

PEMANFAATAN FOSFAT ALAM DITINJAU DARI ASPEK LINGKUNGAN

Mas Teddy Sutriadi, Sri Rochayati, dan Achmad Rachman

PENDAHULUAN

Lingkungan hidup adalah sistem kehidupan yang merupakan kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan (tatanan alam) dan makhluk hidup termasuk manusia dengan perilakunya yang mempengaruhi kelangsungan perikehidupan dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lainnya. Dengan memerinci pengertian tentang lingkungan hidup itu, tersiratlah adanya tiga subsistem dalam kehidupan itu.

Agar pembangunan manusia dan pembangunan pertanian berjalan seiring, diperlukan pengunjukan ruang lingkup lingkungan pertanian dan ruang lingkup lingkungan manusia yang mengandung unsur-unsur pokok yang sama. Dengan demikian upaya menjaga keberlanjutan (*sustainability*) lingkungan manusia dengan sendirinya menjaga pula keberlanjutan lingkungan pertanian. Komponen-komponen lingkungan penting, baik dilihat dari segi kepentingan manusia maupun dari segi kepentingan pertanian, adalah udara, tanah, air, kehidupan hayati, keadaan ekonomi, dan nilai sosial budaya.

Indonesia termasuk negara yang (sebenarnya) kaya dengan sumber daya alam (SDA) yang melimpah, baik mineral logam (timah, tembaga, nikel, emas dan perak) dan non-logam (belerang, kapur, fosfat, marmer dan jodium), energi (batu bara, minyak dan gas), maupun sumber daya hayati. Indonesia memiliki

hutan cadangan seluas ± 31 juta ha untuk dikonversi menjadi lingkungan hidup buatan.

Sumber daya alam atau lingkungan hidup alam kita merupakan tumpuan dari pelaksanaan pembangunan untuk dapat berhasil dalam mencukupi segala kebutuhan manusia. Keberhasilan itu hanya dapat dicapai secara terus-menerus, baik untuk generasi sekarang maupun generasi yang akan datang kalau secara menyeluruh keterkaitan makna sumber daya alam dengan semua sektor pembangunan kita kelola dengan sebaik mungkin. Sumber daya alam itu mempunyai beraneka ragam peluang dan potensi pemanfaatan (*natural resource prospecting*) yang harus dikelola (dan dimanfaatkan) dengan menjaga keselamatan maknanya dalam kehidupan (*natural resource safety*) secara terus-menerus.

Deposit fosfat merupakan sumber daya alam yang sangat penting dalam industri pupuk fosfat untuk pertanian. Hanya beberapa negara yang beruntung di wilayahnya ditemukan deposit fosfat yang ekonomis baik untuk industri pupuk maupun untuk digunakan langsung sebagai pupuk. Deposit fosfat ditemukan dalam berbagai formasi geologi seperti sebagai batuan sedimen, batuan beku, batuan metamorfik, dan *guano*. Sekitar 80-90% batuan fosfat yang ditambang berasal dari batuan sediment, 10-20% berasal dari batuan beku (FAO, 2004), dan hanya 1-2% berasal dari guano terutama akumulasi hasil ekskresi burung dan kelelawar (van Straaten, 2002).

Deposit Fosfat Alam di Indonesia

Deposit fosfat alam di Indonesia pada umumnya ditemukan di daerah pegunungan karang, batu gamping atau dolomitik yang

merupakan deposit gua yang tersebar di Aceh, Sumatera Utara, Sumatera Barat, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Nusa Tenggara, dan Irian Jaya atau Papua. Menurut data yang dikumpulkan sampai tahun 1958 diperkirakan 663 ribu ton, sekitar 76% terdapat di Pulau Jawa dan sekitar 23% terdapat di Sumatera Barat (Tabel 31).

Tabel 31. Deposit fosfat alam di Indonesia menurut data yang dikumpulkan sebelum perang dunia II hingga 1958

No	Provinsi	Jumlah lokasi	Perkiraan deposit	
			t	%
1.	Aceh	5	1.800	5,9
2.	Sumatera Utara	1	304	29,3
3.	Sumatera Barat	16	152.000	t.d
4.	Jawa Barat	77	169.640	9,3-43,4
5.	Jawa Tengah	104	228.175	10,1-35,1
6.	Jawa Timur	75	105.639	< 40,3
7.	Nusa Tenggara	2	3.000	1,3-27,2
8.	Irian Jaya	2	2.500	15,0-31,5

Sumber: Samo Harjanto (1986); t.d = tidak ditetapkan

Selanjutnya dari hasil survei eksplorasi tahun 1968-1985 oleh Direktorat Geologi dan Mineral, Departemen Pertambangan telah ditemukan cadangan fosfat alam yang diperkirakan sebesar 895 ribu ton yang tersebar di Pulau Jawa (66%), Sumatera Barat (17%), Kalimantan (8%), Sulawesi (5%), dan sekitar 4% tersebar di Papua, Aceh, Sumatera Utara, dan Nusa Tenggara. Perkiraan cadangan deposit fosfat alam terbesar terdapat di Jawa Timur yaitu di daerah Tuban, Lamongan, Gresik, dan Madura sekitar 313 ribu t (Tabel 32).

