

AKTIVITAS ENZIM PELARUT FOSFAT DAN EFEKTIVITAS MIKROBA ASAL WAMENA UNTUK MENUNJANG PERTANIAN RAMAH LINGKUNGAN PADA DAERAH MARGINAL

Sri Widawati

Bidang Mikrobiologi, Puslit Biologi, LIPI
Jl.Raya Jakarta-Bogor Km 46 Cibinong (CSC)
widadomon@yahoo.com

Abstrak

The activity of phosphate solubilizing enzyme and the effectivity of microbe from Wamena for support agriculture of environmental friendliness at marginal area. Phosphate dissolution of enzyme by microbial effective in compost plus from Wamena forest was stored in the freezer for 4 years, have been conducted in Ecofisiology laboratory, Microbiology division, Research Center for Biology, Indonesian Institute of Science. This research was conducted to know the microbial affectivity and the activity of phosphate solubilizing enzyme of 20 microorganisms in inoculants stored 4 years in refrigerated room and to support soil fertility and biofertilizer agent in organic farming system. This research used plate count method for counting the amount of microbial population, Scinner method was used to analyze enzyme of alkaline and acid PME-ase, and statistical analysis use Duncan method. The storage of 20 inoculants in refrigerated room showed that the microbial activity still high with the amount of mean population 107 and the activity of phosphate solubilizing enzyme with mean diameter of clear zone (holozone) 1 cm – 2 cm. The effectivity and the highest activity of phosphate solubilizing enzyme were : Azotobacter indicus (A), Bacillus panthothenticus (D), Bacillus megaterium (M), Bacillus thuringiensis (O), Ceratia sp. (R), Chromobacterium lividum (G), Chromobacterium violaceum (S), Flavobacterium breve (T), Klebsiella aerogenes (H), Pseudomonas fluorescent (J), Rhizobium legurxinosarium (L), and the lowest were: Streptomyces sp. (I) .

Key word: Alkaline and acid PMEase, Phosphate solubilizing bacteria, Biofertilizer

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Alam memiliki kemampuan untuk melakukan reklamasi lahan dan menyediakan berbagai jenis organisme hidup yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan. Beberapa mikroba berpotensi dapat dijadikan sebagai pupuk (biofertilizer) atau kompos plus dalam pembuatan pupuk secara hayati. Peluang pemanfaatan dan pengembangan

potensi mikroba cukup relevan dengan kegiatan intensifikasi pertanian yang berbasis teknologi biologi yang ramah lingkungan. Beberapa mikroba berpotensi dapat dimanfaatkan dan dikembangkan sebagai inokulan pembuatan pupuk (biofertilizer) dalam bentuk kompos plus. Mikroorganisma yang bersifat biofertilizer merupakan aset penting dalam *system organic farming* yang telah diterapkan pada beberapa daerah

di Indonesi maupun pertanian ramah lingkungan di daerah marginal, dataran tinggi ber iklim ekstrim dan daerah pesisir yang bersalinitas tinggi.

Keberadaan mikroorganisma di alam, khususnya Bakteri Pelarut Fosfat (BPF), Bakteri Penambat Nitrogen simbiotik (BPNS), Bakteri Penambat Nitrogen non Simbiotik (BPNnS), dan Actinomycetes yang mampu melarutkan P terikat sangat penting, karena mempunyai peranan dalam meningkatkan dan menjaga kesuburan tanah. Mikroorganisma juga mempunyai peranan mendaur ulang hara, menyimpan hara sementara, dan melepaskan hara untuk dimanfaatkan tanaman. Mikroorganisma tersebut melepaskan asam yang mampu melarutkan mineral, sehingga unsur hara yang terlarut dapat dimanfaatkan tanaman. Mikroorganisme seperti BPF, BPNS, BPNnS, dan Actinomycetes telah berhasil diisolasi dari sampel tanah di Kebun Biologi Wamena dan hutan Wamena, Papua.

Hasil isolasi dan identifikasi mikroba yang terdahulu yang dilakukan oleh penulis dan kawan-kawan¹⁾ adalah : (1). *Azospirillum* sp.(B), (2). *Azotobacter chroococcum* (C), (3). *Azotobacter indicus* (A), (4). *Azotobacter paspalii* (E), (5). *Bacillus panthothencticus* (D), (6). *Bacillus megaterium* (F), (7). *Bacillus thuringiensis* (O), (8). *Cellulomonas flavigena*

