

BORANG PENGESAHAN STATUS TESIS@

JUDUL: KELARUTAN DAN KESEIMBANGAN DINAMIK BATUAN FOSFAT DALAM
LARUTAN ASID

Ijazah: SARJANA MUDA SAINS - KIMIA INDUSTRI

SESI PENGAJIAN: 2005

Saya Ooi Seok NEE

(HURUF BESAR)

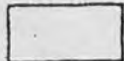
mengaku membenarkan tesis (LPS/Sarjana/Doktor-Falsafah)* ini disimpan di Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dengan syarat-syarat kegunaan seperti berikut:

1. Tesis adalah hakmilik Universiti Malaysia Sabah.
2. Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dibenarkan membuat salinan untuk tujuan pengajian sahaja.
3. Perpustakaan dibenarkan membuat salinan tesis ini sebagai bahan pertukaran antara institusi pengajian tinggi.
4. **Sila tandakan (/)



SULIT

(Mengandungi maklumat yang berdarjah keselamatan atau kepentingan Malaysia seperti yang termaktub di dalam AKTA RAHSIA RASMI 1972)



TERHAD

(Mengandungi maklumat TERHAD yang telah ditentukan oleh organisasi/badan di mana penyelidikan dijalankan)



TIDAK TERHAD

Disahkan oleh

Seok Nee

(TANDATANGAN PENULIS)

(TANDATANGAN PUSTAKAWAN)

Alamat Tetap: A135, TMN AMAN,
ARAH BUKIT,
06550 ALORSETAR, KEDAH.

Nama Penyelia

Tarikh: 24/3/2005

Tarikh: _____

CATATAN: * Potong yang tidak berkenaan.

** Jika tesis ini SULIT atau TERHAD, sila lampirkan surat daripada pihak berkuasa/organisasi berkenaan dengan menyatakan sekali sebab dan tempoh tesis ini perlu dikelaskan sebagai SULIT dan TERHAD.

@ Tesis dimaksudkan sebagai tesis bagi Ijazah Doktor Falsafah dan Sarjana secara penyelidikan, atau disertasi bagi pengajian secara kerja kursus dan penyelidikan, atau Laporan Projek Sarjana Muda (LPSM).



40000



HADIAH

CIRI KELARUTAN FOSFAT DARI BATUAN FOSFAT

OOI SEOK NEE

TESIS DIKEMUKAKAN UNTUK MEMENUHI
SEBAHAGIAN DARIPADA SYARAT MEMPEROLEHI IJAZAH
SARJANA MUDA SAINS DENGAN KEPUJIAN

PERPUSTAKAAN
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

PROGRAM KIMIA INDUSTRI
SEKOLAH SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

2005

PERPUSTAKAAN UMS



1400006543

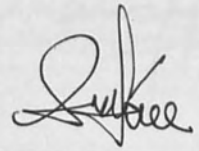


UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

PENGAKUAN

Saya akui karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan yang setiap satunya telah dijelaskan sumbernya.

21 Februari 2005

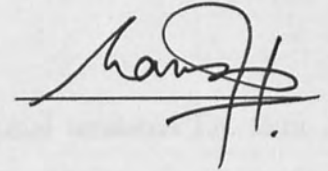


OOI SEOK NEE

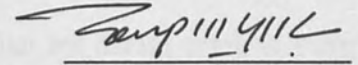
HS 2002-3755

PERAKUAN PEMERIKSA**DIPERAKUKAN OLEH****Tandatangan****1. PENYELIA**

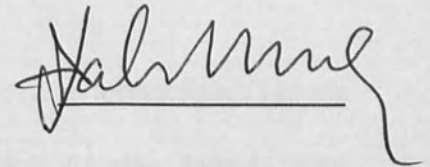
(PROF. MADYA. DR. MARCUS JOPONY)

**2. PEMERIKSA – 1**

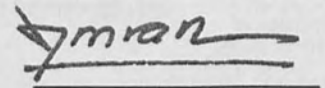
(ENCIK MOH PAK YAN)

**3. PEMERIKSA - 2**

(ENCIK JAHIMIN ASIK)

**4. DEKAN**

(PROF. MADYA. DR. AMRAN AHMED)



PENGHARGAAN

Terlebih dahulu, saya ingin mengambil kesempatan ini untuk mengucapkan ribuan terima kasih kepada Prof. Madya Dr. Marcus Jopony yang bertindak selaku penyelia yang telah memberikan tunjuk ajar, bimbingan, dorongan, nasihat dengan ikhlas sepanjang projek penyelidikan ini dijalankan. Segala ajaran akan menjadi pedoman saya sepanjang hidup.

Terima kasih juga saya ucapkan kepada kakitangan makmal terutama En. Sani Abdullah yang banyak memberi kerjasama sepanjang kerja makmal dijalankan. Dengan bantuannya yang bersifat ilmiah, saya dapat menjayakan kajian ini dalam tempoh yang telah ditetapkan.

Dengan kesempatan ini, saya juga merakamkan ucapan ribuan terima kasih kepada rakan seperjuangan yang telah banyak memberi bantuan dan teguran kepada saya sepanjang tempoh kajian ini. Kenangan kita sesuatu yang indah. Terima kasih.

