

11. ALIH GUNA DAN ASPEK LINGKUNGAN LAHAN SAWAH

Fahmuddin Agus dan Irawan

Lahan sawah tidak hanya penting sebagai penghasil padi dan palawija yang merupakan barang privat (*private goods*) yang memberikan keuntungan kepada petani, tetapi juga memberikan barang dan jasa publik (*public services*) yang dikenal dengan istilah multifungsi. Berbagai multifungsi yang penting antara lain adalah penopang ketahanan pangan, penyedia lapangan kerja, penjaga kelestarian budaya, memberikan suasana nyaman pedesaan, serta berbagai jasa lingkungan lainnya.

Fungsi positif atau dapat juga disebut sebagai eksternalitas positif (*positive externalities*) lingkungan lahan sawah antara lain adalah untuk mitigasi atau pengendali banjir, mendaur ulang air, pengendali atau pengontrol erosi, mitigasi peningkatan suhu udara, dan mendaur ulang limbah organik. Namun demikian terdapat beberapa masalah berupa eksternalitas negatif (*negative externalities*) dari lahan sawah, antara lain adalah emisi gas metan.

Pesatnya pembangunan dan pertambahan jumlah penduduk, menyebabkan terjadinya alih guna lahan sawah secara cepat. Dari berbagai bentuk penggunaan lahan pertanian, lahan sawah merupakan penggunaan lahan yang banyak mengalami alih guna, terutama di sepanjang pantai Utara Pulau Jawa (Pantura) dan di pusat pembangunan lainnya. Pada umumnya alih guna lahan sawah bersifat tidak dapat balik (*irreversible*) dan dapat membawa kemerosotan terhadap kualitas lingkungan.

Nishio (1999) menyajikan data yang isinya memperlihatkan peningkatan frekuensi banjir di Tokyo disebabkan oleh pesatnya pembangunan perindustrian pada tahun 1980-an yang mengorbankan lahan sawah. Keadaan yang sama juga terjadi di Indonesia, terutama pada daerah perkotaan. Banjir lebih sering terjadi di sekitar perkotaan, dan ini dapat dihubungkan dengan makin meluasnya alih guna lahan pertanian, termasuk lahan sawah.

Lahan sawah yang ada sekarang termasuk infrastrukturnya, dibangun dengan biaya yang sangat tinggi. Sumaryanto *et al.* (2001) memperkirakan bahwa diperlukan biaya sekitar Rp 25.000.000 untuk mencetak sawah baru dan membangun prasarana pendukungnya. Walaupun biaya pencetakan sawah sangat tinggi, namun alih guna lahan sawah menjadi lahan nonpertanian berlangsung semakin cepat.

Alasan yang menyebabkan tingginya tingkat alih guna lahan antara lain adalah karena investasi di bidang nonsawah (setidak-tidaknya untuk jangka pendek) jauh lebih menjanjikan. Bahkan menurut Syafa'at *et al.* 1995, dalam Sumaryanto (2001) di sekitar pusat pembangunan, nilai rente (sewa) lahan sawah dibandingkan dengan lahan untuk permukiman dan industri berturut-turut bisa mencapai 1:622 dan 1:500. Lagi pula budi daya padi sawah memerlukan tenaga kerja, biaya pembelian pupuk dan obat-obatan yang tinggi, namun harga jual berasnya sangat rendah.

Peningkatan ketahanan pangan, yang dalam pengejawantahannya adalah swasembada beras, merupakan target yang sangat penting bagi pemerintah. Namun, rendahnya daya tarik untuk bertani, akan berdampak pada semakin ditinggalkannya sektor pertanian oleh petani dan selanjutnya akan memposisikan Indonesia semakin sulit mencapai sasaran swasembada beras.

Alih guna lahan sawah semakin berlanjut dan peraturan yang berkaitan dengan tata guna lahan belum diterapkan dengan benar sehingga kenyataan di lapangan jauh berbeda dengan apa yang terkandung di dalam peraturan tersebut. Tingginya tingkat alih guna lahan sawah merupakan ancaman yang serius bagi lingkungan dan pencapaian ketahanan pangan di masa mendatang serta akan semakin meningkatkan ketergantungan Indonesia kepada beras impor.

Bab ini membahas tentang alih guna lahan sawah dan berbagai aspek lingkungan dari lahan sawah. Aspek lingkungan yang dimaksud antara lain adalah multifungsi (eksternalitas positif), sifat intrinsik lahan sawah untuk menjaga kelestariannya, eksternalitas negatif, serta ancaman dari areal permukiman dan industri terhadap kualitas lingkungan lahan sawah.