(K), (9). *Ceratia* sp.(R), (10). *Chromobacterium lividum* (G), (11). *Chromobacterium violaceum* (S), (12). *Citrobacter* sp. (N), (13). *Flavobacterium breve* (T), (14). *Klebsiella aerogenes* (H), (15). *Nitromosomonas mesentrica* (P), (16). *Pseudomonas fluorescent* (J), (17). *Rhizobium legurxinosarium* (L), (18). *Spaerotilus natans* (Q), (19). *Spirillum lipoferum* (M), (20). *Streptomyces* sp.(I). Efektivitasnya ke 20 jenis mikroba tersebut telah teruji skala laboratorium (aktivitas enzim pelarut fosfat) dan lapangan dalam bentuk kompos plus selama 7 tahun berturut-turut dan menunjukkan hasil yang positif dalam memacu pertumbuhan beberapa tanaman tinggi^{2,3)}, sebagai starter pembuatan pupuk hayati dan pematangan kompos lebih cepat serta mengembalikan kesuburan tanah⁴⁾, meningkatkan hasil panen tanaman obat pada tanah masam^{5,6)}, memicu pertumbuhan dan hasil panen tanaman sayur-sayuran di tanah marginal dataran tinggi^{7,8,9)}. Hasil analisa fisik dan kimia tanah dari 11 contoh tanah (gambar 1b) dapat dibaca pada Tabel 1.

1.2. Tujuan

Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas mikroba dan aktivitas enzim pelarut fosfat skala laboratorium ke 20 mikroba pada inokulan yang tersimpan

Table 1. Analisa fisik dan kimia pada 11 contoh tanah daerah perakan hutan Wamena

No.	Warna tanah	Daerah perakaran tanaman	Tekstur (%)			Analisa kimia dan pH		
			debu	Pasir	Liat	P (ppm)	C/N	pH
1	Hitam	<i>Imperata cylindrica</i>	43.01	18.03	38.06	2.1	11.0	5.26
2	Coklat	<i>Imperata cylindrica</i>	48.61	15.65	35.74	2.7	10.7	4.25
3	Abu-abu	<i>Imperata cylindrica</i>	49.28	10.89	38.82	1.6	9.0	4.60
4	Merah	<i>Imperata cylindrica</i>	22.69	11.51	65.75	0.3	10.3	6.05
5	Coklat kemerahan	<i>Imperata cylindrica</i>	40.19	16.36	43.45	0.2	11.5	5.00
6	Kuning	<i>Imperata cylindrica</i>	41.06	17.51	41.42	0.4	10.2	5.25
7	Lime particle	<i>Imperata cylindrica</i>	45.61	35.30	16.06	0.1	12.0	4.65
8	Hitam	<i>Pittosporum ramiflorum</i>	42.84	5.79	51.37	4.8	12.1	5.30
9	Coklat	<i>Voccinium varingiaefolium</i>	55.26	16.73	28.01	3.3	16.7	4.90
10	Coklat	<i>Castanopsis accuminatissima</i>	61.25	20.17	18.56	1.6	14.5	4.35
11	Coklat gelap	<i>Grevillea papuana</i>	40.54	7.38	52.08	3.9	10.2	4.80

selama 4 tahun dalam lemari pendingin. Hasilnya sangat diperlukan untuk pembuatan inokulan/kompos plus selanjutnya yang akan digunakan kembali untuk revegetasi lahan marginal. Percobaan ini sangat penting dalam menunjang keberhasilan System organic farming selanjutnya yang sedang dilakukan di beberapa daerah di Indonesia seperti di daerah puncak, kawasan penyangga gunung salak, Wamena-Papua dan daerah lainnya.

2. METODOLOGI

2.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penyimpanan kompos plus dalam lemari pendingin dimulai pada tahun 2005 dan empat tahun kemudian (tahun 2008) kompos tersebut dianalisa kembali efektivitas bakteri yang terkandung di dalamnya. Tes tersebut meliputi penghitungan jumlah mikroba dan uji potensi pelarut fosfat mikroba dalam petridish, pengukuran pH dan aktivitas PMEase – asam dan basa dan pengukuran Fosfat Bebas. Tes-tes tersebut dilakukan di laboratorium Ekofisiologi, Bidang Mikrobiologi, Puslit Biologi, LIPI.

2.2. Penghitungan jumlah mikroba dan uji potensi pelarut fosfat mikroba dalam Petridish¹⁰⁾

Sepuluh gram kompos plus dari masing-masing kompos plus yang mengandung jenis – jenis bakteri (20 jenis bakteri) yang telah tersimpan 2 tahun dalam lemari pendingin dimasukkan ke 90 ml aquades steril dan dishaker selama 1 jam dengan kecepatan 120 rpm. Satu mili ekstrak dimasukkan dalam tabung berisi 9 ml aquadest steril, di kocok hingga homogen dan 1 mili dipindahkan ke tabung berikutnya, lakukan hal serupa hingga mencapai pengenceran 10⁻⁷. Kemudian sebanyak 0,2 ml ekstrak pengenceran (10⁻³, 10⁻⁵, 10⁻⁷) dimasukkan ke petridish steril dan tuangkan media selektif (Pikovskaya untuk bakteri pelarut

fosfat, Manitol ashby untuk Azotobacter , Okon untuk Azospirillum, serta Humic Acid Vitamin/HV dan Yeast Strach Agar/YSA untuk Actinomycetes), lalu diinkubasi selama 3-7 hari pada suhu 28oC. Jumlah populasi bakteri dari masing-masing media selektif dihitung menurut metode plate count (Rao, 1994). Koloni dari masing – masing mikroba (BPNS, BPNnS, BPF, dan

