

# TEKNOLOGI PENGENDALIAN PENCEMARAN LINGKUNGAN PERTANIAN: SEKARANG DAN PROSPEK PENERAPANNYA KE-DEPAN

Husein Suganda<sup>1)</sup> dan Undang Kurnia<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Loka Penelitian Pencemaran Lingkungan Pertanian

<sup>2)</sup>Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat

## PENDAHULUAN

Lingkungan pertanian adalah tanah, air, udara dan tanaman pada kawasan budidaya. Pencemaran lingkungan ke dan dari lahan pertanian makin terasa dampak negatifnya terhadap kehidupan masyarakat. Pencemaran dapat berasal dari luar kegiatan pertanian meliputi pencemaran dari limbah industri pertanian dan non pertanian serta aktivitas pertambangan. Sedangkan pencemaran dari aktivitas pertanian meliputi pemanfaatan teknologi untuk meningkatkan hasil pertanian yang secara berlebihan menggunakan bahan-bahan kimia seperti pestisida, pupuk dan teknologi budidaya lainnya yang kurang tepat. Budidaya pertanian lahan sawah juga menyumbang emisi gas rumah kaca, diduga salah satu yang berpengaruh terhadap pemanasan global, yang secara tidak langsung akibat emisi tersebut dapat berpengaruh tidak baik terhadap lingkungan pertanian. Akibat pencemaran lingkungan pertanian menimbulkan penurunan kualitas tanah, udara, produk pertanian, pendapatan dan kesejahteraan petani.

Penelitian pencemaran lingkungan dan teknologi penanggulangannya di lahan pertanian mendapat perhatian khusus sejak di bentuk unit pelaksana teknis/UPT penelitian, yaitu Loka Penelitian Pencemaran Lingkungan Pertanian pada tahun 2002. Berdasarkan pada Keputusan Menteri Pertanian No.66/Kpts/OT.210/1/2002 tentang organisasi dan tata kerja Loka Penelitian Pencemaran Lingkungan Pertanian bahwa Loka Penelitian Pencemaran Lingkungan Pertanian (Lolingtani) adalah unit pelaksanaan teknis di bidang penelitian dan pengembangan yang berada di bawah dan bertanggung jawab langsung kepada Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat.

Loka ini mempunyai tugas melaksanakan penelitian bidang pencemaran lingkungan dan penanggulangannya di lahan pertanian, dalam melaksanakan tugasnya menyelenggarakan fungsi: (i) pelaksanaan penelitian pencemaran tanah dan emisi lingkungan tanaman, penyebaran zat-zat pencemar di udara, tanah dan air serta perubahan iklim mikro; (ii) pelaksanaan penelitian komponen teknologi budidaya pertanian ramah lingkungan; dan (iii) c, d dan e menyangkut

masalah pemberian pelayanan teknik kegiatan pencemaran lingkungan pertanian, penyiapan kerjasama, informasi dan dokumentasi serta penyebarluasan dan pendayagunaan hasil penelitian tsb dan pelaksanaan urusan tata usaha dan rumah tangga.

Penelitian dilakukan tidak terlepas dari tugas pokok dan fungsi yaitu, untuk menemukan inovasi teknologi penanggulangan pencemaran di lahan pertanian. Pencemaran yang dimaksud adalah akibat (i) limbah industri pertanian dan akibat aktivitas industri non pertanian dan pertambangan; (ii) penggunaan bahan agrokimia dalam proses produksi, dan (iii) emisi gas rumah kaca dari lahan budidaya pertanian.

## PENGERTIAN PENCEMARAN

Pencemaran lingkungan pertanian yang terjadi pada lahan pertanian, meliputi pencemaran pada tanah, air, udara dan produk pertanian. Beberapa pengertian yang berkaitan dengan istilah pencemaran lingkungan dikemukakan sebagai berikut: Pencemaran lingkungan adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan, dan/atau berubahnya tatanan lingkungan oleh kegiatan manusia atau proses alam, sehingga kualitas lingkungan turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya (UU Republik Indonesia, 1982).

Pencemaran lingkungan ialah terjadinya perubahan dalam suatu tatanan lingkungan asli menjadi suatu tatanan baru yang lebih buruk dari tatanan aslinya. Pencemaran yang dapat ditimbulkan oleh limbah bentuknya macam-macam. Pencemaran dapat berupa bau, warna, suara dan bahkan pemutusan rantai dari suatu tatanan lingkungan hidup atau penghancuran suatu jenis organisme yang pada tingkat akhirnya akan menghancurkan ekosistem (Soemarwoto, 1991).

Dalam Peraturan Pemerintah No. 20 tahun 1990 pasal 1 angka 2 dinyatakan bahwa pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia sehingga kualitas air turun ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak lagi berfungsi sesuai peruntukannya.

Pencemaran udara adalah masuknya zat pencemar kedalam udara, apabila melampaui ambang batas yang diperkenankan bagi kehidupan manusia, hewan dan tumbuhan. Materi yang pada umumnya termasuk dalam kategori pencemaran udara adalah: karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), nitrogen oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ), nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ), khlorofluorokarbon (CFCs), sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ), ozon ( $\text{O}_3$ ), aerosol atau (partikulat). Apabila dilihat dari

komposisi atmosfer, maka gas-gas ini berada pada bagian komposisi yang tidak permanen atau variable, kecuali  $\text{CH}_4$  dan  $\text{N}_2\text{O}$ . Karena keberadaannya sangat terbatas, maka kelebihan konsentrasi dari batas ambang akan mengakibatkan permasalahan pencemaran udara (Soenarmo 2001).

Beberapa pengertian pencemaran terhadap lingkungan pertanian menekankan bahwa adanya penurunan kualitas tanah, air, udara, produk pertanian yang lambat laun menyebabkan lingkungan ekosistem hancur dan tidak berfungsi sesuai peruntukannya.

## SUMBER DAN BAHAN PENCEMARAN

Penyebab pencemaran pada lahan pertanian sangat beragam, diantaranya adalah kegiatan non pertanian, seperti industri dan pertambangan, pembangunan perumahan (real estate) dan kegiatan pertanian seperti pembukaan lahan hutan untuk pemukiman dan lahan pertanian/perkebunan, serta aktivitas budidaya pertanian. Pencemaran pada lahan sawah umumnya disebabkan oleh limbah industri dan aktivitas budidaya dengan penggunaan bahan agrokimia seperti pupuk dan pestisida yang kurang terkendali, serta emisi gas rumah kaca yang keluar dari lahan budidaya pertanian. Pencemaran terjadi pada tanah, tanaman air tanah dan badan air atau sungai yang dapat menurunkan kualitas dan kuantitas hasil atau produk pertanian.

### Pencemaran Akibat Limbah Industri dan Aktivitas Pertambangan

Pengembangan industri di kawasan pertanian produktif sejak awal tahun 1970-an lambat laun namun pasti telah banyak mencemari lahan pertanian, hal itu disebabkan kawasan berada di kawasan pertanian dan limbah cair yang dikeluarkannya digunakan sebagai air pengairan. Akibat rembesan limbah tersebut juga menurunkan kualitas air sumur dangkal yang digunakan masyarakat sebagai bahan air minum. Penelitian pencemaran limbah industri di kawasan pesawahan Kabupaten Pati dan Karang Anyar di Jawa Tengah dan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Citarik, Kabupaten Bandung terbukti bahwa akibat pencemaran limbah industri dapat menyebabkan penurunan produktivitas padi sawah berkisar  $1,0-1,5 \text{ t/ha}^{-1}$  GKG (gabah kering giling).

