

## ISOLASI DAN IDENTIFIKASI FUNGI PELARUT FOSFAT (FPF) INDIGEN DARI EKOSISTEM KEBUN DAN EKOSISTEM PANTAI DI KABUPATEN KUPANG

Paulus Y. B. Delinno<sup>1\*</sup>, Anthonius S. J. Adu Tae<sup>2</sup>, Yoke Ivonny Benggu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Nusa Cendana

<sup>2</sup>Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Nusa Cendana

\*Email: delinnopaul@gmail.com

---

### Abstrak

**Keywords:**

Fungi Pelarut  
Fosfat;  
Ekosistem Kebun;  
Ekosistem Pantai.

Penelitian ini telah dilaksanakan di laboratorium penyakit tanaman dan laboratorium kimia tanah Fakultas Pertanian Universitas Nusa Cendana yang berlangsung dari bulan Agustus 2022 sampai bulan Februari 2023. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh berbagai jenis isolat Fungi Pelarut Fosfat (FPF), mengidentifikasi dan mengetahui nilai Indeks Kelarutan Fosfat (IKF) FPF indigen dari ekosistem kebun dan ekosistem pantai di Kabupaten Kupang. Penelitian ini menggunakan metode deskripsi eksplorasi dengan mengisolasi FPF dari sampel tanah yang diambil dari rizosfer tanaman menggunakan media Pikovskaya lalu dimurnikan dan diamati secara makroskopis dan mikroskopis berbagai isolat yang diperoleh dari dua ekosistem. Parameter yang diamati berupa data penunjang penelitian (pH tanah, C-organik, N-total, P-tersedia, kadar air dan salinitas), data utama penelitian mencakup identifikasi morfologi FPF, populasi FPF dan IKF FPF. Hasil penelitian menunjukkan bahwa diperoleh 8 isolat FPF genus *Aspergillus sp.* yang berhasil diisolasi dari ekosistem kebun dan ekosistem pantai. Berdasarkan hasil pengamatan morfologi makroskopis dan mikroskopis genus *Aspergillus sp.* Memiliki ciri-ciri bentuk koloni bulat, warna koloni hitam dengan pinggiran putih, permukaan koloni berpasir, konidia berbentuk bulat, konidiafor tidak bercabang, vesikula berbentuk bulat dan hifa bersekat. Nilai IKF tertinggi dari 8 isolat yang berasal dari ekosistem kebun dan ekosistem pantai yaitu terdapat pada kode isolat KBK.2 dengan nilai 2,87.

## 1. PENDAHULUAN

Mikroorganisme tanah memiliki peran penting dalam tanah seperti membantu penyediaan dan penyerapan unsur hara oleh tanaman, salah satunya adalah mikroorganisme pelarut fosfat (MPF). MPF merupakan mikroba yang memiliki kemampuan untuk melarutkan fosfat (P) anorganik tidak larut yang terikat oleh komponen tanah dengan mensekresikan asam-asam organik dan enzim-enzim yang mana melalui prosesnya mampu menyediakan P bagi tanaman (Asnidar dan Paranoan, 2021; Pelawi dan Handayani, 2021; Rawat dkk., 2021). Mikroba tanah yang telah ditemukan dapat melarutkan P di antaranya bakteri, fungi, aktinomisetes, khamir dan alga (Pane dkk., 2022). Fungi Pelarut Fosfat (FPF) memiliki peranan dalam kesuburan tanah karena mampu melakukan mekanisme pelarutan P dengan mensekresikan sejumlah asam organik berbobot molekul rendah seperti oksalat, suksinat, fumarat, dan malat (Istina dkk., 2020).

Tanah-tanah di Timor termasuk ke dalam kelompok tanah yang kekurangan P akibat tingginya kandungan Ca di dalam tanah. Menurut Carson (1990) dalam Kiuk dkk., (2022) ketersediaan P yang rendah dapat dikaitkan dengan proses pembentukan tanah di pulau Timor yang dipengaruhi oleh formasi geologi batuan kapur (*limestone*) dengan kandungan unsur Ca yang tinggi. Kandungan Ca yang tinggi pada tanah berkapur (kalkarosol) menyebabkan P terfiksasi oleh Ca yang berdampak pada menurunnya kelarutan dan ketersediaan P bagi tanaman. Kandungan Ca yang tinggi juga menyebabkan pupuk P yang diberikan akan terfiksasi oleh Ca membentuk senyawa Ca-P yang sukar larut sehingga akumulasi senyawa tersebut akan tinggi dalam tanah dan memengaruhi keseimbangan hara.

Salah satu solusi mengatasi persoalan fiksasi P adalah dengan memanfaatkan FPF yang banyak dijumpai pada tanah lebih khusus pada rizosfer akar tanaman pangan dan non pangan. Seperti umumnya mikroorganisme, aktivitas FPF juga sangat dipengaruhi oleh lingkungan. Pengamatan FPF pada dua lokasi yang berbeda seperti pada ekosistem kebun dan ekosistem pantai dengan kondisi lingkungan berbeda akan memengaruhi jumlah populasi dan keragaman FPF. Keberadaan FPF di berbagai ekosistem dapat dipengaruhi oleh beberapa kondisi seperti; Kondisi lingkungan, kondisi fisik dan kimia tanah, ketersediaan P dalam tanah, vegetasi, salinitas, eksudat akar kandungan carbon dalam tanah untuk pertumbuhan dan metabolisme FPF (Saragih dkk., 2015; Asril dkk., 2023).

Penelitian yang dilakukan Saragih dkk., (2015) mengenai eksplorasi dan identifikasi FPF pada ekosistem pantai diperoleh 2 genus FPF yang mampu hidup pada kondisi ekosistem tergenang oleh air laut dengan salinitas yang tinggi yaitu *Aspergillus* (12 isolat) dan *Trichoderma* (2 isolat) yang mana *Aspergillus niger* memiliki potensi paling baik dalam proses pelarutan P. Jumlah dan jenis FPF pada ekosistem lahan gambut dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti vegetasi atau keragaman jenis tanaman yang tumbuh serta P tersedia tanah (Ohiwal dkk., 2017). Penelitian yang dilakukan oleh Asnidar & Paranoan (2021) tentang eksplorasi FPF padang alang-alang dan perkebunan kelapa sawit dengan kondisi tanah asam diketahui FPF yang dominan ditemukan adalah *Penicillium* sp dan *Trichoderma* sp. FPF ditandai dengan adanya zona bening atau *holozone* pada rizosfer akar tanaman.

