

**EFEKTIVITAS BAKTERI PELARUT FOSFAT DAN PUPUK P  
TERHADAP PERTUMBUHAN TANAMAN JAGUNG ( *Zea mays* L.)  
PADA TANAH MASAM**

**SKRIPSI**



Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Penyelesaian Program Sarjana Sains  
Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Jember

Oleh :

***Mohammad Mujib***

**NIM. 971810401059**



Asal	Hadiah	Shiloh
	<del>Pembelian</del>	581-1
Terima No:	30 SEP 2002	MUJ
No. Induk :		e

Idaw C. /

**JURUSAN BIOLOGI  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
JULI, 2002**

## MOTTO

Siapa yang giat berusaha maka usahanya itu untuk dirinya sendiri

(Al Ankabut:6)

Tercapainya suatu tujuan harus didahului oleh adanya usaha, namun jangan dilupakan bahwa usaha tersebut akan tiada guna bila tanpa disertai rasa cinta dan keikhlasan

(Mujib)

Hanya cinta yang bisa merubah jalan hidup ini jadi lebih berarti

(Dhani)

Kekalahan dalam suatu hal mungkin terpaksa harus diterima, tapi kemenangan dalam hal lain merupakan suatu kewajiban

(Mujib)

### DEKLARASI

Skripsi ini berisi hasil penelitian mulai bulan Juli 2001 sampai dengan bulan Oktober 2001 di Laboratorium Mikrobiologi, Laboratorium Botani Jurusan Biologi FMIPA UNEJ dan Laboratorium Tanah, FAPERTA UNEJ. Bersama ini saya menyatakan bahwa sebagian dana penelitian ini berasal dari Proyek Berbagai Bidang Ilmu (BBI) dan isi skripsi ini merupakan hasil pekerjaan saya sendiri.

Jember, Juli 2002

Mohammad Mujib



## ABSTRAK

Mohammad Mujib. Juli 2002. Efektivitas Bakteri Pelarut Fosfat dan Pupuk P terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung (*Zea mays* L.) pada Tanah Masam.

Skripsi, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember.

DPU: Dra. Dwi Setyati, M.Si.

DPA: Sattya Arimurti, S.P., M.Si.

Kendala utama ketidaksuburan tanah mineral masam adalah mempunyai kandungan Al, Fe, Mg dan Zn tinggi yang bersifat racun bagi tanaman jagung. Sedangkan efisiensi pemupukan fosfat yang sangat rendah ( $\pm 10-15\%$ ) pada sejumlah pupuk P yang diberikan karena adanya fiksasi P oleh Al, Fe, Mg dan Zn. Untuk itu perlu dilakukan studi mengenai keefektifan pemupukan pupuk P dan bakteri pelarut fosfat (BPF) terhadap pertumbuhan tanaman jagung. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan pola faktorial yang terdiri dari 2 faktor yaitu isolat bakteri pelarut fosfat dan pupuk P. Faktor pertama adalah jenis isolat (I) yang terdiri dari 4 aras yaitu: tanpa isolat ( $I_0$ ), *P. putida* ( $I_1$ ), *P. aeruginosa* ( $I_2$ ) dan isolat gabungan *P. putida* dan *P. aeruginosa* ( $I_3$ ), sedangkan faktor kedua adalah sumber pupuk P yang terdiri dari 3 aras yaitu: tanpa pupuk P ( $P_0$ ), SP-36 ( $P_1$ ) dan *rock fosfat* ( $P_2$ ). Dalam pengolahan data digunakan uji ANOVA dan diteruskan uji Duncan pada taraf kepercayaan 5% kalau pada ANOVA berbeda nyata. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa isolat *P. putida*, *P. aeruginosa* dan gabungan (*P. putida* dan *P. aeruginosa*) baik dengan pupuk SP-36 maupun *rock fosfat* dapat meningkatkan kadar P trubus, demikian juga pada penggunaan *rock fosfat* tanpa isolat BPF mampu meningkatkan kadar P trubus. Sedangkan *P. putida* dan pupuk SP-36 ( $P_1I_1$ ) dan *P. aeruginosa* dan pupuk SP-36 ( $P_1I_2$ ) mampu meningkatkan tinggi tanaman pada 10 hari setelah tanam (HST). Pada perlakuan BPF dengan pupuk maupun tanpa pupuk fosfat tidak berpengaruh terhadap berat basah trubus, tetapi dapat meningkatkan berat kering trubus. Berat basah akar dapat ditingkatkan dengan perlakuan pupuk SP-36 dan *P. Putida*, dan luas daun dapat meningkat dengan perlakuan *P. putida* yang dikombinasi dengan SP-36 maupun *rock fosfat*. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan BPF mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman pada tanah masam. Jenis BPF *P. putida* lebih efektif dari *P. aeruginosa* maupun gabungannya. Perlakuan pupuk P mampu meningkatkan pertumbuhan hanya pada parameter tinggi tanaman serta kadar P trubus, tetapi tidak ada jenis pupuk P yang paling baik. Perlakuan kombinasi pupuk P dengan BPF dapat meningkatkan pertumbuhan pada parameter berat kering trubus dengan pengaruh yang sama baiknya antar semua kombinasi perlakuan.

Kata kunci: BPF, *P. putida*, *P. aeruginosa*, pupuk fosfat, tanah masam dan pertumbuhan jagung

**HALAMAN PENGESAHAN**

Skripsi ini diterima oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Jember pada:

Hari : Senin

Tanggal : 30 SEP 2002

Tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Jember

Tim Penguji

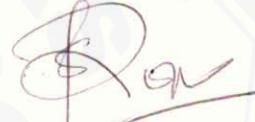
Ketua



(Dra. Dwi Setyati, M.Si.)

NIP. 131 945 801

Sekretaris



(Sattya Arimurti, S.P., M.Si.)

NIP. 132 240 149

Anggota I



(Drs. Sutoyo, M.Si.)

NIP. 131 993 435

Anggota II



(Ir. Sumadi, M.S.)

NIP. 130 368 784

Mengesahkan

Dekan FMIPA UNEJ



(Ir. Sumadi, M.S.)

NIP. 130 368 784

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberi kekuatan untuk menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada Dra. Dwi Setyati, M.Si. sebagai Dosen Pembimbing Utama, Sattya Arimurti, S.P., M.Si. sebagai Dosen Pembimbing Anggota serta Drs. Sutoyo, M.Si. dan Ir. Sumadi, MS. yang telah membimbing penulis dengan penuh kesabaran sampai terbentuknya laporan ini.

Semua pihak yang telah memberi kontribusi dalam penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Penulis ucapkan terima kasih kepada Drs. Siswanto, M.Si. selaku ketua Laboratorium Mikrobiologi, Jurusan Biologi FMIPA dan Ir. Gatot Sukarno, M.P selaku ketua Laboratorium Kimia Tanah, Jurusan Ilmu Tanah FAPERTA, Universitas Jember yang telah memberi ijin penggunaan fasilitas yang ada di laboratorium tersebut. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada para teknisi yang telah membantu menyiapkan bahan dan peralatan laboratorium. Kepada rekan-rekan seangkatan penulis ucapkan terima kasih atas segala bantuannya.

Akhirnya penulis berharap skripsi ini dapat memberi kontribusi terhadap kemajuan ilmu pengetahuan khususnya bidang ilmu mikrobiologi dan fisiologi tumbuhan.

