	0	0	0	0	0
	-3	0	0	0	0	0
AE1/1	-2	10	10	0	0	0
	-2	6	6	0	0	0
	-3	1	1	0	0	0
	-3	1	1	0	0	0
AE1/2	-2	4	4	0	0	0
	-2	0	0	0	0	0
	-3	0	0	0	0	0
	-3	0	0	0	0	0
AE1/3	-2	53	53	0	0	0
	-2	22	22	0	0	0
	-3	10	1	0	9	0
	-3	2	2	0	0	0
AE1/4	-2	1	1	0	0	0
	-2	0	0	0	0	0
	-3	2	2	0	0	0
	-3	0	0	0	0	0
AE1/5	-2	49	19	0	30	0
	-2	36	29	0	7	0

AE1/6	-3	0	0	0	0
	-2	0	0	0	0
	-2	0	0	0	0
	-3	0	0	0	0
	-3	0	0	0	0
AE1/7	-2	26	1	0	25
	-2	6	0	0	6
	-3	10	0	0	10
	-3	8	0	0	8
AE1/8	-2	1	1	0	0
	-2	0	0	0	0
	-3	0	0	0	0
	-3	0	0	0	0
AE2/1	-2	26	0	0	26
	-2	9	0	0	9
	-3	4	0	0	2
	-3	2	0	0	5
AE2/2	-2	6	6	0	0
	-2	5	5	0	0
	-3	1	1	0	0
	-3	0	0	0	0
AE2/3	-2	7	7	0	0
	-2	4	4	0	0
	-3	5	5	0	0
	-3	2	2	0	0
AE2/4	-2	1	1	0	0
	-2	1	1	0	0
	-3	2	2	0	0
	-3	1	1	0	0
AE2/5	-2	1	1	0	0
	-2	1	1	0	0
	-3	1	1	0	0
	-3	1	1	0	0

Tabel 22. Total populasi mikroba pada media seleksi Pikovskaya dengan sumber Fosfat alam

Media Fa	Pengenceran	Total	Fungi	Zona Bening	Bakteri	Zona Bening
KA/1	-3	126	0	0	126	0
	-3	122	0	0	122	0
	-4	69	0	0	69	0
	-4	62	0	0	62	0
KA/2	-3	77	0	0	77	0
	-3	61	0	0	61	3
	-4	54	0	0	54	0
	-4	36	0	0	36	5
KA/3	-3	129	0	0	129	0
	-3	104	0	0	104	0
	-4	62	0	0	62	0
	-4	56	0	0	56	0
KA/4	-3	106	0	0	106	0
	-3	104	0	0	104	5
	-4	57	0	0	57	0
	-4	36	0	0	36	1
KA/5	-3	129	0	0	129	0
	-3	108	0	0	108	0
	-4	44	0	0	44	0
	-4	59	0	0	59	0
AE1/1	-3	108	0	0	108	0
	-3	68	0	0	68	5
	-4	58	0	0	58	2
	-4	41	0	0	41	1
AE1/2	-3	131	0	0	131	1
	-3	117	0	0	117	0
	-4	33	0	0	33	0
	-4	22	0	0	22	0
AE1/3	-3	156	0	0	156	0
	-3	128	3	0	125	0
	-4	81	1	0	80	0
	-4	49	0	0	49	0
AE1/4	-3	241	0	0	241	0
	-3	214	0	0	214	0
	-4	62	0	0	62	0
	-4	11	0	0	11	0
AE1/5	-3	57	0	0	57	0
	-3	14	0	0	14	0
	-4	29	0	0	29	0
	-4	18	0	0	18	0



AE1/6	-3	4	4	0	0
	-3	4	4	0	0
	-4	4	4	2	0
	-4	2	2	0	0
AE1/7	-3	30	15	0	7
	-3	22	12	0	10
	-4	2	0	1	2
	-4	2	0	2	0
AE1/8	-3	29	0	0	29
	-3	24	0	0	24
	-4	12	0	0	12
	-4	5	0	0	5
AE2/1	-3	149	0	0	149
	-3	42	0	0	42
	-4	45	0	0	45
	-4	40	0	0	40
AE2/2	-3	103	0	0	103
	-3	81	0	0	81
	-4	14	0	0	14
	-4	13	0	0	13
AE2/3	-3	46	0	0	46
	-3	35	0	0	35
	-4	25	0	0	25
	-4	19	0	0	19
AE2/4	-3	30	0	0	30
	-3	29	0	0	29
	-4	10	0	0	10
	-4	5	0	0	5
AE2/5	-3	68	0	0	68
	-3	58	0	0	58
	-4	8	0	0	8
	-4	7	0	0	7

Tabel 23. Total populasi mikroba pada media seleksi Pikovskaya dengan sumber Ca

Media Ca	Pengenceran	Total	Fungi	Zona Bening	Bakteri	Zona Bening
KA/1	-3	113	0	0	113	1
	-3	92	0	0	92	3
	-4	84	0	0	84	1
	-4	80	0	0	80	0
KA/2	-3	104	0	0	104	1
	-3	68	0	0	68	4
	-4	32	0	0	32	2
	-4	22	0	0	22	1
KA/3	-3	35	0	0	35	1
	-3	27	0	0	27	0
	-4	21	0	0	21	2
	-4	14	0	0	14	1
KA/4	-3	157	4	0	157	0
	-3	111	0	0	107	3
	-4	23	0	0	23	0
	-4	17	0	0	17	0
KA/5	-3	32	32	0	0	0
	-3	17	17	0	0	0
	-4	10	10	0	0	0
	-4	7	7	0	0	0
AE1/1	-3	189	0	0	189	0
	-3	111	0	0	111	0
	-4	65	0	0	65	2
	-4	5	0	0	42	0
AE1/2	-3	113	0	0	113	1
	-3	108	0	0	108	0
	-4	49	1	0	48	1
	-4	37	0	0	37	1
AE1/3	-3	87	0	0	87	0
	-3	4	0	0	4	0
	-4	29	16	0	13	5
	-4	27	20	0	7	4
AE1/4	-3	69	0	0	69	4
	-3	68	0	0	68	0
	-4	8	1	0	7	5
	-4	2	0	0	2	0
AE1/5	-3	19	0	0	19	3
	-3	12	0	0	12	0
	-4	52	0	0	52	0
	-4	38	0	0	38	0
AE1/6	-3	5	4	4	1	0
	-3	5	0	0	5	0

	-4	2	0	0	2	1
	-4	0	0	0	0	0
AE1/7	-3	16	0	0	16	6
	-3	13	0	0	13	2
	-4	8	4	4	4	0
	-4	5	4	1	1	0
AE1/8	-3	37	0	0	37	0
	-3	16	0	0	16	0
	-4	9	0	0	9	0
	-4	2	0	0	2	0
AE2/1	-3	86	1	0	85	0
	-3	77	0	0	77	0
	-4	35	0	0	35	1
	-4	26	0	0	26	1
AE2/2	-3	109	0	0	109	2
	-3	101	0	0	101	0
	-4	15	0	0	15	0
	-4	14	0	0	14	0
AE2/3	-3	35	0	0	35	0
	-3	23	0	0	23	0
	-4	16	0	0	16	1
	-4	12	0	0	12	0
AE2/4	-3	55	0	0	55	0
	-3	19	0	0	19	1
	-4	5	2	0	3	0
	-4	3	0	0	3	0
AE2/5	-3	86	0	0	86	0
	-3	27	0	0	27	0
	-4	3	0	0	3	0
	-4	2	0	0	2	0