Tabel 32. Deposit fosfat alam di Indonesia menurut data yang dikumpulkan dari tahun 1968 - 1985

No	Provinsi	Peta	Deposit	Kadar P ₂ O ₅
			t	%
1.	Jawa Barat:			
	- Lebak	(1)	4.000	23,0-30,0
	- Rangkasbitung	(2)	td	td
	- Cibinong, Leuwiliang, Ciamis, Cigugur, Cijunjung, Parigi, dll	(3)	99.459	1,0-38,0
2.	Jawa Tengah:			
	- Sukolilo, Brati, Pati	(4)	119.000	10,0-38,0
	- Karangayun, Grobogan	(5)	54.500	26,0
3.	Jawa Timur:			
	- Tuban	(6)	25.831	28,0
	- Lamongan	(7)	186.680	31,0
	- Gresik	(8)	25.500	29,0
	- Madura	(9)	74.518	28,0
	- P.Kangean	(10)	t.d	t.d
4.	Kalimantan:			
	- Kandangan	(11)	75.240	12,5-37,0
5.	Sulawesi:			
	- P. Kakabiya	(12)	45.000	0,4-25,1
6.	Timor Timur			
	- Quelical	(13)	t.d	t.d
7.	Irian Jaya:			
	- Misool	(14)	t.d	3,0-8,0
	- Anjawi	(15)	2.500	3,0
	- Ayamaru	(16)	td	28,00
8.	Aceh	(17)	1.800	5,9
9.	Sumatera Utara	(18)	304	29,3
10.	Sumatera Barat	(19)	152.000	t.d
11.	Nusa Tenggara	(20)	30.000	1,3-27,2

Sumber: Samo Harjanto (1986) dalam Moersidi (1999)

Deposit gua atau batu kapur terdapat pada daerah yang terpencair dan belum ditemukan deposit dalam jumlah yang cukup, kecuali untuk diusahakan dalam skala kecil. Berdasarkan dari keadaan geologi beberapa daerah yang cukup potensial diduga terdapat sekitar 1 atau 2 juta t deposit fosfat seperti di Ciamis, Pati, daerah antara Lamongan dan Tuban, serta di Hulu

Mahakam, Kalimantan Timur. Pada daerah deposit fosfat yang telah diketahui diduga terdapat pula deposit P dari endapan laut yang biasanya cukup homogen dan dalam jumlah yang besar. Dari hasil eksplorasi tahun 1990 ditemukan fosfat endapan laut dengan kadar P_2O_5 sekitar 20-38% dalam jumlah sekitar 2-4 juta t pada formasi batu gamping Kalipucung di Ciamis.

Pada umumnya deposit fosfat alam di Indonesia mempunyai kadar total P_2O_5 sangat bervariasi dari rendah sampai sedang dan ada beberapa deposit yang mencapai kadar sampai 40% P_2O_5 . Reaktivitas fosfat alam atau kelarutan fosfat alam yang menentukan kemampuan fosfat alam melepaskan P untuk tanaman juga sangat bervariasi (< 1 – 18% P_2O_5).

Hasil survei yang dilakukan Pusat Sumber Daya Geologi tahun 2008 deposit batuan fosfat di Indonesia ditemukan di Aceh Darusalam, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Kalimantan Selatan, dan Kalimantan Timur. Sebagian besar deposit batuan fosfat yang telah ditemukan di Indonesia terdiri atas deposit gua, dan berada daerah dekat pantai. Potensi batuan fosfat sangat bervariasi dari 100 – 4.500.000 t, dan kualitasnya bervariasi dari 4,19 - 49,3% P_2O_5 (Tabel 33). Berdasarkan hasil survei yang dilakukan oleh Pusat Sumber Daya Geologi tahun 2008 tersebut diketahui bahwa bentuk P bervariasi Ca Al-P, Fe Al-P, Fe-P, dan Ca-P. Warna yang terbentuk dapat coklat, hitam, dan keras.

Karakteristik Fosfat Alam

Di alam terdapat sekitar 150 jenis mineral fosfat dengan kandungan P sekitar 1-38% P_2O_5 . Sebagian fosfat alam ditemukan dalam bentuk apatit. Pada umumnya deposit fosfat alam berasal dari batuan sedimen dalam bentuk karbonat

fluorapatit yang disebut francolite ($\text{Ca}_{10-x-y}\text{Na}_x\text{Mg}_y(\text{PO}_4)_6-z(\text{CO}_3)_z\text{F}_{0,4z}\text{F}_2$), sedangkan deposit berasal dari batuan beku dan metamorfik biasanya dalam bentuk fluorapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$) dan hidroksi apatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$). Adapun deposit yang berasal dari ekskresi burung dan kelelawar (*guano*) umumnya ditemukan dalam bentuk karbonat hidroksi apatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4,\text{CO}_3)_6(\text{OH})_2$). Mineral lain seperti kuarsa, kalsit, dan dolomit umumnya juga ditemukan dalam mineral apatit sebagai *secondary mineral*.