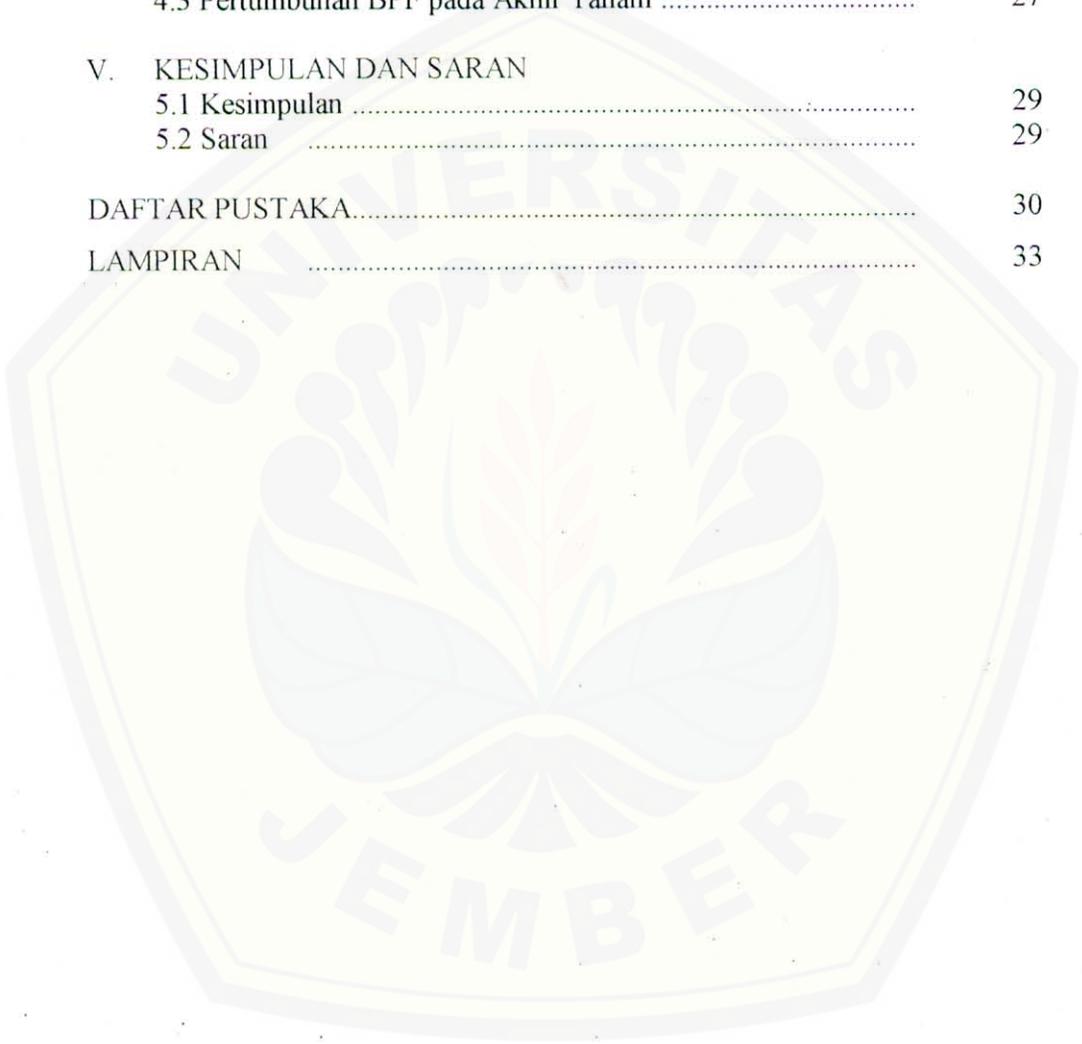
Jember, Juli 2002

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN MOTTO .....	ii
HALAMAN DEKLARASI .....	iii
ABSTRAK .....	iv
HALAMAN PENGESAHAN .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR TABEL .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	x
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan dan Manfaat .....	3
1.3.1 Tujuan .....	3
1.3.2 Manfaat .....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tanaman Jagung pada Tanah Masam .....	4
2.2 Hipotesis .....	8
III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	9
3.2 Alat dan Bahan .....	9
3.3 Rancangan Percobaan .....	9
3.4 Pelaksanaan Penelitian .....	10
3.4.1 Pengambilan dan Penyiapan Contoh Tanah .....	10
3.4.2 Analisis Sifat Kimia Tanah .....	10
3.4.3 Sterilisasi Tanah Sebagai Media Tanam .....	11
3.4.4 Peremajaan Isolat <i>P. putida</i> dan <i>P. aeruginosa</i> .....	11
3.4.5 Perhitungan Isolat <i>P. putida</i> dan <i>P. aeruginosa</i> .....	11
3.4.6 Uji Sinergisme (Gabungan) .....	12
3.4.7 Pemiakan Isolat <i>P. putida</i> dan <i>P. aeruginosa</i> dalam Medium Pembawa (Kompos) .....	12
3.4.8 Perhitungan Isolat <i>P. putida</i> dan <i>P. aeruginosa</i> pada Medium Kompos .....	12
3.4.9 Inokulasi Isolat <i>P. putida</i> dan <i>P. aeruginosa</i> ke dalam Tanah .....	12

3.4.10	Penanaman Benih Jagung .....	13
3.4.11	Pemanenan .....	13
3.4.12	Parameter Yang Diamati .....	13
3.4.13	Analisis P Jaringan Tanaman .....	14
3.5	Analisis Data .....	15
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1	Sifat Kimia Tanah Masam .....	16
4.2	Pertumbuhan Tanaman Jagung .....	17
4.3	Pertumbuhan BPF pada Akhir Tanam .....	27
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1	Kesimpulan .....	29
5.2	Saran .....	29
	DAFTAR PUSTAKA.....	30
	LAMPIRAN .....	33



DAFTAR TABEL

Nomor	<u>Teks</u>	Halaman
1.	Sifat Kimia Tanah Masam .....	16
2.	Pengaruh Pemberian Pupuk P SP-36 dan <i>Rock fosfat</i> serta BPF <i>P. putida</i> dan <i>P. aeruginosa</i> terhadap Tinggi Tanaman ...	18
3.	Pengaruh Pupuk P SP-36 dan <i>Rock fosfat</i> serta BPF <i>P. putida</i> dan <i>P. aeruginosa</i> terhadap Berat Basah, Berat Kering Trubus, Berat Basah Akar dan Berat Kering Akar .....	19

Lampiran

1.	Perhitungan Jumlah isolat BPF dan kompos yang diinokulasikan ke dalam tanah .....	34
2.	Sidik Ragam Kadar P Trubus .....	34
3.	Sidik Ragam Tinggi Tanaman 10 HST .....	35
4.	Sidik Ragam Tinggi Tanaman 17 HST .....	35
5.	Sidik Ragam Tinggi Tanaman 24 HST .....	36
6.	Sidik Ragam Tinggi Tanaman 31 HST .....	36
7.	Sidik Ragam Tinggi Tanaman 38 HST .....	37
8.	Sidik Ragam Tinggi Tanaman 45 HST .....	37
9.	Sidik Ragam Berat Basah Trubus .....	38
10.	Sidik Ragam Berat Kering Trubus .....	38
11.	Sidik Ragam Berat Basah Akar .....	39
12.	Sidik Ragam Berat Kering Akar .....	39
13.	Sidik Ragam Luas Daun .....	40
14.	Komposisi Medium PCA ( <i>Plate Count Agar</i> ).....	41
15.	Komposisi Medium NB ( <i>Nutrient Broth</i> ).....	41
16.	Komposisi Medium <i>Pikovskaya</i> .....	41
17.	Kriteria Penilaian Sifat Kimia Tanah (Sarief, 1989).....	42

DAFTAR GAMBAR

Nomor	<u>Teks</u>	Halaman
1.	Pengaruh Pemberian Pupuk P SP-36 ( $P_1$ ), <i>Rock fosfat</i> ( $P_2$ ) dan BPF <i>P. putida</i> ( $I_1$ ), <i>P. aeruginosa</i> ( $I_2$ ) serta kombinasinya terhadap Kadar P Trubus .....	17
2.	Pengaruh Pemberian Pupuk P SP-36 ( $P_1$ ), <i>Rock fosfat</i> ( $P_2$ ) dan BPF <i>P. putida</i> ( $I_1$ ), <i>P. aeruginosa</i> ( $I_2$ ) serta kombinasinya terhadap Luas Daun .....	20
<u>Lampiran</u>		
1.	Kurva Pertumbuhan (a) <i>P. putida</i> dan (b) <i>P. aeruginosa</i> pada Media Kompos.....	33
2.	Kenampakan Tinggi Tanaman Jagung Karena Pengaruh Pemberian Pupuk P SP-36 dan Rock fosfat serta BPF <i>P. putida</i> dan <i>P. aeruginosa</i> .....	40



## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam era pembangunan yang berencana sejak 1969 telah ditempuh berbagai usaha untuk meningkatkan produksi pertanian, khususnya tanaman pangan (Suryanto, 1994). Usaha tersebut dilakukan sebagai upaya untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri maupun permintaan luar negeri. Pada tahun 1989-1993, rata-rata volume ekspor jagung sebesar 198.114,4 ton/tahun dan rata-rata peningkatan kebutuhan dalam negeri mencapai 9,6% per tahun, sedangkan rata-rata peningkatan produksi hanya 1,1% per tahun (Adisarwanto dan Widyastuti, 2000). Salah satu usaha yang telah dilakukan untuk memenuhi kebutuhan yang semakin meningkat tersebut adalah perluasan areal penanaman yang di Indonesia sebagian besar merupakan tanah masam (Suryanto, 1994).

Tanah masam banyak dijumpai di wilayah beriklim tropika basah, termasuk Indonesia. Tanah tersebut umumnya termasuk podsolik, ultisol, oxisols dan spodosol, masing-masing sekitar 47,5, 18,4, 5,0 dan 56,4 juta ha atau seluruhnya sekitar 67% dari luas total tanah di Indonesia (Nursyamsi, dkk., 1996). Luasnya tanah masam tersebut sebenarnya mempunyai potensi yang besar untuk pengembangan usaha pertanian, tetapi sampai sekarang masih belum dapat dimanfaatkan secara maksimal mengingat beberapa kendala yang terdapat pada tanah masam.