Lampiran 11. Total populasi mikroba tersedia pada media seleksi Alexandrov

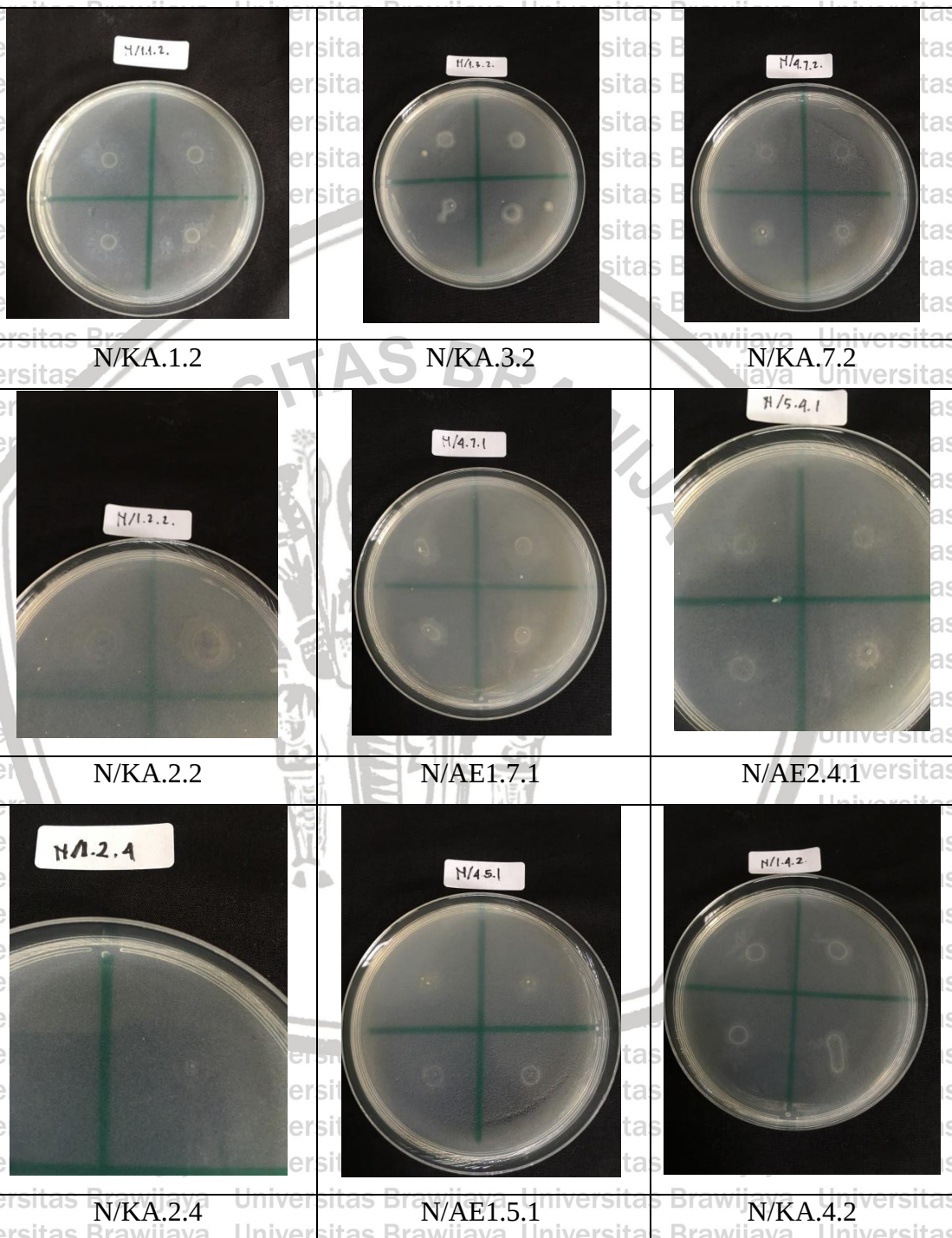
Tabel 24. Total populasi mikroba pada media seleksi Alexandrov

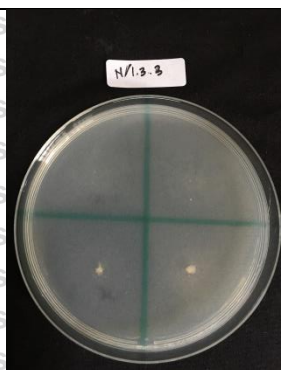
Media K	Pengenceran	Total	Fungi	Zona Bening	Bakteri	Zona Bening
KA/1	-3	65	0	0	65	0
	-3	54	0	0	54	0
	-4	54	0	0	49	0
	-4	49	0	0	54	0
KA/2	-3	112	0	0	112	0
	-3	67	0	0	67	0
	-4	18	0	0	18	0
	-4	14	0	0	14	0
KA/3	-3	87	0	0	87	0
	-3	83	0	0	83	0
	-4	21	0	0	21	0
	-4	16	0	0	16	1
KA/4	-3	68	0	0	68	0
	-3	57	0	0	57	0
	-4	53	0	0	53	0
	-4	11	0	0	11	0
KA/5	-3	77	0	0	77	0
	-3	77	0	0	77	0
	-4	14	0	0	14	0
	-4	13	0	0	13	0
AE1/1	-3	52	0	0	52	3
	-3	32	0	0	32	2
	-4	49	0	0	49	0
	-4	24	0	0	24	0
AE1/2	-3	70	0	0	70	0
	-3	62	0	0	62	0
	-4	25	0	0	25	0
	-4	8	0	0	8	0
AE1/3	-3	21	0	0	21	0
	-3	13	0	0	13	0
	-4	43	0	0	42	0
	-4	25	0	0	25	0
AE1/4	-3	41	0	0	41	0
	-3	41	0	0	41	0
	-4	13	0	0	13	0
	-4	11	0	0	11	0
AE1/5	-3	1	0	0	1	0
	-3	1	0	0	1	0
	-4	0	0	0	0	0



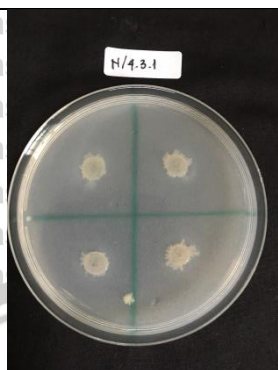
	-4	0	0	0	0
AE1/6	-3	2	0	0	2
	-3	0	0	0	0
	-4	0	0	0	0
	-4	0	0	0	0
AE1/7	-3	19	0	0	19
	-3	1	0	0	1
	-4	4	0	0	4
	-4	0	0	0	0
AE1/8	-3	26	0	0	26
	-3	23	0	0	23
	-4	10	0	0	10
	-4	9	0	0	9
AE2/1	-3	57	1	0	57
	-3	47	0	0	47
	-4	18	0	0	18
	-4	14	0	0	14
AE2/2	-3	64	0	0	64
	-3	62	0	0	62
	-4	24	0	0	24
	-4	7	0	0	7
AE2/3	-3	239	0	0	239
	-3	216	6	0	216
	-4	53	0	0	53
	-4	27	0	0	27
AE2/4	-3	33	0	0	33
	-3	32	0	0	32
	-4	9	0	0	9
	-4	5	0	0	5
AE2/5	-3	64	0	0	64
	-3	59	0	0	59
	-4	11	0	0	11
	-4	4	0	0	4