Tujuan dilakukan penelitian ini untuk memperoleh isolat FPF melalui identifikasi karakteristik morfologi makroskopis dan mikroskopis serta mengetahui Indeks Kelarutan Fofat (IKF) FPF indigen dari ekosistem kebun dan ekosistem pantai di Kabupaten Kupang. Hipotesis pertama penelitian ini yaitu ditemukan isolat FPF indigen yang diisolasi dari ekosistem kebun dan ekosistem pantai di Kabupaten Kupang. Hipotesis kedua yaitu terdapat IKF terbesar isolat FPF indigen yang diisolasi dari ekosistem kebun dan ekosistem pantai di Kabupaten Kupang.

## 2. METODE

Penelitian ini telah dilakukan pada bulan Agustus 2022 sampai bulan Februari 2023. Lokasi yang dipilih pada penelitian ini yaitu ekosistem kebun di Desa Baumata dan ekosistem Pantai Panmuti di Desa Noelbaki Kabupaten Kupang. Titik-titik lokasi pengambilan sampel kemudian akan dipetakan agar lokasi penelitian diketahui dengan jelas. Analisis kimia tanah dan isolasi FPF dilakukan di laboratorium kimia tanah dan laboratorium penyakit tanaman Fakultas Pertanian Universitas Nusa Cendana.

Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan menggunakan metode penentuan secara sengaja berpola diagonal dengan cara setiap ekosistem dipilih 5 titik sampel tanah kemudian secara aseptik diambil 1 kg sampel tanah dari rizosfer perakaran tanaman pada masing-masing ekosistem dengan kedalaman 20 cm dari atas permukaan tanah (Priyanta dkk., 2019; Asnidar & Paranoah, 2021). Sampel tanah kemudian dibawa ke laboratorium kimia tanah untuk dilakukan analisis data penunjang seperti pH tanah, C-organik tanah, kadar air tanah, N total, P-tersedia dan salinitas tanah.

Analisis data utama penelitian dilakukan terlebih dahulu mensterilkan alat dan bahan peneltain dengan menggunakan metode panas kering menggunakan oven, metode pembakaran menggunakan bunsen dan autoklaf. Selanjutnya Pembuatan larutan media selektif pikovskaya dilakukan dengan cara menimbang bahan-bahan dengan komposisi  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  5 g, Glukosa 10 g,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  0,5 g, KCL 0,2 g,  $\text{MgSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  0,1 g,  $\text{MnSO}_4$  0,001 g,  $\text{FeSO}_4$  0,001 g, ekstrak ragi 0,5 g, agar 1,5 g dan pH 7 (Subarao, 1994). Kemudian semua bahan dimasukkan ke dalam botol kemudian dipanaskan menggunakan *microwave* hingga media homogen dan mendidih.

Masing-masing contoh tanah dari lapangan dibersihkan dan ditimbang 1 g lalu dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi 9 ml akuades kemudian dikocok selama  $\pm 10$  menit dan diencerkan secara serial sampai pengenceran  $10^{-3}$  (Priyanta dkk., 2019; Pelawi & Handayani, 2021). Tabung reaksi yang berisi media disumbat dengan kapas dan ditutup dengan *aluminium foil* untuk menghindari kontaminasi dan tidak cepat kering. Diambil menggunakan pipet larutan suspensi sebanyak 1 ml pada pengenceran  $10^{-1}$ , kemudian dimasukkan ke dalam cawan petri yang telah steril dan dilakukan hal yang sama pada pengenceran  $10^{-2}$  dan  $10^{-3}$ . Dipakai suspensi tanah dari 3 pengenceran sebagaiantisipasi bila pada pengenceran tersebut tidak diperoleh mikroba pelarut P. Selanjutnya dilakukan isolasi FPF dari suspensi yang telah dibuat sebelumnya dan diinkubasi selama 3 hari. Selanjutnya dilakukan pengamatan koloni fungi yang tumbuh pada media Pikovskaya. Pengamatan makroskopis meliputi warna koloni, bentuk, tekstur, koloni diameter zona bening dan diameter koloni. Keberadaan FPF ditunjukkan dengan terbentuknya daerah bening (*holozone*) yang mengelilingi koloni pada cawan petridis.

Setelah tumbuh koloni, selanjutnya dihitung populasi koloni yang memiliki zona bening dengan *colony counter* dan nilai perhitungan dimasukan kedalam rumus jumlah populasi. Cawan yang dipilih dan dihitung adalah cawan petri yang koloninya berjumlah antara 15-150 koloni (Yolanda, 2020).

$$P (g^{-1}) = \frac{1}{BS} \times \frac{1}{FP} \times JK.$$

Keterangan: P : Populasi  
BS : Berat Sampel  
JK : Jumlah Koloni

Koloni yang zona beningnya kuat dipisahkan dengan menanam kembali pada cawan petri yang berisi media selektif Pikovskaya. Kegiatan isolasi dilakukan dalam *laminar flow*. Semua pekerjaan dilakukan secara aseptik. Pemurnian dilakukan pada setiap koloni fungi yang dianggap berbeda berdasarkan morfologi makroskopis yang berbeda pada media Pikovskaya. Pemurnian Fungi yang tubuh selama proses isolasi, dimurnikan dengan cara memotong dan mentransfer secara aseptik sebagian miselium cendawan ke dalam media kultur baru yang telah berisi media Pikovskaya (Pelawi & Handayani, 2021). Biakan yang telah murni diinkubasi dengan suhu kamar lebih kurang dengan suhu 28°C selama 3-7 hari. Pemurnian dilakukan berulang kali sampel koloni benar-benar murni. Selanjutnya dilakukan pengukuran diameter zona bening dan diameter koloni menggunakan penggaris dan kaca pembesar dan dilakukan sebanyak 2-3 kali pada posisi yang berbeda selama 7 hari kemudian hasil pengukuran dirata-ratakan Islamiati & Zulaika (2015); Yoladan (2020). Pengukuran diameter zona bening dan diameter koloni dilakukan untuk mengetahui indeks kelarutan fosfat (IKF) seperti rumus berikut (Saron, 2016):

$$IKF = \frac{DK + DZB}{DK}$$

Keterangan: IK : Indeks Kelarutan Fosfat  
DK : Diameter Koloni  
DZB : Diameter Zona Bening.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Kondisi Umum Lokasi Penelitian

Lokasi pengambilan sampel pada penelitian ini terletak di dua lokasi ekosistem yaitu ekosistem kebun dan ekosistem pantai yang berada di Kecamatan Kupang tengah, Kabupaten Kupang, Nusa Tenggara Timur (NTT). Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar.1. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada tanggal 12 November 2022. Survei lokasi penelitian dilakukan agar lokasi yang dipilih sesuai dengan kriteria dan kondisi yang ditentukan. Secara topografis, Kabupaten Kupang umumnya beriklim tropis dan kering yang juga cenderung dipengaruhi oleh angin dan dikategorikan sebagai daerah

semi arid karena curah hujan yang relatif rendah. Kabupaten Kupang beriklim kering dan menurut L. R. Oldemam bertipe D4 dan E4, dengan kondisi musim hujan 3-5 bulan, sedangkan musim kemarau 7-8 bulan. Musim hujan yang pendek umumnya hanya terjadi pada bulan Desember sampai Maret. Umumnya suhu udara di Kabupaten Kupang berkisar antara 20°–34°C dengan tingkat kelembapan antara 64–83%.