Kendala utama dari ketidaksuburan tanah mineral masam selain pH yang rendah adalah kandungan Al, Fe, Mg dan Zn tinggi yang bersifat racun bagi tanaman, khususnya bagi tanaman jagung (Widawati, 1999). Tingginya kandungan unsur-unsur tersebut akan berbahaya bagi akar dan menghambat pertumbuhan akar serta translokasi P dan Ca ke bagian atas tanaman (Sanchez, 1976).

Salah satu hara esensial yang diperlukan tanaman untuk pertumbuhannya adalah fosfor dalam bentuk fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Fosfat merupakan hara makro kedua setelah nitrogen yang sangat dibutuhkan oleh tanaman. Permasalahan fosfat di

dalam tanah adalah keberadaannya yang tidak cukup tersedia bagi tanaman, walaupun di dalam tanah kandungan fosfatnya cukup tinggi (Setiawati, 1995).

Fosfat dalam tanah merupakan hara tidak mobil, sebagian terikat oleh partikel tanah, sebagian sebagai P-organik dan hanya sedikit dalam bentuk tersedia bagi tanaman. Pada tanah-tanah masam, efisiensi pupuk P umumnya sangat rendah, hanya sekitar 10-15% dari sejumlah pupuk P yang diberikan (Barber dalam Nursyamsi dkk., 1996), hal ini disebabkan adanya fiksasi P oleh unsur-unsur Al, Fe, Mg dan Zn yang ada dalam tanah.

Ketersediaan P bagi tanaman dapat ditingkatkan dengan pengaturan pH tanah, misalnya dengan pengapuran dan penambahan mikroorganisme pelarut fosfat (Tisdale *et al.*, 1985). Usaha ini dilaporkan dapat meningkatkan ketersediaan P bagi tanaman. Menurut Nurhayati dan Ruhaimah (1989), pemberian kapur nyata dapat meningkatkan produksi kedelai. Sedangkan penggunaan pupuk hayati (inokulan tunggal *Pseudomonas* sp) mampu meningkatkan ketersediaan hara dan meningkatkan hasil tanaman hingga 20%-100%, serta dapat menekan pemakaian pupuk buatan dan meningkatkan efisiensi pemupukan (Simarmata, 1995). Menurut Banik dan Dey (1982) bahwa pada umumnya mikroorganisme tanah dapat melarutkan fosfat inorganik tak larut di dalam tanah dengan mensekresi asam organik. Dengan demikian pemupukan P akan lebih efektif jika pada tanah ditambahkan bakteri pelarut fosfat.

Bakteri pelarut fosfat (BPF) seperti *Bacillus* sp dan *Pseudomonas* sp merupakan mikroba tanah yang mempunyai kemampuan melarutkan P tidak tersedia menjadi tersedia (Subba-Rao, 1982; Widawati, 1999). Penguraian bahan organik secara mikrobiologi yang dilakukan mikroba tersebut dapat melepaskan ikatan nutrisi di dalam sisa bahan organik, sehingga menjadi bentuk yang tersedia bagi tanaman. Namun hanya sebagian kecil dari total P dalam tanah yang tersedia bagi tanaman, kebanyakan P terikat dalam bentuk Al-fosfat atau Fe-fosfat. BPF mampu mengekstraksi P dari ikatannya dengan Al dan Fe. Hal ini terjadi karena bakteri tersebut mensekresi asam-asam organik yang dapat membentuk kompleks stabil dengan kation-kation pengikat P di dalam tanah dan asam-asam organik tersebut akan menurunkan pH dan memecahkan ikatan pada beberapa bentuk

senyawa fosfat sehingga akan meningkatkan ketersediaan fosfat dalam larutan tanah (Subba-Rao, 1982).

## 1.2 Rumusan Masalah

Masalah-masalah yang dihadapi dalam penelitian ini dapat dirumuskan: Bagaimanakah efektivitas bakteri pelarut fosfat (BPF) *Pseudomonas putida* dan *Pseudomonas aeruginosa* terhadap pertumbuhan tanaman jagung pada tanah masam dengan pemberian pupuk SP-36 dan batuan fosfat?

## 1.3 Tujuan dan Manfaat

### 1.3.1 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui efektivitas BPF *Pseudomonas putida* dan *Pseudomonas aeruginosa* terhadap pertumbuhan tanaman jagung pada tanah masam dengan pemberian pupuk SP-36 dan batuan fosfat.

### 1.3.2 Manfaat

Penulis berharap hasil dari penelitian ini akan memberikan wawasan lebih jauh terhadap pemanfaatan bakteri pelarut fosfat (*Pseudomonas putida* dan *Pseudomonas aeruginosa*) sebagai pupuk hayati yang ramah lingkungan dan aman digunakan dalam meningkatkan efisiensi pemupukan fosfat pada tanah masam. Selain itu, diharapkan tanah masam di Indonesia dapat dimanfaatkan secara optimal sehingga dapat memenuhi kebutuhan pangan yang semakin meningkat.



## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tanaman Jagung pada Tanah Masam

Tanaman jagung dapat tumbuh baik pada hampir semua jenis tanah (Suprpto, 1990; Rukmana, 1997). Jagung dapat tumbuh baik pada tanah yang gembur dan kaya humus. Tanah yang padat serta kuat menahan air tidak baik ditanami jagung, karena pertumbuhan akarnya kurang baik atau akarnya akan menjadi busuk. Tanah-tanah berpasir juga dapat ditanami jagung dengan pengelolaan air yang baik dan penambahan pupuk organik (pupuk kandang ataupun kompos). Demikian pula tanah-tanah masam, misalnya tanah grumusol, dapat ditanami jagung dengan pertumbuhan yang normal bila aerasi dan drainase tanah diatur dengan baik (Rukmana, 1997).

Tanah mineral masam dapat terbentuk akibat pelapukan yang intensif dan disertai dengan pencucian yang kuat. Keadaan ini biasa terjadi pada tanah-tanah di daerah yang memiliki curah hujan yang tinggi (Soepardi, 1983). Pelapukan yang intensif akan membuat tanah kehilangan status utama mineral-mineral mudah lapuk dan kaya basa, sedangkan pencucian yang kuat tidak banyak memberi kesempatan pada kation-kation basa hasil pelapukan untuk tinggal lebih lama di daerah pelapukan. Adapun yang tertinggal di daerah pencucian tersebut adalah mineral-mineral sesquiodksida seperti gibsite ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) yang relatif mudah larut sebagai sumber  $\text{Al}^{3+}$ . Pada keadaan demikian maka larutan tanah menjadi masam dan hidrogen serta ion aluminium secara nyata memenuhi daerah pertukaran koloid tanah (Blair, dalam Setiawati 1995).

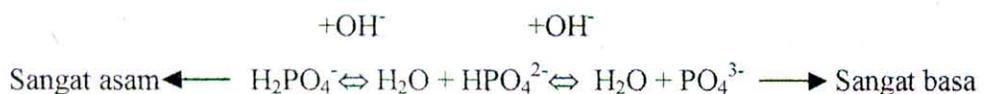
Ciri utama dari tanah mineral masam menurut Sanchez (1976) adalah:

- a. kahat akan unsur fosfat karena penyematan P yang tinggi
- b. keracunan Al, Fe dan Mn
- c. kahat akan unsur Ca, Mg, K, Mo, Zn dan Cu
- d. kapasitas tukar kation tanah rendah
- e. kejenuhan basa rendah.

Lebih jauh Sanchez (1976), mengungkapkan kendala utama dari ketidaksuburan tanah mineral masam selain pH yang rendah adalah keracunan aluminium. Tingkat aluminium yang tinggi dalam larutan tanah secara langsung berbahaya bagi akar dan menghambat pertumbuhan akar serta translokasi P dan Ca ke bagian atas tanaman. Menurut Black (dalam Setiawati, 1995) kelarutan aluminium dalam tanah sangat bergantung pada pH tanah. Jumlah aluminium dapat ditukar (Al-dd) akan kurang dari 1 me/100 gr tanah jika pH tanah lebih besar dari 5,5, akan tetapi aluminium akan meningkat secara tajam jika pH tanah di bawah 5,5. Kejenuhan Al akan kurang dari 10% jika pH tanah 5,5. Pada pH di bawah 5,5 kejenuhan Al dapat mencapai lebih dari 40%.