Lampiran 12. Karakteristik makroskopis bakteri penambat N

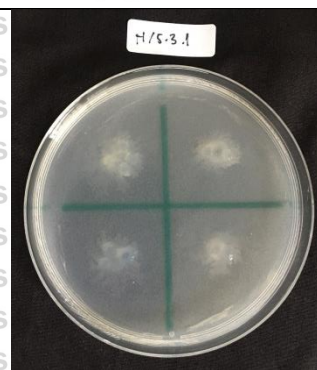




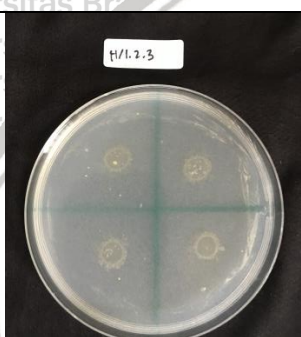
N/KA.3.3



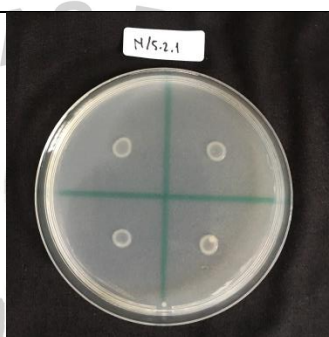
N/4.3.1



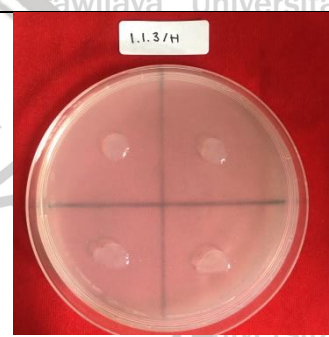
N/AE2.3.1



N/KA.2.3



N/AE2.2.1



N/KA.1.3



N/KA.1.4



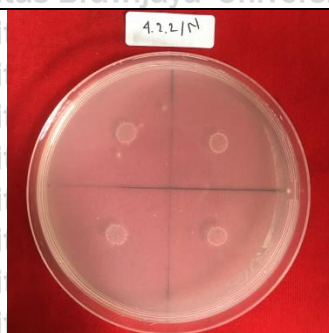
N/KA.2.1



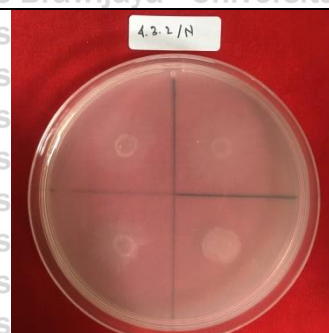
N/KA.2.5



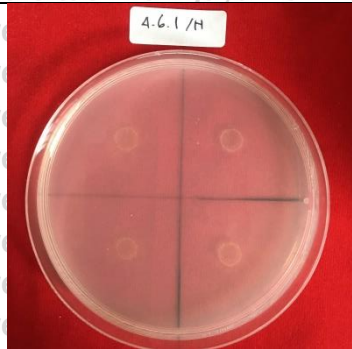
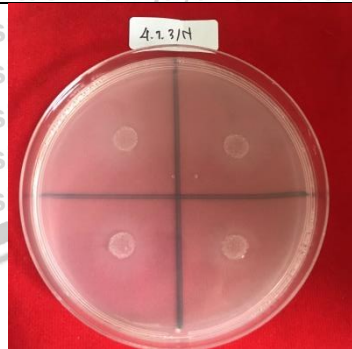
1.4.1/r



4.2.2/r

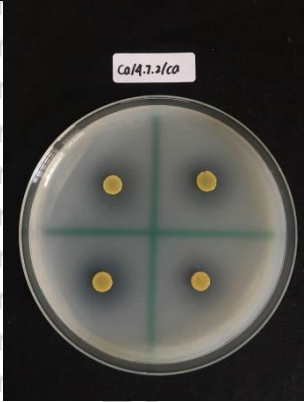
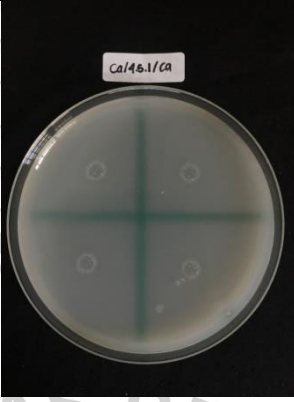
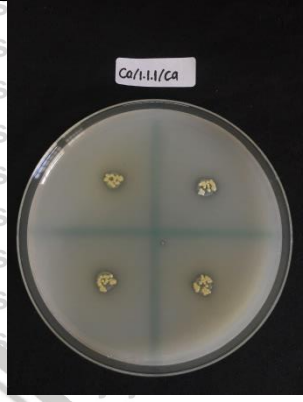
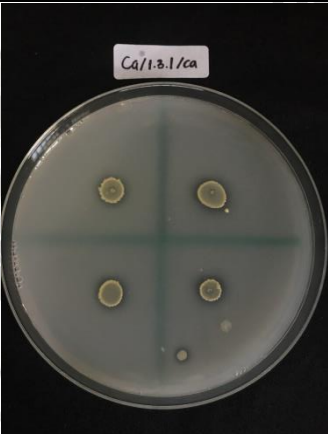
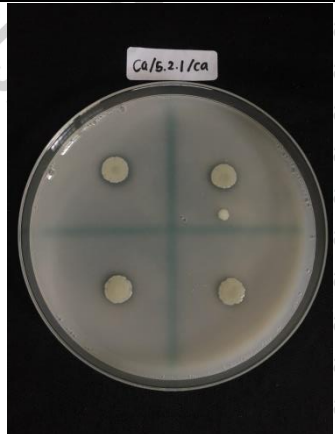
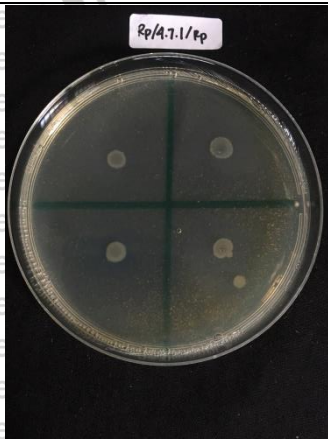
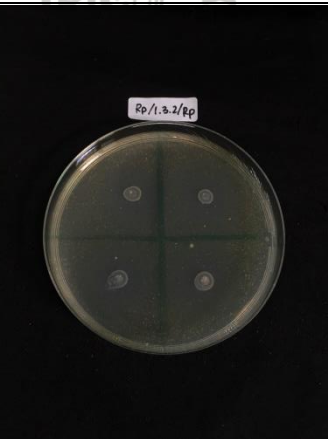
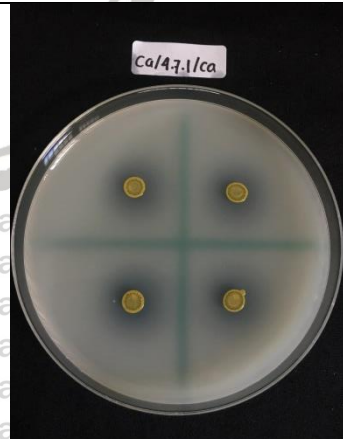