Lahan yang dipilih sebagai lokasi pengambilan sampel tanah pada penelitian ini berada di dua ekosistem yang berbeda yaitu ekosistem kebun berlokasi di Desa Baumata, Kecamatan Taebenu, Kabupaten Kupang dan lahan kedua ekosistem pantai Panmuti berlokasi di Desa Noelbaki, Kecamatan Kupang tengah, Kabupaten Kupang. Vegetasi yang dijumpai pada ekosistem kebun yang didominasi tanaman pangan seperti singkong, jambu mete, pepaya, kelor dan sirsak. Sedangkan vegetasi yang dapat dijumpai pada ekosistem pantai yaitu berupa tanaman non pangan yang didominasi tumbuhan seperti mangrove, kabesak, jarak merah, kesambi dan biduri.



**Gambar 1:** Peta Lokasi Penelitian

### 3.2 Pengamatan Penunjang

Keberadaan FPF di dalam tanah sangat dipengaruhi oleh sifat kimia tanah. Hasil analisis sifat kimia sampel tanah pada ekosistem kebun dan ekosistem pantai dapat dilihat pada Tabel.1.

**Tabel 1.** Hasil analisis sifat kimia tanah Ekosistem kebun (KBK) dan Ekosistem Pantai (PNK) di Kabupaten Kupang.

Parameter	Nilai dan Kriteria	
	Kebun	Pantai
pH H <sub>2</sub> O	6,81 (Netral)	7,13 (Netral)
C-organik (%)	2,84 (Sedang)	2,9 (Sedang)
N-total (%)	0,37 (Sedang)	0,21(Sedang)
P-tersedia (mg.kg <sup>-1</sup> )	3,48 (Sangat Rendah)	1,76 (Sangat Rendah)
Salinitas(dS/m)	0,104 (Non Salinias)	0,748 (Non Salinitas)
Kadar air tanah (%)	24,39 (Rendah)	20,49 (Rendah)

Keterangan : a) KBK : Kebun Kupang, b) PNK: Pantai Kupang.

Sumber : PPT-Bogor (1983); BPP-Medan (1982) ; (Muliawan dkk., 2016)

Berdasarkan hasil analisis sifat kimia tanah terlihat bahwa reaksi tanah atau pH sampel tanah pada sampel dari kedua ekosistem yaitu ekosistem kebun dan ekosistem pantai dikategorikan ke dalam tanah yang bereaksi netral dengan masing-masing nilai pH 6,81 dan 7,1. Beberapa penyebab pH tanah netral adalah bahan mineral tanah dan bahan induk tanah berkapur (Setyorini, 2009; Prabowo, 2018). Daerah Timor terbentuk dari tanah dengan batuan induk mineral yang banyak mengandung kapur. Oleh karena itu umumnya tanah memiliki reaksi alkalis. Namun demikian pH tanah di tempat pengambilan sampel yaitu pada ekosistem kebun dan pantai tergolong netral. FPF umumnya banyak ditemukan pada rentang pH yang rendah. Aktivitas FPF banyak ditemukan pada tanah asam sebab pertumbuhan fungi optimum pada pH 5-5,5 dan pertumbuhan fungi menurun bila pH meningkat (Wati, 2009). Menurut Gilman (1971); Anggreanita dkk., (2022) kelompok *Aspergillus* sp. tahan terhadap kondisi kelembaban yang rendah dan suhu ekstrim serta derajat kemasaman untuk pertumbuhannya adalah 2-8,5 serta pertumbuhannya optimum pada pH yang rendah.

Tabel 1 menunjukkan ekosistem kebun memiliki nilai C-organik 2,84 % dan pantai 2,9%. keduanya termasuk tanah dengan kandungan C-organik sedang. Keberadaan C-organik tanah dengan kategori sedang dipengaruhi oleh banyak tidaknya bahan organik dan kecepatan mikroba mendekomposisi bahan organik dalam tanah. Apabila lingkungan mendukung kehidupan FPF, maka semakin banyak FPF dalam tanah akan mempercepat proses dekomposisi bahan organik dalam tanah (Saraswati, 2017).

Hasil pengukuran N-total tanah pada kedua ekosistem yaitu ekosistem kebun dan ekosistem pantai berturut-turut 0,37% dan 0,21% merupakan tanah dengan kondisi N sedang. Ketersediaan N-total tanah dengan kategori sedang berarti berada dalam kondisi yang relatif. Sumber N yang ada dalam tanah adalah berasal dari bahan organik dan senyawa-senyawa N hasil fiksasi N udara. Tanah yang banyak mengandung bahan organik akan mampu mempertahankan N yang lebih banyak. N diambil tanaman berada dalam bentuk  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{NO}_3^-$ . Mikroba tanah juga akan merombak bahan organik membentuk  $\text{NH}_4^+$  terlepas ke dalam tanah. Kemudian  $\text{NH}_4^+$  tersebut akan diubah menjadi  $\text{NO}_3^-$  oleh mikroba tanah. Menurut Sagiarti dkk. (2020) kandungan N-total tanah sangat bervariasi dan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti iklim, vegetasi, topografi, dan sifat-sifat fisika dan kimia dari tanah. Kandungan N-total dengan kategori sedang pada ekosistem kebun dan ekosistem pantai diduga juga disebabkan karena terjadi proses penyerapan oleh tanaman dan digunakan oleh mikroba tanah sebagai sumber nutrisi (Kalayu dkk., 2019).

Hasil analisis P-tersedia tanah menunjukkan sampel tanah pada ekosistem pantai dan kebun berada dalam keadaan sangat rendah secara berturut nilainya sebesar  $3,48 \text{ mg.kg}^{-1}$  dan  $1,76 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Ketersediaan P yang rendah pada ekosistem kebun dan ekosistem pantai dapat dikaitkan dengan proses pembentukan bahan induk pada daerah pengambilan sampel tanah. Menurut Carson (1990); Kiuk dkk., (2022) daerah pengambilan sampel termasuk dalam wilayah timor dengan kondisi tanah dipengaruhi format geologi batuan kapur. Diduga kandungan Ca pada batuan kapur yang tinggi yang mengikat P menyebabkan P tersedia berada dalam kondisi yang sangat rendah pada ekosistem kebun dan ekosistem pantai.