Selain fosfat dan karbonat, di dalam batuan fosfat alam terkandung berbagai unsur seperti Ca, Mg, Al, Fe, Si, Na, Mn, Cu, Zn, Mo, B, Cd, Hg, Cr, Pb, As, U, V, F, Cl. Unsur utama di dalam fosfat alam antara lain P, Al, Fe, dan Ca. Secara kimia, fosfat alam dapat dikategorikan menjadi fosfat alam dengan dominasi Ca-P atau Al-P dan Fe-P sedangkan unsur lain merupakan unsur ikutan yang bermanfaat dan sebagian lain kurang bermanfaat bagi tanaman. Unsur ikutan yang perlu diwaspadai adalah kandungan logam berat yang cukup tinggi dalam fosfat alam, seperti Cd, Cr, Hg, Pb, dan U.

Fosfat alam mempunyai tingkat kelarutan tinggi pada kondisi masam, oleh karena itu sangat sesuai apabila digunakan sebagai sumber pupuk P pada lahan kering masam seperti *Ultisol*, *Oxisol* dan sebagian *Inceptisol*, dan kurang sesuai digunakan pada tanah bereaksi netral dan alkalin. Secara umum, kelarutan fosfat alam akan meningkat dengan menurunnya pH, Ca-dapat ditukar dan P dalam larutan tanah.

Tabel 33. Deposit batu fosfat di Indonesia menurut Peta Potensi Sumber Daya Geologi seluruh kabupaten di Indonesia (Pusat Sumber Daya Geologi, 2008)

No.	Provinsi	Kabupaten	Kecamatan	Desa	Potensi	Kadar P ₂ O ₅
					t	%
1	Aceh	Aceh Besar	Leupung	Gua Sigenan	5.000	12-35, gua fosfat
2	Aceh	Aceh Besar	Leupung	Gua Truh	1.500	31,06, coklat, keras
3	Aceh	Aceh Besar	Arongan Lambalek	Gua Gleteumiba	13.000	6,25-27,8 Gua fosfat
4	Aceh	Pidie	Batee	Gua Tujuh	1.500	40,41-40,91 coklat, hitam
5	Jawa Barat	Bogor	Leuwiliang	Gunung Jambu	30.000	33,04 gua Fosfat, 33,04
6	Jawa Barat	Sukabumi	Jampang Tengah	Jampang Tengah	40.000	33-39, gua Fosfat
7	Jawa Barat	Ciamis	Cihaurbeuti	Gunung Sawal	100	Belum ada data
8	Jawa Barat	Ciamis	Padaherang	Ciganjeng	20.000	17,31
9	Jawa Barat	Ciamis	Padaherang	Karangmulya	71.000	14,55-33
10	Jawa Barat	Ciamis	Padaherang	Padaherang	425.000	18-33
11	Jawa Barat	Ciamis	Sidamulih	Pamarican	2.000.000	15-39
12	Jawa Tengah	Pati	Sukolilo	Sukolilo	65.000	25-35
13	Jawa Tengah	Pati	Sukolilo	Sukolilo	20.000	25-35
14	Jawa Tengah	Magelang	Salaman	Kalisasak	225.000	Belum ada data
15	Jawa Tengah	Kebumen	Ayah	Karangbolong, Gombong	250.000	10-28, 119 gua fosfat
16	Jawa Tengah	Kebumen	Buayan	Gua Banteng, Desa Gebluk	35.000	Belum ada data
17	Jawa Tengah	Grobogan	Grobogan	Branti, Kayen	65.000	30
18	Jawa Tengah	Grobogan	Grobogan	Karangayun	35.750	Belum ada data
19	Jawa Tengah	Wonogiri	Batuwarno	Posong, Karang Tengah	12.400	luas = 0,2 ha
20	Jawa Tengah	Wonogiri	Giritontro	Giritontro	1.000	25-35
21	Jawa Tengah	Wonogiri	Pracimantoro	Pracimantoro	7.000	14,65-29,64
22	Jawa Timur	Bojonegoro	Dander	Ngumpah Dalun	1.870	31,32,
23	Jawa Timur	Gresik	Paceng	Kemantren, Desa Prupuh	1.500	4 lokasi, endapan Ca-Al P