Actinomycetes) di transfer ke media pertumbuhan pikovskaya, yaitu: 10 g glukosa; 5 g Ca₃PO₄; 0,5 g (NH₄)₂SO₄; 0,2 g KCl; 0,1 g MgSO₄ 7H₂O; 0,01 g MnSO₄ H₂O; 0,5 g yeast ekstrak dan 0,01 g FeCl₃ 6H₂O pada pH 7 (Rao, 1994). Tujuannya dilakukan hal tersebut adalah untuk mengetahui aktivitas mikroba pelarut fosfat yang ditentukan berdasarkan pembentukan zona bening (holozone area) pada medium pikovskaya. Pengukuran yang dilakukan berupa ratio zona bening dengan membandingkan diameter zona bening dan diameter koloni setelah diinkubasi 7 hari pada temperatur ruang.

2.3. Pengukuran pH dan aktivitas PMEase – asam dan basa¹¹⁾

Asiditas kultur dan supernatan diukur secara langsung dengan menggunakan pH meter . Pengukuran aktivitas PME-ase dilakukan dengan cara : Larutan standar p-nitrofenol (0,1 gram p-nitrofenol dilarutkan dalam air suling, diencerkan sampai volume 100 mL dalam labu takar, yaitu larutan induk 1000 µg p-nitrofenol mL⁻¹). Dibuat larutan standar 20 µg p-nitrofenol mL⁻¹ dengan cara memipet 2 mL larutan induk ke dalam labu takar 100 mL, lalu ditambahkan air suling sampai tanda tera. Dipipet 0, 1, 2, 3, dan 4 mL larutan standar 20 µg p-nitrofenol mL⁻¹ kedalam tabung reaksi, diencerkan dalam air suling sampai volume 5 mL. Kemudian ditambah 1 mL kalsium klorida 0,5 M dan 4 mL natrium hidroksida 0,5 M. Diaduk sampai homogen, diukur absorbannya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 400 nm. Selanjutnya untuk cara

pengujian aktivitas fosfomonoesterase yaitu: Satu mL kultur cair mikroba dimasukkan dalam botol uji, ditambahkan 1 mL substrat p-nitrofenilfosfat 20 µg p-nitrofenol mL⁻¹ dan 4 mL buffer yang ber pH 6,5 untuk PMEase-asam dan ber pH 7,5 untuk PMEase-basa. Kemudian dikocok, ditutup, dan diinkubasi pada suhu 37°C selama 1 jam. Setelah inkubasi ditambahkan 1 mL CaCl₂ 0,5 M dan 4 mL NaOH 0,5 M, dikocok dan disaring. Dipipet 1 mL filtrat ke dalam tabung reaksi dan tambahkan 9 mL air suling, lalu diukur absorbansinya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 400 nm. Setiap contoh diulang 3 kali. Sebagai kontrol digunakan akuades steril.

2.4. Pengukuran Fosfat Bebas¹²⁾

Reagent yang digunakan dalam analisis fosfat bebas adalah :H₂SO₄ 5N = 14 mL H₂SO₄ diencerkan menjadi 100 mL dengan akuades (larutan A), 0,324 g (K(Sb O) C₄ H₄O₆.1/2 H₂O) dilarutkan dalam akuades sehingga volume menjadi 100 mL (larutan B), 4 g (NH₄)₂Mo₇O₂₄ dilarutkan dalam akuades sehingga volume menjadi 100 mL (larutan C), 1,76 g Asam Askorbat dilarutkan dalam akuades sehingga volume menjadi 100 mL (larutan D). Reagen tersebut dicampurkan dengan mengambil 10 mL larutan A + 1 mL larutan B + 3 mL larutan C + 6 mL larutan D, campuran tersebut kemudian dikocok hingga homogen. Selanjutnya 5 gram sampel disentrifuse selama 10 menit, kemudian kedalam 3 mL supernatan hasil sentrifugasi ditambahkan 0,5 mL campuran reagent (A+B+C+D) dan diinkubasi selama 15-30 menit. Fosfat bebas diukur dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 880 nm. Untuk standarisasi digunakan KH₂PO₄ yang dibuat berdasarkan ppm yang diinginkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dua puluh jenis mikroba A sampai T (Tabel 2) yang terkandung dalam inokulan