Teristimewa buat seisi keluarga, terima kasih yang tidak terhingga atas bantuan dari segi sokongan moral dan kewangan yang tidak terhingga. Budi mu akan ku kenang buat selama-lamanya. Akhir sekali, terima kasih semuanya.

Ooi Seok Nee

HS 2002-3755

ABSTRAK

Kelarutan fosfat dalam batuan fosfat dalam air suling dan dalam larutan akua dengan pH berlainan (2.0-6.0) telah dikaji. Sampel batuan fosfat yang dikaji ialah Christmas Island Rock Phosphate (CIRP-Kelabu dan CIRP-Kuning) dan Gafsa Rock Phosphate (GRP). Kepekatan fosfat dalam larutan keseimbangan telah ditentukan dengan berdasarkan Kaedah Asid Askorbik – SM 4500 P (APHA, 1995). Hasil kajian menunjukkan bahawa kepekatan batuan fosfat dalam larutan meningkat dengan masa, dan keseimbangan tercapai selepas masa 150 minit. Kepekatan keseimbangan yang didapati berada pada julat 0.92-1.17 $\mu\text{g/ml}$ atau 45.8 – 59.0 $\mu\text{g/g}$. Secara relatifnya CIRP adalah lebih larut berbanding GRP. Kelarutan batuan fosfat meningkat dengan penurunan pH, dan didapati peningkatan untuk CIRP > GRP.

Solubility Characters of Phosphate from Rock Phosphate

ABSTRACT

The solubility of phosphate from rock phosphate in water and aqueous solution of varying pH (2.0 to 6.0) was investigated. The rock phosphate samples studied were Christmas Island Rock Phosphate (CIRP-Grey and CIRP-Yellow) and Gafsa Rock Phosphate (GRP). The phosphate concentration in the equilibrium solutions was determined using the Acid Ascorbic Method – SM 4500 P (APHA, 1995). The results showed that concentration of phosphate in solution increased with time, and equilibrium was attained after 150 minutes. The equilibrium concentration obtained for the samples ranged from 0.92-1.17 $\mu\text{g/ml}$ or 45.8 – 59.0 $\mu\text{g/g}$. Relatively, CIRP was more soluble than GRP. The solubility of the rock phosphate increased with decreasing pH, and the increase for CIRP > GRP.

KANDUNGAN

HALAMAN JUDUL	
PENGAKUAN	i
PENGESAHAN	ii
PENGHARGAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
SENARAI KANDUNGAN	vi
SENARAI JADUAL	ix
SENARAI RAJAH	x
SENARAI SIMBOL DAN SINGKATAN	xi

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 PENGENALAN	1
1.2 OBJEKTIF KAJIAN	2
1.3 SKOP KAJIAN	2

BAB 2 ULASAN PERPUSTAKAAN

2.1 Fosforus Dalam Tanah	3
2.1.1 Fosforus Larutan (P-Larutan)	4
2.1.2 Fosforus Inorganik (P-Inorganik)	6
2.1.3 Fosforus Organik (P-Organik)	8
2.2 Baja Fosfat	9
2.2.1 Baja Fosfat Organik	10
2..2 Baja Fosfat Inorganik	10
2.2.2.1 Jenis Larut Air	11



2.2.2.2	Jenis Tidak Larut Air	12
a.	Baja superfosfat	13
b.	Baja ammonium fosfat	14
c.	Asid Fosforik	16
2.2.3	Tindak Balas Baja Fosfat Dalam Tanah	16
2.2.4	Pengaruh Tanah Terhadap Keberkesanan Baja Batuan Fosfat	19
2.2.4.1	pH Tanah	19
2.3	Batuan fosfat	20
2.3.1	Sumber Batuan Fosfat	20
2.3.1.1	Batuan Fosfat Dari Amerika Syarikat	21
2.3.1.2	Batuan Fosfat Dari Christmas Island	22
2.3.1.3	Batuan Fosfat Dari Amerika Selatan	22
2.3.1.4	Batuan Fosfat Dari Tunisia-Gafsa	22
2.3.2	Sifat Kimia Dan Jenis Batuan Fosfat	23
2.3.3	Tindak Balas Batuan Fosfat Dalam Tanah Berasid	24
2.4	Kelarutan Batuan Fosfat	25
2.4.1	Konsep Asas Pemelarutan	25
2.4.1.1	Keseimbangan Dinamik Batuan Fosfat	25
2.4.1.2	Pemalar Hasil Kelarutan (<i>Solubility Product Constant</i>)	26
2.4.2	Kereaktifan Dan Kelarutan Batuan Fosfat	28
2.4.3	Perbandingan Kelarutan Batuan Fosfat	31

BAB 3 BAHAN DAN KAEDAH

3.1	Sampel Baja Batuan Fosfat	32
3.2	Penentuan Kelarutan Baja Batuan Fosfat	33
3.2.1	Kelarutan Dalam Air Suling	33
3.2.2	Kelarutan Dalam Larutan pH Yang Berbeza	33
3.2.3	Perbandingan Amaun Batuan Fosfat Yang Berbeza	34
3.3	Kaedah Analisis Fosfat	34
3.3.1	Penyediaan Larutan Reagen	34