No.	Provinsi	Kabupaten	Kecamatan	Desa	Potensi	Kadar P ₂ O ₅
24	Jawa Timur	Gresik	Sedayu	Purwodadi	1.000	2 lokasi, endapan Ca-Al P
25	Jawa Timur	Lamongan	Babat	Pucek Wangi	5.000	Endapan Fe-Al P
26	Jawa Timur	Lamongan	Brondong	Brondong	100	Luas = 1,8 ha
27	Jawa Timur	Lamongan	Paciran	Paciran	2.000	6 lokasi, endapan Ca-Al P
28	Jawa Timur	Pacitan	Kebonagung	Plumbungan	27.000	11 lokasi
29	Jawa Timur	Pacitan	Ngadirojo	Kuripan, Desa Sidomulyo	50.000	Belum ada data
30	Jawa Timur	Tuban	Merakkurak	Margomulyo, Senori	22.900	Termasuk Fe-P
31	Jawa Timur	Tuban	Palong	Palong Sebelah Timur	1.900	Fe-P
32	Jawa Timur	Tuban	Rengel	Gesikan	30.000	33,4-49,3
33	Jawa Timur	Tuban	Semanding	Semanding	25.600	Belum ada data
34	Jawa Timur	Bangkalan	Geger	Krawang, Desa Kombang	312.000	33 buah, jenis Ca-P
35	Jawa Timur	Bangkalan	Labang	Beringin	500	Belum ada data
36	Jawa Timur	Sampang	Jrengik	Buker	1.500.000	29,01
37	Jawa Timur	Sampang	Jrengik	Taman	1.500.000	4,19
38	Jawa Timur	Sampang	Kedundung	Kedundung	1.500.000	Belum ada data
39	Jawa Timur	Sampang	Ketapang	Bunten Timur	750.000	Belum ada data
40	Jawa Timur	Sampang	Omben	Tambak	3.000.000	23,26
41	Jawa Timur	Sampang	Sampang	Dalpenang	4.500.000	9,79-27,78
42	Jawa Timur	Sampang	Sokobanah	Bira Timur	2.250.000	43,14
43	Kalsel	Balangan	Awayan	Gua Sungsum, G. Batuputih, Juuh	10.400	8,82
44	Kalsel	Hulu Sungai Selatan	Laksado	G. Liang Mandala & G. Batupute, Tanuhi Mal	41.500	10-37
45	Kalsel	Kota Baru	Pamukan Utara	Gua Banian, Rantau Buda	3.100	11,18
46	Kalsel	Tanah Bumbu	Batulicin	Transmigrasi Blok 1, Mantewe	1.100	Belum ada data
47	Kalsel	Tapin	Bungur	Gua Pegat Tasungin dan Gua Rantau, Rantau Bujur	110.100	7,31-12,19
48	Kaltim	Kutai	Muara Badak	Gua Pesoli dan Pelangkau, Muara Badak Ilir	400	Belum ada data
49	Kaltim	Kutai	Sebelu	Kampung Sanggulan, Sebulu Ulu	400	Belum ada data

Fosfat alam mempunyai efek residu jangka panjang karena mempunyai sifat *slow release*, oleh karena itu pemberian fosfat alam dapat diberikan sekaligus pada saat tanam dan dapat digunakan hingga beberapa musim berikutnya.

Namun demikian penambangan dan penggunaan fosfat yang tidak berhati-hati, dapat mencemari lingkungan, karena adanya unsur ikutan logam berat dalam fosfat alam seperti Cd, Cr, Hg, Pb, dan U dengan kadar cukup tinggi.

Dampak Pemanfaatan Fosfat Alam terhadap Lingkungan

Pencemaran lingkungan merupakan masalah kita bersama, yang semakin penting untuk diselesaikan, karena menyangkut keselamatan, kesehatan, dan kehidupan kita. Siapapun bisa berperan serta dalam menyelesaikan masalah pencemaran lingkungan ini, termasuk kita. Dimulai dari lingkungan yang terkecil, diri kita sendiri, sampai ke lingkungan yang lebih luas.

Untuk menyelesaikan masalah pencemaran lingkungan ini, tentunya kita harus mengetahui sumber pencemar, bagaimana proses pencemaran itu terjadi, dan bagaimana langkah penyelesaian pencemaran lingkungan itu sendiri.

Effendi (2003) mengelompokkan sumber pencemar (*pollutan*) menjadi: (1) sumber pencemar lokasi tertentu (*point source*) dan (2) sumber pencemar tersebar atau baur (*non point source*). Sumber pencemar *point source* bersifat lokal, dan efek yang ditimbulkan dapat ditentukan berdasarkan karakteristik spasial dari bahan pencemar dari suatu kegiatan, misalnya, knalpot mobil, asap pabrik, saluran limbah industri. Sedangkan sumber pencemar *non point source* adalah sumber pencemar dari

berbagai sumber pencemar *point source* dalam jumlah banyak. Sebagai contoh adalah limpasan air dari kegiatan pertanian yang mengandung pupuk dan pestisida, limpasan air dari daerah permukiman berupa limbah domestik. Dalam kaitannya dengan judul tulisan ini, yang akan disajikan dan dibahas adalah sumber pencemar *non point source*, yaitu pupuk fosfat alam.

Proses pencemaran lingkungan oleh pemanfaatan P-alam

Proses pencemaran dapat terjadi secara langsung maupun tidak langsung. Secara langsung yaitu bahan pencemar tersebut langsung berdampak meracuni sehingga mengganggu kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan atau mengganggu keseimbangan ekologis baik air, udara maupun tanah. Proses tidak langsung, yaitu beberapa zat kimia bereaksi di udara, air maupun tanah, sehingga menyebabkan pencemaran.

Pencemar ada yang langsung terasa dampaknya, misalnya berupa gangguan kesehatan langsung (penyakit akut), atau akan dirasakan setelah jangka waktu tertentu (penyakit kronis). Sebenarnya alam memiliki kemampuan sendiri untuk mengatasi pencemaran (*self recovery*), namun alam memiliki keterbatasan. Setelah batas itu terlampaui, maka pencemar akan berada di alam secara tetap atau terakumulasi dan kemudian berdampak pada manusia, material, hewan, tumbuhan, dan ekosistem.