4.2.2/r

N/KA.4.1	N/AE1.2.2	N/AE1.3.2
		
N/AE1.6.1	N/AE1.2.3	

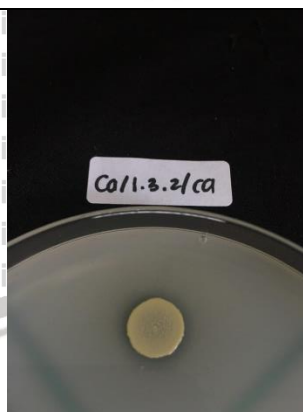


Lampiran 13. Hasil pengujian isolat bakteri secara kualitatif

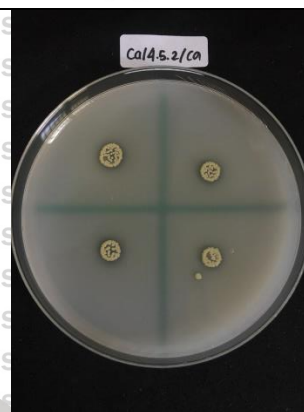
		
BPF AE1.7.2/Ca	BPF AE1.5.1/Ca	BPF KA.1.1/Ca
		
BPF AE1.2.1/Ca	BPF KA.3.1/Ca	BPF AE2.2.1/Ca
		
BPF AE1.7.1/Fa	BPF KA.3.2/Fa	BPF AE1.7.1/Ca



BPF KA.2.5/Ca



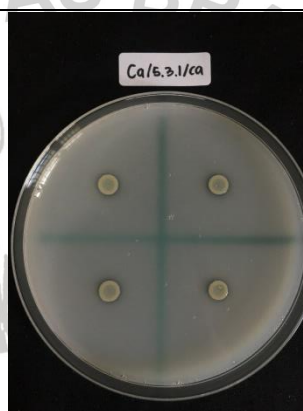
BPF KA.3.2/Ca



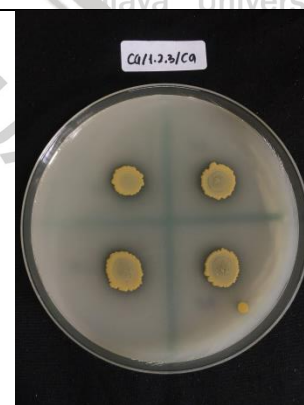
BPF AE1.5.2/Ca



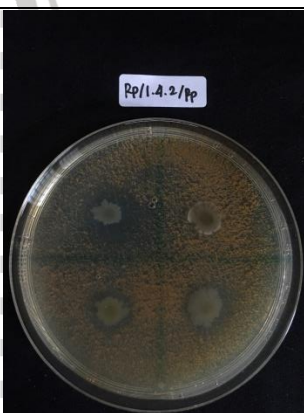
BPF KA.4.1/Ca



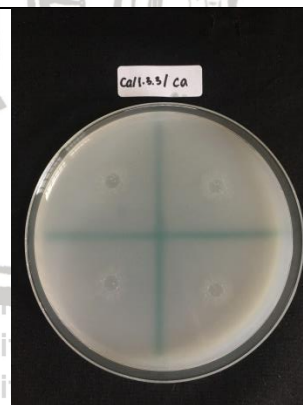
BPF AE2.3.1/Ca



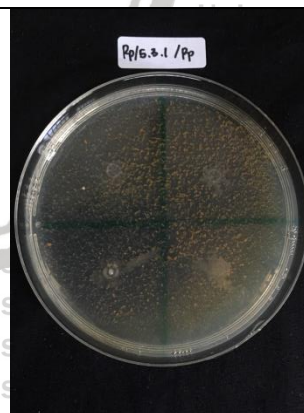
BPF KA.2.3/Ca



BPF KA.4.2/Fa

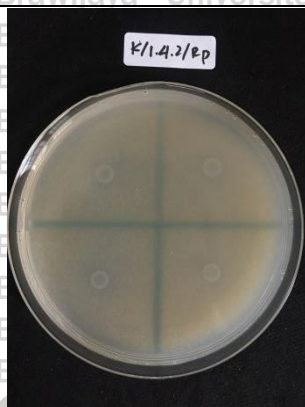


BPF KA.3.3/Ca

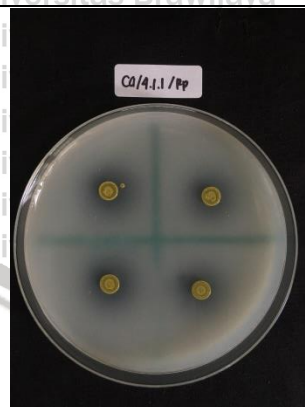


BPF AE2.3.1/Fa

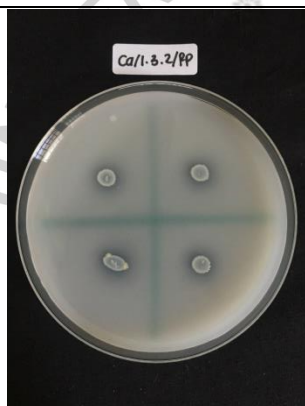
Lampiran 14. Hasil pengujian isolat bakteri pada media lain