Studi kasus di DAS Citarik sekitar 1215 ha lahan sawah intensif telah tercemar limbah industri (Tabel 1) (Suganda *et al.*, 2003). Lahan yang terkena aliran limbah sebenarnya dapat ditanami padi dua kali, akibat menurunnya produktivitas maka dalam setahun kawasan ini kehilangan GKG sekitar 2.430 sampai 3.645 ton. Jika harga gabah saat musim panen sekitar

Rp.1000/kg,- saja, maka kerugian daerah ini berkisar Rp. 2,4 sampai Rp.3,6 milyar per tahun.

Tabel 1. Luas lahan sawah yang terkena limbah dan banjir di DAS Citarik<sup>1</sup>

Parameter	Luas lahan (ha)
Terkena aliran limbah	1 215
Limbah dan banjir/genangan < 1 minggu	253
Limbah dan banjir/genangan > 1 minggu	474
Banjir/genangan > 2 minggu sampai 1 bulan	520

<sup>1</sup> Sumber : Suganda *et al.*, (2003).

Pencemaran limbah industri tidak hanya mengurangi luas lahan pertanian, menurunkan produktivitas lahan, akan tetapi juga mempengaruhi kualitas produk hasil yang mengandung logam berat beracun berbahaya seperti Hg, Cd, Pb dan Cr menyebutkan bahwa kandungan Cd dan Pb dalam tanah berkorelasi nyata dan positif terhadap kandungan Cd dan Pb dalam beras. Pencemaran Cd melalui pengairan pada konsentrasi 0,005 ppm mengakibatkan akumulasi Cd dalam beras mencapai > 1,0 ppm. Secara terus menerus mengkonsumsi makanan yang mengandung logam-logam berat tersebut akan menimbulkan kesehatan menurun dan penyakit berbahaya.

Pembangunan industri dan aktivitas pertambangan diduga seringkali menimbulkan permasalahan yang besar bagi lingkungan dan masyarakat sekitar, yaitu terjadinya pencemaran oleh bahan beracun berbahaya (B<sub>3</sub>) melalui limbahnya yang dibuang ke badan air dan lingkungan sekitar, yang umumnya mengandung unsur-unsur logam berat. Setiap jenis industri menggunakan bahan baku utama dan pembantu dalam proses produksinya. Bahan-bahan baku tersebut umumnya menggunakan zat-zat kimia yang mengandung bahan beracun berbahaya, sehingga limbahnya diperkirakan mengandung unsur-unsur yang sama seperti bahan bakunya (Tabel 2). Limbah industri apabila masuk ke dalam badan air dan airnya dimanfaatkan untuk mengairi lahan pertanian akan menyebabkan penimbunan bahan-bahan beracun/logam berat tersebut di dalam tanah. Penimbunan bahan-bahan beracun/logam berat disebabkan oleh penggunaan air yang tercemar limbah industri untuk mengairi lahan pertanian secara terus menerus, mengakibatkan unsur-unsur logam berat diserap tanaman dan terakumulasi di dalam jaringan tanaman.

Tabel 2. Jenis-jenis industri yang menggunakan bahan baku potensial mengandung unsur-unsur logam berat.

Jenis industri	Hg	Pb	Cd	Cr	Cu	Zn	Ni	Al	Fe	Co	Mn
Plastik/resin	+	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-
Farmasi/kosmetik	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Klorin	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alat-alat kontrol/ukur	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Elektronika/elektrik	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Elektroplating	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-
Cat anti karat	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tekstil	+	-	+	+	+	+	-	-	+	+	-
Keramik	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-
Penyamakan kulit	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Pulp dan kertas	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Baterai dan accu	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+
Sabun/detergen	+	+	-	-	+	+	+	-	+	-	-
Logam, produk logam	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+
Pestisida	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-

Sumber: Tim Peneliti Baku Mutu Tanah, 2000.

+ ada ; - tidak ada

Tabel 3 dan 4 menyajikan data kandungan bahan pencemar dan logam berat dalam tanah, jaringan tanaman dan beras, sebagai akibat penggunaan air yang tercemar limbah industri tekstil sebagai sumber air pengairan secara terus menerus. Beberapa unsur logam berat, seperti Cu dan Zn di dalam tanah menunjukkan nilai sekitar batas kritis. Unsur-unsur logam berat lainnya juga harus mendapatkan perhatian serius, karena dalam konsentrasi yang sangat rendahpun bisa berdampak buruk bagi mahluk yang mengkonsumsi produk pertanian dari lahan atau tanah yang mengandung logam berat.

Penggunaan air sungai tercemar limbah industri sebagai sumber air pengairan merupakan salah satu penyebab tercemarnya lahan pertanian dan produk yang dihasilkan. Pencemaran lahan pertanian oleh limbah beracun biasanya tidak selalu menyebabkan menurunnya hasil pertanian. Namun, bila bahan beracun tersebut masuk kedalam produk pertanian terutama bahan makanan yang secara periodik dikonsumsi manusia, tidak hanya akan membahayakan keluarga petani, tetapi juga masyarakat umum.

Tabel 3. Kandungan logam berat di dalam tanah tercemar limbah industri tekstil yang digunakan sebagai sumber irigasi.

Unsur logam berat	Konsentrasi dalam tanah (mg/kg) <sup>1</sup>	Batas kritis (mg/kg) <sup>2</sup>
Cu	43-83	60-125
Zn	57-137	70-400
Pb	8-23	100-400
Cd	0,05-0,19	3-8
Co	14-27	25-50
Cr	0,8-25	75-100
Ni	14-21	-

Sumber: <sup>1</sup>Suganda *et al.* (2003) dan <sup>2</sup>Alloway, (1990).

Tabel 4. Kandungan logam berat dalam jerami padi dan beras dari lahan sawah yang tercemar limbah industri tekstil yang digunakan sebagai sumber air irigasi.

Logam berat	Jerami padi (mg/kg)	Beras (mg/kg)	Batas kritis tanaman (mg/kg)
Cu	2-13	2-7	20-100
Zn	17-64	14-23	10-400
Pb	0,971-5,384	0,092-0,918	50-300
Cd	0,029-0,351	0,026-0,180	5-30
Co	0,108-5,917	0,111-4,157	15-30
Cr	0,673-4,521	0,985-17,110	5-30
Ni	0,437-15,864	0,609-43,072	-

Sumber: <sup>1</sup>Suganda *et al.* (2003) dan <sup>2</sup>Alloway, (1990).

### Pencemaran Akibat Penggunaan Bahan Agrokimia

Pencemaran ini diakibatkan oleh penggunaan teknologi budidaya tanaman untuk meningkatkan hasil panen secara tidak terkendali. Bahan-bahan agrokimia yang dimaksud adalah pupuk dan pestisida yang digunakan secara luas di dalam budidaya pertanian.