Sumber pencemaran yang penting dari pemanfaatan fosfat alam adalah kegiatan penambangan fosfat alam dan aplikasi fosfat alam dengan takaran yang berlebihan. Kegiatan penambangan fosfat alam yang berdampak pada lingkungan adalah eksplorasi, pengangkutan dari lokasi tambang ke pabrik, dan pengolahan. Kegiatan eksplorasi jika dilaksanakan tidak

memperhatikan kaidah lingkungan akan berdampak pada lingkungan yaitu kerusakan alam, akibat berubahnya bentang alam dan kerusakan pemandangan, selain itu juga pengangkutan fosfat alam dari lokasi penambangan ke tempat proses produksi berdampak pada penurunan kualitas udara, akibat meningkatnya konsentrasi debu di udara. Aplikasi fosfat alam yang berlebihan dikhawatirkan berdampak pada meningkatnya kandungan logam berat terutama Cd pada lahan pertanian, yang dapat terakumulasi pada tanaman dan badan sungai.

Pupuk P alam mengandung bahan ikutan berupa logam berat. Hasil analisis berbagai pupuk sumber P yang terdiri atas P-alam dari dalam negeri dan luar negeri dan SP-36 menunjukkan bahwa selain unsur utama P_2O_5 pupuk, juga mengandung unsur hara sekunder Ca, Mg, dan unsur mikro Fe, Mn, Cu, Zn, dan logam berat Cd, Cr, Pb, Cu, Hg dalam jumlah yang bervariasi yaitu Cd (0,1-170 ppm), Cr (66-245 ppm), Pb (40-2.000 ppm), dan Cu (1-300 ppm) (Setyorini, 2003). Penggunaan pupuk fosfat yang berlebihan berpotensi mencemari lingkungan pertanian apabila keberadaannya dalam tanah telah melebihi ambang batas Cd (3-8 ppm), Cr (75-100 ppm), Pb (100-400 ppm), dan Cu (60-125 ppm) (Alloway, 1990).

Penambangan dan pemanfaatan fosfat alam yang tidak memperhatikan kaidah lingkungan akan berdampak pada meningkatnya kandungan logam berat baik pada udara, air, dan tanah, yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan pada manusia, pertumbuhan tanaman, dan eutrofikasi pada kolam atau danau. Logam berat dapat menimbulkan pengaruh pada manusia yang biasanya terjadi di dalam sel tubuh. Pengaruh tersebut diantaranya adalah mengganggu reaksi kimia, menghambat

absorpsi dari nutrien-nutrien yang esensial serta dapat merubah bentuk senyawa kimia yang penting menjadi tidak berguna (Doloresa, 2008). Masuknya logam berat ke dalam tubuh dapat mengganggu proses metabolisme.

Dampak pencemaran logam berat pada manusia

Keracunan logam berat pada manusia terdiri atas: (1) keracunan akut, misalnya akibat paparan logam di tempat kerja yang dapat menimbulkan kerusakan paru-paru, reaksi kulit, dan gejala-gejala gastrointestinal akibat kontak singkat dengan konsentrasi yang tinggi; (2) keracunan kronik, akibat pernapasan jangka panjang dengan konsentrasi yang rendah seperti kadmium (Cd) yang menyebabkan penyakit ginjal, dan timbal, metil merkuri dan senyawa timah organik yang dapat menyebabkan degenerasi jaringan dan kerusakan otak, serta arsenik yang menyebabkan kerusakan sistem syaraf perifer, menyebabkan rasa baal, sakit dan dapat kehilangan kontrol otot-otot ekstremitas lengan dan tungkai. Debu logam yang menyebabkan kerusakan paru-paru. Kromium, selenium, kadmium, nikel dan arsenik yang menyebabkan kerusakan hati, ginjal dan kanker kulit dan mutasi gen juga efek kronik lainnya; dan (3) pengaruh lainnya adalah terhadap perkembangan embrio dan bayi yang baru lahir.

Strategi Pengendalian Pencemaran

Penyelesaian masalah pencemaran terdiri atas langkah pencegahan dan pengendalian. Langkah pencegahan pada prinsipnya mengurangi pencemar dari sumbernya untuk mencegah dampak lingkungan yang lebih berat, yaitu: (1) menerapkan prinsip-prinsip penambangan yang berkelanjutan, yaitu dengan memperhitungkan dampak terhadap kondisi lingkungan baik fisik,

kimia, maupun sosial budaya dan (2) menerapkan beberapa teknologi pengendalian residu logam berat dari fosfat alam, yang berpotensi untuk dikembangkan di kawasan lingkungan pertanian antara lain (a) teknologi peningkatan efisiensi penggunaan pupuk fosfat alam dengan diberikan secara langsung dan dibenamkan ke dalam tanah dengan takaran yang tepat; (b) teknologi fitoremediasi, yaitu memanfaatkan pertumbuhan tanaman untuk mengurangi logam berat; dan (c) teknologi bioremediasi, yaitu perbaikan tanah yang telah tercemar logam berat dengan memanfaatkan kegiatan mikroorganisme tanah.

Teknologi Penggunaan Fosfat Alam untuk Industri dan Pertanian

Teknologi pupuk untuk mengefisienkan pupuk P dapat dilakukan dengan cara biologi antara lain dengan membuat fosfo-kompos (mencampurkan fosfat alam dengan kompos), inokulasi dengan versicular-arbuscular mycorrhiza, menggunakan mikroorganisme pelarut P, dan menggunakan species tanaman yang toleran terhadap defisiensi P. Sastraatmadja (2001) dalam Widawati dan Suliasih (2008) mengemukakan bahwa bakteri pelarut fosfat dalam bahan pembawa kompos dapat menstimulir aktivitas amonifikasi, nitrifikasi, fiksasi nitrogen dan fosforilasi, sehingga akan meningkatkan produktivitas tanah secara permanen.