Kendala utama pada tanah masam selain keracunan Al adalah kahat akan hara P, dimana fosfat pada tanaman antara lain berperan dalam pembentukan RNA dan berlangsungnya sintesis protein. Pembentukan protein tersebut akan merangsang pertumbuhan vegetatif (Mengel dan Kirkby, 1987). Dengan demikian ketersediaan fosfat bagi tanaman sangat bergantung pada kandungan fosfat dalam tanah.

Kandungan fosfat pada berbagai jenis tanah sangat bervariasi, demikian pula kemampuan tanah dalam menyediakan fosfat bagi tanaman. Ketersediaan fosfat dalam tanah sangat dipengaruhi oleh reaksi tanahnya (Blair dalam Setiawati, 1995). Menurut Rinsema (1983), fosfat di dalam tanah sebagian besar berada dalam bentuk yang sulit larut. Walaupun diperlukan dalam jumlah banyak, konsentrasi dan ketersediaan P di dalam tanah umumnya relatif rendah, kecuali dalam tanah yang berkembang dari bahan induk fosfatik (Celi *et al.*, 2000). Ketersediaan P bagi tanaman dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya pH tanah diyakini paling berpengaruh (Salam dkk., 1997). Ketersediaan fosfat untuk tanaman ditentukan oleh bentuk ion dari unsur ini. Selanjutnya bentuk ion ditentukan oleh pH larutan dimana ion itu terdapat. Jika larutan asam, maka hanya terdapat ion  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ . Jika pH naik, yang dominan mula-mula ion  $\text{HPO}_4^{2-}$  dan akhirnya ion  $\text{PO}_4^{3-}$ . Persamaan berikut menunjukkan hal ini:



Pada pH sedang terdapat dua macam ion fosfat yang tersedia, yang artinya jika pH larutan 6,0 terdapat ion  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  dan ion  $\text{HPO}_4^{2-}$ . Pada umumnya ion  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  dianggap agak lebih mudah tersedia bagi tanaman daripada ion  $\text{HPO}_4^{2-}$ . Walaupun demikian, dalam tanah saling keterkaitan ini juga dipengaruhi oleh ada atau tidak adanya ion atau senyawa lain. Misal adanya besi dan aluminium dapat larut dalam keadaan sangat asam atau kalsium pada nilai pH tinggi, akan nyata efeknya pada tersedianya fosfat (Buckman dan Brady, 1982).

Fosfat dalam tanah dibedakan dalam P-organik dan P-inorganik. Keberadaan fosfat organik tersebut dapat mempengaruhi aktivitas ion  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ . Namun, kinetika pelepasan ion  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  dari P-organik berjalan lebih lambat dari pada pelepasan atau pelarutan ion tersebut dari padatan inorganik. Peranan P organik dalam menopang aktivitas ion P di dalam larutan tanah sangat tergantung reaksi biokimia yang berkaitan dengan aktivitas akar tanaman atau mikroorganisme (Salam dkk., 1997). Sedangkan bentuk inorganik terdapat sebagai P-larutan dan P-fasa padatan, yang dibedakan dalam 3 kategori, yaitu:

1. bentuk yang cepat mengadakan keseimbangan dengan P-larutan
2. bentuk yang sedang/lambat mengadakan keseimbangan dengan P-larutan
3. bentuk yang tidak mengadakan keseimbangan dengan P-larutan, karena tanpa reaksi balik seperti P-organik dan P-mineral primer (Setiawati, 1995).

Sumber utama fosfat organik adalah pupuk kandang, pupuk hijau dan kompos sedang sumber utama fosfat inorganik adalah dalam bentuk misalnya mineral apatit. Bentuk fosfat inorganik dapat dibedakan menjadi beberapa fraksi yaitu:

- a. Al-P, merupakan bentuk P inorganik yang tersemat oleh ion Al dalam larutan tanah sehingga merupakan fosfat yang tidak tersedia bagi tanaman. Umumnya terbentuk dalam suasana masam, contohnya:  $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{Al}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$ .
- b. Fe-P, merupakan bentuk yang tersemat oleh ion Fe dalam bentuk oksida maupun hidroksida Fe dalam larutan tanah, terbentuk dalam suasana masam, contohnya:  $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , dan  $\text{Fe}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$ .

Jumlah dan susunan fraksi tersebut diatas di dalam tanah jumlahnya bervariasi tergantung pada iklim, pH tanah, kandungan bahan organik, bahan induk, jenis tanaman yang diusahakan dan sistem pemupukan yang dilakukan (Setiawati, 1995).

Tanah yang terbaik untuk pertumbuhan tanaman jagung adalah tanah yang bertekstur lempung (lempung berdebu ataupun lempung berpasir), dengan struktur tanah remah, aerasi dan drainasenya baik, serta cukup air. Air banyak dibutuhkan jagung pada stadium pembentukan bunga dan pembentukan biji. Jagung membutuhkan air berkisar antara 85-100 mm dalam satu bulan (Rukmana, 1997; Muhadjir, 1998). Sedangkan tanah-tanah yang kekurangan air dapat menimbulkan penurunan produksi jagung hingga 15%.

Tanaman jagung hibrida (pioner) dapat tumbuh pada tingkat kesuburan yang rendah walaupun tingkat keasamannya dibawah pH 5 (Adisarwanto dan Widyastuti, 2000). Indonesia mempunyai lahan kering yang sebagian besar adalah tanah Podsolik Merah Kuning (PMK) yang pH-nya rata-rata rendah (masam). Bila lahan kering dengan tingkat pH kurang dari 5,5 dialokasikan untuk penanaman jagung, maka perlu dilakukan pengapuran terlebih dahulu, namun untuk tanaman jagung yang toleran terhadap pH kurang dari 5,5 dapat tumbuh dengan baik walaupun tanpa dilakukan pengapuran (Rukmana, 1997).

Pertumbuhan tanaman jagung akan lebih baik dengan adanya mikroorganisme pelarut fosfat yang mampu hidup pada tanah masam karena keberadaannya dalam membantu penyediaan hara yang sulit larut, khususnya P. Penguraian bahan organik secara mikrobiologi dapat melepaskan ikatan nutrisi di dalam sisa bahan organik, sehingga menjadi bentuk tersedia bagi tanaman. Hal ini dilakukan oleh mikrob tanah (bakteri dan jamur) yang berpotensi sebagai pupuk biologi yang dapat menghasilkan macam-macam substrat secara langsung atau tidak langsung sehingga dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Seperti diketahui bahwa secara fungsional bahan organik dan anorganik yang dilepaskan tanaman ke dalam lingkungan berupa eksudat, dimanfaatkan oleh mikrob tanah. Sebaliknya mikrob tanah berperan penting dalam mensintesa dan melepaskan

kembali zat hara ke dalam bentuk, bahan organik yang tersedia bagi tanaman (Widawati, 1999).

Beberapa spesies bakteri yang mempunyai kemampuan melarutkan fosfat tidak tersedia menjadi tersedia adalah *Pseudomonas putida* dan *Pseudomonas aeruginosa*. *P. putida* merupakan bakteri Gram negatif yang mempunyai bentuk batang lurus atau batang agak melengkung dan mempunyai flagel untuk pergerakannya (Holt, et al., 1994). *P. putida* mempunyai beberapa strain yang berbeda dan mempunyai pertumbuhan koloni yang berbeda pula, sehingga dengan strain yang berbeda tersebut *P. putida* mempunyai kemampuan melarutkan fosfat berbeda pula. *P. putida* akan tumbuh dengan baik jika ditumbuhkan pada medium asli dan medium *Pikovskaya* modifikasi. Kemampuan untuk melarutkan fosfat pada medium padat dapat diketahui dengan menggunakan medium modifikasi yang ditambahkan indikator *bromophenol blue*. Warna kuning disekitar koloni pada medium modifikasi ditunjukkan lebih cepat daripada zona bening pada medium asli. Koloni *P. putida* akan dikelilingi warna kuning dalam periode inkubasi 24 jam (Premono, et al., 1994).

Jenis lain dari *Pseudomonas* sp adalah *Pseudomonas aeruginosa*. *P.aeruginosa* merupakan bakteri Gram negatif dan mempunyai bentuk batang lurus atau batang sedikit bengkok tetapi tidak helik, dengan ukuran 0,5 – 1,0 x 1,5 – 5,0 µm. Flagel yang dimiliki menyebabkan mereka mempunyai sifat motil, jarang sekali mereka tidak motil. Sebagian besar spesies tersebut tidak membutuhkan faktor pertumbuhan organik, bersifat katalase positif dan kemoorganotrophic, beberapa spesies fakultatif kemolithotrophik dan dapat menggunakan H<sub>2</sub> atau CO sebagai sumber energi (Holt, et al, 1994). *P. aeruginosa* mempunyai distribusi yang luas di alam, beberapa spesies bersifat patogen pada manusia, hewan dan tanaman (Holt, et al., 1994; Sheff, 2000).