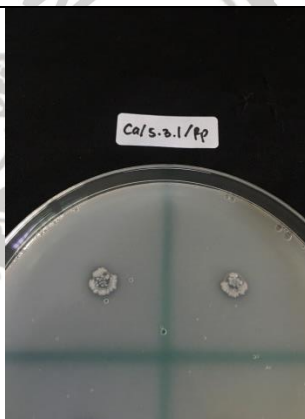
BPF KA.4.2 Fa melarutkan K



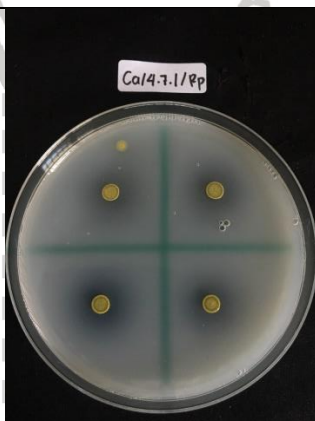
BPF AE1.1.1 Fa melarutkan Ca



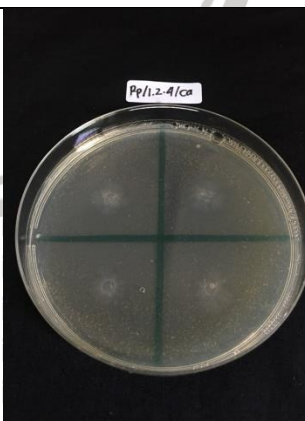
BPF KA.3.2 Fa melarutkan Ca



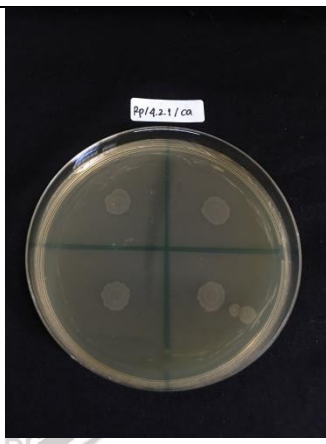
BPF AE2.3.1 Fa melarutkan Ca



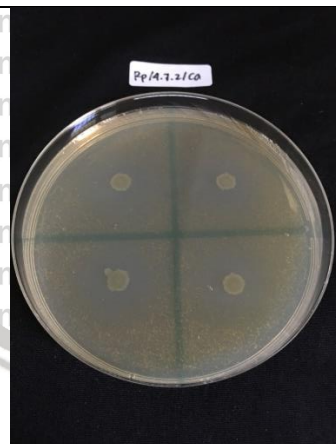
BPF AE1.7.1 Fa melarutkan Ca



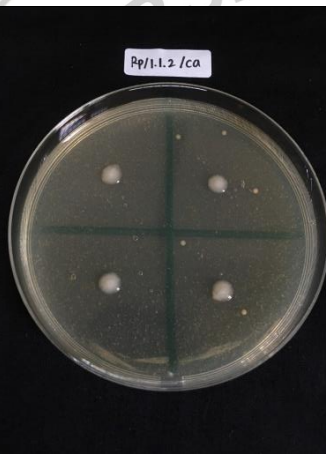
BPF Fa KA.2.4 Ca melarutkan Fa



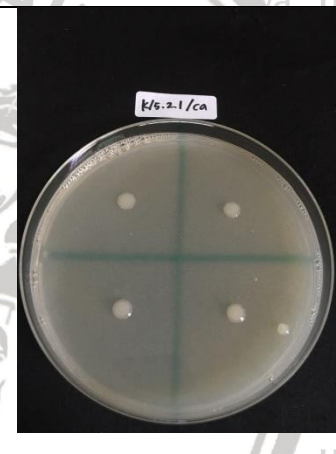
BPF AE1.2.1 Ca melarutkan Fa



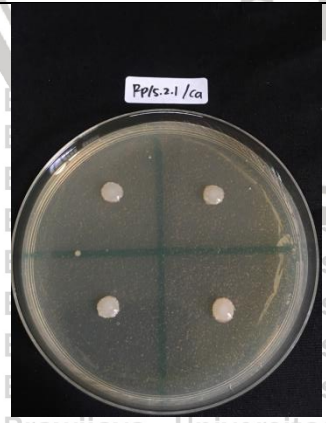
BPF AE1.7.2 Ca melarutkan Fa



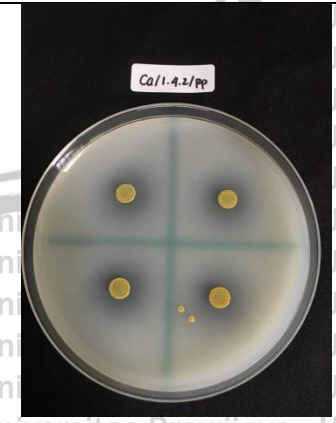
BPF KA.1.2 Ca melarutkan Fa



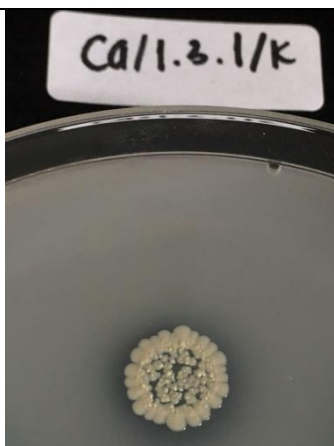
BPF AE2.2.1 Ca melarutkan K



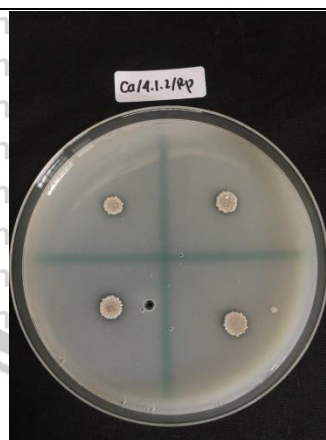
BPF 5.2.1 Ca melarutkan Fa



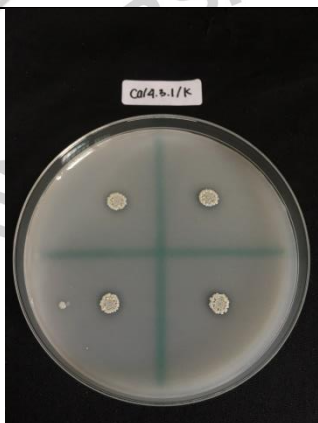
BPF KA.4.2 Fa melarutkan Ca



BPK KA.3.1 melarutkan Ca

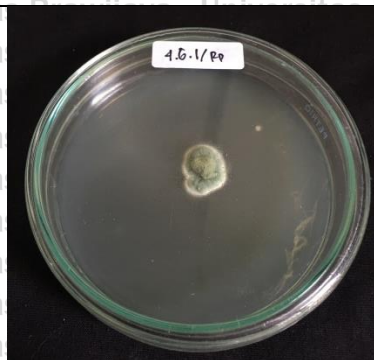


BPF AE1.1.2 Fa melarutkan Ca

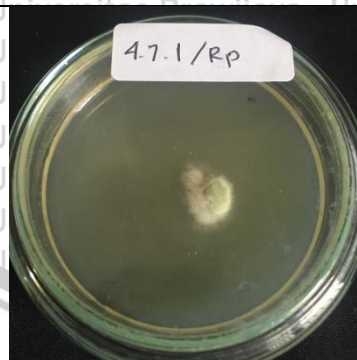


BPK AE1.3.1 melarutkan Ca

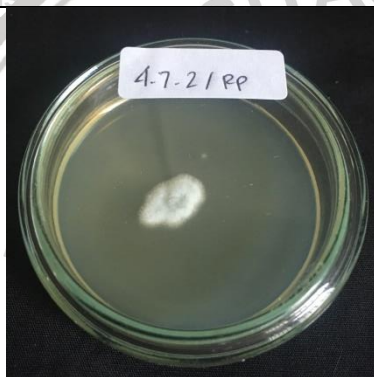
Lampiran 15. Morfologi isolat fungi potensial terpilih secara makroskopis



AE1.6.1/Fa



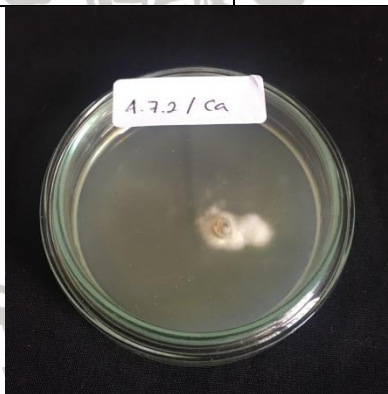
AE1.7.1/Fa



AE1.7.2/Fa

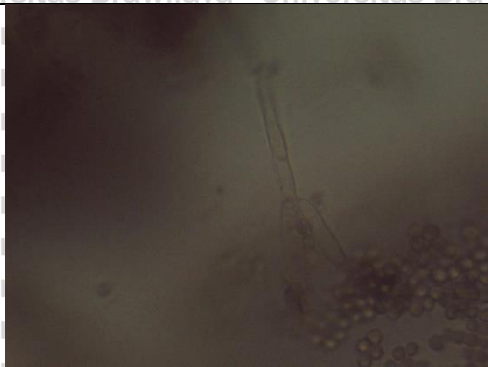


AE1.7.1/Ca



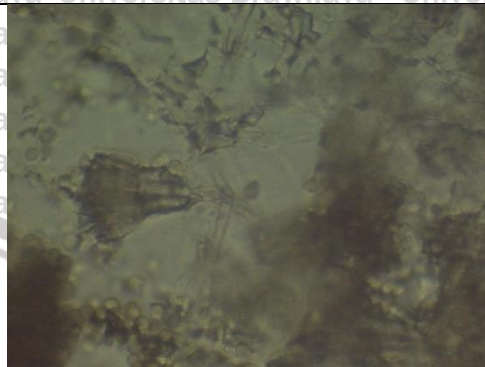
AE1.7.2/Ca

Lampiran 16. Mikroskopis fungi potensial dengan perbesaran 1000x



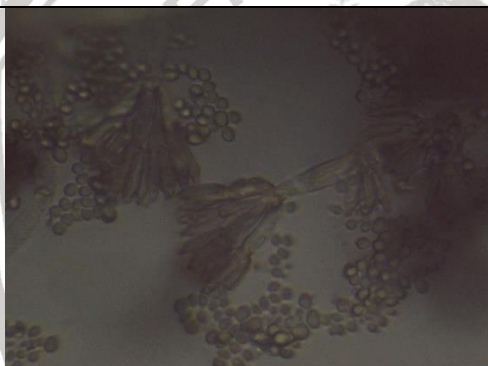
(*Penicillium* sp.)

AE1.6.1/Fa



(*Penicillium* sp.)

AE1.7.1/Fa



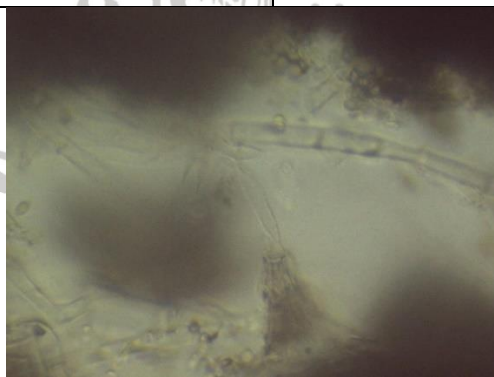
(*Penicillium* sp.)