Hasil analisis kimia tanah pada Tabel 1 diketahui bahwa besar kadar air tanah pada ekosistem kebun dan ekosistem pantai yaitu 24,39 % dan 20,49 % termasuk ke dalam kategori rendah. Menurut Hanafiah (2004); Pamungakas (2015) kadar air tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti; tekstur tanah, bahan organik, senyawa kimia (salinitas) dan kedalaman solum tanah.

Hasil pengukuran salinitas pada sampel tanah yang diambil dari ekosistem pantai menunjukkan besar nilainya yaitu 0,748 dS/m dengan kategori non salinitas. Sedangkan besar nilai salinitas pada ekosistem kebun yaitu 0,104 dS/m termasuk dalam kategori non salinitas. Dari hasil analisis salinitas pada kedua ekosistem diketahui tanah yang diambil dari kedua ekosistem tidak dipengaruhi salinitas sehingga keberadaan FPF pada ekosistem ini tidak dipengaruhi oleh salinitas. Salinitas pada suatu lokasi dapat disebabkan kandungan  $Na^+$ , C-organik, KTK, tekstur tanah dan jarak pengambilan sampel dari bibir pantai (Nusantara dkk., 2021)

Ekosistem	Kode Isolat	Karakteristik Makroskopik Koloni				Karakteristik mikroskopis		
		Bentuk	Warna	Permukaan	Konidia	Konidiofor	Vesikula	Hifa
Kebun	KBK.1	bulat	Hitam Pinggiran Putih	berpasir	bulat	Tidak bercabang	bulat	bersekat
	KBK.2	bulat	Hitam Pinggiran Putih	berpasir	bulat	Tidak bercabang	bulat	bersekat
	KBK.3	bulat	Hitam Pinggiran Putih	berpasir	bulat	Tidak bercabang	bulat	bersekat
	KBK.4.1	bulat	Hitam Pinggiran Putih	berpasir	bulat	Tidak bercabang	bulat	bersekat
	Kbk.4.2	bulat	Hitam Pinggiran Putih	berpasir	bulat	Tidak bercabang	bulat	bersekat
	KBK.5	-	-	-	-	-	-	-
Pantai	PNK.1	-	-	-	-	-	-	-
	PNK.2	bulat	Hitam Pinggiran Putih	berpasir	bulat	Tidak bercabang	bulat	bersekat
	PNK.3	-	-	-	-	-	-	-
	PNK.4	bulat	Hitam Pinggiran Putih	berpasir	bulat	Tidak bercabang	bulat	bersekat
	PNK.5	bulat	Hitam Pinggiran Putih	berpasir	bulat	Tidak bercabang	bulat	bersekat

**Tabel 2.** Karakteristik moroflogi makroskopis dan mikroskopis FPF ekosistem kebun dan pantai

Keterangan: KBK= Kebun dan PNK= Pantai

### 3.3 Data Utama

#### 3.3.1 Identifikasi dan karakteristik Morfologi FPF dari ekosistem kebun dan ekosistem pantai

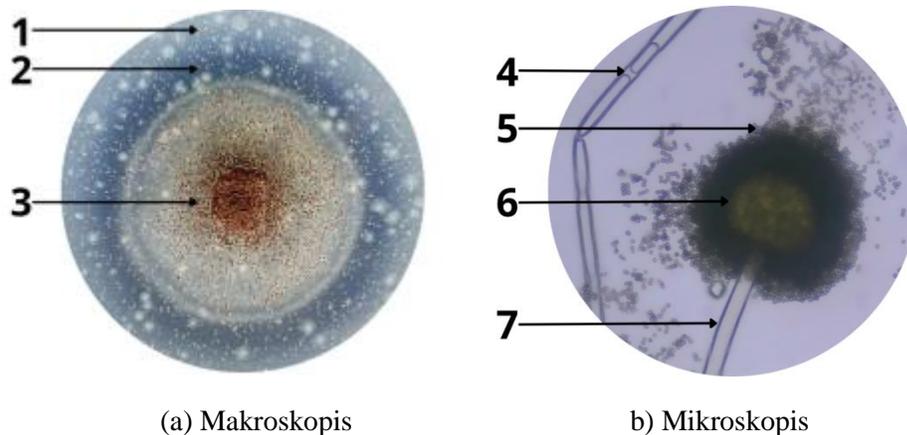
Berdasarkan Tabel.2 diketahui bahwa, pada dua lokasi tempat pengambilan sampel tanah yaitu ekosistem kebun dan ekosistem pantai diperoleh FPF dengan karakteristik morfologi makroskopis dan mikroskopis seperti yang ditunjukkan pada Tabel.2. Identifikasi FPF dilakukan pada fungi yang membentuk *holozone* yang ditandai dengan zona bening di sekitar koloni. Hal ini dilakukan karena tidak semua fungi yang tumbuh pada media Pikovskaya mampu melarutkan  $CaPO_4$  dan  $MgPO_4$  yang ditandai adanya zona bening di sekeliling koloni. FPF dapat diisolasi dari tanah yang kandungan fosfatnya rendah terutama di sekitaran perakaran tanaman, karena fungi menggunakan P dalam jumlah sedikit dan mampu

memanfaatkan P tidak tersedia untuk keperluan metabolismenya (Alexander, 1977).

Berdasarkan penampakan makroskopis dan mikroskopis pada Tabel.2 mengenai karakteristik makroskopis dan mikroskopis kemudian dibandingkan dan dicocokkan dengan literatur buku identifikasi jamur Watanabe (2002) dan Gilman (1971) diketahui FPF yang diperoleh termasuk dalam kelompok genus *Aspergillus* sp. Fungi *Aspergillus* sp (Gambar.2). Fungi *Aspergillus* sp merupakan salah satu dari berbagai jenis fungi yang dapat diisolasi dari alam. Menurut Mawarni dkk, (2021) umumnya fungi *Aspergillus* sp. tersebar banyak di alam, baik di udara, tanah dan buah-buahan busuk.

Keterangan : Penampakan *Aspergillus* sp. dibawah mikroskop (perbesaran 40 kali)

- (1) Media Pikovskaya,
- (2) zona bening,
- (3) Koloni Fungi,
- (4) Hifa,
- (5) Konidia,
- (6) Vesikula
- (7) Konidiafora.