#### *Bahan agrokimia pupuk*

Di dunia pertanian dikenal pupuk hara makro, baik primer maupun sekunder dan pupuk hara mikro, kesemuanya diperlukan tanaman dengan tingkat kebutuhan atau dosis penggunaan yang berbeda tergantung jenis tanah dan jenis

tanaman. Pupuk hara makro yang dibutuhkan tanaman diantaranya N, P, dan K, Ca, Mg, dan unsur hara mikro, seperti S, Zn, Co, dan dibutuhkan dalam jumlah sedikit, karena dalam konsentrasi yang tinggi, unsur-unsur tertentu bisa menyebabkan keracunan tanaman.

Pupuk nitrogen (N) yang digunakan dalam budidaya pertanian, di dalam tanah mengalami berbagai perubahan. Sebagian dari pupuk menguap ke udara (volatilisasi), sebagian lagi hilang melalui pencucian atau erosi. Di daerah beriklim sedang, 20% N-urea hilang dalam bentuk  $NH_3$ , sedangkan di daerah tropik 40-60% N-urea hilang dari sawah dalam bentuk  $NH_3$ . Berbagai jenis pupuk, baik anorganik maupun organik seperti pupuk sumber P, N, pupuk kandang, kompos dan kapur mengandung logam berat (Tabel 5).

Tabel 5. Kadar logam berat dalam beberapa jenis pupuk

Logam berat	Pupuk P	Pupuk N	Pupuk kandang		
			Kapur	Kompos refused	
----- ppm -----					
Arsenik	2-1.200	2,2-120	3-25	0,1-25	2-52
Boron	5-115	-	0,3-0,6	10	-
Cadmium	0,1-170	0,05-8,5	0,1-0,8	0,04-0,1	0,01-100
Cobalt	1-12	5,4-12	0,3-24	0,4-3	-
Cromium	66-245	3,2-19	1,1-55	10-15	1,8-4.110
Copper	1-300	-	2-172	2-125	13-3.580
Mercury	0,01-1,2	0,3-2,9	0,01-0,36	0,05	0.09-21
Lead	40-2.000	-	30-969	40-1.200	-
Manganese	0,1-60	1-7	0,05-3	0,1-115	-
Molybdenum	7-38	7-34	2,1-30	0-20	0,9-279
Nickel	7-225	227	1,1-27	20-1.250	1,3-2.240
Plumbum	<100	-	-	-	-
Selenium	0,5	-	2,4	0,08-0,1	-
Uranium	30-300	-	-	-	-
Vanadium	2-1.600	-	-	20	-
Zinc	50-1.450	1-42	15-566	10-450	82-5.894

Sumber: Setyorini *et al.* (2003). Alloway (1990).

Logam berat yang terdapat dalam pupuk sumber P umumnya berasal dari fosfat alam sebagai bahan baku pembuatan pupuk tersebut (Tabel 6). Sama halnya seperti pupuk N, pupuk organik dan kompos juga berasal dari bahan baku yang digunakan untuk membuat pupuk. Pupuk organik, terutama yang berasal dari sampah kota juga dapat tercemar B<sub>3</sub> atau logam berat, karena berbagai macam limbah rumah tangga dan sampah kota terdiri dari eks sayur-sayuran, baterai bekas, kaleng, seng, aluminium foil yang mengandung atau tercemar

bahan beracun berbahaya. Selain pupuk sumber P, bahan induk tanah juga mengandung logam berat (Tabel 7).

Tabel 6. Kadar unsur P dan logam berat dalam pupuk P-alam dari berbagai negara.

Asal pupuk	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		Cd	Cr	Pb
	Asam sitrat	Total			
	----- % -----				
RP Chrismast	10,84	32,47	38	-	60
RP Tunisia	24,32	35,54	76	-	42
RP Senegal	10,96	35,58	113	-	55
RP Maroko	11,91	31,16	57	-	113
RP China Huinan	11,48	29,84	3	-	tu
RP China Guizhou	11,02	31,84	2	-	tu
RP Vietnam	7,35	35,16	tu	33	tu
RP Mesir	14,62	31,68	9	120	tu
RP Algeria	13,98	27,64	30	452	6
RP Jordan	12,68	30,66	5	344	tu
RP Maroko	15,13	30,67	75	164	tu
RP Senegal	8,39	22,26	79	315	tu
RP Togo	14,62	27,62	53	436	tu
RP Ciamis 1	29,40	35,51	28	20	tu
RP Ciamis 2	20,84	23,23	58	-	58
RP Sukabumi	9,05	9,10	65	-	65
RP Cileungsi	13,35	13,62	tu	-	tu
SP-36	33,80	36,29	11	4	tu
Pukan ayam	-	-	0,11	33	11
Pukan domba	-	-	0,44	67	9
Pukan kambing	-	-	tu	44	4
Pukan kuda	-	-	0,22	78	87
Pukan sapi	-	-	0,22	122	24

Pukan = pupuk kandang; tu = tak terukur. Sumber: Setyorini *et al.* (2003).

Tabel 7. Jenis-jenis batuan induk pembentuk tanah yang mengandung Pb dan Cd.

Jenis batuan	Pb <sup>1</sup>	Cd <sup>2</sup>
	----- ppm -----	
Ultra basalt	1 - 14	0,01 - 0,12
Basalt	3 - 6	0,01 - 0,60
Granit	18 - 24	0,01 - 1,60
Sabs dan liat	20 - 23	0,017 - 11,00
Sabs hitam	20 - 30	0,30 - 2,10
Pasir	10 - 12	0,019 - 0,40
Kapur	5 - 9	0,007 - 12

<sup>1</sup>Davies, 1990; <sup>2</sup>Alloway, 1990.

### *Bahan agrokimia pestisida*

Penggunaan pestisida dalam budidaya sayuran, khususnya komoditas bernilai ekonomis tinggi sangat intensif, dan diberikan dalam dosis tinggi dengan tujuan untuk menjamin keberhasilan produk tersebut. Hasil penelitian menunjukkan 30-50% dari total biaya produksi hortikultura digunakan untuk pestisida (Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 1992). Data BP Bimas (1990), dan Soeyitno dan Ardiwinata (1999), menunjukkan adanya peningkatan penggunaan pestisida yang signifikan dari tahun 1978-1986 (Tabel 8). Keadaan seperti itu didukung oleh data produksi pestisida untuk pertanian di Indonesia yang terus meningkat dari tahun 1989-1992 (Tabel 9).

Penggunaan pestisida yang intensif tersebut akan meninggalkan residu di dalam tanah, tanaman (*crop*), bagian tanaman, buah atau umbi, bahkan dapat masuk ke dalam tubuh hewan atau ikan/biota air. Pestisida yang mempunyai paruh waktu (*half life time*) degradasi lama dapat membahayakan manusia/mahluk hidup yang mengkonsumsi produk yang mengandung residu pestisida tersebut.

Tabel 8. Penggunaan pestisida untuk tanaman pangan di Indonesia, 1978-1987.