3.3.2	Penyediaan Larutan Stok Fosfat	35
3.3.3	Penyediaan Larutan Piawai Fosfat	36
3.3.4	Penyediaan Graf Kalibrasi	36
3.3.5	Penentuan Kepekatan Fosfat	36
3.3.6	Pengolahan Data	36

BAB 4 HASIL DAN PERBINCANGAN

4.1	Kelarutan Dalam Air Suling	37
4.2	Kelarutan Dalam Keadaan pH Yang Berlainan	40
4.3	Pengaruh Amaun Batuan Fosfat Terhadap Kelarutan	43
4.4	Keseimbangan Batuan Fosfat	44

BAB 5 KESIMPULAN

RUJUKAN

LAMPIRAN

SENARAI JADUAL

No. Jadual	Muka Surat
2.1 Status fosforus dalam tanah	6
2.2 Baja-baja fosfat inorganik	11
2.3 Kandungan fosforus dalam batuan fosfat dari negara-negara yang berlainan	21
2.4 Jenis-jenis sebatian apatit dan formulanya	24
2.5 Nilai pK_{sp} untuk beberapa jenis fosfat	28
3.1 Sampel dan jenis batuan fosfat yang digunakan	32
4.1 Kepekatan fosfat dalam sampel S1, S2 dan S3	43



SENARAI RAJAH

No. Rajah	Muka Surat
2.1 Jenis ion-ion ortofosfat yang wujud dalam tanah di bawah pengaruh pH	5
2.2 Perubahan bentuk fosforus dalam tanah dengan perubahan masa	7
2.3 Kitaran fosforus organik dalam tanah	9
4.1 Kepekatan fosfat terlarut melawan masa bagi sampel S1	37
4.2 Kepekatan fosfat terlarut melawan masa bagi sampel S2	38
4.3 Kepekatan fosfat terlarut melawan masa bagi sampel S3	38
4.4 kepekatan fosfat terlarut melawan pH bagi sampel S1	41
4.5 kepekatan fosfat terlarut melawan pH bagi sampel S2	41
4.6 kepekatan fosfat terlarut melawan pH bagi sampel S3	42



SENARAI SIMBOL DAN SINGKATAN

$\mu\text{g/mL}$	=	mikrogram per mililiter
$\mu\text{g/g}$	=	mikrogram per gram
μm	=	mikrometer
p.p.m	=	bahagian per juta
K _{sp}	=	pemalar hasil kelarutan
pK	=	pemalar penceraian
pK ₁	=	pemalar penceraian pertama
PO_4^{3-}	=	ion fosfat
P_2O_5	=	fosforus pentoksida
IAP	=	Ion Activity Product
CIRP	=	Christmas Island Rock Phosphate
GRP	=	Gafsa Rock Phosphate dari Tunisia
NCRP	=	North Carlina Rock Phosphate
CRP	=	China Rock Phosphate
APHA	=	Amerian Public Health Association



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 PENGENALAN

Peningkatan kehendak manusia terhadap keperluan asas iaitu makanan mendatangkan dorongan kepada pertanian moden bagi memaksimumkan hasilnya. Faktor tersebut telah menyebabkan penggunaan baja terhadap tanah dan tanaman di mana ianya meningkatkan hasil dan kualiti dalam bidang pertanian. Baja yang digunakan termasuklah baja nitrogen, baja kalium, baja campuran dan baja fosfat. Antara baja fosfat yang banyak digunakan, termasuk di Malaysia ialah batuan fosfat.

Batuan fosfat merupakan sumber baja fosforus yang utama sebab lebih murah berbanding dengan baja fosfat jenis larut air yang lain. Pelbagai jenis batuan fosfat yang terdapat dalam pasaran, antaranya ialah 'Christmas Island Rock Phosphate' (CIRP), 'Gafsa Rock Phosphate' (GRP), 'Morroco Rock Phosphate' (MRP), 'North Carolina Rock Phosphate' (NCPR), 'China Rock Phosphate' (CRP), dan 'Jordanian Rock Phosphate' (JRP). Setiap jenis tersebut berlainan dari segi komposisi fosfat, yang mana biasanya diberikan sebagai peratus P_2O_5 (Warren, 1992).

Apabila ditaburkan kepada tanah, batuan fosfat akan mengalami tindak balas pemelarutan dengan membebaskan ion fosfat ke dalam larutan. Darjah atau tahap kelarutan adalah bergantung kepada jenis batuan fosfat (Follet & Murphy, 1981) dan pH tanah (Fulmer *et al.*, 2002).

1.2 Objektif Kajian

Objektif kajian ini adalah :

- i. Untuk menentukan kelarutan fosfat dalam baja fosfat pada keadaan pH yang berlainan.
- ii. Untuk membandingkan kelarutan fosfat mengikut jenis baja batuan fosfat.

1.3 Skop Kajian

Dalam kajian ini kelarutan akua fosfat bagi beberapa jenis baja batuan fosfat sebagai fungsi dari pH adalah ditentukan secara kaedah kelompok (batch method). Jenis baja batuan-P yang dipilih ialah CIRP-kelabu, CIRP-kuning dan GRP.

BAB 2

ULASAN PERPUSTAKAAN

2.1 FOSFORUS DALAM TANAH

Kepekatan fosforus dalam tanah adalah rendah jika dibandingkan dengan nutrien yang lain seperti nitrogen, kalium, kalsium dan magnesium. Kepekatan fosforus dalam tanah lazimnya ditingkatkan melalui penambahan baja fosfat kepada tanah.