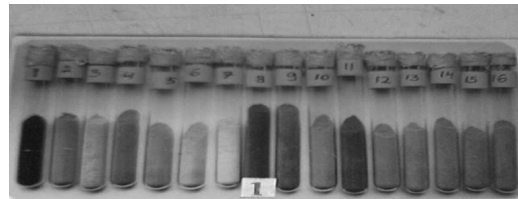
“AZZOFOR” (Gambar 1a) hasil isolasi dari tanah perakaran tanaman hutan di wamena (Gambar 1b), setelah tersimpan selama 4 tahun (bentuk inokulan) dalam lemari pendingin, menunjukkan penurunan jumlah populasi dari rata-rata 10⁹ sel/gram pada 0 tahun menjadi rata-rata 10⁷ (Tabel 2). Jumlah populasi tersebut masih termasuk dalam standar kemampuan mikroba sebagai agen biofertilizer¹³⁾, jadi masih dapat untuk digunakan sebagai pupuk hayati. Seluruh mikroba tersebut juga masih mampu melakukan solubilisasi kalsium fosfat seperti diindikasikan dengan terbentuknya zona bening (holozone) disekitar koloni yang sedang tumbuh (Tabel 2 dan Gambar 3). Holozone terjadi karena adanya pelarutan partikel halus dari Ca₂(PO₄)₂. Luasnya holozone juga mengindikasikan besar kecilnya kemampuan mikroba dalam melarutkan P terikat¹⁴⁾. Hasil pengamatan dari ke 20 mikroba tersebut, ternyata *Azotobacter indicus* (A), *Bacillus panthothenicus* (D), *Bacillus megaterium* (F), *Bacillus thuringiensis* (O), *Ceratia* sp. (R), *Chromobacterium lividum* (G), *Chromobacterium violaceum* (S), *Flavobacterium breve* (T), *Klebsiella aerogenes* (H), *Pseudomonas fluorescent* (J), *Rhizobium leguminosorum* (L), menghasilkan zona bening lebih luas dibandingkan bakteri pelarut fosfat dan penambat nitrogen yang lainnya, dan yang terendah adalah aktinomyces (*Streptomyces* sp./I).

Tabel 2. Penghitungan jumlah populasi mikroba pada inokulan yang tersimpan dan reaksi pelarutan fosfat yang ditandai dengan adanya pembentukan holozone [$\phi=1$ cm (+); 1,5 cm (++) ; 2 cm (+++)]

No	Kode	Bakteri yang dianalisa	Populasi mikroba (sel/ml)		Pembentukan holozon	
			0 Tahun (10^9)	4 Tahun (10^7)	0 Tahun	4 Tahun
1	B	<i>Azospirillum</i> sp	2	2	++	++
2	C	<i>Azotobacter chroococcum</i>	1	2	++	++
3	A	<i>Azotobacter indicus</i>	3	3	+++	+++
4	E	<i>Azotobacter paspalii</i>	3	2	++	++
5	D	<i>Bacillus panthothenticus</i>	3	3	+++	+++
6	F	<i>Bacillus megaterium</i>	3	3	+++	+++
7	O	<i>Bacillus thuringiensis</i>	3	3	+++	+++
8	K	<i>Cellulomonas flavigena</i>	1	2	++	++
9	R	<i>Ceratia</i> sp	1	3	+++	+++
10	G	<i>Chromobacterium lividum</i>	3	3	+++	+++
11	S	<i>Chromobacterium violaceum</i>	3	3	+++	+++
12	N	<i>Citrobacter</i> sp.	1	2	++	++
13	T	<i>Flavobacterium breve</i>	2	3	+++	+++
14	H	<i>Klebsiella aerogenes</i>	3	3	+++	+++
15	P	<i>Nitrososomonas mesentrica</i>	2	2	++	++
16	J	<i>Pseudomonas fluorescent</i>	3	3	+++	+++
17	L	<i>Rhizobium legurxinosarium</i>	3	3	+++	+++
18	Q	<i>Spaerotilus natans</i>	2	2	++	++
19	M	<i>Spirillum lipoferum</i>	1	2	++	++
20	I	<i>Streptomyces</i> sp.	0,2	0,1	+	+

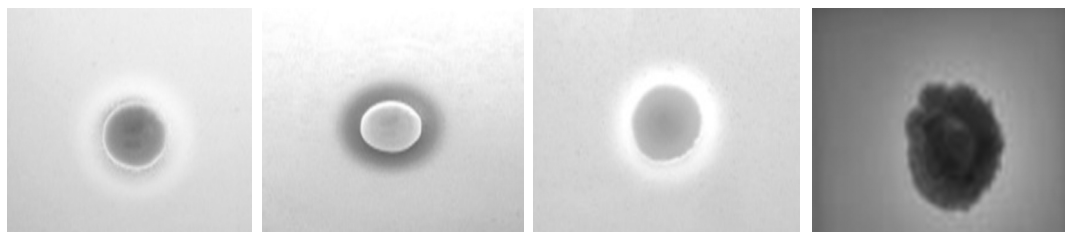


1a



1b

Gambar 1. Kemasan inokulan mikroba (AZZOFOR) yang telah tersimpan 4 tahun dalam lemari pendingin (1a) yang merupakan hasil isolasi dari tanah hutan Wamena (1b)