Tahun	Insektisida	Fungisida	Rodentisida	Total
	-----1.000 ton-----			
1978	5,134	-	100	5,234
1979	6,252	-	-	6,525
1980	6,515	100	117	6,732
1981	8,565	100	75	8,831
1982	14,363	100	197	14,660
1983	14,236	732	150	15,118
1984	14,668	244	75	14,987
1985	15,563	237	88	15,880
1986	17,946	349	87	18,372
1987	8,851	733	43	9,627

Sumber: BP Bimas (1990); Soejitno dan Ardiwinata (2002).

Tabel 9. Produksi pestisida untuk pertanian di Indonesia, periode tahun 1989-1993.

Tahun	Insektisida	Fungisida	Herbisida	Rodentisida	Hama gudang	Total
	-----1.000 ton-----					
1988	10,881	2,078	3,415	255	201	16,830
1989	12,489	2,974	4,225	337	207	20,232
1990	17,398	3,319	5,997	223	3,417	30,344
1991	17,314	2,831	6,730	506	127	27,508
1992	21,875	4,524	11,041	784	9,403	40,627

Sumber: Komisi Pestisida (1995); Soejitno dan Ardiwinata (2002).

Hasil penelitian menunjukkan di beberapa lokasi pada tanah sawah di P. Jawa ditemukan residu bahan aktif insektisida (Tabel 10, 11, 12). Bahan aktif insektisida juga ditemukan pada beras dan bawang merah, padahal beberapa sudah melampaui batas maksimum residu (BMR). BMR untuk bahan aktif klorpirifos, diazinon, fention dan endosulfan dalam tanah dan beras yaitu 0,10 ppm, sedangkan untuk BHC, aldrin dan fenvalerat masing-masing, 0,05, 0,02 dan 0,20 ppm (Jatmiko *et al.*, 1999).

Tabel 10. Konsentrasi residu insektisida pada tanah sawah di Jawa Barat, Jawa Tengah dan Jawa Timur.

Insektisida	Jawa Barat <sup>a</sup>	Jawa Tengah <sup>b</sup>	Jawa Timur <sup>c</sup>
	----- ppm -----		
Organofosfat			
▪ klorpirifos	0,0014-0,0401	0,0022-0,0971	0,0007-0,0035
▪ diazinon	0,0415-0,0602	0,0080-0,0465	0,0015-0,0040
▪ fention	0,0326-0,0450	0,0326-0,0450	-
Organoklorin			
▪ BHC	0,0009-0,0375	0,0011-0,0263	-
▪ endosulfan	0,0003-0,0360	0,0102-0,0343	0,0015-0,0055
▪ aldrin	0,0110-0,0194	0,0020-0,0185	-
Karbamat			
▪ karbofuran	0,0013-0,0563	-	0,0008-0,0032
▪ BPMC	0,0037-0,0410	-	0,0025
▪ fenvalerat	-	0,0088-0,0205	-

Sumber: <sup>a</sup>Ardiwinata *et al.* (1999); <sup>b</sup>Jatmiko, *et al.* (1999); <sup>c</sup>Harsanti *et al.* (1999).

Tabel 11. Konsentrasi residu insektisida pada beras dari lahan sawah di Jawa Barat, Jawa Tengah dan Jawa Timur.

Insektisida	Jawa Barat <sup>a</sup>	Jawa Tengah <sup>b</sup>	Jawa Timur <sup>c</sup>
	----- ppm -----		
Organofosfat			
▪ klorpirifos	0,0002-0,0016	0,0028-0,0970	0,0002-0,0008
▪ diazinon	-	0,0142-0,0556	0,0002-0,0003
▪ fention	-	0,0246-0,0372	-
Organoklorin			
▪ BHC	0,0023-0,0024	0,0024-0,0466	0,0003-0,0006
▪ endosulfan	0,0002-0,0005	0,0157-0,0357	-
▪ aldrin	-	0,0037-0,0199	-
Karbamat			
▪ karbofuran	0,0005-0,0013	-	0,0003
▪ BPMC	0,0004-0,0059	-	-
▪ fenvalerat	-	0,0163-0,0212	-

Sumber: <sup>a</sup>Ardiwinata *et al.* (1999); <sup>b</sup>Jatmiko, *et al.* (1999); <sup>c</sup>Harsanti *et al.* (1999).

Tabel 12. Konsentrasi residu insektisida di dalam tanah, tanaman, dan air dari lahan pertanaman bawang merah di kabupaten Brebes, Jawa Tengah.

Insektisida	Residu insektisida		
	Tanah	Bawang merah	Air
	----- ppm -----		
Organofosfat			
▪ klorpirifos	0,0022-0,0813	0,0413-0,1849	0,0015-0,0094
▪ metidation	0,0072-0,0214	0,0048-0,1247	0,0001-0,0008
▪ profenos	0,0011-0,0017	0,0271-0,0371	ttd
▪ fenitrothion	0,0028-0,0082	0,0230-0,0695	0,0003-0,0021
Organoklorin			
▪ lindan	0,0205-0,0277	0,0076-0,6942	0,0002-0,0457
▪ aldrin	0,0041-0,0456	0,3422-2,1220	0,0001-0,0031
▪ dieldrin	0,0078-0,0261	0,0103-0,0156	0,0039-0,0042
▪ endosulfan	0,0093-0,0195	0,0311-0,1134	0,0015-0,0040

ttd = tidak terdeteksi Sumber: Nurjaya *et al.*, (2003).

#### Emisi Gas Rumah Kaca dari Lahan Budidaya

Peningkatan zat/materi pencemaran akan mempengaruhi temperatur udara, atau dikenal efek rumah kaca. Berbagai kegiatan yang menghasilkan gas-gas pencemar udara dan dapat mempengaruhi iklim antara lain; CO<sub>2</sub> dari pembakaran bahan bakar fosil, sehingga memungkinkan pemanasan global dan merupakan pengaruh utama terhadap iklim dan aktifitas biologi; (CH<sub>4</sub>) (CFCs), N<sub>2</sub>O, karbon tetrachlorid, karbon disulfid dapat mempengaruhi iklim, sama seperti pengaruh gas CO<sub>2</sub> (Soenarmo, 2001).

Di daerah tropis seperti Indonesia memungkinkan untuk terjadinya pengangkutan gas (CH<sub>4</sub>) (CFCs) dan N<sub>2</sub>O ke atmosfer, sehingga terjadi reaksi fotokimia yang mampu mengurangi Ozon (O<sub>3</sub>) di stratosfer. Hal ini terjadi karena keberadaan awan Cumulonimbus raksasa. Pengurangan Ozon di stratosfer akan meningkatkan pemanasan global. Kegiatan manusia yang berpotensi meningkatkan pemanasan global sekitar 14 % dari pertanian (Tabel 13), terutama berasal dari emisi CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O dari lahan budidaya tanaman pangan.

Tabel 13. Sumbangan berbagai kegiatan manusia terhadap pemanasan global

Kegiatan	%
Produksi dan konsumsi energi	57
Konsumsi CFC	17
Pertanian	14
Penebangan hutan dan perubahan tata guna lahan	9
Industri	3
Total	100

Sumber: Goldemberg *dalam* Soemarwoto, 1991.