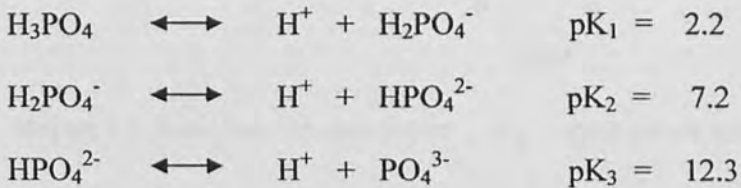
Fosforus yang hadir dalam tanah boleh dikategorikan kepada tiga kumpulan utama berdasarkan fizikal dan ciri kereaktifannya dalam tanah (Anderson, 1980). Kumpulan pertama ialah fosforus inorganik (P-inorganik). Kumpulan kedua ialah fosforus organik (P-organik). Kumpulan ini merangkumi humus haiwan atau tumbuhan yang sudah mati dalam ekosistem biomas ini. Manakala kumpulan yang ketiga ialah ion-ion atau sebatian fosforus dalam larutan tanah (P-larutan) (Sharpley, 2000). Ketiga-tiga jenis fosforus ini adalah dalam keseimbangan di antara satu sama lain.



2.1.1 Fosforus larutan (P-larutan)

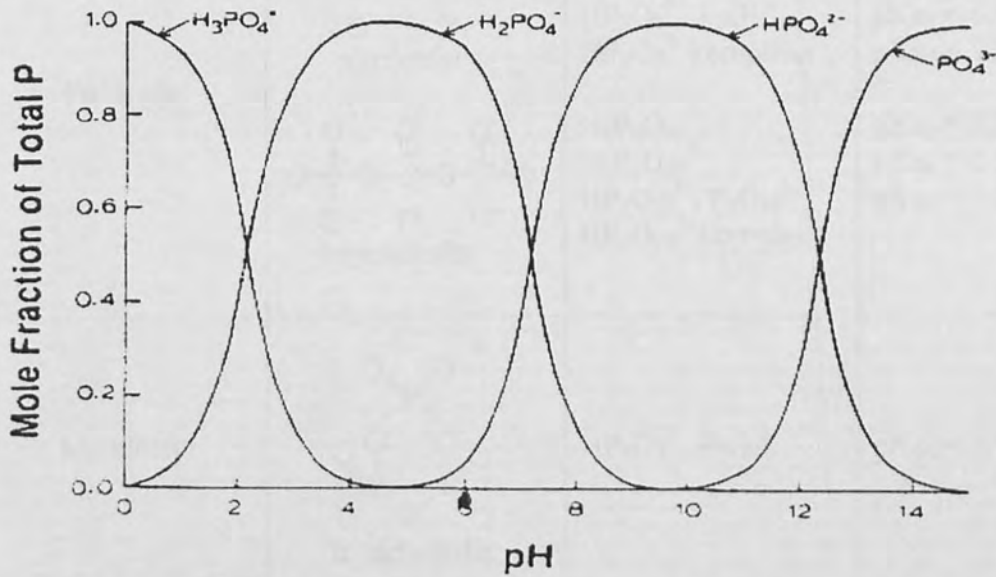
Fosforus dalam larutan tanah adalah jauh lebih rendah berbanding dengan P-organik dan P-inorganik (Follet & Murphy, 1981). Kepekatan fosforus dalam larutan tanah berada di dalam lingkungan 0.01-0.06 ppm. Ianya wujud dalam bentuk ion ortofosfat primer (H_2PO_4^-) dan sekunder (HPO_4^{2-}).

Kepekatan ion-ion ortofosfat dalam larutan bergantung kepada pH tanah. Pada pH tanah 7, jumlah kepekatan anion H_2PO_4^- adalah sama dengan HPO_4^{2-} . Manakala pada pH < 7 , anion H_2PO_4^- wujud secara dominan. Maka kedua-dua spesies H_2PO_4^- dan HPO_4^{2-} adalah dominan dalam tanah di antara lingkungan pH 4-9. Tindak balas keseimbangan ion fosfat adalah seperti berikut (Kamprath & Watson, 1980) :-



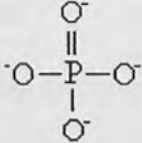
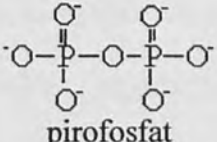
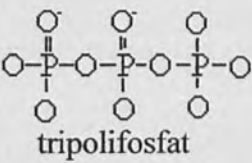
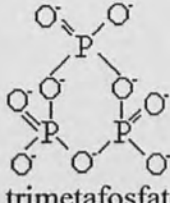
Akar tumbuhan menyerap fosforus sebagai ion H_2PO_4^- atau HPO_4^{2-} dari larutan tanah. Kepekatan fosfat dalam larutan tanah terhasil daripada pelepasan anion fosfat daripada sebatian-sebatian di mana kelarutannya adalah rendah dalam tanah seperti kalsium, magnesium, ferum dan aluminium fosfat.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pelepasan anion fosfat ke dalam larutan tanah termasuklah pH, suhu, kelembapan dan kandungan bahan organik tanah (Follet & Murphy, 1981). Rajah 2.1 menunjukkan jenis ion-ion ortofosfat yang wujud dalam tanah di bawah pengaruh pH manakala Jadual 2.1 pula menunjukkan status fosforus dalam tanah (Pierzynski *et al.*, 1994).