**Gambar 2:** *Aspergillus* asal KBK.4.1

Barnet dan Hunter (2002) dan Gilman (1971) mengemukakan secara mikroskopis jamur *Aspergillus* sp. memiliki warna hitam, coklat, hijau, hijau tua dan hijau kekuning-kuningan. Konidiofor tegak dengan diameter ukuran 3-6,3  $\mu\text{m}$ , spora 160-244  $\mu\text{m}$ . Konidiofor tegak dan terdapat tonjolan berbentuk bundar atau lebih tebal pada puncak konidiofor. Vesikula berbentuk bulat hingga semibulat, dan berdiameter 25-50  $\mu\text{m}$ . Fialid terbentuk langsung pada vesikula atau pada

metula (pada kepala konidia yang besar), dan berukuran (10-15) x (4-8)  $\mu\text{m}$ . Metula berukuran (7-10) x (4-6)  $\mu\text{m}$ . Konidia berbentuk bulat hingga semibulat, berdiameter 5-6,5  $\mu\text{m}$ , hitam. *Aspergillus* sp tergolong mikroba mesofilik dengan pertumbuhan pada suhu 35°C-37°C (optimum), 6°C-8°C (minimum), 45°C-47°C (maksimum).

Kelompok fungi umumnya banyak melakukan aktivitas pada tanah dengan pH asam. Derajat keasaman untuk pertumbuhannya adalah 2-8,5 tetapi pertumbuhan akan lebih baik pada kondisi keasaman atau pH yang rendah (Gilman, 1971).

Taksonomi fungi *Aspergillus* sp :

Kingdom	: <i>Myceteae</i> (Fungi)
Divisio	: <i>Ascomycota</i>
Kelas	: <i>Ascomycetes</i>
Ordo	: <i>Moniliales</i>
Famili	: <i>Moniliaceae</i>
Genus	: <i>Aspergillus</i>
Spesies	: <i>Aspergillus</i> sp.

FPF memiliki kemampuan yang jauh melebihi bakteri pelarut P dalam melarutkan  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{AlPO}_4$ ,  $\text{FePO}_4$ , dan Batuan Fosfat. Indikasi tersebut menunjukkan bahwa kemampuan Fungi yang mempunyai spektrum lebar dalam melarutkan beberapa bentuk ikatan P yang ada di dalam tanah. Menurut Gilman (1971); Anggreanita dkk., (2022) menjelaskan bahwa kelompok *Aspergillus* sp. tahan terhadap kondisi kelembapan yang rendah dan suhu ekstrim serta derajat keasaman untuk pertumbuhannya adalah 2-8,5 serta pertumbuhannya optimum pada pH yang rendah.

### 3.3.2 Populasi FPF

Hasil isolasi FPF dari 10 sampel tanah, hanya 7 sampel saja yang terdapat FPF. Dua isolat diperoleh dari sampel 4 sehingga secara keseluruhan diperoleh 8 isolat. Lima isolat yang berasal dari 5 sampel tanah dari rizosfer tanaman pangan pada ekosistem kebun yaitu isolat KBK.1, KBK.2, KBK.3, KBK.4.1 dan KBK.4.2. Tiga isolat yang diperoleh dari rizosfer tanaman pangan pada ekosistem pantai yaitu PNK.2, PNK.4 dan PNK.5.

**Tabel 3.** Populasi FPF ekosistem kebun dan ekosistem pantai.

Ekosistem	Rizosfer Tanaman	Kode sampel	Populasi Fungi (cfu/g)
Kebun	Singkong	KBK.1	$3 \times 10^2$
	Jambu Mete	KBK.2	$1 \times 10^3$
	Pepaya	KBK.3	$4 \times 10^2$
	Sirsak	KBK.4.1	$1 \times 10^2$
	Sirsak	KBK.4.2	$2 \times 10^3$
	Kelor	KBK.5	-
Pantai	Teruntum Merah	PNK.1	-
	Kabesak	PNK.2	$2 \times 10^2$
	Jarak Merah	PNK.3	-
	Kesambi	PNK.4	$7 \times 10^1$
	Biduri	PNK.5	$1 \times 10^3$

Keterangan: KBK= Kebun dan PNK= Pantai

Hasil perhitungan populasi FPF pada setiap cawan petri menunjukkan bahwa, semua isolat tidak mencapai jumlah populasi sesuai kriteria yang ditetapkan. Menurut Yolanda (2020) cawan petri yang dipilih untuk dihitung populasi FPF adalah cawan petri yang koloninya berjumlah antara 15 - 150 koloni.

Total populasi FPF yang tergolong sangat rendah pada ekosistem kebun dan ekosistem pantai dapat disebabkan oleh berbagai faktor salah satunya lingkungan tempat sampel tanah masing-masing diambil. Kondisi lingkungan yang berbeda ekosistem kebun dan ekosistem pantai mempengaruhi keragaman dan populasi FPF. Menurut Aleksader (1977); Asril dkk. (2023) jumlah FPF yang ada di dalam tanah berkisar 20 ribu sampai dengan 1 juta per gram tanah.

Beberapa faktor lingkungan yang mempengaruhi total populasi dan keragaman FPF diantaranya ialah kandungan bahan organik, vegetasi, pH tanah, kadar air tanah, salinitas, keberadaan substrat dan eksudat yang dikeluarkan oleh akar tanaman. Populasi FPF juga dipengaruhi suplai makanan dan energi yang cukup serta temperatur yang sesuai, ketersediaan air yang cukup, kondisi ekologi yang baik yang mendukung perkembangan FPF dalam tanah. Menurut Niswati dkk., (2008) jumlah dan tipe perakaran mempengaruhi jumlah dan kualitas eksudat akar, sedangkan jumlah dan atau komposisi dari asam amino yang berasal dari eksudat akan tergantung pada spesies tanaman dan fase pertumbuhan tanaman itu sendiri. Tanaman monokotil lebih banyak mengeluarkan eksudat dari pada tanaman dikotil (Aisah dkk., 2022). Akar tanaman monokotil cenderung memiliki banyak akar serabut yang lebih halus dan lebih banyak rambut akar. Ini meningkatkan permukaan akar yang tersedia untuk berinteraksi dengan lingkungan tanah dan mengeluarkan eksudat. Ini berarti ada lebih banyak akar yang aktif mengeluarkan eksudat.