## 2.2 Hipotesis

Pemberian bakteri pelarut fosfat (BPF) *Pseudomonas* sp. pada tanah masam dapat meningkatkan pertumbuhannya tanaman, khususnya tanaman jagung (Subba-Rao, 1994; Premono et al., 1996 dan Widawati, 1999)



### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Botani, Mikrobiologi Jurusan Biologi Fakultas MIPA dan Kimia Tanah Fakultas Pertanian, Universitas Jember, selama 4 bulan.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang dipergunakan dalam penelitian ini, yaitu timbangan *triple beam balance* (OHAUS), termometer, pH meter, inkubator, spektrofotometer, *autoclave*, saringan tanah, *glass ware*, polibag ukuran 06 x 25 x 40 cm dan kantong plastik ukuran 02 x 28 x 48 cm.

Bahan yang akan dipergunakan yaitu isolat *Pseudomonas putida* dan *Pseudomonas aeruginosa* (dari lab. Jurusan Ilmu Tanah Fak. Pertanian Univ. Jember), batuan fosfat alam Cirebon, SP-36, pupuk dasar (urea dan KCl), benih jagung (varietas Hibrida Pioneer 7/P7) yang diperoleh dari Laboratorium tanah Fakultas Pertanian Universitas Jember, medium PCA (Tabel lampiran 14), medium Nutrien *Broth* (NB) (Tabel lampiran 15), medium Pikovskaya (Tabel lampiran 16), larutan garam fisiologis 85%, kompos, larutan standar Bray-I, HCl pekat dan tanah masam (pH 4,2) dari desa Awar-awar Kec. Asembagus Kabupaten Situbondo.

#### 3.3 Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan pola faktorial yang terdiri dari 2 faktor yaitu isolat bakteri pelarut fosfat dan pupuk P. Faktor pertama adalah jenis isolat (I) yang terdiri dari 4 aras yaitu: I<sub>0</sub>, I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> dan I<sub>3</sub>, sedangkan faktor kedua adalah sumber pupuk P (P), terdiri dari 3 aras yaitu: P<sub>0</sub>, P<sub>1</sub> dan P<sub>2</sub> yang masing-masing diberikan 150 kg per hektar atau 0,2625 g/pot. Masing-masing perlakuan diulang 3 kali, sehingga diperlukan 36 pot percobaan.

Kombinasi perlakuannya adalah sebagai berikut:

P/I	I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
P <sub>0</sub>	P <sub>0</sub> I <sub>0</sub>	P <sub>0</sub> I <sub>1</sub>	P <sub>0</sub> I <sub>2</sub>	P <sub>0</sub> I <sub>3</sub>
P <sub>1</sub>	P <sub>1</sub> I <sub>0</sub>	P <sub>1</sub> I <sub>1</sub>	P <sub>1</sub> I <sub>2</sub>	P <sub>1</sub> I <sub>3</sub>
P <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> I <sub>0</sub>	P <sub>2</sub> I <sub>1</sub>	P <sub>2</sub> I <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> I <sub>3</sub>

Faktor 1 = isolat mikroba pelarut fosfat (I)

I<sub>0</sub> = tanpa isolat

I<sub>1</sub> = dengan *Pseudomonas putida* (10<sup>7</sup> sel/gram)

I<sub>2</sub> = dengan *Pseudomonas aeruginosa* (10<sup>7</sup> sel/gram)

I<sub>3</sub> = penggabungan bakteri *Pseudomonas putida* dan *Pseudomonas aeruginosa* (10<sup>7</sup> sel/gram)

Faktor 2 = pupuk P (P)

P<sub>0</sub> = tanpa pupuk

P<sub>1</sub> = pupuk SP-36

P<sub>2</sub> = pupuk *rock fosfat*/batuan alam

### 3.4 Pelaksanaan Penelitian

#### 3.4.1 Pengambilan dan Penyiapan Contoh Tanah

Tanah diambil pada lapisan olah 0 - 25 cm, dicampur secara komposit kemudian dikeringanginkan. Setelah kering tanah ditumbuk, dihaluskan dan disaring dengan ayakan diameter lubang 5 mm. Kemudian diambil sampel tanah tersebut untuk dianalisa sifat-sifat kimianya.

#### 3.4.2 Analisis Sifat Kimia Tanah

Analisis sifat kimia tanah dilaksanakan dengan contoh tanah kering angin yang meliputi pH tanah, bahan organik (C dan N) tersedia, P total, P tersedia dan kation dapat ditukar (H<sup>+</sup> dan Al<sup>3+</sup>). Untuk analisis P tersedia tanah digunakan ekstrak Bray-I. Ekstrak ini umum digunakan untuk tanah-tanah masam (Tisdale dalam Setiawati, 1995) yaitu 0,025 M HCl + 0,03 M NH<sub>4</sub>F. Penetapan P setelah ekstraksi menggunakan metode warna biru molibdofosforik tereduksi dalam asam askorbat. Pengukuran kadar P dengan menggunakan spektrofotometer.

### 3.4.3 Sterilisasi Tanah Sebagai Media Tanam

Tanah yang sudah disaring kemudian ditimbang 3,5 kg dan dimasukkan dalam kantong plastik, selanjutnya dimasukkan dalam *autoclave* dan disterilkan selama 30 menit. Setelah disterilkan masing-masing kantong plastik ditambah pupuk dasar yaitu urea 250 kg/ha = 0,4375 g/pot, diberikan 2 kali (pada saat tanam dan setelah umur 25 hari, masing-masing ½ dosis) dan KCl 200 kg/ha = 0,35 g/pot.

### 3.4.4 Peremajaan Isolat *P. putida* dan *P. aeruginosa*

Untuk memperoleh biakan yang baru, maka dilakukan peremajaan terhadap biakan induk. Peremajaan dilakukan dengan mengambil 1 ose biakan induk dan diinokulasikan pada medium Pikovkaya miring, kemudian diinkubasi pada suhu 29 – 30 °C selama 3 hari.

### 3.4.5 Perhitungan Isolat *P. putida* dan *P. aeruginosa*

Setelah biakan murni didapat, masing-masing biakan diambil 1 ose dan diinokulasikan pada medium NB 5 ml dan diinkubasi selama 3 hari. Dalam interval waktu 1 – 3 hari tersebut dilakukan pengenceran untuk dihitung jumlah sel/ml sehingga diketahui pertumbuhan optimumnya. Pengenceran dilakukan sampai  $10^{-8}$ , yaitu dengan mengambil 1 ml biakan pada medium NB 5 ml dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi berisi 9 ml larutan fisiologi steril, divortex, maka diperoleh pengenceran  $10^{-1}$ . Dari pengenceran  $10^{-1}$  diambil 10 µl dengan menggunakan mikropipet dan dimasukkan ke dalam ependoft yang berisi 990 µl, kemudian divortex dan didapat pengenceran  $10^{-3}$ . Demikian seterusnya sehingga diperoleh pengenceran  $10^{-7}$  dan  $10^{-8}$ . Hasil pengenceran  $10^{-7}$  dan  $10^{-8}$  masing-masing diambil 100 µl dan diinokulasikan pada medium PCA steril dalam cawan Petri, masing-masing dikerjakan dengan 2 ulangan (duplo). Kemudian diinkubasi pada suhu 29 – 30°C selama 1-3 hari dan dilakukan perhitungan jumlah bakteri yang tumbuh.

#### 3.4.6 Uji Sinergisme (Gabungan)

Disiapkan medium *Pikovskaya* dalam cawan Petri, kemudian biakan *P.putida* dan *P. aeruginosa* diinokulasi secara bersentuhan membentuk garis. Selanjutnya diinkubasi pada suhu 29 – 30 °C dan diamati pertumbuhannya setelah 1 - 3 hari. Kedua isolat dikatakan sinergis apabila pertumbuhannya menyatu (tidak memisah)

#### 3.4.7 Pembiakan Isolat *P. putida* dan *P. aeruginosa* dalam Medium Pembawa (kompos)

Masing-masing isolat diambil 1 ose dari hasil peremajaan dan perbanyakkan, kemudian ditumbuhkan pada medium NB 5 ml. Diinkubasi 1 hari dan selanjutnya dituang ke medium NB 50 ml dan diinkubasi 1 hari. Setelah itu 50 ml NB dan inokulum tersebut diinokulasikan pada 250 gram kompos steril dan diinkubasi 10 hari.

#### 3.4.8 Perhitungan Isolat *P. putida* dan *P. aeruginosa* pada Medium Kompos

Jumlah koloni yang tumbuh dari masing-masing isolat dalam medium pembawa dihitung dengan metode TPC setelah diinkubasi selama 0, 2, 4, 6, 8, 9 dan 10 hari, melalui seri pengenceran sampai  $10^{-8}$  (seperti pengenceran sebelumnya). Perhitungan jumlah sel/ml dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kurva pertumbuhan masing-masing isolat dan untuk menentukan jumlah yang akan diinokulasikan ke tanah.