Rajah 2.1 Jenis ion-ion ortofosfat yang wujud dalam tanah di bawah pengaruh pH.

Jadual 2.1 Status fosforus dalam tanah.

Jenis	Struktur	Spesies	Nilai pKa
Ortofosfat		H_3PO_4 , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} kompleks	$\text{pKa}_1 = 2.1$ $\text{pKa}_2 = 7.2$ $\text{pKa}_3 = 12.3$
Polifosfat	 pirofosfat	$\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$, $\text{H}_3\text{P}_2\text{O}_7^-$, $\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7^{2-}$, $\text{HP}_2\text{O}_7^{3-}$, $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$, $\text{HP}_2\text{O}_7^{3-}$ kompleks	$\text{pKa}_1 = 1.52$ $\text{pKa}_2 = 2.4$ $\text{pKa}_3 = 6.6$ $\text{pKa}_4 = 9.3$
	 tripolifosfat	$\text{H}_3\text{P}_3\text{O}_{10}^{2-}$, $\text{H}_2\text{P}_3\text{O}_{10}^{3-}$, $\text{HP}_3\text{O}_{10}^{4-}$, $\text{P}_3\text{O}_{10}^{5-}$, $\text{HP}_3\text{O}_{10}^{4-}$ kompleks	$\text{pKa}_3 = 2.3$ $\text{pKa}_4 = 6.5$ $\text{pKa}_5 = 9.2$
Metafosfat	 trimetafosfat	$\text{HP}_3\text{O}_9^{2-}$, $\text{P}_3\text{O}_9^{3-}$	$\text{pKa}_1 = 2.1$

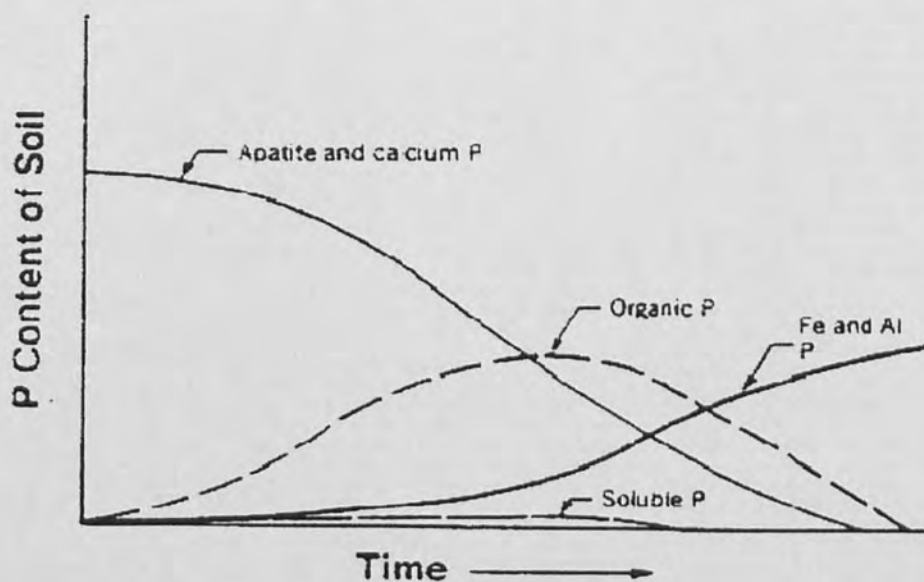
Sumber : Fulmer *et al.*, 2002.

2.1.2 Fosforus Inorganik (P-inorganik)

Daripada keseluruhan fosforus dalam tanah, sebanyak 50-70% dalah wujud dalam bentuk fosforus inorganik (Pierzynski *et al.*, 1994). Satu ciri umum untuk kebanyakan fosforus inorganik dalam tanah ialah kelarutan yang rendah dalam air. Fosforus inorganik terhasil daripada tindak balas fosforus dengan mineral-mineral yang terdapat dalam tanah seperti kalsium, magnesium, ferum dan aluminium.

Contoh fosforus inorganik yang terbentuk ialah fluorapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$), dikalsium fosfat dihidrat ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), trikalsium ortofosfat ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), aluminium hidroksifosfat ($\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_3(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$), ferik hidroksifosfat ($\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_3(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$) dan sebagainya.

Bentuk fosforus inorganik tersebut adalah tidak stabil dalam keadaan tanah yang berasid. Ia akan diuraikan kepada ion-ion ortofosfat yang seterusnya diserap oleh tumbuhan sebagai nutrien utama. Rajah 2.2 menunjukkan perubahan bentuk fosforus dalam tanah sebagai fungsi masa dan perkembangan P dalam tanah (Pierzynski *et al.*, 1994).