Secara kimiawi dapat dilakukan dengan pengasaman sebagian dan dikenal dengan pupuk PARP (*partially acidulated phosphate rock*). Teknologi ini merupakan cara yang paling efektif untuk mengefisienkan penggunaan superfosfat dan fosfat alam. Namun hal ini bukan merupakan teknologi baru sama sekali, karena cara pembuatannya seperti pupuk superfosfat hanya penggunaan asam yang ditambahkan tidak sebanyak dalam pembuatan superfosfat. Sampai saat ini yang banyak digunakan

antara 25-50% asam dan ketersediaan P lebih tinggi dari fosfat alam tetapi lebih rendah dari superfosfat. Sedangkan kandungan P dalam PARP antara 26-36% P_2O_5 . Namun demikian kualitas pupuk PARP belum ditetapkan secara pasti. Dari proses pembuatan PARP selain menggunakan asam yang lebih rendah, kapasitas pabrik dapat ditingkatkan dan dapat digunakan bahan batuan fosfat alam yang tidak dapat dipakai untuk bahan pembuatan superfosfat. Pupuk tersebut dapat digunakan pada tanah masam (Ultisols dan Oxisols) dan sebagian Inceptisols serta pada tanah netral dengan tingkat defisiensi P yang rendah.

Potensi pengembangan pertanian pada lahan kering dan sawah bukaan baru yang bersifat masam serta lahan pasang surut masih sangat besar, terutama di luar Jawa seperti di Kalimantan, Sumatera, dan Sulawesi. Kekahatan P merupakan salah satu kendala utama bagi kesuburan tanah masam. Tanah ini memerlukan P dengan takaran tinggi untuk memperbaiki kesuburan tanah dan meningkatkan produktivitas tanaman. Untuk mengatasi kendala kekahatan P umumnya menggunakan pupuk P yang mudah larut seperti TSP, SP-36, SSP, DAP. Pupuk tersebut mudah larut dalam air sehingga sebagian besar P akan segera difiksasi oleh Al dan Fe yang terdapat di dalam tanah dan P menjadi tidak tersedia bagi tanaman. Selain itu penggunaan pupuk tersebut sangat mahal dan dengan terbatasnya subsidi pupuk maka penggunaan di tingkat petani sangat terbatas. Oleh karena itu perlu alternatif sumber pupuk P yang lain seperti fosfat alam yang harganya lebih murah dibandingkan dengan pupuk P yang mudah larut, dapat meningkatkan produktivitas tanaman dan memperbaiki kesuburan tanah. Fosfat alam merupakan sumber P yang lambat tersedia maka terjadinya fiksasi kecil sehingga pengaruh residunya cukup lama.

Penggunaan fosfat alam secara langsung dengan takaran yang berlebihan di atas 1 t ha^{-1} dikhawatirkan akan meningkatkan kandungan logam berat di dalam tanah. Akumulasi logam berat ini akan dapat meracuni tanaman dan residunya terbawa dalam tanaman, sehingga dapat menggaung kesehatan manusia. Beberapa cara dapat dilakukan pada tanah-tanah yang telah tercemar logam berat akibat aplikasi fosfat alam dengan takaran berlebihan, walaupun sangat jarang sekali ditemukan, adalah dengan upaya *fitoremediasi*, *bioremediasi*, dan *kemoremediasi*.

Fitoremediasi

Sampai saat ini upaya konkrit untuk menanggulangi pencemaran lahan pertanian yang tercemar logam berat masih terbatas. Salah satu cara yang relatif murah dan mudah untuk memulihkan kualitas tanah pertanian yang tercemar logam berat adalah dengan fitoremediasi. *Fitoremediasi* adalah upaya mengatasi pencemaran lingkungan dengan penanaman berbagai jenis tanaman yang memiliki kemampuan untuk menyerap dan mengangkut berbagai B_3 /logam berat dari dalam tanah (disebut *multiple uptake hyperaccumulator plants*), dan memiliki kemampuan mengangkut polutan spesifik (*specific uptake hiperaccumulator plants*) (Aiyen, 2005).

Penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dapat dibagi ke dalam tiga proses yang berkesinambungan, yaitu: penyerapan logam oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain, dan lokalisasi logam pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut (Lasat, 2000). Masing-masing tanaman

mempunyai kemampuan yang berbeda dalam menyerap logam berat dari tanah (Tabel 34).