AE1.7.2/Fa



(*Aspergillus* sp.)

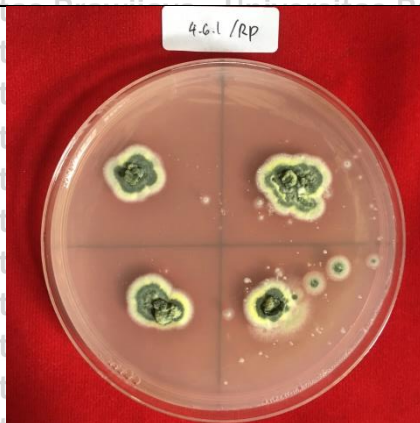
AE1.7.1/Ca



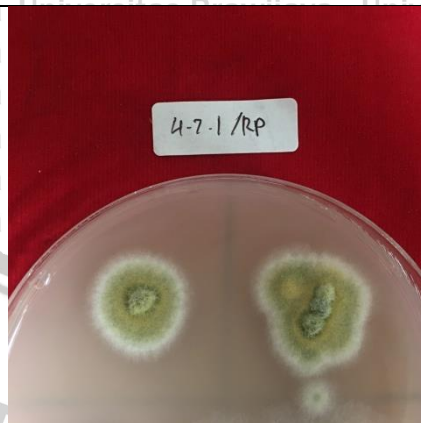
(*Penicillium* sp.)

AE1.7.2/Ca

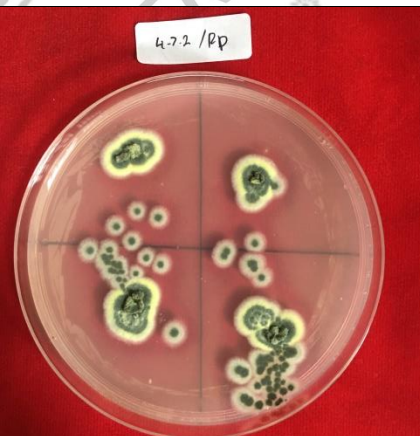
Lampiran 17. Hasil pengujian isolat fungi secara kualitatif



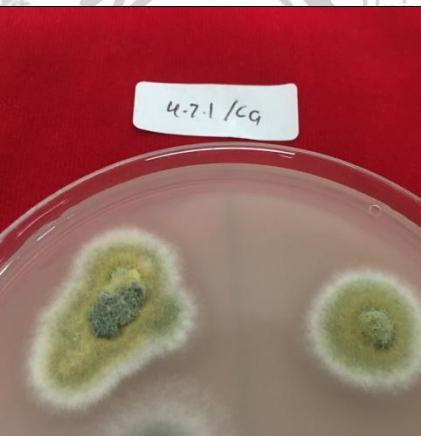
AE1.6.1/Fa



AE1.7.1/Fa



AE1.7.2/Fa



AE1.7.1/Ca

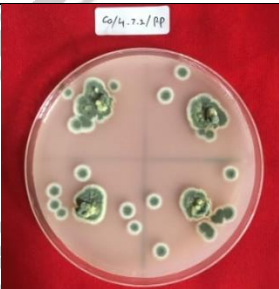
Lampiran 18. Hasil pengujian isolat fungi pada media lain



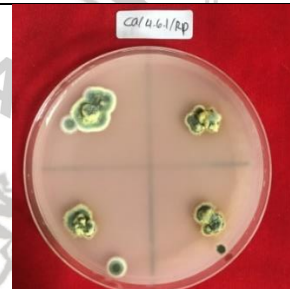
Fungi AE1.7.1/Fa melarutkan Ca



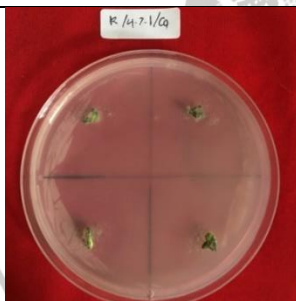
Fungi AE1.7.1/Ca melarutkan Fa



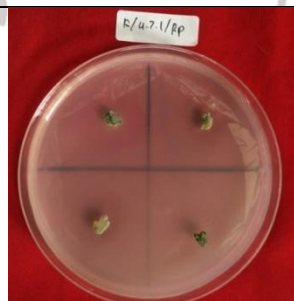
Fungi AE1.7.2/Fa melarutkan Ca



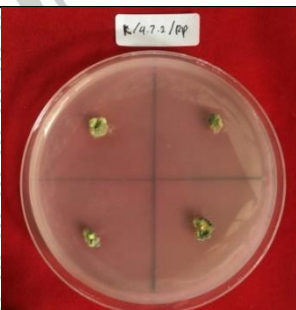
Fungi AE1.6.1/Fa melarutkan Ca



Fungi AE1.7.1/Fa melarutkan K



Fungi AE1.7.1/Fa melarutkan K



Fungi AE1.7.2/Fa melarutkan K

Lampiran 19. Nilai indeks pelarutan isolat bakteri pelarut fosfat

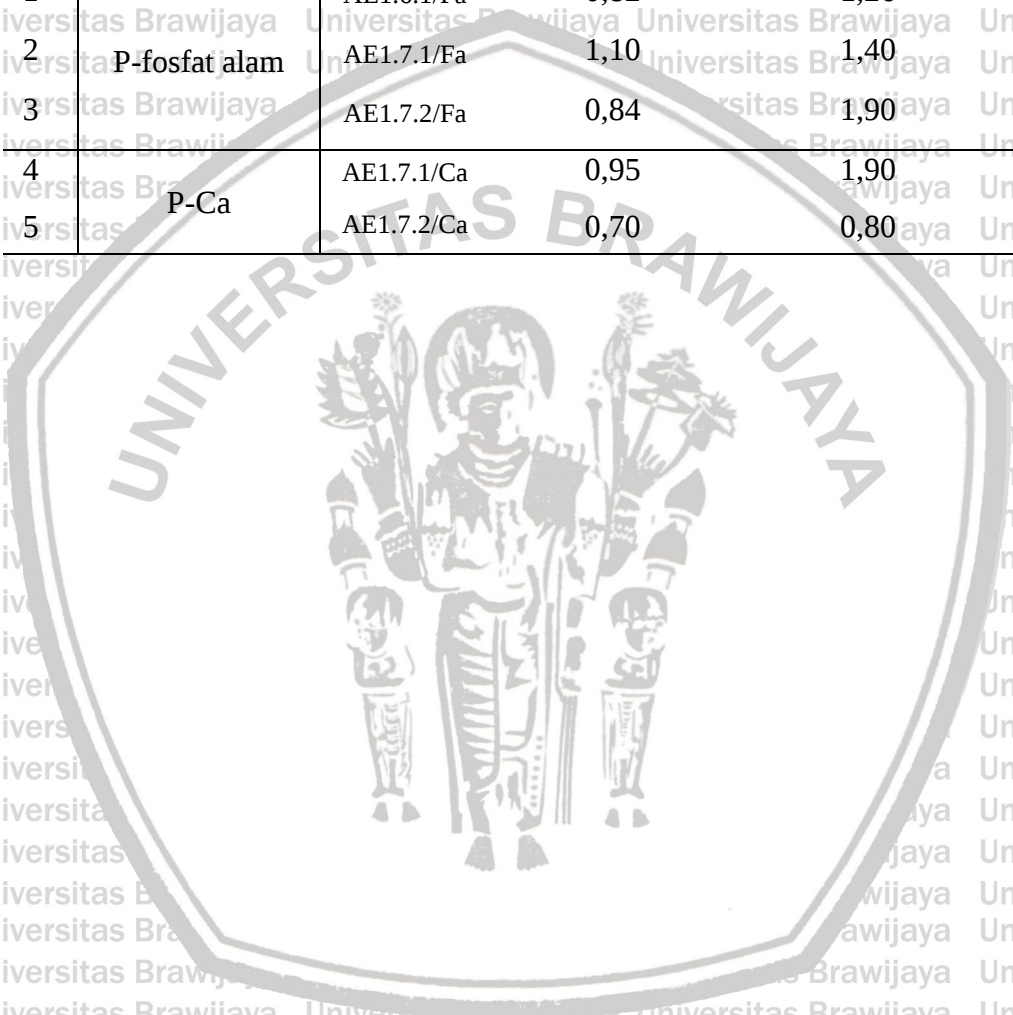
Tabel 25. Nilai indeks pelarutan isolat bakteri pelarut fosfat