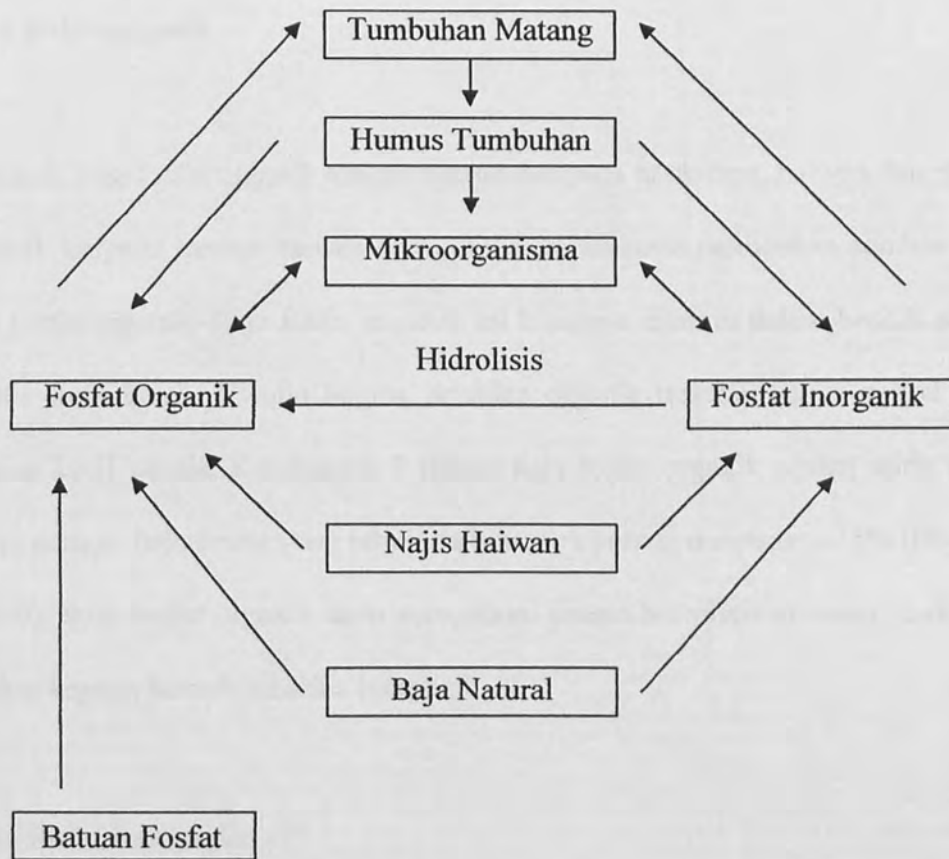


Rajah 2.2 Perubahan bentuk fosforus dalam tanah dengan perubahan masa.

2.1.3 Fosforus organik (P-organik)

Kebanyakan fosforus organik dalam tanah wujud dalam bentuk pelbagai jenis ester fosforus, iaitu ester asid ortofosforik serta pelbagai mono- dan di- ester, fosfolipid, fosfat inositol, fosfogliserol dan asid nukleik (Anderson, 1980). Inositol merangkumi 90% daripada keseluruhan fosforus organik tanah manakala asid nukleik dan fosfolipid merupakan kandungan organik yang kedua banyak dalam tanah.

Ia akan bertukar kepada bentuk inorganik (P-inorganik) yang lebih larut dan stabil. Ini merupakan satu aspek penting dalam kitaran fosforus dalam tanah. Fosforus organik tanah akan berkurangan dengan peningkatan kedalaman tanah. Rajah 2.3 menunjukkan kitaran fosforus organik dalam tanah (Anderson, 1980).



Rajah 2.3 Kitaran fosforus organik dalam tanah.

2.2 BAJA FOSFAT

Baja fosfat yang digunakan dalam bidang pertanian boleh dikategorikan kepada dua jenis, iaitu baja fosfat organik dan baja fosfat inorganik (Jones *et al.*, 1998). Kedua-dua jenis ini terhasil daripada tindak balas pengasidan batuan fosfat dengan asid sulfurik. Baja fosfat ini masing-masing mempunyai kandungan fosfat yang tertentu, yang mana lazimnya diberikan sebagai peratus P_2O_5 .

2.2.1 Baja fosfat organik

Secara amnya, baja fosfat organik adalah berasal daripada tumbuhan, haiwan dan mikrob. Baja terhasil daripada humus haiwan dan kumbahan manusia merupakan sumber utama bagi baja fosfat organik. Baja fosfat organik ini biasanya ditemui dalam bentuk partikel dan bersifat larut tanah. Namun begitu, sebatian organik tersebut hanya wujud dalam amaun yang kecil sahaja. Kandungan P dalam baja fosfat organik adalah lebih rendah berbanding dengan baja fosfat yang lain iaitu biasanya kurang daripada 0-25% (Bockman *et al.*, 1990). Baja fosfat organik akan mengalami proses hidrolisis di mana ia akhirnya akan ditukar kepada bentuk sebatian inorganik.