Dalam upaya mitigasi emisi gas CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O dari lahan pertanian mendapat perhatian khusus dibanding CO<sub>2</sub>. Meskipun konsentrasinya di atmosfer relatif rendah namun memiliki kapasitas adsorpsi panas lebih tinggi yaitu 58 dan 206 kali dibanding CO<sub>2</sub>, sedangkan pengaruhnya terhadap pemanasan global selama 20 tahun sekitar 21 dan 270 kali dibanding CO<sub>2</sub>, bahkan pengaruhnya masih terasa sampai 500 tahun (Tabel 14).

Tabel 14. Masa tinggal, kapasitas adsorpsi panas, tingkat kenaikan dan potensi pemanasan global CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O

Gas rumah kaca	Masa tinggal (tahun)	Kapasitas adsorpsi panas (unit massa)	Persen kenaikan (tahun)	Pemanasan global	
				20 tahun	500 tahun
CO <sub>2</sub>	120	1	0,5	1	1
CH <sub>4</sub>	10	58	1,0	21	2
N <sub>2</sub> O	150	206	0,25	270	190

Sumber: Duxbury, *dalam* Setyanto, (2004).

## TEKNOLOGI PENGENDALIAN PENCEMARAN

Pengendalian pencemaran lingkungan seyogyanya dimulai sebelum bahan pencemar keluar dari sumber pencemaran. Kegiatan ini mencakup pencegahan dan penanggulangan pencemaran. Pengendalian pencemaran terhadap lingkungan pertanian bisa berhasil apabila semua kegiatannya didasarkan kepada sumber penyebab utama terjadinya pencemaran tersebut. Sumber penyebab utama pencemaran lingkungan pertanian, dikelompokkan kedalam tiga sumber pencemaran seperti dikemukakan sebelumnya yaitu; (i) pencemaran akibat

limbah industri pertanian, non pertanian dan pertambangan, (ii) pencemaran dari bahan agrokimia dan (iii) emisi gas rumah kaca dari lahan budidaya.

### Teknologi Penanggulangan Pencemaran Limbah Industri dan Pertambangan

Dampak pencemaran limbah industri dan pertambangan dirasakan langsung oleh petani yaitu menurunnya produktivitas lahan yang mengakibatkan penurunnya pendapatan mereka. Hal ini dibuktikan oleh banyak keluhan petani khususnya di Jawa, misalnya di Kabupaten Bandung, Karang Anyar dan Pati. Hasil beberapa penelitian identifikasi sumber dan bahan pencemar dari kasus per kasus pencemaran cukup bervariasi, sehingga teknologi yang digunakan untuk penanggulangannya juga berbeda.

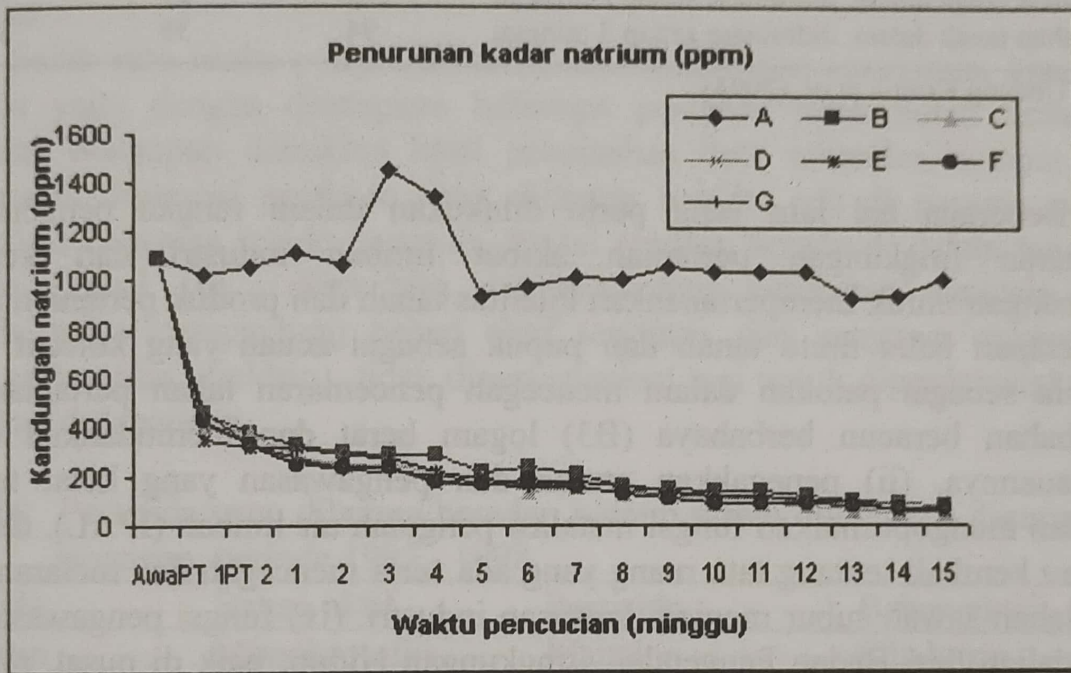
Pencemaran limbah industri dan pertambangan ini disebabkan antara lain karena fungsi dari instalasi pengolah air limbah (IPAL) masing-masing industri tidak berfungsi dengan baik, bahkan bisa jadi industri tersebut belum mempunyai IPAL. Lemahnya fungsi IPAL ini lambat laun secara kumulatif bahan cemar yang dikeluarkan dari kegiatan tersebut dapat terakumulasi pada tanah dan badan air. Bila air tersebut digunakan untuk pengairan sawah dan kebutuhan sehari-hari, dapat mengganggu pertumbuhan tanaman dan kesehatan manusia. Dalam hal ini usaha perbaikan sistim IPAL baik pengertian bahan pencemar dan teknologinya maupun perangkat hukumnya sangat diperlukan.

Inovasi teknologi penanggulangan pencemaran masih terbatas, sehingga belum banyak membantu mengatasi masalah yang dihadapi oleh para petani yang lahannya tercemar. Penelitian penanggulangan pencemaran pada lahan pertanian dilakukan melalui tahapan sebagai berikut: (i) pengumpulan informasi pencemaran di lahan pertanian (ii) identifikasi dan karakterisasi sumber dan bahan pencemar, (iii) penentuan batas kritis atau ambang batas pencemaran pada tanah dan tanaman, dan (iv) menemukan inovasi teknologi penanggulangan pencemaran.

Informasi pencemaran diperoleh baik langsung wawancara dengan petani maupun berita di media. Setelah melakukan identifikasi dan karakterisasi di lapangan akan di ketahu sumber dan bahan pencemar yang ada di dalam tanah dan tanaman, selanjutnya dapat dibuat peta antara yang berupa peta luasan dampak negatif cemar pada lahan petani yaitu turunnya produktivitas lahan. Batas kritis pencemaran diperlukan untuk menentukan tingkat pencemaran yang terjadi, sehingga teknologi yang digunakan disesuaikan dengan tingkat pencemarannya.

Penelitian dikembangkan dan diarahkan untuk menemukan inovasi teknologi penanggulangan yang dapat dilakukan oleh petani dengan cepat, tepat dan murah serta dapat meningkatkan produktivitas lahannya.