No.	Sumber Fosfat	Kode Isolat	Diameter koloni (cm)	Diameter zona bening (cm)	IP
1	P-Fosfat alam	KA.2.2	0,1	0,3	3
2		KA.3.2	0,2	0,275	1,375
3		KA.4.2	0,1	0,325	3,25
4		AE1.1.1	0,2	0,325	1,625
5		AE1.1.2	0,1	0,2	2
6		AE1.7.1	0,1	0,3	3
7		AE2.3.1	0,2	0,225	1,125
8	P-Ca	KA.1.1	0,2	0,525	2,625
9		KA.1.2	0,1	0,225	2,25
10		KA.1.3	0,1	0,5	5
11		KA.1.4	0,225	0,5125	2,27
12		KA.2.1	0,2	0,2	1
13		KA.2.2	0,2	0,2	1
14		KA.2.3	0,2	0,575	2,875
15		KA.2.4	0,2	0,575	2,875
16		KA.2.5	0,225	0,5	2,2
17		KA.3.1	0,125	0,5	4
18		KA.3.2	0,2	0,5	2,5
19		KA.3.3	0,225	0,5125	2,27
20		KA.4.1	0,225	0,75	3,3
21		AE1.2.1	0,2	0,475	2,375
22		AE1.2.2	0,2	0,5	2,5
23		AE1.3.1	0,2	0,5	2,5
24		AE1.3.2	0,125	0,3	2,4
25		AE1.5.1	0,2	0,25	1,25
26		AE1.5.2	0,2	0,225	1,125
27		AE1.6.1	0,5	0,5	1
28		AE1.7.1	0,3	0,5	1,6
29		AE1.7.2	0,2	0,575	2,875
30		AE1.7.3	0,1	0,2	2
31		AE2.2.1	0,2	0,525	2,625
32		AE2.3.1	0,2	0,225	1,125
33		AE2.4.1	0,1	0,2	2

Lampiran 20. Nilai indeks pelarutan isolat fungi pelarut fosfat

Tabel 26. Nilai indeks pelarutan isolat fungi pelarut fosfat

No.	Sumber Fosfat	Kode Isolat	Diameter koloni (cm)	Diameter zona bening (cm)	IP
1	P-fosfat alam	AE1.6.1/Fa	0,82	1,26	1,53
2		AE1.7.1/Fa	1,10	1,40	1,27
3		AE1.7.2/Fa	0,84	1,90	2,24
4	P-Ca	AE1.7.1/Ca	0,95	1,90	2
5		AE1.7.2/Ca	0,70	0,80	1,1





Lampiran 21. Nilai indeks pelarutan bakteri pelarut K

Tabel 27. Nilai indeks pelarutan bakteri pelarut K

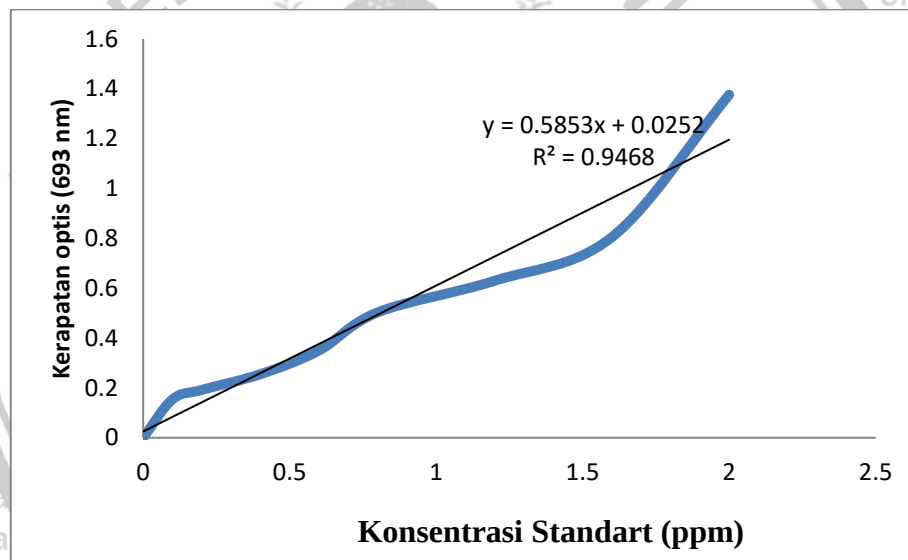
No.	Sumber	Kode Isolat	Diameter koloni (cm)	Diameter zona bening (cm)	IP
1	Pelarut K	KA.3.1-K	0,1	0,25	2,5



Lampiran 22. Nilai dan grafik standar absorbansi spektrofotometri

Tabel 28. Nilai dan grafik standar absorbansi spektrofotometri

No.	Konsentrasi Standar	Absorbansi (ppm)	Panjang Gelombang (693.00 nm)
1	Kontrol	0.000	0.000
2	0	0.154	0.154
3	0.2	0.192	0.192
4	0.4	0.255	0.255
5	0.6	0.350	0.350
6	0.8	0.503	0.503
7	1.2	0.630	0.630
8	1.6	0.805	0.805
9	2	1.376	1.376



Gambar 15. Grafik konsentrasi standart (ppm)

Lampiran 23. Hasil pengujian BPF dengan sumber fosfat alam secara kualitatif

Tabel 29. Hasil pengujian BPF dengan sumber fosfat alam secara kualitatif

No	Pengujian									
	Kode Isolat	Media Fe			Media Ca			Media K		
		Diameter koloni (cm)	Diameter zona bening (cm)	IP	Diameter koloni (cm)	Diameter zona bening (cm)	IP	Diameter koloni (cm)	Diameter zona bening (cm)	IP
1	KA.2.2/Fa	-	-	0	0,3	0,5	1,6	0,2	-	0
2	KA.3.2/Fa	0,1	-	0	0,1	0,225	2,25	0,1	0,125	1,25
3	KA.4.2/Fa	0,1	-	0	0,2	0,2	1	0,1	0,2	2
4	AE1.1.1/Fa	0,2	-	0	0,4	0,5	1,25	0,2	-	0
5	AE1.1.2/Fa	0,1	-	0	0,1	0,3	3	0,1	-	0
6	AE1.7.1/Fa	0,125	-	0	0,2	0,3	1,5	0,3	-	0
7	AE2.3.1/Fa	0	-	0	0,1	0,2	2	0,1	-	0

Lampiran 24. Hasil pengujian BPK secara kualitatif

Tabel 30. Hasil pengujian BPK secara kualitatif

No	Pengujian									
	Kode Isolat	Media Fe			Media Ca			Media Fa		
		Diameter koloni (cm)	Diameter zona bening (cm)	IP	Diameter koloni (cm)	Diameter zona bening (cm)	IP	Diameter koloni (cm)	Diameter zona bening (cm)	IP
1	KA.3.1/K	0	-	0	0,2	0,475	2,375	0,1	0,2	2