2.2.2 Baja fosfat inorganik

Kereaktifan baja fosfat jenis inorganik iaitu kadar penceraianya dalam tanah, adalah diiktirafkan secara kimia oleh sifat kelarutan mereka dalam air, 2% asid sitrik, ammonium sitrat atau 2% asid formik. Jumlah bentuk fosforus inorganik yang terdapat dalam tanah ialah di antara 50-70% (Pierzynski *et al.*, 1994). Contoh baja fosfat inorganik ialah batuan fosfat, superfosfat (SSP), tripel superfosfat dan baja unsur P yang lain. Baja fosfat inorganik mengandungi 80-90% iaitu sebahagian besar daripada kandungannya ialah kalsium fosfat dengan kadar kelarutan yang berbeza (Sharpley, 2000). Contoh-contoh baja fosfat inorganik adalah disenaraikan dalam Jadual 2.2 :

Jadual 2.2 Baja-baja fosfat inorganik

Nama baja	Komponen utama	Kandungan Fosfat, P ₂ O ₅ (%)	Kandungan Nitrogen, N (%)
Superfosfat biasa	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ; CaSO ₄ .H ₂ O	8-9	-
Superfosfat pekat	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	17-21	-
Ammonium superfosfat biasa	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ; CaHPO ₄ ; (NH ₄) ₂ HPO ₄	7-8	3-4
Ammonium superfosfat pekat	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ; CaHPO ₄ ; (NH ₄) ₂ HPO ₄	16-20	6-8
Monoammonium fosfat	NH ₂ H ₂ PO ₄	26	11
Ammonium polifosfat	NH ₄ H ₂ PO ₄ .(NH ₄) ₃ HP ₂ O ₇	24-29	10-20
Diammonium fosfat	(NH ₄) ₂ HPO	21	18
Asid fosforik	H ₃ PO ₄	24	-
Asid superfosforik	H ₄ P ₂ O ₇	34	-
Serbuk tulang	3Ca ₃ (PO ₄) ₂ .Ca(OH) ₂	9-11	-
Batuan fosfat	3Ca ₃ (PO ₄) ₂ .CaF ₂	10-15	-
Timbunan buangan	Ca silikafosfat	7-11	-
Fosfat termal	Ca ₃ (PO ₄) ₂	10-15	-

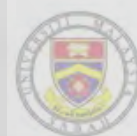
Sumber : Hansenbuiller, 1978.

2.2.2.1 Jenis larut air

Baja fosfat yang berbentuk butir halus dan bersifat jenis larut air dihasilkan melalui tindak balas batuan fosfat dengan asid sulfurik, asid nitrik atau asid fosforik. Baja jenis ini ditabur secara terus kepada tanah untuk tanaman . Dengan masa yang berlalu, baja fosfat akan melarut dengan lengkap, bertindak secara keseluruhan, serta menghasilkan sebatian yang baru dalam tanah.

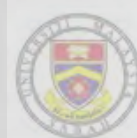
RUJUKAN

- Anderson, G., 1980. "Assessing Organic Phosphorus in Soils." Dlm: Khasawneh, F. E. (pnyt.) *The Role of Phosphorus in Agriculture*, ASA, CSSA, and SSSA, 411 - 428.
- Barueco, C. R., 1996. *Development in Plant and Soil Science: Fertilizer and Environment. Proceedings of the International Symposium "Fertilizer and Environment"*, September 1994, Salamanca, Spain, 26- 29.
- Baturin, G. N. (ed.), 1982. *Developments in Sedimentology*, Volume 33 : Phosphorites On the Sea Floor – Origin, Composition and Distribution, Elsevier Publishing Company.
- Bockman, O. C., Kaarstad, O., Lie, O. H. dan Richards, I., 1990. *Agriculture and Fertilizers – Fertilizer in Perspective : Their role in feeding the world, Environmental challenges, Are there alternatives*, Oslo, Norway Publishing.
- Cathcart, J. B., 1980. "The Phosphate Industry of the United States." Dlm: Khasawneh, F. E. (pnyt.) *The Role of Phosphorus in Agriculture*, ASA, CSSA, and SSSA, 19 -41.
- Dinauer, R. S., 1968. *Changing Patter in Fertilizer Use*, Soil Science Society of America, Inc.
- Dinauer, R. C., 1977. *Minerals In Soil Environments*, Soil Science Society of America, Inc.
- Donald, L. S., 1995. *Environmental Soil Chemistry*, Academic Press, Inc.



- Engelstad, O. P. dan Terman, G. L., 1980. "Agronomic Effectiveness of Phosphate Fertilizers." Dlm: Khasawneh, F. E. (pnyt.) *The Role of Phosphorus in Agriculture*, ASA, CSSA, and SSSA, 311-329.
- Follett, R. H., Murphy, L. S., 1981. *Fertilizers and Soil Amendments*, Prentice Hall, Inc., New Jersey.
- Fulmer, M. T., Ison, Ira C., Hankermayer, C. R., Constantz, B. R. dan Ross, J., 2002. Measurements of the Solubilities and Dissolution Rates of Several Hydroxyapatites. *Biomaterials*:**23**, 751-755.
- Guidry, M. W., dan Mackenzie, F. T., 2003. Experiential Study of Igneous and Sedimentary Apatite Dissolution: Control of pH, Distance from Equilibrium and Temperature on Dissolution Rates. *Geochemical et Cosmochimia Acta*: **67** (16), 2949 -2 963.
- Hartge, K. H. dan Stewart, B. A., 1995. *Advance in Soil Science: Soil Science. Its Development & Function*, CPC Press, Inc.
- Hausenbuiller, R. L., 1978. *Soil Science (Principles and Practices)*. Edisi ke 2, W. M. C. Brown Co. Publisher.
- Hodge, C. A. dan Popovinci, N. N., 1994. *Pollution Control in Fertilizer Production*, Marel Dekker, Inc.
- Jeffery, P. G. dan Hutchison, D., 1993. *Pergamon Series in Analytical Chemistry*, Volume 4 : Chemical Method of Rock Analysis. Edisi ke 3, Pergamon Press.
- Jones, E. V., Ragnarsdottir, K. V., Putnis, A., Bosbach, A., Kemp, A. J. dan Cressey, G., 1998. The Dissolution of Apatite In The Presence of Aqueous Metal Cation At pH 2-7. *Chemical Geology* : **151**, 215-233.