ALIH GUNA LAHAN SAWAH

Alih guna/konversi lahan sawah mempunyai dampak positif dan negatif. Alih guna lahan sawah menjadi lahan permukiman dan industri, misalnya merupakan masalah nasional yang memberikan berbagai dampak, terutama terhadap ketahanan pangan, berkurangnya kesempatan kerja di bidang pertanian (tenaga kerja yang berlatar belakang pertanian mempunyai kesempatan kecil memasuki lapangan kerja di bidang industri), dan terhadap lingkungan. Untuk itu, sebelum membahas aspek lingkungan lahan sawah perlu dibahas topik tentang alih guna lahan sawah.

Antara tahun 1981 dan 1999, sekitar satu juta hektar lahan sawah di Jawa (mencapai 30% total luas sawah di Jawa) dan sekitar 0,6 juta ha lahan sawah di luar Jawa (sekitar 17% total luas sawah di luar Jawa) telah mengalami alih guna (Tabel 1). Antara tahun 1999 dan 2003, neraca luas lahan sawah menjadi negatif, baik di Pulau Jawa, maupun di luar Pulau Jawa. Alih guna ini jelas merupakan salah satu penyebab meningkatnya ketergantungan terhadap beras impor kalau tidak

diimbangi dengan ekstensifikasi dan intensifikasi. Apabila diasumsikan bahwa hasil gabah kering giling 6 t gabah ha⁻¹ tahun⁻¹ (dengan asumsi 4 t ha⁻¹ untuk setiap panen dan indeks panen 1,5), alih guna sawah tidak terjadi, dan pencetakan sawah tetap berlanjut pada tingkat seperti pada Tabel 1, maka produksi tahunan beras seharusnya sekitar 9,6 juta ton (6 t ha⁻¹ x 1,6 juta ha) lebih tinggi dari tingkat produksi yang ada pada tahun 1999 tersebut. Investasi yang telah dikeluarkan untuk infrastruktur dan tingkat produktivitas lahan sawah irigasi di Jawa yang tidak tertandingi oleh produktivitas lahan di luar Jawa, terbuang percuma karena adanya alih guna lahan sawah.

Tabel 1. Alih guna, penambahan dan neraca lahan sawah antara tahun 1981 dan 1999 dan antara tahun 1999 dengan tahun 2002

Wilayah	Beralih guna	Penambahan	Neraca
	ha		
Neraca lahan sawah tahun 1981-1999¹⁾			
Jawa	1.002.055	518.224	-483.831
Luar Jawa	625.459	2.702.939	+2.077.480
Indonesia	1.627.514	3.221.163	+1.593.649
Neraca lahan sawah 1999-2002²⁾			
Jawa	167.150	18.024	-107.482
Luar Jawa	396.009	121.278	-274.732
Indonesia	563.159	139.302	-423.857

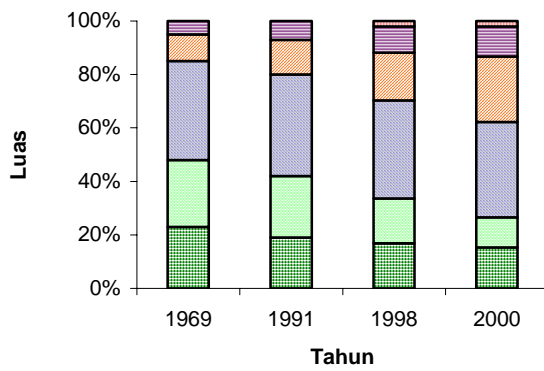
Sumber: Diolah dari Biro Pusat Statistik (2003)

¹⁾ Irawan *et al.* (2001) mengutip Biro Pusat Statistik, berbagai tahun.

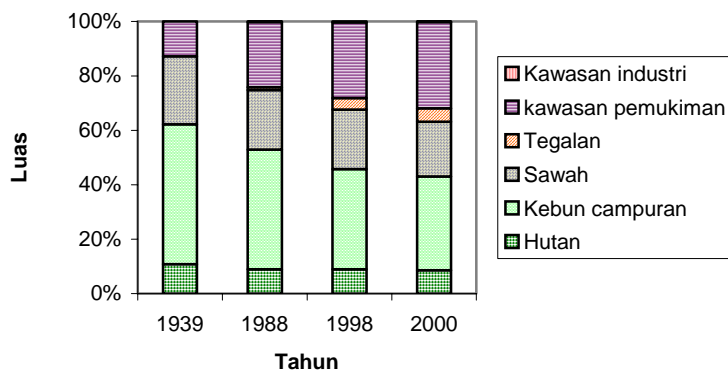
²⁾ Diolah dari Catatan: Pada tahun 1981, 1999, dan 2002 luas lahan sawah berturut-turut adalah 7.059.000, 8.652.649, dan 8.228.782 ha.