#### 3.4.9 Inokulasi Isolat *P. putida* dan *P. aeruginosa* ke dalam Tanah

Setelah jumlah bakteri sudah diketahui maka dapat ditentukan jumlah kompos dan inokulum untuk setiap polibagnya. Kemudian disiapkan kompos steril dalam *beaker glass* dan/atau botol sebanyak 45 buah dengan jumlah kompos yang berbeda untuk masing-masing isolat, dengan rincian sebagai berikut: 9 botol untuk yang tanpa isolat, 9 botol untuk isolat *P. putida*, 9 botol untuk isolat *P. aeruginosa*, 9 botol untuk isolat *P. putida* gabungan dan 9 botol untuk isolat *P. aeruginosa* gabungan.

Pada *beaker glass* dan/atau, botol-botol yang berisi kompos steril itu diinokulasi dengan isolat yang sebelumnya telah ditumbuhkan pada medium NB sampai fase logaritma dan lama inkubasi juga sampai pada fase logaritma. Pada akhir masa inkubasi, kompos dan inokulum diinokulasikan ke dalam tanah, namun sebelumnya tanahnya dikurangi dahulu sebanyak kompos yang akan ditambahkan ke dalam pot. Selanjutnya dilakukan penanaman benih jagung.

#### **3.4.10 Penanaman Benih Jagung**

Benih jagung yang digunakan merupakan benih yang sudah mengandung fungisida, jadi tidak perlu disterilkan lagi. Tiap polibag ditanam 5 benih jagung dan setelah 1 minggu dibiarkan 2 tanaman yang tumbuh, dipilih tanaman yang tumbuh baik dan seragam.

#### **3.4.11 Pemanenan**

Tanaman jagung dipanen setelah berumur 45 hari. Pemanenan dilakukan dengan cara memotong bagian atas tanaman (trubus) 2 cm di atas permukaan tanah, sedangkan bagian akar direndam dalam bak plastik untuk memisahkan bagian-bagian akar dari zarah-zarah tanah yang melekat pada akar tanaman.

#### **3.4.12 Parameter yang Diamati**

Parameter yang diamati meliputi data pendukung dan utama.

Parameter pendukung terdiri dari:

- 1) pH tanah awal pengamatan yaitu pada waktu pengambilan sampel,
- 2) kadar P total tanah awal atau sebelum perlakuan,
- 3) kadar P tersedia tanah sebelum perlakuan dengan metode Bray-I,
- 4) jumlah bakteri sel/gram tanah pada akhir penelitian.

Sedangkan parameter utama terdiri dari:

- 1) tinggi tanaman (cm) yang diukur setiap 1 minggu sekali, mulai dari pangkal batang sampai ujung daun dan dilakukan mulai 10 hari setelah tanam (HST) sampai dengan 45 HST,

- 2) kadar P trubus tanaman diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 430 nm dan destruksi kering bagian atas tanaman diukur dengan metode Lindner dan Harley (Setiawati, 1995),
- 3) berat basah dan berat kering bagian atas tanaman (trubus) dan akar tanaman dan,
- 4) luas daun pertanaman, dengan menghitung panjang x lebar daun yang paling lebar.

Pengukuran parameter utama nomor 2, 3, dan 4 dilakukan pada akhir penelitian.

#### 3.4.13 Analisis P Jaringan Tanaman

Analisis jaringan dilaksanakan dengan metode Lindner dan Harley, yaitu dengan menggunakan destruksi kering bagian atas tanaman (Setiawati, 1995). Contoh tanaman ditimbang 0,25 g dan dimasukkan ke dalam labu ukur 50 ml. Ditambahkan 2,5 ml  $H_2O_2$  pekat dan kira-kira 25 mg batu didih karborundum. Dibiarkan semalam untuk menghindari pembuihan yang berlebihan. Setelah itu dipanaskan selama 15 menit diatas penangas listrik, mula-mula pada suhu rendah, kemudian suhu dinaikkan sedikit demi sedikit hingga  $\pm 150^\circ C$ . Setelah kira-kira 30 menit ditambahkan 5 tetes  $H_2O_2$  30 % dalam selang waktu 10 menit. Pemberian  $H_2O_2$  diberikan berulang-ulang hingga cairan dalam labu ukur menjadi jernih. Setelah itu dipanaskan lagi pada suhu kira-kira  $250^\circ C$  sampai cairan yang tertinggal  $\pm 2,5$  ml.

Setelah didinginkan diencerkan dengan air suling sampai tanda garis pada labu ukur, ekstrak dikocok, disaring dan ditampung dalam erlenmeyer 100 ml. Ekstrak yang diperoleh merupakan cairan destruksi pekat, dipipet 5 ml ke dalam labu ukur 50 ml dan diencerkan dengan air suling hingga tanda garis pada labu ukur, sehingga diperoleh cairan destruksi encer.

Dipipet 5 ml cairan destruksi encer ke dalam erlenmeyer 50 ml. Untuk penetapan deret standart P, selanjutnya ditambahkan 20 ml pereaksi campuran P dan dikocok. Setelah 15 menit diukur dengan spektrofotometer dengan filter 693 mili mikron.

### 3.5 Analisa Data

Dalam pengolahan data dilakukan uji ANOVA dan diteruskan uji lanjut kalau pada ANOVA berbeda nyata, dan uji yang digunakan yaitu uji Duncan pada taraf kepercayaan 5% (Sastrosupadi, 1995).





## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terbukti bahwa perlakuan bakteri pelarut fosfat (BPF) mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman jagung pada tanah masam, yang tampak pada parameter tinggi tanaman 10 dan 45 HST, berat basah trubus, berat kering trubus, berat basah akar, berat kering akar, luas daun serta kadar P trubus. Pemberian BPF *P. putida* sama baiknya dengan *P. aeruginosa* atau gabungan keduanya dalam meningkatkan tinggi tanaman 10 dan 45 HST. Untuk meningkatkan berat basah, berat kering trubus dan akar paling baik menggunakan *P. putida*. Sedangkan isolat gabungan adalah paling baik untuk meningkatkan berat basah akar dan kadar P trubus.

Perlakuan dengan pupuk P ternyata mampu meningkatkan pertumbuhan hanya pada parameter tinggi tanaman 10 dan 17 HST serta kadar P trubus. Perlakuan masing-masing SP-36 maupun *rock fosfat* sama baiknya dalam meningkatkan tinggi tanaman 10 dan 17 HST serta kadar P trubus.

Perlakuan kombinasi pupuk P dengan BPF dapat meningkatkan pertumbuhan yang tampak pada parameter berat kering trubus. Semua kombinasi perlakuan jenis pupuk P dengan BPF sama baiknya dalam meningkatkan berat kering trubus.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa jenis BPF *P. putida* lebih efektif dari *P. aeruginosa* maupun gabungannya dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman jagung, namun tidak ada jenis pupuk P maupun kombinasi pupuk P dengan BPF yang paling baik dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman jagung dalam tanah masam.

### 5.2 Saran

Pemberian BPF *P. putida* dapat dilakukan pada tanah masam agar diperoleh hasil tanaman yang optimal. Selain itu penelitian lebih lanjut mengenai efektivitas BPF dengan menggunakan isolat BPF dan jenis tanah yang lain perlu dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi pemupukan tanaman budidaya.