Tabel 34. Pemanfaatan tumbuh-tumbuhan untuk remediasi tanah tercemar logam berat

Tanaman	Perlakuan	Hasil
Enceng gondok (<i>Eichornia crassipes</i>)	Menanami media tanam (tanah) yang mengandung logam berat Cd, Hg dan Ni secara terpisah (tidak tercampur)	Dalam waktu 24 jam menyerap Cd, Hg, dan Ni masing-masing sebesar 1,35; 1,77; dan 1,16 mg g ⁻¹ (Hasim, 2003)
	Menanami media tanam (tanah) yang mengandung logam berat Cr	Menyerap secara maksimal pada pH 7 logam Cr yang semula 15 ppm turun 51,85% (Hasim, 2003)
Mendong (<i>Fimbristyllis globulosa</i>)	Menanami tanah tercemar logam berat dengan tanaman mendong	Menurunkan kadar logam Pb, Cd, Co, Fe, dan Cu pada tanah dari yang semula 15,04; 0,13; 19,90; 53,45, dan 58 ppm menjadi 12,71; 0,11; 14,13; 49,83 dan 50 ppm (Kurnia <i>et al.</i> 2004)
<i>Brassica juncea</i>	Menanami tanah tercemar logam berat dengan <i>Brassica juncea</i>	Menyerap seluruh Pb yang diberikan pada media tumbuh, Cd terserap 55%, Cr 51%, Ni 45% dan Cu 98% (Dushenkov <i>et al.</i> , 1995)

Akumulasi logam berat yang diserap tanaman terutama terjadi di dalam akar. Oleh karenanya serapan tumbuhan terhadap logam berat dapat ditingkatkan dengan meningkatkan biomassa akar tanaman. Priyambada *et al.* (1999) menunjukkan bahwa inokulasi tanaman dengan *Pseudomonas putida* dan *Pseudomonas fluorescens* yang mampu menghasilkan senyawa pemacu pertumbuhan tanaman, dapat meningkatkan serapan tanaman terhadap logam berat Cd melalui peningkatan pertumbuhan perakarannya. Selanjutnya Sastraatmadja (2001) dalam Widawati dan Suliasih (2008) mengemukakan bahwa bakteri pelarut fosfat

dalam bahan pembawa kompos dapat menstimulir aktivitas amonifikasi, nitrifikasi, fiksasi nitrogen dan fosforilasi, sehingga akan meningkatkan produktivitas tanah secara permanen.

Bioremediasi

Bioremediasi adalah teknologi perbaikan tanah tercemar logam berat dengan memanfaatkan mikroorganisme yang mampu mengadsorpsi dan mendegradasi logam berat. Mikroorganisme merupakan bioremediator ampuh untuk menghilangkan logam-logam melalui mekanisme serapan secara aktif atau pasif (Volesky dan Holand, 1995). Bakteri *Bacillus* sp. potensial dalam remediasi logam berat dalam tanah (Tabel 35).

Menurut Sims *et al.* (1990), keberhasilan penanganan biologis terhadap kontaminan dalam media tanah ditentukan oleh empat faktor utama, yaitu heterogenitas limbah, konsentrasi zat atau senyawa, toksisitas dan anti degradasi, dan kondisi yang sesuai untuk pertumbuhan mikrobia.

Tabel 35. Pemanfaatan bakteri untuk remediasi logam berat

Jenis bakteri	Perlakuan	Hasil
<i>Bacillus</i> sp.	Inokulasi <i>Bacillus</i> sp. pada tanaman padi	Serapan Pb pada beras menurun 36,49% sampai 58,21%, serapan Cd pada beras menurun 31,05% sampai 51,32% (Kurnia <i>et al.</i> , 2004).
<i>Bacillus</i> sp. dan biofertilizer BioPhos	Inokulasi <i>Bacillus</i> sp. dan kombinasi biofertilizer BioPhos pada tanaman padi	Menurunkan serapan Cd pada beras 49% dan kadar Cd tanah 36% (Kurnia <i>et al.</i> , 2004)

Beberapa jenis bakteri, seperti *Pseudomonas*, *Thiobacillus*, *Bacillus*, dan bakteri penambat N dilaporkan mampu mengakumulasi logam berat. Mikroorganisme mempunyai berbagai macam cara dalam menyerap logam toksik dan beberapa mekanisme telah diketahui pada tingkat molekuler.

Beberapa logam dan komponennya merupakan sasaran dalam biotransformasi yang dapat meningkatkan atau menurunkan toksik. Mikroorganisme mempunyai kemampuan menyerap logam berat (*bioremoval*). Proses *bioremoval* ion logam berat umumnya terdiri atas dua mekanisme yang melibatkan proses serapan aktif (*active uptake*) dan serapan pasif (*passive uptake*).

Kemoremediasi

Kemoremediasi digunakan untuk perbaikan tanah tercemar logam berat dengan prinsip menambahkan bahan kimia (kapur, bahan organik dan lain-lain) terhadap tanah yang tercemar. Menurut Cunningham *et al.* (1995), limbah pertanian memberikan harapan cukup baik untuk mengatasi pencemaran tanah oleh pencemar organik atau anorganik, dengan cara: (1) stabilisasi pencemar, yaitu kondisi tanah dan vegetasi penutupnya dimanipulasi untuk mengurangi dampak lingkungan yang terjadi dan (2) proses dekontaminasi, dengan flora bersama mikrofloranya dengan maksud untuk mengeliminasi kontaminasi pencemar dari tanah (Soerjani, 2006). Bahan organik juga dapat digunakan untuk mengimobilkan logam berat di dalam tanah. Asam fulvat dan asam humat yang terkandung dalam bahan organik dapat mengikat Pb, Fe, Mn, Cu, Ni, Zn, dan Cd pada perbandingan 1:1. Ketidaklarutan asam fulvat dan asam humat mengakibatkan ion-ion logam yang diikatnya menjadi tidak larut dan tidak tersedia bagi tumbuhan (Aiyen, 2005). Beberapa cara remediasi secara kimia dengan memanfaatkan bahan organik disajikan dalam Tabel 36.