Hasil penelitian Undang Kurnia *et al.* (2004) untuk mengatasi kandungan Na yang tinggi di dalam tanah sawah akibat limbah industri tekstil, yaitu dengan cara *pengolahan tanah* dan *pencucian* atau *drainase* memperlihatkan bahwa pengolahan tanah dan pencucian mampu menurunkan konsentrasi Na di dalam air drainase (Gambar 1). Kandungan Na berkurang dari 1.100 ppm menjadi 450 ppm setelah pengolahan tanah pertama, dan menjadi 300 ppm setelah pengolahan tanah kedua. Selama pertumbuhan tanaman, konsentrasi Na dalam air drainase berkurang dari 300 ppm pada satu minggu setelah tanam menjadi 60 ppm pada minggu ke 15.



Gambar 1. Konsentrasi Na dalam air drainase akibat pengolahan tanah dan pencucian.

Hasil penelitian tersebut juga memperlihatkan bahwa pertumbuhan tanaman sangat baik dan hasil gabah meningkat mencapai 8-10 ton/ha (Tabel 15). Agaknya setelah dilakukan pencucian, pertumbuhan tanaman padi kembali normal seperti sebelum terjadi pencemaran.

Tabel 15. Pengaruh pengolahan tanah dan pencucian/drainase terhadap pertumbuhan tanaman dan hasil gabah di lahan sawah tercemar limbah industri tekstil di Rancaekek, kabupaten Bandung.

Perlakuan	Tinggi tanaman	Jumlah anakan	Hasil gabah
	cm	batang	ton/ha
Kontrol	41	23	1,8
Pengolahan tanah biasa, didrainase setiap 1 minggu	94	37	9,7
Pengolahan tanah biasa, didrainase setiap 2 minggu	95	34	8,9
Pengolahan tanah biasa, didrainase setiap 3 minggu	90	37	10,5
Pengolahan tanah dalam, didrainase setiap 1 minggu	95	38	10,5
Pengolahan tanah dalam, didrainase setiap 2 minggu	94	37	9,3
Pengolahan tanah dalam, didrainase setiap 3 minggu	94	36	8,5

Sumber: Undang Kurnia *et al.* (2004).

Beberapa hal lain yang perlu dilakukan dalam rangka pengendalian pencemaran lingkungan pertanian akibat limbah industri dan kegiatan pertambangan untuk mempertahankan kualitas tanah dan produk pertanian aman: (i) penetapan baku mutu tanah dan pupuk sebagai acuan yang konkrit untuk Indonesia sebagai patokan dalam mencegah pencemaran lahan pertanian dari unsur bahan beracun berbahaya (B3) logam berat dan memudahkan dalam pemantauannya, (ii) penegakkan aturan dan pengawasan yang ketat tentang keharusan mengoptimalkan fungsi instalasi pengolah air limbah (IPAL), dan (iii) meninjau kembali tentang tata ruang yang ada serta mencegah dan melarang alih fungsi lahan sawah subur menjadi kawasan industri. (iv) fungsi pengawasan dan pengendalian dari Badan Pengendali Lingkungan Hidup, baik di pusat, maupun daerah dan instansi terkait perlu dioptimalkan.

#### Teknik Penanggulangan Pencemaran Bahan Agrokimia

Pencemaran bahan agrokimia antara lain akibat penggunaan pupuk dan pestisida yang tak terkendali karena menggunakan hasil panen tinggi dengan kualitas produk secara visual baik. Residu bahan agrokimia dalam tanah ternyata secara kumulatif menyebabkan pencemaran tanah dan produk tanaman. Pencemaran bahan agrokimia dapat dikurangi/ditekan antara lain dengan melaksanakan aturan-aturan yang ada tentang penggunaan bahan agrokimia yang tepat dan bijaksana serta menerapkan inovasi teknologi yang sesuai biaya dan waktu setempat.

Informasi pencemaran diperoleh baik langsung wawancara dengan petani maupun berita di media. Melalui identifikasi dan karakterisasi di lapangan akan di ketahui jenis bahan pencemar atau bahan aktif residu pestisida dalam tanah dan

tanaman. Pencemaran bahan agrokimia ini bisa jadi tidak berpengaruh terhadap penurunan hasil tanaman.

Penelitian dikembangkan dan diarahkan untuk menemukan inovasi teknologi yang dapat meremidiasi lahan yang sudah tercemar, dan teknologi diharapkan dapat digunakan oleh petani dengan tepat dan murah dengan tidak mengurangi produktivitas lahannya. Inovasi teknologi untuk remidiasi pencemaran bahan agrokimia dalam tanah diduga masih terbatas sehingga belum ada yang dimanfaatkan oleh petani, kecuali penelitian berbagai efisiensi penggunaan pupuk tetapi bukan untuk mengurangi pencemaran residu salah satu pupuk terhadap tanah dan perairan tetapi dalam rangka mengurangi input dalam usahatani.

Salah satu usaha pengendalian pencemaran bahan agrokimia, khususnya pestisida yaitu dengan ditetapkan beberapa pestisida tidak boleh beredar di lapangan. Walaupun demikian hasil penelaahan data sekunder, sampai tahun 1998 masih dijumpai pestisida yang dilarang beredar ada di pasaran padahal bahan aktif beberapa residu pestisida dinilai resisten berada di dalam tanah dan tanaman (Tabel 16), serta bisa membahayakan kesehatan manusia, maka pestisida yang mengandung bahan aktif terutama dari senyawa organoklorin (BHC, endosulfan, dieldrin) tidak diperkenankan lagi untuk diperdagangkan dan digunakan di lapangan.

Tabel 16. Pestisida yang dilarang beredar, namun masih ditemukan digunakan di lapangan, periode 1997 - 1998.

Pestisida	Bahan aktif	Pestisida	Bahan aktif
Gusadrin	Monokrotofos	Matador	Sihalotrin
Azodrin	Monokotrofos	Padan	Kartaphidroklorida
Furadan	Karbofuran	Elsan	Fentoat
Sevin	Karbaril	Ekalux	Kuinalfos
Thiodan	Endosulfan	Lebaycide	Fention
Dursban	Klorpirifos	Nuvacron	Monokotrofos
Lannate	Metomil	Orthene	Fenitrotion
Diazinon	Diazinon		

Sumber: Kurnia, (2004).

Upaya lain dalam rangka pencegahan dan penanggulangan pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh penggunaan pestisida dapat dilakukan dengan (i) mengintensifkan penerapan pengendalian hama terpadu (PHT), (ii) penerapan peraturan penggunaan pestisida, (iii) penerapan batas maksimum residu (BMR) pestisida di dalam tanah dan tanaman/produk pertanian, (iv) pengawasan dan penerapan sanksi terhadap pelanggaran dalam distribusi dan penggunaan

pestisida, dan (v) penyuluhan, pendidikan dan latihan tentang penggunaan pestisida yang tetap dan benar.