Sampel tanah diambil dari sekitar rizosfer vegetasi akar tanaman pangan dan non pangan pada ekosistem kebun dan ekosistem pantai. Pengambilan sampel pada perakaran tanaman karena umumnya FPF hidup di sekitar perakaran tanaman,

yaitu di daerah permukaan tanah sampai kedalaman 20 cm dari permukaan tanah (Anggreanita dkk., 2022). Akar tanaman mempengaruhi kehidupan FPF dan secara fisiologis FPF yang berada dekat dengan daerah perakaran akan lebih aktif daripada yang hidup jauh dari daerah perakaran (Sentosa, 2022). Akar tanaman mengeluarkan eksudat akar, yang terdiri dari berbagai senyawa organik dan anorganik, ke dalam tanah sekitarnya. FPF yang berada dekat akar tanaman dapat memanfaatkan eksudat ini secara langsung. FPF cenderung berkumpul dan lebih aktif dalam zona ini karena ketersediaan nutrisi yang tinggi.

Keberadaan FPF juga dipengaruhi banyaknya jumlah bahan organik yang secara langsung mempengaruhi jumlah dan aktivitas hidupnya. Keberadaan bahan organik bermanfaat sebagai sumber energi dan sumber nutrisi bagi kelangsungan hidup FPF (Alori dkk., 2017; Anggreanita dkk., 2022). Pengaruh Kandungan C-organik yang rendah juga diduga menjadi salah satu faktor penyebab rendahnya total populasi dan keragaman FPF pada ekosistem kebun dan ekosistem pantai. Pada kandungan C-organik tanah, terdapat sumber energi dan nutrisi bagi FPF untuk mendukung aktivitasnya. Organisme pengurai dalam hal ini FPF juga menggunakan karbon sebagai sumber energi dan N sebagai sumber protein untuk dapat melakukan aktivitasnya (Pandi dkk., 2023).

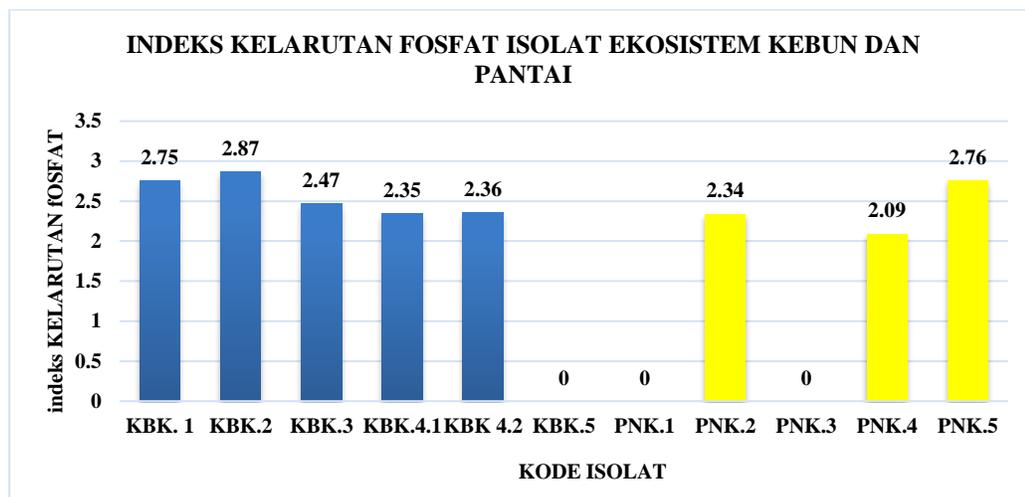
Keberadaan mikroba pelarut P dipengaruhi pH tanah. Fungi sebagian besar sangat toleran dan dapat hidup pada kondisi tanah yang lebih masam dibanding tanah yang alkalin. pH tanah yang tergolong netral pada analisis kimia tana menyebabkan pertumbuhan FPF tidak maksimum karena umumnya FPF hidup pada lingkungan kondisi asam. Hal inilah yang diduga menjadi salah satu faktor penyebar rendahnya populasi FPF pada ekosistem kebun dan ekosistem pantai. Aktivitas fungi banyak ditemukan pada tanah asam sebab pertumbuhan fungi optimum pada pH 5-5,5. Pertumbuhan fungi menurun bila pH meningkat (Wati, 2009).

### 3.3.3 Indeks Kelarutan Fosfat (IKF)

Berdasarkan hasil analisis nilai IKF dari masing-masing FPF yang ditunjukkan gambar Grafik.1, diketahui bahwa nilai IKF terbesar dari isolat ekosistem kebun dan ekosistem pantai yaitu terdapat pada isolat KBK.2 dengan nilai 2,87. Sedangkan nilai dengan kemampuan terendah dari tiap isolat pada ekosistem kebun dan ekosistem pantai dalam melarutkan P pada media Pikovskaya yaitu PNK.4 dengan nilai 2,09. IKF dengan nilai 0 pada kode isolat KBK.5 dan PNK.1 menunjukan bahwa pada kode isolat tersebut tidak diperoleh FPF yang ditandai tidak terbatuk zona bening pada tiap koloni dalam cawan petri sehingga tidak bisa dihitung nilai IKF pada dua kode isolat tersebut. Meskipun FPF yang diperoleh pada ekosistem kebun dan ekosistem pantai hanya berasal dari satu genus yaitu *Aspergillus* sp. namun nilai IKF yang dihasilkan berbeda tiap isolat *Aspergillus* sp. yang diperoleh. Perbedaan IKF yang berbeda diduga disebabkan kemampuan fisiologis dan energi yang dikeluarkan FPF dalam melarutkan P besar sehingga mampu membentuk zona bening yang besar sehingga berdampak pada IKF yang besar pula. Kondisi Lingkungan seperti pH tanah, suhu, kelembaban,

dan komposisi mineral tanah dapat memengaruhi kemampuan FPF dalam melarutkan fosfat. Faktor-faktor ini bisa membuat kondisi yang lebih baik atau lebih buruk bagi FPF. Kondisi lingkungan tanah yakni pH tanah sangat memengaruhi mekanisme pelarutan fosfat (Asril dkk., 2023).

Adanya variasi dari nilai indeks kelarutan fosfat tersebut dapat disebabkan karena perbedaan kemampuan isolat bakteri pelarut fosfat dalam mensekresikan asam organik ekstraselulernya sehingga zona bening yang terbentuk berbeda-beda. Menurut Asril dkk., (2023) berdasarkan penggolongan kemampuan detoksifikasi asam organik dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu kuat (sitrar, oksalat, tartarat); sedang (malat, malonat dan salisilat); dan lemah (suksinat, laktat, asetat dan ptalat).



Keterangan: a) KBK: isolat kebun Kupang, b) PNK: isolat pantai kupang.