Wahyunto *et al.* (2001) meneliti di sub-daerah aliran sungai (DAS) Citarik, Jawa Barat yang luasnya sekitar 26.370 ha dan di DAS Kaligarang, Jawa Tengah dengan luas areal 20.080 ha. Kedua DAS ini mengalami perubahan penggunaan lahan yang pesat (Gambar 1) karena pembangunan industri dan permukiman terjadi pada areal persawahan.

A. Sub-DAS Citarik



B. DAS Kaligarang



Gambar 1. Alih guna lahan di sub-DAS Citarik (luas 26.370 ha) dan DAS Kaligarang (luas 20.080 ha) (diolah dari Wahyunto *et al.*, 2001)

Pada tahun 1969, tata guna lahan di sub-DAS Citarik terdiri atas hutan dan belukar 23%, perkebunan campuran (tanaman semusim bercampur dengan pohon-pohonan) 25%, sawah 37%, tegalan 10%, dan perumahan dan pekarangan 5%. Luas hutan menurun menjadi 19% pada tahun 1991 dan selanjutnya menurun lagi menjadi hanya 15% pada tahun 2000. Luas lahan sawah juga menurun dalam tiga dekade terakhir, walaupun penurunannya tidak secepat penurunan luas hutan. Hal ini kelihatannya disebabkan oleh adanya pencetakan sawah baru selama kurun waktu 30 tahun ini, seperti yang terjadi pada data tingkat nasional (Tabel 1). Di sisi lain, areal yang digunakan untuk

tegalan meningkat dengan berjalannya waktu disebabkan oleh alih guna lahan kebun campuran dan hutan menjadi tegalan. Sementara itu, sejalan dengan peningkatan jumlah penduduk, areal perumahan dan industri meluas pada lahan yang dulu didominasi oleh sawah dengan produktivitas tinggi serta lahan pertanian lainnya (Wahyunto *et al.*, 2001). Analisis penginderaan jauh dan pengecekan di lapangan oleh Wahyunto *et al.* (2001) di sub-DAS Citarik, dengan jelas memperlihatkan bahwa pabrik tekstil dan permukiman kebanyakan terletak di tengah persawahan yang lengkap dengan prasarana irigasi.

Di DAS Kaligarang, proporsi hutan sudah sedikit (11%) sejak tahun 1939 dan semakin menciut menjadi 9% pada tahun 2000. Seperti di sub-DAS Citarik, sebagian lahan pertanian menyempit sedangkan areal perumahan dan industri meluas. Sawah sedikit mengalami perubahan luas karena adanya pencetakan sawah baru di samping alih guna.

Alih guna lahan pertanian menjadi nonpertanian cenderung meningkat dan tidak membedakan apakah lahan pertanian tersebut mempunyai produktivitas tinggi atau rendah. Ada beberapa penyebab tingginya tingkat alih guna lahan (Agus *et al.*, 2001), diantaranya adalah rendahnya tingkat keuntungan bertani padi sawah, tidak dipatuhinya peraturan tata ruang (lemahnya penegakan hukum tentang tata ruang), keinginan mendapatkan keuntungan jangka pendek dari pengalihan lahan sawah, dan rendahnya koordinasi antar lembaga dan departemen terkait dalam perencanaan penggunaan lahan. Kesempatan menjual sawah pada daerah yang dicanangkan sebagai pusat pengembangan industri dan perumahan, merupakan kesempatan yang menggiurkan bagi sebagian pemilik lahan sawah untuk mendapatkan uang tunai secara cepat untuk investasi pada sektor nonpertanian.

ASPEK LINGKUNGAN LAHAN SAWAH

Ada tiga aspek lingkungan yang berkaitan dengan lahan sawah, yaitu (i) kontribusi positif atau eksternalitas positif atau lebih dikenal dengan multifungsi lahan sawah terhadap pengamanan kualitas lingkungan; (ii) pengaruh negatif atau eksternalitas negatif lahan sawah terhadap lingkungan, terutama yang berkenaan dengan emisi gas metan (CH_4) yang dihasilkan oleh lahan sawah; dan (iii) terancamnya kualitas lingkungan lahan sawah karena terkontaminasi oleh limbah industri. Ketiga aspek ini diuraikan dalam bagian berikut.