### Teknologi Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca

Penurunan kualitas lingkungan pertanian tidak secara langsung dipengaruhi oleh peningkatan gas-gas rumah kaca. Namun, peningkatan emisi CO<sub>2</sub>, CFC, CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O di atmosfer akan berkontribusi terhadap pemanasan global yang pada akhirnya dapat meningkatkan suhu permukaan air laut, perubahan iklim dan melelehnya permukaan es di kutub. Oleh sebab itu, untuk mengantisipasi terjadinya peningkatan gas-gas rumah kaca khususnya dari lahan budidaya dilakukan dengan menemukan teknologi mitigasi emisi gas rumah kaca CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O. Untuk mengurangi emisi metan (CH<sub>4</sub>) dari lahan sawah dapat dilakukan dengan mengurangi luas areal tanam padi sawah, yaitu dengan melakukan diversifikasi tanaman pangan bukan beras (mengistirahatkan tanah sawah tidak ditanami padi), atau mencari alternatif teknologi yang dapat menekan emisi metan. Selain itu agar diupayakan mencari sumber protein lain selain yang bersumber dari peternakan.

Hasil beberapa penelitian membuktikan bahwa ada kemungkinan teknologi mitigasi emisi gas rumahkaca CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O khususnya pada lahan sawah irigasi dan tadah hujan dapat diterapkan pada lahan petani (Tabel 17, 18 dan 19).

Tabel 17. Total emisi gas CH<sub>4</sub> dan hasil padi pada berbagai perlakuan, Jakenan MK 1997 dan MH 1997/1998

Perlakuan	Total emisi gas CH <sub>4</sub> (kg/ha)		Hasil gabah (kg/ha)	
	MK 1997	MH 1997/98	MK 1997	MH 1997/98
OT, tapin, tergenang	99,83 ab*	145,94 c	6,39 a	3,20 a
OT, tapin, berselang	34,54 a	46,19 a	5,70 a	3,00 a
OT, tabela, berselang	31,28 a	45,92 a	5,44 a	3,31 a
OT, tabela, tergenang	93,67 ab	91,58 b	6,58 a	3,35 a
OT, tabela, macak2	75,04 a	65,38 ab	5,89 a	3,15 a
OT, tabela, berselang	20,70 a	17,81 a	6,22 a	3,00 a

\* Angka selajur yang diikuti huruf sama tidak berbeda nyata pada taraf 0,05 menurut uji DMRT

Sumber : Suharsih *et al.* (1999).

Tabel 18. Emisi gas metan pada perlakuan beberapa varietas padi di lahan sawah tadah hujan, Jakenan, 1997/1998

Varietas	Total emisi gas CH <sub>4</sub> (kg/ha/musim)	
	MH 1997/98	MK 1998
Cisadane	47,7	147,7
Membramo	40,3	121,3
Maros	30,7	117,0
IR 64	39,0	65,8
IR 36	44,7	101,0
Batang Anai	65,7	168,8
CV (%)	42,4	37,4

Sumber : Wihardjaka *et al.*, (1999).

Tabel 19. Rata-rata emisi N<sub>2</sub>O dan hasil tiga varietas padi dengan tiga tingkat pemupukan N di lahan sawah irigasi, Jakenan MK 1997

Varietas	0 kg N/ha		57,5 kg N/ha		115 kg N/ha	
	Emisi N <sub>2</sub> O (ug/m <sup>2</sup> /jam)	Hasil gabah (t/ha)	Emisi N <sub>2</sub> O (ug/m <sup>2</sup> /jam)	Hasil gabah (t/ha)	Emisi N <sub>2</sub> O (ug/m <sup>2</sup> /jam)	Hasil gabah (t/ha)
IR 64	15,78 a *	1,1 b	20,06 b	2,8 b	20,18 a	3,6 c
Membramo	15,51 a	1,9 a	21,28 a	4,2 a	15,33 c	5,8 a
Maros	15,36 a	1,2 b	18,00 c	3,1 b	19,34 b	4,5 b

\* Angka selanjur yang diikuti huruf sama tidak berbeda nyata pada taraf 0,05 menurut uji DMRT  
Sumber : Mulyadi *et al.* (1999).

## SASARAN PENELITIAN PENCEMARAN LINGKUNGAN PERTANIAN

Untuk mendukung kegiatan penanggulangan pencemaran lingkungan pertanian lima tahun kedepan perlu ditemukan inovasi teknologi yang murah, cepat dan mudah dilaksanakan oleh petani yang lahannya tercemar. Untuk itu perlu ditetapkan sasaran atau langkah-langkah yang harus dilaksanakan:

1. Identifikasi dan karakterisasi lahan tercemar pencemaran limbah industri pertanian, non pertanian, aktivitas pertambangan dan bahan agrokimia.
2. Penentuan baku mutu/ambang batas lahan tercemar akibat bahan atau zat yang terkandung dalam limbah industri, aktivitas pertambangan dan bahan agrokimia
3. Inovasi teknologi penanggulangan pencemaran akibat limbah industri, aktivitas pertambangan dan bahan agrokimia.
4. Diperoleh model kuantifikasi emisi CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O pada lahan rawa gambut.
5. Mitigasi emisi gas CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O pada lahan pertanian rawa gambut.

## PROSPEK PENERAPAN TEKNOLOGI PENGENDALIAN PENCEMARAN

Dimasa yang akan datang pencemaran lingkungan pertanian diduga akan semakin meningkat, antara lain karena pertumbuhan penduduk dan aktivitasnya. Tetapi, disisi lain tingkat kesadaran masyarakat akan keinginan pentingnya pertanian berkelanjutan dengan kualitas pangan yang aman dan teknologi ramah lingkungan semakin meningkat pula. Oleh karena itu, inovasi teknologi penanggulangan pencemaran lingkungan banyak ditunggu oleh para *stakeholder*. Penerapan teknologi pengendalian pencemaran lingkungan pertanian yang akan banyak diterapkan adalah:

- a. Inovasi teknologi penanggulangan lahan-lahan tercemar akibat limbah industri dan kegiatan pertambangan dalam rangka mempertahankan produktivitas lahan, pendapatan petani, produk pangan nasional dan kualitas/keamanan pangan.
- b. Inovasi teknologi penanggulangan pencemaran lingkungan pertanian akibat bahan agrokimia baik pada tanah maupun produk tanaman, dengan harapan didapat produk pangan yang sehat dan aman untuk memenuhi permintaan nasional atau global.
- c. Pengembangan luas areal tanam diduga akan meningkatkan kuantitas emisi gas rumah kaca di atmosfer. Oleh karena itu, inovasi teknologi mitigasi emisi gas rumah kaca, khususnya di lahan-lahan bukaan baru merupakan teknologi komplementer yang perlu dipertimbangkan untuk diterapkan.

## PENUTUP

1. Tindakan penanggulangan pencemaran lingkungan pertanian harus didasarkan pada hasil analisis sumber dan penyebab utama terjadinya pencemaran. Oleh karena itu identifikasi dan karakterisasi sumber dan penyebab terjadinya pencemaran perlu dilakukan.
2. Baku mutu/ambang batas masing-masing bahan pencemaran dan tanah yang tercemar perlu ditetapkan untuk menilai tingkat pencemaran yang terjadi pada lahan pertanian dan memudahkan dalam penerapan teknologi penanggulangannya.
3. Laju peningkatan gas-gas rumah kaca dan pemanasan global perlu dikendalikan, salah satunya melalui penggunaan teknologi mitigasi emisi  $CH_4$  dan  $N_2O$  di lahan pertanian.
4. Untuk mempertahankan lahan dan produk pertanian tetap berkualitas baik dan tidak tercemar, perlu dilakukan penegakkan aturan dan pengawasan yang

ketat tentang keharusan mengoptimalkan fungsi instalasi pengolah air limbah, baku mutu tanah dan pupuk.