**Gambar 3:** Grafik 1 indeks kelarutan fosfat FPF ekosistem kebun dan ekosistem pantai

Secara kualitatif, semakin luas zona bening menunjukkan bahwa kemampuan fungi dalam melarutkan P juga semakin besar. Demikian pula semakin bening atau terang zona bening menunjukkan pelarutan P semakin intensif. Hal ini sesuai pernyataan Anggreanita dkk., (2022) bahwa pada umumnya semakin besar nilai perbandingan antara garis tengah zona bening dengan garis tengah koloni, menunjukkan kemampuan FPF dalam melarutkan P secara kualitatif semakin besar. Perubahan kekeruhan medium di sekitar koloni menjadi bening, karena terjadinya penurunan pH pada medium (Paul dan Sinha, 2016). *holozone* terbentuk sebagai akibat terjadinya pelarutan butiran fosfat dari media itu sendiri. FPF yang unggul ditandai dengan diameter *holozone* yang paling besar dibandingkan dengan koloni yang lainnya. Diameter *holozone* yang besar menunjukan besarnya kemampuan FPF dalam melarutkan P pada media yang menyebabkan terjadinya kekeruhan sekitar koloni FPF. Menurut Goenadi dan Saraswati (1994), kemampuan FPF dalam melarutkan P berbeda-beda tergantung jenis strain.

Proses pelarutan P oleh FPF dilakukan dengan mengsekresikan sejumlah asam organik untuk melarutkan P seperti asam asetat, sitrat, laktat, propionat, 2-Ketogluconic, asam glukonat, glikolat, oksalat, malonat, asam suksinat, fumarat dan tartarat (Kishore dkk., 2015). Krishnaraj & Dahale (2014) menjelaskan asam 2-ketogluconic dan asam glukonat adalah asam utama yang disekresikan oleh FPF. Asam organik dapat melarutkan P dalam tanah untuk sintesis asam amino. Asam organik dapat melarutkan P secara langsung atau mengkelat ion Fe, Al, dan Ca yang terikat dengan P. Asam organik mengkelat kation yang terikat P melalui gugus hidroksil dan karboksilnya sehingga melepaskan F yang terikat (Sharma dkk., 2013). FPF kemudian menurunkan pH rizosfer melalui pertukaran gas ( $O_2/CO_2$ ) dan menciptakan lingkungan yang asam di sekitarnya, kemudian membebaskan P dari kompleks dengan substitusi proton untuk kation seperti  $Fe^{+3}$  dan  $Al^{+3}$  atau dengan pertukaran fosfat ( $PO_4^{2-}$ ) dengan anion asam (Satyaprakash dkk., 2017). Proses pelarutan P juga dibantu oleh enzim yang dihasilkan FPF seperti fosfatase, fitase, fosfonatase dan C-Piase. Fosfatase melarutkan P dengan mengkatalis defosforilasi fosfoester dan ikatan fosfoanhidrida dari senyawa fosfat organik. Fosfatase basa menghidrolisis sekitar 90% dari total fosfor organik dalam tanah dan membuat p menjadi tersedia bagi tanaman (Jarosch dkk., 2015).

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa hasil isolasi FPF diperoleh 8 isolat fungi *Aspergillus* sp. dari ekosistem kebun dan ekosistem pantai dengan kode isolat yaitu KBK.1, KBK.2, KBK3. KBK.4.1, KBK4.2, PNK.2 PNK.4 dan PNK.5. Indeks pelarutan fosfat yang tertinggi yaitu 2,87 yaitu pada isolat KBK.2

#### REFERENSI:

- Aisah, S., Sriwulan, S., & Purnomo, E. (2022). Populasi Bakteri Pelarut Fosfat Pada Rhizosfer Tanaman Kayu Putih (*Melaleuca Cajuputi*) Lahan Reklamasi Pasca Tambang Kapur Pt Semen Indonesia (Persero) Tbk. Pabrik Tuban. Prosiding Snasmg.Kg-1, 7(1), 832-836.
- Alexander, M. (1977) Introduction to Soil Microbiology. 2nd edition. John Wiley and Sons. New York.
- Alexander, M. (1977) Introduction to Soil Microbiology. 2nd edition. John Wiley and Sons. New York.
- Alori, E. T., Glick, B. R., & Babalola, O. O. (2017). Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. *Frontiers in microbiology*, 8, 971. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00971>
- Anggreanita, B., Pata'dungan, Y. S., & Khaliq, M. A. (2022) Identifikasi Dan Uji Kemampuan Melarutkan Fosfat Fungi Pelarut Fosfat Dari Rhizosfer Tanaman Nilam (*Pogestemon Cablin Benth.*) Di Desa Makmur Kecamatan Palolo Kabupaten Sigi. *Agrotekbis: E-Jurnal Ilmu Pertanian*. 10(4), 565-573.
- Asnidar, S.D. & Paranoah, dan R.R. (2021) Eksplorasi Jamur Pelarut Fosfat pada Tanah Masam dengan Penutup Lahan Hutan Sekunder, Padang Alang-Alang dan Perkebunan Kelapa Sawit Di Samarinda. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika Lembab*. ISSN. 2622, 3570.