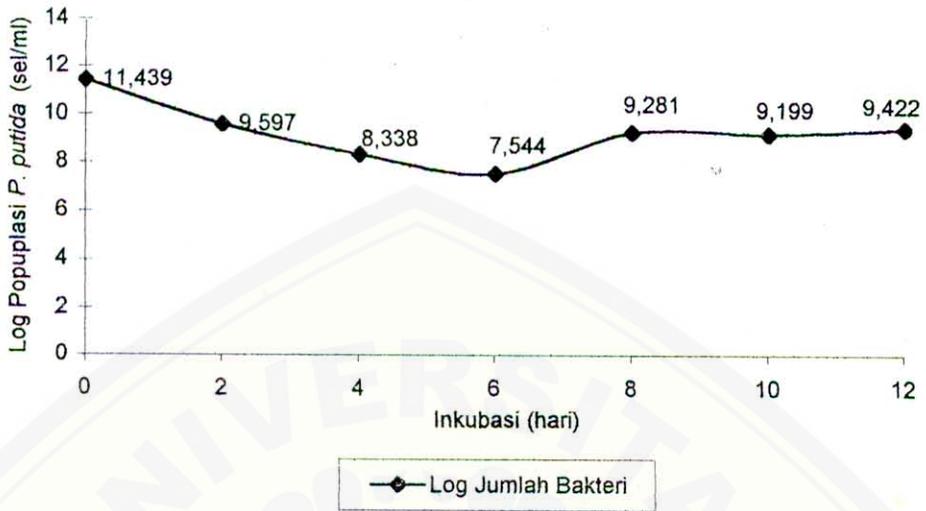
DAFTAR PUSTAKA

- Adisarwanto, T dan Y.E Widyastuti. 2000. *Meningkatkan Produksi Jagung di Lahan Kering, Sawah dan Pasang Surut*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Banik, S and B. K. Dey. 1982. *Available Phosphate Content of an Alluvial Soil as Influenced by Inoculation of Some Isolated Phosphate-Solubilizing Microorganisms*. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publisher. Netherlands.
- Buckman and Brady. 1982. *Ilmu Tanah*. Terjemahan Soegiman. Bhratara Karya Aksara. Jakarta.
- Celi, L., E. Barberis and F.A. Marsan. 2000. *Sorption of Phosphate on Goethite at High Concentrations: Soil Science*. 165: 8 Lippincott Williams & Wilkins. Michigan State University. USA.
- Goldsworthy, P. R. dan N. M. Fisher. 1996. *Fisiologi Tanaman Budidaya Tropik*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Holt, J. G.; N.R. Krieg; P. H. A. Sneath; J. T. Staley and S. T. Williams. 1994. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology: Ninth Edition*. Williams & Wilkins. Michigan State University. USA.
- Lakitan, B. 1995. *Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan*. PT RajaGrafindo Persada. Jakarta.
- Maguire, R. O.; J. T. Sims and F. J. Coale. 2000. *Phosphorus Fractionation in Biosolids-Amended Soils: Relationship to Soluble and Desorbable Phosphorus*. Soil Science Society of America. America.
- Mengel, K. and E. A. Kirkby. 1987. *Principles of Plant Nutrition*. International Potas Institute. Switzerland.
- Muhadjir, F. 1998. *Karakteristik Jagung*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bandung.
- Nurhayati dan Ruhaimah. 1989. *Kajian Tentang Efek Kehalusan Kapur dan Unsur Mikro Terhadap Peningkatan Produksi Kedelai dan Jagung Pada Tanah Masam*. Pusat Penelitian Universitas Andalas. Padang.
- Nursyamsi, D; S.M. Nanan.; Sutisni dan I P.G. Widjaja-Adhi. 1996. "Erapan P dan Kebutuhan Pupuk P Untuk Tanaman Pangan pada Tanah-tanah Asam". Dalam *Jurnal Tanah Tropika*. Tahun II No.2. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Bogor.

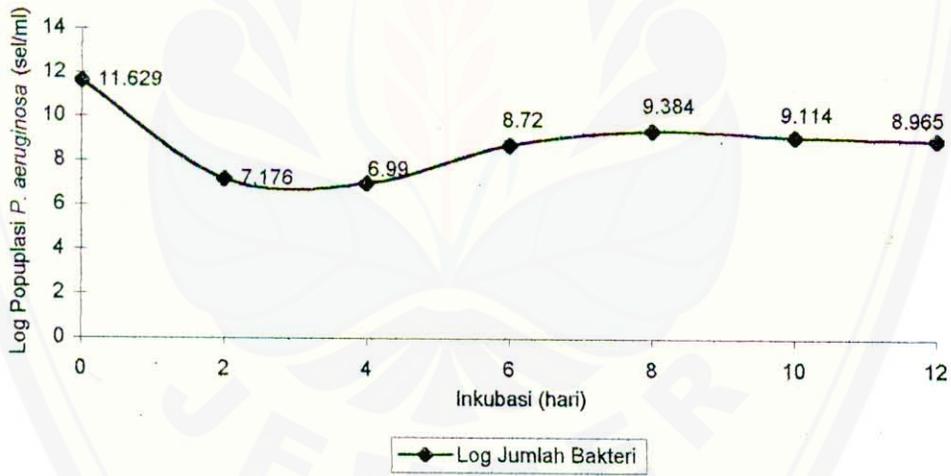
- ; S. Rochayati dan J. S. Adiningsih. 1996. "Pengelolaan Hara Terpadu Untuk Meningkatkan Produktivitas Tanah Ultisol Kubang Ujo Jambi". Dalam *Jurnal Tropika Tanah*. Tahun II No.2. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Premono, M. E.; A. M. Moawad and P. L. G. Vlek. 1996. "Effect of Phosphate Solubilizing *Pseudomonas putida* on the Growth of Maize and its Survival in the Rhizosphere". Dalam *Indonesian Journal of Crop Science*. Vol. II No.1. Indonesian Research Institute. Pasuruan. Indonesia.
- Rinsema, W.T. 1983. *Pupuk dan Cara Pemupukan*. Bhratara Karya Aksara. Jakarta.
- Rukmana, R. 1997. *Usaha Tani Jagung*. Kanisius. Yogyakarta.
- Salam, A.K. ; M.A.S. Arief dan S. Djuniwati. 1997. "Tinjauan Terhadap Peranan enzim Fosfatase Dalam Pengelolaan Fosfor Organik Untuk Tanaman Pertanian". Dalam *Jurnal Agrotropika*. (Desember) Vol.II. No.2. Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Lampung.
- Salisbury, f. B. dan C. W. Ross. 1995. *Fisiologi Tumbuhan*. ITB. Bandung.
- Sanchez, P.A. 1976. *Properties and Management of Soil in the Tropics*. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Sarief, E. S. 1989. *Kesuburan dan Pemupukan Tanah Pertanian*. Pustaka Buana. Bandung.
- Sastrosupadi, A. 1995. *Rancangan Percobaan Praktis Untuk Bidang Pertanian*. Kanisius. Yogyakarta.
- Setiawati, T.C. 1993. *Pemakaian Rock Phosphate sebagai Alternatif Sumber P pada Tanaman Padi*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan RI Universitas Jember. Jember.
- , 1995. *Efek Penambahan Bahan Organik, Kapur dan Pupuk Fosfat terhadap Beberapa Sifat Kimia Tanah pada Tanah Ultisol dan Serapan P oleh Tanaman Jagung (*Zea mays L.*)*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan RI Universitas Jember. Jember.
- Sheff, B. 2000. *Pseudomonas aeruginosa*. St. Elisabeth's. Medical Center. Brighton.

- Simarmata, T. 1995. *Strategi Pemanfaatan Mikroba Tanah (Pupuk Biologis) Dalam Era Bioteknologi Untuk Meningkatkan Produktivitas Lahan Marginal di Indonesia Menuju Pertanian Berwawasan Lingkungan*. Fakultas Pertanian. UNPAD. Bandung.
- Soepardi, G. 1983. *Sifat dan Ciri Tanah*. Bogor.
- Subba-Rao, N.S. 1982. *Advanced of Agricultural Microbiology*. Oxford and IBH Publishing co. New Delhi. India.
- , Terjemahan Herawati. 1994. *Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhan Tanaman*. UI – Press. Jakarta
- Suprpto. 1990. *Bertanam Jagung*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Suryanto. 1994. *Pengaruh Tembaga dan Seng Terhadap Hasil Kedelai pada Ultisol yang dikapur*. Fak. Pertanian Univ. Jambi. Jambi.
- Tisdale, S. L.; W. L. Nelson and J. D. Beaton. 1985. *Soil Fertility and Fertilizers*. Macmillan Publishing. Co. New York.
- Widawati, S. 1999. "Penggunaan Introduksi Mikroba Tanah Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Kedelai (*Glycine max* L.) di Tanah Masam". Dalam *Jurnal Mikrobiologi Tropika* (November) Vol. 2 No.2. Balitbang Mikrobiologi, Puslitbang Biologi-LIPI. Bogor.