a

b

c

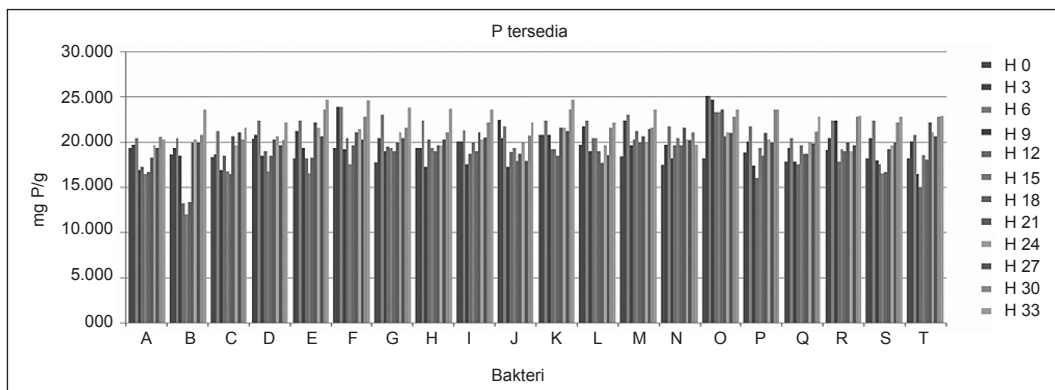
d

Gambar 2 Uji pelarutan fosfat oleh : mikroba BPNNs (a), BPNS (b), BPF (c), dan Aktinimisetes (d), ditandai oleh daerah bening (holozone area) disekitar koloni yang sedang tumbuh

Orthofosfat dihasilkan dari pelarutan kalsium. Konsentrasi tertinggi dicapai oleh mikroba E, F, K pada inkubasi hari ke 33 dan konsentrasi paling tinggi dicapai oleh mikroba O inkubasi hari ke 3 dan 6, sedangkan konsentrasi terendah dicapai oleh mikroba B inkubasi hari ke 15 (Gambar 3).

biotransformasi elemen makro dan mikro seperti Mn, Zn, Cu dan Mo. Pelarutan elemen-elemen tersebut berpengaruh terhadap fatogenitas mikroba patogen dan ketahanan tanaman terhadap penyakit¹⁶⁾.

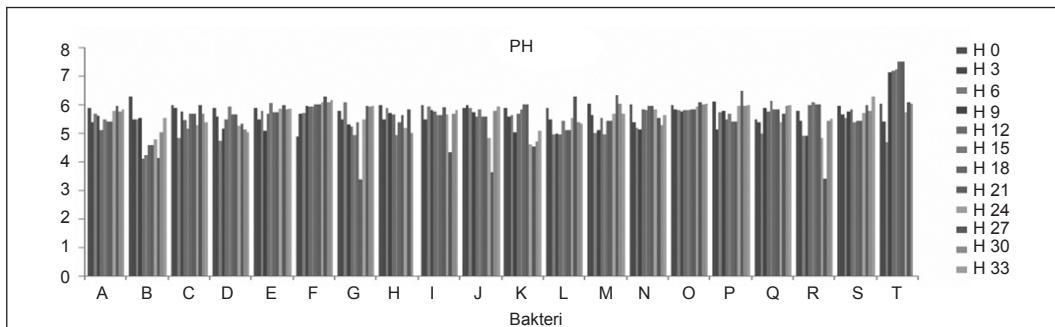
Fosfomonoesterase merupakan salah satu enzim fosfatase dari kelompok enzim



Gambar 3. Grafik pengukuran konsentrasi P tersedia selama inkubasi dari 0 hari (H0) sampai 33 hari (H33) pada 20 jenis mikroba pelarut fosfat

Proses pelarutan fosfat melibatkan perubahan pH, hal ini karena adanya sintesis senyawa organik yang dilepaskan kedalam medium, reaksi oksidasi reduksi, dan organik ligand kompetitor¹⁵⁾. Konsentrasi tertinggi (Gambar 3) dan disertai turunnya pH (Gambar 4), ini menunjukkan bahwa mikroba O baik digunakan sebagai agen biofertilizer. Penurunan pH merupakan salah satu penyebab terjadinya pelarutan Ca-fosfat menjadi orthophosphat. Kemasaman tanah juga berpengaruh kepada proses

hidrolase yang berfungsi menambat H₂O dalam ikatan esterfosfat¹⁷⁾. Enzim fosfatase merupakan kompleks enzim terpenting di dalam tanah yang berfungsi melarutkan fosfat organik menjadi fosfat tersedia bagi tanaman. Enzim tersebut akan dihasilkan secara dominan pada kondisi ketersediaan fosfor rendah. Enzim fosfomonoesterase (PMEase) terdiri dari PMEase-asam dan basa. Oleh karena di uji aktivitas PMEase-asam dan basanya dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6. Hal ini untuk