5. Pemerintah perlu merevisi baku mutu limbah industri dengan mempertimbangkan penambahan unsur-unsur pencemar lain yang berbahaya bagi tanah dan tanaman.
6. Prospek peningkatan penerapan teknologi mitigasi pencemaran lingkungan diduga akan semakin meningkat sejalan dengan meningkatnya perhatian masyarakat terhadap perlunya pertanian berkelanjutan, produktivitas lahan tinggi dengan kualitas pangan tetap terjaga aman, permintaan dunia akan produk pertanian yang sehat.

### DAFTAR PUSTAKA

- Alloway, B. J. 1990. *Heavy Metals in Soils*. 2<sup>nd</sup> ed. Blackie Academic and Proof.
- Ardiwinata, A.N., S.Y. Jatmiko dan E.S. Harsanti. 1999. *Monitoring residu insektisida di Jawa Barat. Risalah Seminar Hasil Penelitian Emisi GRK dan Peningkatan Produktivitas Padi di Lahan Sawah. Menuju Sistem Produksi Padi Berwawasan Lingkungan*. Bogor.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 1992. *lima tahun penelitian dan pengembangan pertanian (1987-1991). Sumbangan Dalam Menyongsong Era Tenggul Landas*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian R I. Jakarta.
- BP BIMAS. 1990. *Pesticide use in planning and realization for food crops*. Ministry of Agriculture. Jakarta. 13 p.
- Davies, B. E. 1990. Lead. p. 177-196 *In Heavy Metal in Soils*. Blackie Glasgow and London Halsted Press John Willey and Sons Inc. New York.
- Harsanti, E.S., S.Y. Jatmiko dan A.N. Ardiwinata. 1999. *Residu insektisida pada Ekosistem Lahan Sawah Irigasi di Jawa Timur. Risalah Seminar Hasil Penelitian Emisi GRK dan Peningkatan Produktivitas Padi di Lahan Sawah. Menuju Sistem Produksi Padi Berwawasan Lingkungan*. Bogor.

- Jatmiko, S.Y., E.S. Harsanti dan A.N. Ardiwinata. 1999. Pencemaran pestisida pada agroekosistem lahan sawah irigasi dan tadah hujan di Jawa Tengah. Risalah Seminar Hasil Penelitian Emisi GRK dan Peningkatan Produktivitas Padi di Lahan Sawah. Menuju Sistem Produksi Padi Berwawasan Lingkungan. Bogor.
- Komisi Pestisida. 1995. Laporan Kemajuan (1988-1994). Departemen Pertanian. 51 p.
- Mulyadi, Prayitno. I.J. Sasa dan S. Partohardjono. 1999. Pola emisi gas N<sub>2</sub>O pada perlakuan pupuk N lambat urai di lahan sawah irigasi. Risalah Seminar Hasil Penelitian Emisi GRK dan Peningkatan Produktivitas Padi di Lahan Sawah. Menuju Sistem Produksi Padi Berwawasan Lingkungan. Bogor.
- Pemerintah Republik Indonesia. 1990. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 20 tahun 1990 tentang Pengendalian Pencemaran Air. Lampiran Daftar Kualitas Air Golongan C.
- Soejitno, J dan A.N. Ardiwinata. 1999. Residu pestisida pada agroekosistem tanaman pangan. Risalah Seminar Hasil Penelitian Emisi GRK dan Peningkatan Produktivitas Padi di Lahan Sawah. Menuju Sistem Produksi Padi Berwawasan Lingkungan. Bogor.
- Soejitno, J. dan A.N. Ardiwinata. 2002. Penggunaan pestisida secara selektif dan ramah lingkungan. Prosiding Seminar Nasional. Membangun Sistem Produksi Tanaman Pangan Berwawasan Lingkungan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Soemarwoto, O. 1991. Indonesia dalam kancah isu lingkungan global. Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Soenarmo, S.H., 2001. Model dinamika pencemaran udara, peranannya dalam studi iklim perkotaan di Indonesia. Prosiding Temu Ilmiah Prediksi Cuaca dan Iklim Nasional. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN). hal. 61-71.
- Setyanto, P., 2004. Penelitian pengolahan tanah, pengairan dan pemupukan terhadap emisi Gas Metan pada lahan sawah. Disertasi S3 UPM Malaysia (unpublish) .

- Setyorini, Suparto dan Sulaeman. 2003. Kadar logam berat dalam pupuk.. *Dalam* Prosiding Seminar Nasional Peningkatan Kualitas Lingkungan dan Produk Pertanian di Kudus, 4 Nopember 2002. Pusat Penelitian dan pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor. Hal. 219-229.
- Suganda, H., D. Setyorini, H. Kusnadi, I. Saripin dan Undang Kurnia. 2003. Evaluasi pencemaran limbah industri untuk kelestarian sumberdaya lahan sawah. Hal. 203-221 *dalam* Prosiding Seminar Nasional Multifungsi dan Konversi Lahan Pertanian. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor. hal. 61-71.
- Suharsih, P. Setyanto dan A.K. Makarim. 1999. Emisi gas metan dari lahan sawah akibat pengaturan air tanaman padi. Risalah Seminar Hasil Penelitian Emisi GRK dan Peningkatan Produktivitas Padi di Lahan Sawah. Menuju Sistem Produksi Padi Berwawasan Lingkungan. Bogor.
- Tim Peneliti Baku Mutu Tanah. 2000. Pengkajian Baku Mutu Tanah pada Lahan Pertanian. Laporan Akhir Kerjasama Antara Proyek Pengembangan Penataan Lingkungan Hidup-Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Jakarta dan Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Bogor
- Undang Kurnia, J. Sri Adiningsih, dan A. Abdurachman. 2003a. Strategi pencegahan dan penanggulangan pencemaran lingkungan pertanian. Prosiding Seminar Nasional. Peningkatan Kualitas Lingkungan dan Produk Pertanian. Pertanian Produktif Ramah Lingkungan Mendukung Ketahanan dan Keamanan Pangan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. hal. 41-61.
- Undang Kurnia, H. Suganda dan J. Sri Adiningsih. 2004. Pengendalian pencemaran pestisida pada tanah menuju sistem pertanian ramah lingkungan. Laporan akhir Sintesis Kebijakan Puslitbangtanak, Bogor.
- Undang-Undang Republik Indonesia. 1982. Ketentuan-Ketentuan Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup. No.4/1982.

Wihardjaka,A., P.Setyanto dan A.K. Makarim. 1999. Pengaruh beberapa varietas padi terhadap emisi gas metan pada lahan sawah. Risalah Seminar Hasil Penelitian Emisi Gas Rumah Kaca dan Peningkatan Produktivitas Padi di Lahan Sawah. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor.pp.62-71.