Bahan organik merupakan salah satu bahan amelioran yang dapat digunakan untuk menurunkan kation dan anion dari larutan tanah. Bahan ini selain berkontribusi terhadap unsur hara juga dapat menurunkan reaktivitas kation-kation meracun, sehingga kerusakan yang mungkin timbul dapat dikurangi (Ardiwinata *et al.*, 2005).

Tabel 36. Remediasi secara kimia dengan memanfaatkan bahan organik

Jenis amelioran	Perlakuan	Hasil
Bahan organik	Takaran bahan organik jenis pupuk kandang ayam 5, 10 dan 15 g pada 100 g tailing tambang emas	Menurunkan ketersediaan Fe 93-4%, Mn 61-70 % dan Cu 23-59% dari kontrol (Suryanto dan Susetyo, 1997)
Macam bahan organik	Pemberian bahan organik, berasal dari legum, jerami padi, sampah organik, dan tandan kosong kelapa sawit	Menurunkan kadar Cd dalam batang dan daun bayam 20,5% (legum), 29,1% (sampah organik), 20,8% (jerami padi) dan 54,6% (tandan kosong kelapa sawit) dari 29,08 mg kg ⁻¹ (kontrol) (Marwantinah dan Budianta, 2002).

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih, J.S. and T.H. Fairhurst. 1996. The use of reactive phosphate rock for the rehabilitation of anthropic savannah in Indonesia. Page 159-174. *In* A.E. Johnston and J.K. Syers. Nutrient Management for Sustainable Crop Production in Asia.
- Aiyen. 2005. Ilmu remediasi untuk atasi pencemaran tanah di Aceh dan Sumetra.
- Ardiwinata, A.N., Juwarsih, S.Y. Jatmiko, dan E.S. Harsanti. 2005. Kemampuan adsorpsi amelioran terhadap residu insektisida Aldrin, Lindan, Heptaklor, Dieldrin dan Klorpirifos di dalam tanah. Makalah disampaikan *dalam* Seminar Nasional Pengendalian Pencemaran Lingkungan Pertanian Melalui Pendekatan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) Secara Terpadu. Surakarta Maret 2006. 14 hlm.

- Cunningham, S.D., W.R. Berti dan J.W. Huang. 1995. Phytoremediation of contaminated soils. TIBTECH. 13: 393-397.
- Doloressa, Gloria, F. Tusafariah, dan A.A. Ridawan. 2008. Tenorm pada industry fosfat dan potensi bahaya bagi kesehatan masyarakat. *Dalam* Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II, Universitas Lampung, 17-18 November 2008.
- Effendi, H. 2003. Telaah kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Penerbit Kanisius.Yogyakarta.
- Kasno, A., D. Setyorini, dan I.G.P. Wigena. 2007. Aplikasi P-alam berkadar P tinggi pada tanah masam Inceptisol, Bogor untuk tanaman jagung. hlm. 395-409 *dalam* Pros. Lokakarya Nasional Inovasi Teknologi Pertanian Mendukung Hari Pangan Sedunia 2007. Bandar Lampung, 25-26 Oktober 2007.
- Lasat, M.M. 2000. Phytoextraction of metal from conaminated soil. J. Hazard Subs. Research 2: 1-25.
- Moersidi, S. 1999. Fosfat alam sebagai bahan baku dan pupuk fosfat. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor. 82 hlm.
- Priyambada, I.D., D. Wahjuningrum dan J. Soedarsono. 1999. Effect of fluorecent pseudomonads-rhizosperic colonization on Cadmium accumulation by Indian Mustard (*Brassica juncea* L.). Journal of Bioscience 10: 42-46.

- Sims, J.L., R.C. Sims dan J.E. Matthews. 1990. Approach to bioremediation of contaminated soil hazard. *Waste Hazard Matter* 7: 117-149.
- Soerjani, M., A. Yuwono, dan D. Fardiaz. 2006. *Lingkungan Hidup. Pendidikan, Pengelolaan Lingkungan dan Pembangunan Berkelanjutan*. Yayasan Institut Pendidikan dan Pengembangan Lingkungan. Jakarta.
- Sutriadi, M.T., R. Hidayat, S. Rochayati, dan D. Setyorini. 2005. Ameliorasi lahan dengan fosfat alam untuk perbaikan kesuburan tanah kering masamTypic Hapludox di Kalimantan Selatan. hlm. 143-155 *dalam* Pros. Seminar Nasional Inovasi Teknologi Sumber Daya Tanah dan Iklim. Bogor, 14-15 September 2004. Puslittanak, Bogor.
- Volesky and Holand. 1995. Biotechnol. Prog 11. *In* *Biotechnology Letter*.
- Widawati, S. dan Suliasih. 2008. Augmentasi bakteri pelarut fosfat (BPF) potensila sebagai pemacu pertumbuhan caysin (*Brasica ceventis* Oed.) di tanah marginal. *Biodiversitas*. 7 (1): 10-14.