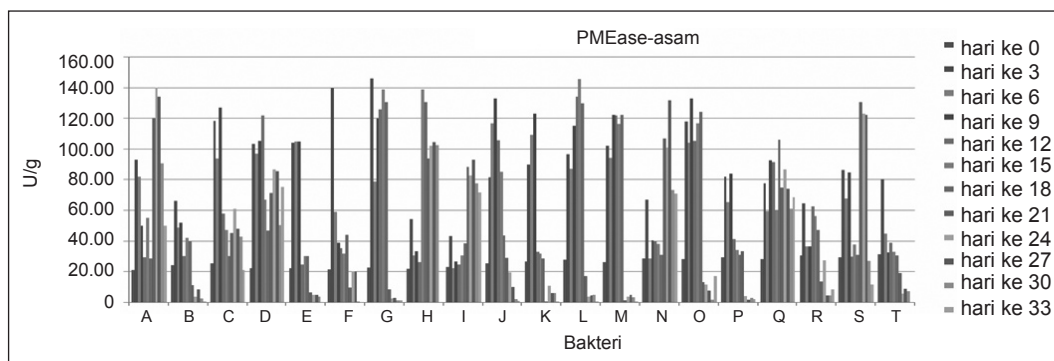
Gambar 4. Grafik dari kondisi pH selama inkubasi dari 0 (H0) sampai 33 (H33) hari pada 20 jenis mikroba pelarut fosfat

mengantisipasi mikroba yang diperoleh dari tanah asam atau pada mikroorganisme dan hewan tanah serta PMEase-basa pada tanah basa atau pada jaringan tanaman¹⁸).

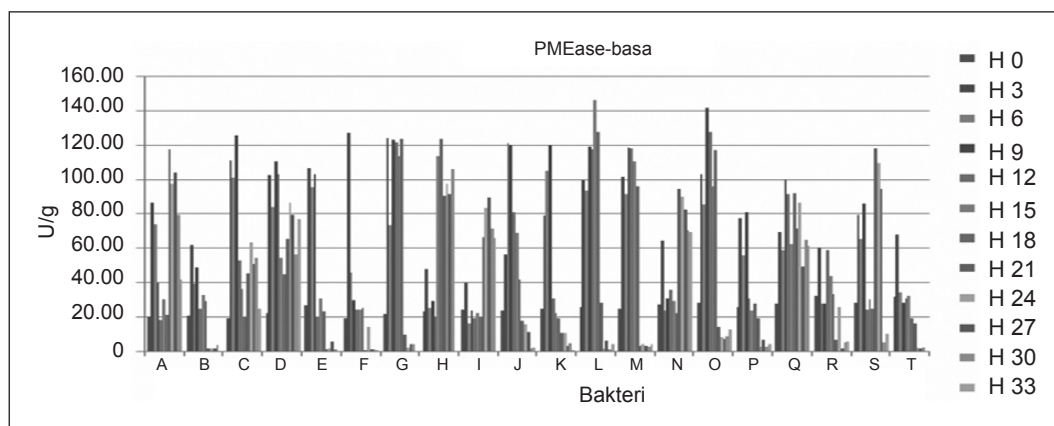
Aktivitas enzim PMEase-asam dan basa meningkat selama inkubasi. Peningkatan aktivitas tersebut dapat terinduksi ketika jumlah P terbatas dalam media tanam/pertumbuhan mikroba, juga mencirikan akan tingginya kebutuhan P¹⁹). Aktivitas PMEase-asam dan basa selama inkubasi 33 hari menghasilkan nilai tertinggi dan terendah (Tabel 3). Hasilnya menunjukkan bahwa jenis mikroba B, C, E, K, M, N, P, dan Q tidak pernah mencapai nilai tertinggi, sedangkan mikroba A, D, F, G, H, J, L, O, R, S, dan T mencapai nilai tertinggi selama inkubasi (0 hari – 33 hari). Mikroba I juga ternyata tidak

pernah mencapai nilai tertinggi dan nilainya selalu lebih rendah dibandingkan mikroba lain. Ini menunjukkan bahwa mikroba A, D, F, G, H, J, L, O, R, S, dan T dapat memecah ikatan ester dari fosfat inorganik sehingga dapat memecah ikatan ester pada senyawa organik fosfat. Fosfat dibebaskan dari fosfomonoester melalui hidrolisis secara enzimatis oleh fosfomonoesterase²⁰).

Glukosa yang terdapat dalam media pikovskaya selain digunakan mikroba untuk aktivitas PMEase asam dan basa juga akan terabsorpsi dan ditransfer ke dalam biomassa (Lampiran 1). Aktivitas konversi glukosa menjadi biomassa dikenal dengan nama “Yield Coefecient” berbeda pada masing – masing jenis mikroba²¹). Biomassa terbesar di capai oleh Mikroba F di hari ke 15



Gambar 5. Grafik aktivitas PMEase-asam selama inkubasi dari 0 hari (H0) sampai 33 hari (H33) pada 20 jenis mikroba pelarut fosfat



Gambar 6. Grafik aktivitas PMEase-basa selama inkubasi dari 0 hari (H0) sampai 33 hari (H33) pada 20 jenis mikroba pelarut fosfat

Tabel 3. Rekapitulasi Aktivitas PMEase-asam dan basa tertinggi dan terendah oleh mikroba selama inkubasi 33 hari