Eksternalitas positif (multifungsi) lahan sawah

Istilah multifungsi digunakan untuk menerangkan fungsi lahan sawah sebagai penghasil jasa, yang terdiri atas jasa lingkungan, penyangga ekonomi dalam keadaan krisis, penggalang ketahanan pangan, perekat nilai budaya dan sosial di pedesaan, serta penghasil daya tarik pedesaan. Dalam sistem pasar dan

kebijakan yang ada sekarang, nilai jasa-jasa tersebut jarang diperhitungkan (di berlakukan sebagai eksternalitas dalam sistem produksi) karena pada umumnya bersifat tidak nyata (*intangible*) dan sulit dinilai secara ekonomi. Eksternalitas positif atau multifungsi yang dapat disumbangkan oleh lahan sawah antara lain adalah:

- a. Mitigasi banjir
- b. Pengendali erosi dan sedimentasi
- c. Mitigasi peningkatan suhu udara
- d. Pendaaur ulang sumber daya air
- e. Penampung limbah organik
- f. Pengurang kadar nitrat pada air tanah

Mitigasi banjir

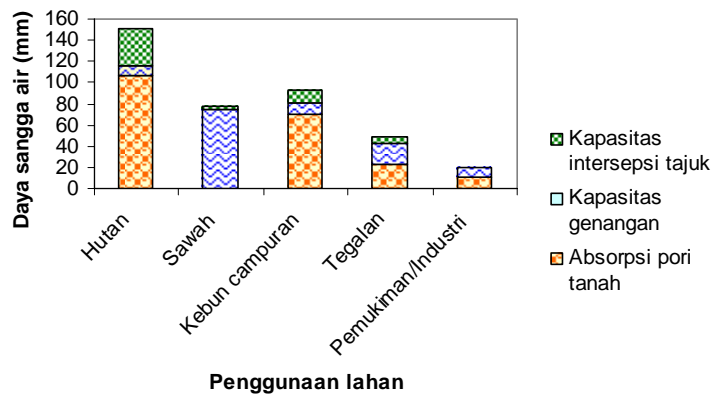
Mitigasi banjir lahan sawah adalah kemampuan lahan sawah untuk menahan/menampung air hujan dan air aliran permukaan, menurunkan aliran permukaan dan menekan intensitas serta frekuensi banjir di daerah hilir. Mitigasi banjir dapat diukur dengan kriteria daya sangga air (*water retaining capacity*) dari lahan sawah.

Lahan sawah yang dikelilingi pematang dapat dipandang sebagai kumpulan ribuan dam kecil atau kolam penahan air (*water retention ponds*) yang berguna untuk mitigasi banjir. Air yang ditampung tersebut dialirkan atau dirembeskan secara perlahan ke badan-badan sungai dan daerah hilir sehingga bahaya banjir dapat dikurangi.

Daya sangga air lahan pertanian berbeda-beda tergantung pada berbagai faktor, antara lain porositas tanah, kedalaman perakaran tanaman, kekasaran permukaan tanah, dan daya tahan tajuk tanaman terhadap hujan.

Untuk lahan sawah, daya sangga airnya sangat ditentukan oleh tinggi pematang dan tinggi genangan. Semakin tinggi pematang dan semakin rendah genangan, maka semakin besar daya sangga lahan sawah tersebut terhadap air atau semakin tinggi daya tampung sawah terhadap tambahan air. Hasil penelitian (Nishio, 1999) di Jepang menunjukkan bahwa daya sangga air lahan sawah dengan rata-rata tinggi pematang sekitar 20 cm dan tinggi genangan normal 5 cm adalah 15 cm atau 150 mm. Daya sangga air lahan sawah tersebut jauh lebih tinggi dibandingkan daya sangga air lahan kering tanaman pangan yang hanya 40 mm dan daya sangga air kebun campuran setinggi 110 mm; namun lebih rendah dibandingkan daya sangga air areal hutan yang besarnya 180 mm. Daya sangga air pada lahan permukiman dan penggunaan lahan lainnya, seperti kawasan industri dan badan jalan, sangat rendah.