- Asril, M., Lestari, W., Basuki, B., Sanjaya, M. F., Firgiyanto, R., Manguntungi, B., & Kunusa, W. R. (2023) Mikroorganisme Pelarut Fosfat Pada Pertanian Berkelanjutan. Yayasan Kita Menulis.
- Barnet, H.L. And B.B. Hunter. (2002) Illustrated Genera Of Imperfect Fungi. Third Edition. Minneapolis: Burges Publishing Company.
- Gilman, J.C. 1971. A Manual Of Soil Fungi. The Iowa State Adisoemarto. Airlangga. Jakarta.
- Goenadi, D. H., Pasaribu, R. A., Isroi, H. H., & Misman, R. (1999) Phosphate solubilizing fungi isolated from tropical forest soil. *Junral tropical*. Menara Perkebunan, 67(1), 40-51.
- Hanafiah, K.A. (2004). Dasar-Dasar Ilmu Tanah. Jakarta : Rajawali Pers.
- Ingle, K. P., & Padole, D. A. (2017). Phosphate solubilizing microbes: An overview. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(1), 844–852.
- Istina, I. N., Nurhayati, N., & Jakoni, J. (2020). Sumbangan Mikroba Pelaruf Fosfat Indegenus Terhadap Peningkatan Produktivitas Lahan Pertanian Di Provinsi Riau. *Dinamika Pertanian*, 35(3), 27–34.
- Jarosch, K. A., Doolette, A. L., Smernik, R. J., Tamburini, F., Frossard, E., & Bünemann, E. K. (2015). Characterisation of soil organic phosphorus in NaOH-EDTA extracts: A comparison of <sup>31</sup>P NMR spectroscopy and enzyme addition assays. *Soil Biology and Biochemistry*, 91, 298–309.
- Kalayu, G. (2019) Phosphate solubilizing microorganisms: Promising approach as biofertilizers. *International Journal of Agronomy*. 1–7. Available at: <https://doi.org/10.1155/2019/4917256>
- Kishore, N., Pindi, P. K., & Ram Reddy, S. (2015). Phosphate-solubilizing microorganisms: A critical review. *Plant Biology and Biotechnology: Volume I: Plant Diversity, Organization, Function and Improvement*, 307–333.
- Kiuk, Y., Bako, P. O., & Ishaq, L. F. (2022). Aplikasi Fungi Mikoriza Arbuskula Indigeneous dan Pupuk Fosfor Anorganik dalam Upaya Peningkatan Serapan Fosfor dan Hasil Tanaman Jagung di Lahan Berkapur Pulau Timor. *Agrikultura*, 33(1), 25–34.
- Krishnaraj, P. U., & Dahale, S. (2014) Mineral phosphate solubilization: Concepts and prospects in sustainable agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 80 (2), 389-405. Available at: <https://doi.org/10.16943/ptinsa/2014/v80i2/55116>
- Mawarni, N. I. I., Erdiansyah, I., & Wardana, R. (2021) Isolasi cendawan *Aspergillus sp.* pada tanaman padi organik. *Agriprima: Journal of Applied Agricultural Sciences*, 5(1), 68-74. Available at: [10.25047/agriprima.v5i1.363](https://doi.org/10.25047/agriprima.v5i1.363)
- Muliawan, N. R. E., Sampurno, J., & Jumarang, M. I. (2016). Identifikasi nilai salinitas pada lahan pertanian di daerah Jungkat berdasarkan metode daya hantar listrik (DHL). *Prisma Fisika*, 4(2).
- Nanas (*Ananas Comosus* L.) Merr) di Lahan Gambut.
- Niswati, A., Yusnaini, S., & Arif, M. A. S. (2008). Populasi Mikroba Pelarut Fosfat Dan P-Tersedia Pada Rizosfir Beberapa Umur Dan Jarak Dari Pusat Perakaran Jagung (*Zea Mays* L.). *Journal Of Tropical Soils*, 13(2), 123-130.
- Nusantara, R. W., & Sulakhudin, J. A.(2021) Analisis Sebaran Salinitas dan Kesuburan Tanah pada Lahan Tepi Pantai Kecamatan Sungai Kunyiit Kabupaten Mempawah.

- Jurnal Sains Pertanian Equator*, 10(4). Available at: <http://dx.doi.org/10.26418/jspe.v10i4.50143>.
- Ohiwal, M., Widyastuti, R. & Sabiham, S. (2017) Populasi mikroba fungsional pada rizosfer kelapa sawit di lahan gambut riau. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*. 19 (2), 74–80. Available at: <https://doi.org/10.29244/jitl.19.2.74-80>
- Pamugkas, Aji. 2015. Kadar Air Tanah. Makasar.
- Pandi, J. Y. S., Nopsagiarti, T., & Okalia, D. (2023). Analisis C-Organik, N, Rasio C/N Pupuk Organik Cair Dari Beberapa Jenis Tanaman Pupuk Hijau. *Green Swarnadwipa: Jurnal Pengembangan Ilmu Pertanian*, 12(1), 146-155.
- Pane, R. D. P., Ginting, E. N., & Hidayat, F. (2022). Mikroba Pelarut Fosfat dan Potensinya dalam Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman. *Warta Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, 27(1), 51–59.
- Pelawi, S. P. B., & Handayani, D. (2021). Isolasi Cendawan Endofit Pelarut Fosfat Dari Rizosfer Tanaman Temulawak (*Curcuma Xanthorrhiza* Roxb.). In *Prosiding Seminar Nasional Biologi* (Vol. 1, No. 2, Pp. 1509-1513). Available At <https://doi.org/10.24036/Proseminasbio/Vol1/278>
- Priyanta, R. D., Proborini, M. W., & Raka Dalem, A. A. (2019). Eksplorasi dan Identifikasi Jamur Pelarut Fosfat di Kawasan Hutan Taman Nasional Bali Barat (TNBB). *Jurnal Metamorfosa*, 6(1), 131–136.
- Rawat, P., Das, S., Shankhdhar, D., & Shankhdhar, S. C. (2021). Phosphate-solubilizing microorganisms: Mechanism and their role in phosphate solubilization and uptake. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21, 49–68.
- Saragih, S., Elfiati, D., & Delvian, D. (2015). Keberadaan Fungi Pelarut Fosfat pada Tanah Bekas Erupsi Gunung Sinabung di Kabupaten Karo. *Peronema Forestry Science Journal*, 4(3), 236–241.
- Saraswati, R., & Praptana, R. H. (2017) Percepatan proses pengomposan aerobik menggunakan biodekomposer. *Jurnal Perspektif*. 16(1), 44-56. Available At: <http://dx.doi.org/10.21082/psp.v16n1.2017.44-57>.
- Satyaprakash, M., Nikitha, T., Reddi, E.U.B., Sadhana, B. & Vani, S.S. (2017) Phosphorous and phosphate solubilizing bacteria and their role in plant nutrition. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 6 (4), 2133–2144. Available at: <https://doi.org/10.20546/ijemas.2017.604.251>
- Sentosa, M. I. (2022). Uji Penggunaan Beberapa Unsur Hara Fosfat Dan Bakteri Pelarut Fosfat Pada Tanaman Sorgum (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench) Di Lahan Masam (Doctoral Dissertation).
- Sharma S.B., Sayyed R. Z., Trivedi M.H., & Gobi T.A. 2013. Phosphate Solubilizing Microbe: Sustainable Approach For Managing Phosphorus Deficiency In Agricultural Soils. *Springerplus*. 2:587.
- Sharon, J. A., Hathwaik, L. T., Glenn, G. M., Imam, S. H., & Lee, C. C. (2016) Isolation of efficient phosphate solubilizing bacteria capable of enhancing tomato plant growth. *Journal of soil science and plant nutrition*, 16(2), 525-536. Available at: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162016005000043>
- Subbarao, N.S. (1994) Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhan Tanaman. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia.

Watanabe, Tsuneo. 2002. Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi Morphology of Cultured Fungi Key and Species. 2nd edition. CRC Press: Washington. New York  
Yolanda, R. (2020). Isolasi dan Karakterisasi Jamur yang Bersimbiosis Pada Akar Tanaman.