Lampiran 25. Hasil pengujian BPF dengan sumber Ca secara kualitatif

Tabel 31. Hasil pengujian BPF dengan sumber Ca secara kualitatif

No	Kode Isolat	Pengujian								
		Media Fe			Media Fa			Media K		
		Diameter koloni (cm)	Diameter zona bening (cm)	IP	Diameter koloni (cm)	Diameter zona bening (cm)	IP	Diameter koloni (cm)	Diameter zona bening (cm)	IP
1	KA.1.1/Ca	0	-	0	0,125	0,225	1,8	0,1	-	0
2	KA.1.2/Ca	0,1	-	0	0,1	0,2	2	0,2	-	0
3	KA.1.3/Ca	0	-	0	0,1	0,1	1	0,1	0,1	1
4	KA.1.4/Ca	0	-	0	0,1	0,2	2	0,25	-	0
5	KA.2.1/Ca	0	-	0	0,1	0,1	1	0,1	0,1	1
6	KA.2.2/Ca	0	-	0	0,1	0,3	3	0,1	0,2	2
7	KA.2.3/Ca	0	-	0	0,1	0,2	2	0,1	0,25	2,5
8	KA.2.4/Ca	0	-	0	0,2	0,2	1	0,1	0,125	1,25
9	KA.2.5/Ca	0	-	0	0,1	0,2	2	0,1	0,2	2
10	KA.3.1/Ca	0	-	0	0,125	0,2	1,6	0,1	0,2	1
11	KA.3.2/Ca	0	-	0	0,2	0,2	1	0,2	-	0
12	KA.3.3/Ca	0,125	-	0	0,2	0,2	1	0,125	-	0
13	KA.4.1/Ca	0	-	0	0,1	0,275	2,75	0,2	-	0
14	AE1.2.1/Ca	0	-	0	0,2	0,25	0,8	0,125	-	0
15	AE1.2.2/Ca	0	-	0	0,1	0,2	2	0,1	0,1	1
16	AE1.3.1/Ca	0	-	0	0,1	0,25	2,5	0,1	0,2	2
17	AE1.3.2/Ca	0	-	0	0,1	0,1	1	0,1	-	0
18	AE1.5.1/Ca	0	-	0	0,2	0,25	0,8	0,1	-	0
19	AE1.5.2/Ca	0	-	0	0,1	0,2	2	0,1	-	0
20	AE1.6.1/Ca	0	-	0	0,1	0,2	2	0,1	-	0
21	AE1.7.1/Ca	0,1	-	0	0,1	0,2	2	0,2	0,325	1,6
22	AE1.7.2/Ca	0,125	-	0	0,1	0,2	2	0,2	-	0
23	AE1.7.3/Ca	0	-	0	0,1	0,1	1	0,1	-	0
24	AE2.2.1/Ca	0,125	-	0	0,2	0,4	2	0,4	-	0
25	AE2.3.1/Ca	0,1	-	0	0,1	0,1	1	0,1	-	0
26	AE2.4.1/Ca	0	-	0	0,1	0,1	1	0,1	-	0

Lampiran 26. Dokumentasi kegiatan penelitian



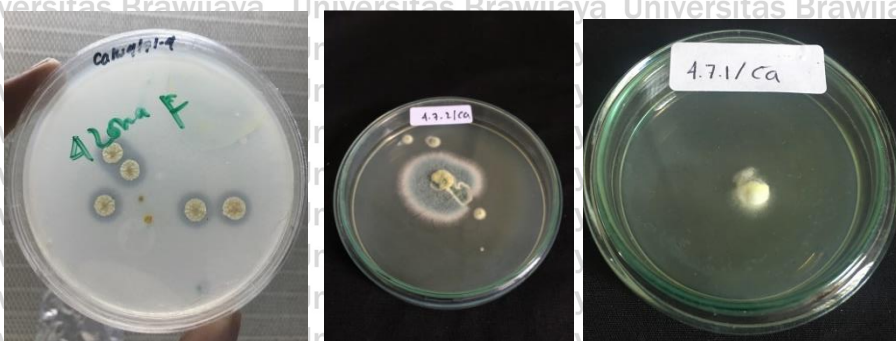
Pembuatan Media.



Isolasi sampel tanah Gunungapi Ijen

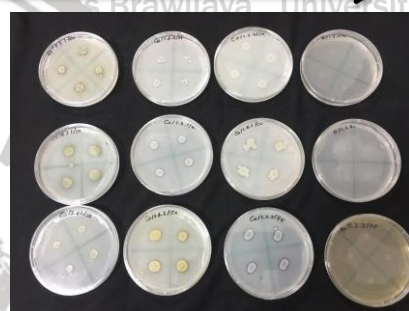


Purifikasi Bakteri dan Fungi.

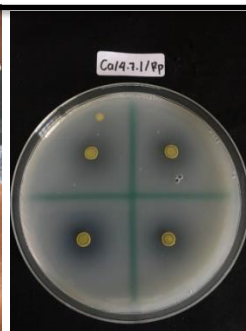
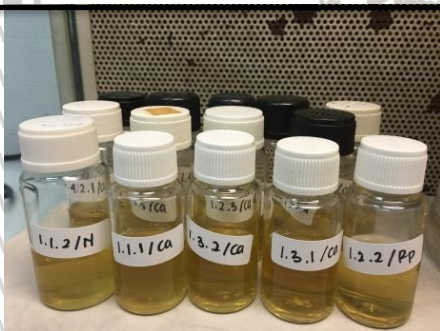




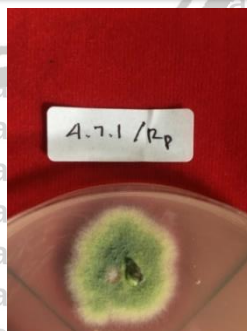
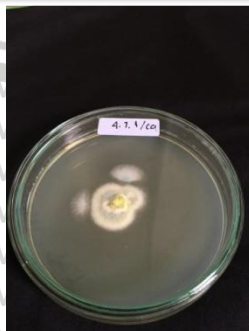
Inokulasi Bakteri pada media NB secara semi kualitatif.



Pengujian Bakteri pada media yang sama secara Kualitatif.



Pengujian Isolat Bakteri pada media lain secara Kualitatif.



Pengujian Fungi secara Kualitatif.

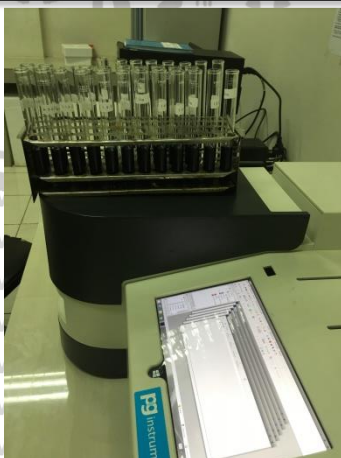
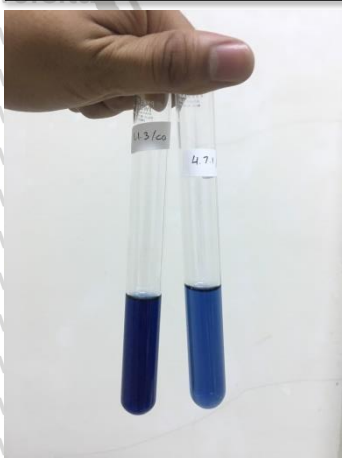
Pengujian Isolat Mikroba secara Kuantitatif.



Isolat yang telah melewati tahap uji kualitatif diinokulasikan pada masing-masing media cair yang kemudian disentrifuse untuk memisahkan supernatan dan pelet.



Supernatan diambil menggunakan pipet mikro sebanyak dan dipindahkan ke tabung reaksi.



Absorbansi larutan menggunakan spektrofotometer serta pengukuran pH yang terbentuk.