Hari ke	PMEase-asam		PMEase-basa	
	Tertinggi (Mikroba)	Terendah (Mikroba)	Tertinggi (Mikroba)	Terendah (Mikroba)
0	R,T	A	R	A,B,F
3	G	I	F	I
6	J	I,N	J	I,T
9	J,G,O	I	O	I,T
12	L	E	G,O	I
15	L	I,E	L	F,I,K,P,R,S,T
18	G,H	C,K	G,H,L	C,I,K,T
21	S	E,F,G,K,M	A,S	F
24	A	B,E,G,LM,P,T	S	B,E,G,L,M,P,T
27	A	E,G,K,LM,O,P,R	A	B,F,Q,T
30	H	B,E,F,G,J,M,O,P	H	E,F,J,L,T
33	D	B,E,F,H,J,K,L,M,T	D	B,E,F,G,H,K,T

sampai hari ke 33 dan mungkin akan lebih jika inkubasinya diteruskan. Sedangkan biomassa paling rendah dihasilkan oleh mikroba T di hari ke 6 dan meningkat kembali di hari berikutnya. Biomassa mikroba dihitung untuk menentukan keberhasilan suatu mikroba dalam pertumbuhan dan persaingan dengan mikroba lain dan ratio biomassa ini akan menunjukkan perbedaan fisiologi dari masing – masing jenis mikroba, bermanfaat juga untuk membantu menggolongkan jenis dalam proses identifikasi.

4. KESIMPULAN

Percobaan aktivitas enzim pelarutan fosfat oleh mikroba efektif dalam kompos plus yang diisolasi dari tanah hutan Wamena dan telah tersimpan selama 4 tahun pada lemari pendingin dapat disimpulkan bahwa penyimpanan tersebut tidak banyak mempengaruhi efektivitas mikroba dalam aktivitas pelarutan enzim fosfatase. Seluruh mikroba yang diuji kelayakannya sebagai agen biofertilizer yang mempunyai efektivitas tertinggi adalah: *Azotobacter indicus* (A), *Bacillus panthothenicus* (D), *Bacillus megaterium* (F), *Bacillus thuringiensis* (O), *Ceratia* sp. (R), *Chromobacterium lividum* (G), *Chromobacterium violaceum*

(S), *Flavobacterium breve* (T), *Klebsiella aerogenes* (H), *Pseudomonas fluorescent* (J), *Rhizobium legurxiniosarium* (L), dan terendah adalah *Streptomyces* sp.(I). Inokulan tersebut masih layak untuk digunakan membantu pertumbuhan tanaman di lahan marginal atau untuk merevegetasi lahan marginal dan juga untuk pertanian organik ramah lingkungan di daerah marginal dan pesisir pantai.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada HJD Latupapua dan Maman Rahmansyah sebagai pimpinan proyek Potensi Sumber Daya Alam Wamena - Papua, karena penelitian ini terlaksana atas biaya dari proyek tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

1. Widawati, S., suliasih, H.J.D. Latupapua and S. Arwan. 2005. Biodiversity of soil Microbes from Rhizospora at Wamena Biological Garden (WBiG), Jayawijaya, Papua. Biodiversitas (6) 1 : 6-11.
2. Suliasih, H.J.D. Latupapua, and S. Widawati. 2005. The effectiveness of Microbial Inoculant Originated