- Kamparath, E. J. dan Watson, M. E., 1980. "Conventional Soil and Tissue Tests for Assessing the Phosphorus Status of Soils." Dlm: Khasawneh, F. E. (pnyt.) *The Role of Phosphorus in Agriculture*, ASA, CSSA, and SSSA, 433 - 464.
- Kennedy, I. R., 1992. *Acid Soil and Acid Rain*, University of Sydney, Australia.
- Lehr, J. R., 1980. "Phosphate Raw Materials and Fertilizers: Part I-A Look Ahead." Dlm: Khasawneh, F. E. (pnyt.) *The Role of Phosphorus in Agriculture*, ASA, CSSA, and SSSA, 81 - 109.
- McClellan, G. H. dan Gremillion, L. R., 1980. "Evaluation of Phosphate Raw Materials." Dlm: Khasawneh, F. E. (pnyt.) *The Role of Phosphorus in Agriculture*, ASA, CSSA, and SSSA, 43 - 79.
- McDowell, R. M. dan Sharpley, A. N., 2003. Phosphorus Solubility and Release Kinetics As A Function of Soil Test P Concentration. *Geoderma*: **112**, 143 – 154.
- Nriagu, J. O. dan Moore, P. B., 1984. *Phosphorus Minerals*, New York: Springer-Verlog Berlin Heidelberg.
- Olsen, S. R. dan Khasawneh, F. E., 1980. "Use and Limitations of Physical-Chemical Criteria for Assessing the Status of Phosphorus in Soils." Dlm: Khasawneh, F. E. (pnyt.) *The Role of Phosphorus in Agriculture*, ASA, CSSA, and SSSA, 361 - 404.
- Ozanne, P. G., 1980. "Phosphate Nutrition of Plants – A General Treatise." Dlm: Khasawneh, F. E. (pnyt.) *The Role of Phosphorus in Agriculture*, ASA, CSSA, and SSSA, 559 - 585.
- Pierzynski, G. M., Logan, T. J., Traina, S. J., 1990. Phosphorus Chemistry and Mineralogy in Excessively Fertilized Soils : Solubility Equilibria. *Soil Sci. Soc. Am.* **54**, 1589-1595.



- Pierzynski, G. M., Sims, J. T. dan Vance, G. F., 1994. *Soil and Environment Quality*, Lewis Publishers.
- Rehcgigl, J. E., 1995. *Soil Amendments and Environment Quality*, Lewis Publishers.
- Reddy, M. S., Kumar, S., Babita, K. dan Reddy, M. S., 2002. Biosolubilization of Poorly Soluble Rock Phosphate by *Aspergillus tubingensis* and *Aspergillus niger*: *Bioresource Technology*: **84** (2), 187 – 189.
- Robinson, N., 1980. "Phosphoric Acid Technology." Dlm: Khasawneh, F. E. (pnyt.) *The Role of Phosphorus in Agriculture*, ASA, CSSA, and SSSA, 151-192.
- Sample, E. C., Soper, R. J. dan Racz, G. J., 1980. "Reactions of Phosphate Fertilizers in Soils." Dlm: Khasawneh, F. E. (pnyt.) *The Role of Phosphorus in Agriculture*, ASA, CSSA, and SSSA, 263-304.
- Sharpley, A. N., 2000. *Agricultural and Phosphorus Management: The Chesapeake Bay*, Lewis Publishers.
- Tang, X. Y., Zhu, Y. G., Chen, S. B., Tang, L. L. dan Chen, X. P., 2004. Assessment of the Effectiveness of Different Phosphorus Fertilizer to Remediate Pb-contaminated Soil Using In-Vitro Test. *Environment International* : **30**, 531-537.
- Vanlauwa, B., Diels, J., Sanginga, N., Carsky, R. C., Deckers, J. Dan Merckx, R., 2000. Utilization of Rock Phosphate by Crops on a Representative Toposequence in The Northern Guinea Savana Zone of Nigeria : Response by Maize to Previous Herbaceous Legume Cropping and Rock Phosphate Treatments. *Soil Biology and Biochemistry* : **32**, 2079-2090.
- Warren, G. P., 1992. Fertilizer Phosphorus : Sorption and Residual Value in Tropical African Soils. NRI Bulletin 37, Natural Source Institute, United Kingdom.



Young, R. D. dan Davis, C. H., 1980. "Phosphate Fertilizers and Process Technology."
Dlm: Khasawneh, F. E. (pnyt.) *The Role of Phosphorus in Agriculture*, ASA, CSSA, and SSSA, 195 – 226.