LAMPIRAN



(a)



(b)

Gambar 1: Kurva Pertumbuhan (a) *P. putida* dan (b) *P. aeruginosa* pada Media Kompos

Tabel 1. Perhitungan Isolat BPF dan Kompos yang Diinokulasikan ke dalam Tanah

<i>P. putida</i>	<i>P. aeruginosa</i>	Isolat gabungan
$V_1 \cdot N_1 = V_2 \cdot N_2$	$V_1 \cdot N_1 = V_2 \cdot N_2$	$V_1 \cdot N_1 = V_2 \cdot N_2$
$3500 \cdot 10^7 = V_2 \cdot 2 \cdot 10^8$	$3500 \cdot 10^7 = V_2 \cdot 5,25 \cdot 10^8$	$3500 \cdot 10^7 = V_2 \cdot 3,625 \cdot 10^8$
$V_2 = 350/2$	$V_2 = 350/5,25$	$V_2 = 350/3,625$
$V_2 = 175 \text{ g}$	$V_2 = 66,67 \text{ g}$	$V_2 = 96,55 \text{ g}$

Keterangan:  $V_1$  = Volume tanah (g)

$V_2$  = Volume kompos yang diinokulasikan ke tanah (g)

$N_1$  = Jumlah isolat yang diharapkan hidup dalam tanah (sel/g tanah)

$N_2$  = Jumlah isolat pada Pertengahan fase log (sel/g kompos)

Tabel 2. Sidik Ragam Kadar P Trubus

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F-Hitung	F-tabel	
					5%	1%
Perlakuan	11	0.065				
P	2	0.038	0.019	26.835 **	3.403	5.614
I	3	0.021	0.007	10.102 **	3.009	9.780
PI	6	0.006	0.001	1.345 ns	2.508	3.667
Galat	24	0.017	0.001			
Total	35	0.1				

Keterangan \*\* berbeda sangat nyata

KK = 25.76%

Tabel 3. Sidik Ragam Tinggi Tanaman 10 HST

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F-Hitung	F-tabel	
					5%	1%
Perlakuan	11	345.210				
P	2	149.504	74.752	7.698 **	3.403	5.614
I	3	104.701	34.900	3.594 *	3.009	9.780
PI	6	91.005	15.168	1.562 ns	2.508	3.667
Galat	24	233.053	9.711			
Total	35	578.3				

Keterangan \*\* berbeda sangat nyata

\* berbeda nyata

KK = 13.83%

Tabel 4. Sidik Ragam Tinggi Tanaman 17 HST

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F-Hitung	F-tabel	
					5%	1%
Perlakuan	11	902.899				
P	2	305.002	152.501	4.962 *	3.403	5.614
I	3	244.828	81.609	2.655 ns	3.009	9.780
PI	6	353.069	58.845	1.915 ns	2.508	3.667
Galat	24	737.607	30.734			
Total	35	1640.5				

Keterangan \* berbeda nyata

ns tidak berbeda nyata

KK = 17.08%

Tabel 5. Sidik Ragam Tinggi Tanaman 24 HST

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F-Hitung	F-tabel	
					5%	1%
Perlakuan	11	508.222				
P	2	107.722	53.861	1.086 ns	3.403	5.614
I	3	210.278	70.093	1.413 ns	3.009	9.780
PI	6	190.222	31.704	0.639 ns	2.508	3.667
Galat	24	1190.333	49.597			
Total	35	1698.6				

Keterangan ns tidak berbeda nyata

$$KK = 15.27\%$$

Tabel 6. Sidik Ragam Tinggi Tanaman 31 HST

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F-Hitung	F-tabel	
					5%	1%
Perlakuan	11	700.999				
P	2	147.551	73.775	1.674 ns	3.403	5.614
I	3	242.597	80.866	1.835 ns	3.009	9.780
PI	6	310.852	51.809	1.176 ns	2.508	3.667
Galat	24	1057.707	44.071			
Total	35	1758.7				

Keterangan ns tidak berbeda nyata

$$KK = 11.36\%$$

Tabel 7. Sidik Ragam Tinggi Tanaman 38 HST

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F-Hitung	F-tabel	
					5%	1%
Perlakuan	11	583.688				
P	2	41.167	20.583	0.572 ns	3.403	5.614
I	3	304.243	101.414	2.820 ns	3.009	9.780
PI	6	238.278	39.713	1.104 ns	2.508	3.667
Galat	24	863.000	35.958			
Total	35	1446.7				

Keterangan ns tidak berbeda nyata

$$KK = 8.05\%$$

Tabel 8. Sidik Ragam Tinggi Tanaman 45 HST

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F-Hitung	F-tabel	
					5%	1%
Perlakuan	11	923.076				
P	2	111.014	55.507	0.998 ns	3.403	5.614
I	3	588.799	196.266	3.528 *	3.009	9.780
PI	6	223.264	37.211	0.669 ns	2.508	3.667
Galat	24	1335.167	55.632			
Total	35	2258.2				

Keterangan ns tidak berbeda nyata

\* berbeda nyata

$$KK = 8.18\%$$

Tabel 9. Sidik Ragam Berat Basah Trubus

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F-Hitung	F-tabel	
					5%	1%
Perlakuan	11	4988.926				
P	2	176.634	88.317	0.908 ns	3.403	5.614
I	3	4634.919	1544.973	15.884 **	3.009	9.780
PI	6	177.373	29.562	0.304 ns	2.508	3.667
Galat	24	2334.433	97.268			
Total	35	7323.4				

Keterangan ns tidak berbeda nyata

    \*\* berbeda sangat nyata

    KK = 11.56%

Tabel 10. Sidik Ragam Berat Kering Trubus

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F-Hitung	F-tabel	
					5%	1%
Perlakuan	11	233.946	-	-		
P	2	5.841	2.920	0.953 ns	3.403	5.614
I	3	144.803	48.268	15.755 **	3.009	9.780
PI	6	83.302	13.884	4.532 **	2.508	3.667
Galat	24	73.527	3.064	-		
Total	35	307.5				

Keterangan ns Tidak berbeda nyata

    \*\* berbeda sangat nyata

    KK = 9.55%

Tabel 11. Sidik Ragam Berat Basah Akar

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F-Hitung	F-tabel	
					5%	1%
Perlakuan	11	1417.674				
P	2	345.671	172.836	2.718ns	3.403	5.614
I	3	840.593	280.198	4.407*	3.009	9.780
PI	6	231.409	38.568	0.607ns	2.508	3.667
Galat	24	1526.038	63.585			
Total	35	2943.7				

Keterangan ns tidak berbeda nyata

\* berbeda nyata

KK = 22.59%

Tabel 12. Sidik Ragam Berat Kering Akar

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F-Hitung	F-tabel	
					5%	1%
Perlakuan	11	28.796				
P	2	2.084	1.042	0.858 ns	3.403	5.614
I	3	24.143	8.048	6.624 *	3.009	9.780
PI	6	2.569	0.428	0.352 ns	2.508	3.667
Galat	24	29.160	1.215			
Total	35	58.0				

Keterangan ns tidak berbeda nyata

\* berbeda nyata

KK = 27.09%

Tabel 13. Sidik Ragam Luas Daun

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F-Hitung	F-tabel	
					5%	1%
Perlakuan	11	2802630.395				
P	2	199022.261	99511.131	1.093 ns	3.403	5.614
I	3	2486738.216	828912.739	9.104 *	3.009	9.780
PI	6	116869.918	19478.320	0.214 ns	2.508	3.667
Galat	24	2185176.692	91049.029			
Total	35	4987807.1				

Keterangan ns tidak berbeda nyata

\* berbeda nyata

KK = 14.69%



Gambar 2. Kenampakan Tinggi Tanaman Jagung Karena Pengaruh Pemberian Pupuk P SP-36 dan Rock fosfat serta BPF *P.putida* dan *P. aeruginosa*

Tabel 14. Komposisi Medium PCA (*Plate Count Agar*)

Bahan	Jumlah (gram/L)
<i>Bacto Peptone</i>	5
<i>Bacto Yeast Extract</i>	2,5
<i>Bacto Dextrose/Glucose</i>	1
<i>Bacto Agar</i>	15

Keterangan: pH 7

Tabel 15. Komposisi Medium NB (*Nutrient Broth*)

Bahan	Jumlah (gram/L)
<i>Bacto Beef Extract</i>	3
<i>Bacto Peptone</i>	5

Keterangan: pH 6,8

Tabel 16. Komposisi Medium *Pikovskaya*

Bahan	Jumlah (gram/L)
$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	5,0
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0,5
NaCl	0,2
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,1
KCl	0,2
Glukosa	10,0
Ekstrak Ragi	0,5
Agar	15,0
$\text{MnSO}_4$ dan $\text{FeSO}_4$	sedikit
Air destilasi	1

Tabel 17. Kriteria Penilaian Sifat Kimia Tanah (Sarief, 1989)

Sifat Tanah	Sangat rendah	Rendah	Sedang	Agak Tinggi	Tinggi	Sangat tinggi
C (%)	<1,00	1,00-2,00	2,01-3,00	-	3,01-5,00	>5,00
N (%)	<0,10	0,10-0,20	0,21-0,50	-	0,51-0,75	>0,75
C/N	<5,0	5-10	11-14	-	16-25	>25
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> HCl 25% (mg/100g)	<15	15-20	21-40	-	41-60	>60
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Bray I (ppm P)	<10	10-15	16-25	-	26-35	>35
Al (me/100g)	<0,1	0,10-0,30	0,40-0,50	-	0,6-1,0	>1,0
	Sangat masam	Masam	Agak masam	Netral	Agak alkalis	Alkalis (basa)
PH (H <sub>2</sub> O)	4,5	4,5-5,5	5,6-6,5	6,5-7,5	7,6-8,5	8,5