- from Wamena Biological Garden and Compost Augmentation to Stimulate the Growth of *Pterocarpus indicus* Jacq. *Gakuryoku* vol.XI (3):12-15.
3. Sudiana, I. M. 2005. Teknologi Inovatif Interaksi Mikroba akar dan Leguminosa Untuk mempercepat revegetasi Das Citarum. Laporan Akhir Program Penelitian dan Pengembangan IPTEK Riset Kompetitif LIPI Tahun Anggaran 2005 (Unpublish)
 4. Widawati S. 2005. Daya Pacu Aktivator Fungi Asal Kebun Biologi Wamena terhadap Kematangan dan Hara Kompos, serta kandungan Mikrobia Pelarut fosfat dan Penambat Nitrogen. *Biodiversitas* 6(4):238-241.
 5. Widawati, S., Suliasih and Syaifudin. 2002. The application of compost plus on the growth of *Orthosiphon aristatus*.L. *J.Biol.Indon.* 3 (3) : 245 – 253
 6. Arwan S. dan S. Widawati. 2005. Pengaruh Kompos dan Berbagai Pupuk Hayati Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Temu Lawak (*Curcuma xanthorrhiza*). *Jurnal Biologi Indonesia* III(9):371-378
 7. Widawati, S., Suliasih, and H.J.D. Latupapua, 2005. The Application of soil microbes from Wamena Biological Garden (WBiG) as biofertilizer on purple eggplant (*Solanum melongena* L.). *Gakuryoku* XI(3) :12-15 :20-24
 8. Widawati, S. dan suliasih.2006. Augmentasi bakteri pelarut fosfat (BPF) potensial sebagai pemacu pertumbuhan caysin (*Brasica caventis* Oed.) di tanah marginal. *Biodiversitas* 7(1):10-14.
 9. Widawati, S. dan Suliasih, 2008. Pengaruh Kompos yang Diperkaya Bakteri Pelarut Fosfat Terhadap Tanaman Kapri (*Pisum sativum* L.) dan Aktivitas Enzim Fosfatase dalam Tanah. Seminar Nasional. Pertemuan Ilmiah Tahunan Perhimpunan Mikrobiologi Indonesia. 22-23 Agustus 2008. UNSUD. Purwokerto.
 10. Rao, N.S.Subba. 1994. Mikrobiologi Tanah Dan Pertumbuhan Tanaman. Universitas Indonesia Press
 11. Schinner, F.E., E. Kandeler, R. Ohlinger, R. Margesin 1996. *Method in Soil Biology*. Berlin : Springer-Verlag
 12. Anderson, J.P.E. 1982. *Method of Soil Analysis*. Madison, Wisconsin
 13. Obaton, M. 1977. Effectiveness, Saprophytic and competitive Ability three properties of Rhizobium essential for in-creasing the yield of inoculated Leumes p: 127-132.
 14. Rachmiati, Y.1995. Phosphate solubilizing bacteria dari rizozfer tanaman dan kemampuannya dalam melarutkan phosphate. *Proseding Kongres Nasional VI HITI*, Jakarta, 12-15 Desember 1995.
 15. Cunningham, J. E., and C. Kuiack. 1992. Production of citric and oxalic acids and solubilization of calcium phosphate by *Penicillium bilaii*. *Appl. Environ. Microbiol.* 58:1451–1458.
 16. Altomare, C., W.A. Norvell, T. Bjorkman, and G.E. Harman. 1999. Solubilization of Phosphates and Micronutrient by the Plant-Growth-Promoting and Biocontrol Fungus *Trichoderma harzianum* Rifai 1295-22. *Applied and Environmental Microbiology* 65 (7): 2926-2933.
 17. Lehningger, A.L. 1990. *Dasar – dasar Biokimia*. Maggy Thenawijaya, penerjemah; Terjemahan dari : *Principle of Biochemistry*. Jakarta : Erlangga.

18. Schinner, F.E., Kandeler, R., Ohlinger, R., Margesin. 1996. *Method in Soil Biology*. Berlin : Springer-Verlag
19. Savin, M.C., H. Taylor, J.H. Görres, J.A. Amador. 2000. Seasonal variation in acid phosphatase activity as a function of landscape position and nutrient inputs. *Agronomy Abstract* 92:391
20. Ponmurugan, P., C. gopi. 2006. In vitro production of growth regulator and phosphatase activity by phosphate solubilizing bacteria. *African Journal of Biothecnology* 5(4):348-350.
21. Widawati S, A. Nurkanto dan I. M. Sudiana. 2008. Aktivitas pelarutan fosfat Aktinomisetes yang diisolasi dari Waigeo, Kepulauan Raja Ampat, Papua Barat. *Biodiversitas* 9(2):87-90.

Lampiran 1. Biomasa 20 jenis mikroba pelarut fosfat selama inkubasi dari 0 hari (H0) sampai 33 hari (H33)

Kode	Pengamatan biomasa bakteri (g)											
	Hari ke 0	Hari ke 3	Hari ke 6	Hari ke 9	Hari ke 12	Hari ke 15	Hari ke 18	Hari ke 21	Hari ke 24	Hari ke 27	Hari ke 30	Hari ke 31
A	0,04	0,09	0,02	0,02	0,04	0,06	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07
B	0,06	0,07	0,08	0,17	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03
C	0,07	0,07	0,07	0,06	0,03	0,02	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
D	0,07	0,09	0,09	0,10	0,07	0,09	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
E	0,09	0,12	0,13	0,13	0,10	0,10	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04
F	0,02	0,02	0,02	0,08	0,09	0,21**	0,21**	0,21**	0,21**	0,21**	0,21**	0,21**
G	0,08	0,07	0,08	0,08	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06
H	0,07	0,08	0,10	0,13	0,09	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
I	0,06	0,09	0,12	0,07	0,09	0,12	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09
J	0,05	0,03	0,05	0,09	0,08	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07
K	0,03	0,04	0,12	0,12	0,11	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12
L	0,05	0,07	0,08	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,0	0,07	0,07	0,07
M	0,04	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07
N	0,05	0,04	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
O	0,03	0,02	0,05	0,06	0,02	0,07	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08
P	0,04	0,07	0,12	0,16	0,02	0,14	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Q	0,08	0,04	0,08	0,09	0,08	0,03	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
R	0,05	0,02	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07
S	0,07	0,07	0,09	0,08	0,16	0,02	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
T	0,05	0,02	0,01*	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03

Kode A – T = Nama mikroba seperti pada Tabel 2 dan *
 = Biomasa terendah dan **
 = Biomasa Tertinggi