Hasil penelitian di Indonesia, khususnya di DAS Citarik (Tala'ohu, 2001) menunjukkan bahwa daya sangga air lahan sawah sekitar 78 mm. Nilai daya sangga air lahan sawah ini sedikit lebih rendah dari daya sangga air kebun campuran sebesar 92 mm, namun jauh lebih tinggi dari daya sangga air tegalan sebesar 48 mm dan areal permukiman sebesar 20 mm (Gambar 2). Rendahnya daya sangga air lahan sawah di Indonesia (di DAS Citarik) dibandingkan dengan di Jepang disebabkan karena ketinggian pematang lahan sawah di lokasi penelitian di Citarik hanya sekitar 128 mm; jauh lebih rendah dari tinggi pematang di Jepang setinggi 200 mm.



Gambar 2. Daya sangga air lahan sawah dan beberapa tipe penggunaan lahan lainnya di sub-DAS Citarik

Dibandingkan dengan penggunaan lahan lainnya, komponen terbesar daya sangga air lahan sawah adalah karena kapasitas genangan yang tinggi, sedangkan intersepsi kanopinya sangat rendah dan daya absorpsi pori tanahnya terhadap air juga sangat rendah disebabkan adanya lapisan tapak bajak yang rendah daya serap airnya.

Daya sangga air suatu DAS dapat dihitung sebagai perkalian dari daya sangga air masing-masing penggunaan lahan yang ada di dalam DAS dikalikan dengan luas lahan untuk masing-masing penggunaan lahan tersebut. Semakin menyempit areal pertanian, termasuk lahan sawah, dan semakin luas daerah permukiman dan industri, maka semakin kecil daya sangga air DAS tersebut.

Pengendalian erosi dan sedimentasi

Penelitian mengenai pengaruh berbagai bentuk usahatani atau penggunaan lahan terhadap erosi tanah, terutama pada lahan kering, sudah banyak dilakukan, baik melalui pengukuran langsung maupun pendekatan secara modeling. Model USLE (*Universal Soil Loss Equation*; Wischmeier and Smith, 1978) merupakan salah satu pendekatan perkiraan potensi erosi tanah yang paling banyak digunakan. Sutono *et al.* (2003) menggunakan model USLE untuk menduga tingkat erosi tanah di DAS Citarum (Tabel 2). Pendugaan erosi tanah tersebut menggunakan data primer dan data sekunder yang tersedia dan relevan untuk lokasi penelitian. Data tersebut mencakup penggunaan lahan, teknologi pengelolaan usaha tani, kemiringan lahan, erosivitas hujan, dan erodibilitas tanah.

Hasil pendugaan tersebut menunjukkan bahwa sawah adalah salah satu penggunaan lahan yang mempunyai potensi erosi sangat kecil. Sistem teras dengan pematangannya merupakan sistem yang sangat sedikit tererosi. Sebaliknya usaha tani tanaman pangan pada lahan kering berupa rotasi tanaman padi ladang dan palawija, seperti jagung, kacang tanah, kedelai, dan ubi kayu atau usaha tani tanaman sayuran yang umumnya dilakukan pada lahan kering berlereng curam mempunyai potensi erosi paling tinggi. Hal ini disebabkan karena sistem usaha tani tersebut tidak mampu melindungi tanah sepanjang tahun. Sebaliknya erosi tanah pada lahan sawah dan lahan hutan sangat rendah. Vegetasi yang rapat dengan multistrata pada lahan hutan mampu menekan erosi tanah dengan baik.

Tabel 2. Erosi tanah pada berbagai penggunaan lahan di DAS Citarum, Jawa Barat

Penggunaan lahan	Daerah aliran sungai		
	Saguling	Cirata	Jatiluhur
	t ha ⁻¹ tahun ⁻¹		
Hutan	0,1	0,2	0,1
Perkebunan teh	23,0	27,0	10,0
Perkebunan karet	-	9,0	11,0
Sawah	0,3	0,4	1,4
Belukar	1,1	1,6	0,5
Lahan kering pangan	22,0	61,0	40,0

Sumber: Sutono *et al.*, 2003.

Selanjutnya Kundarto *et al.* (2003) melakukan penelitian erosi tanah pada 18 petak sawah di Ungaran, Jawa Tengah dengan ukuran masing-masing petak antara 12 - 360 m² dan luas total petak 2.515 m². Kemiringan makro teras sawah sekitar 22% dan rata-rata perbedaan ketinggian antar petak sawah 73 cm, sedangkan tinggi pematang sawah antara 10 -15 cm. Ringkasan hasil penelitian tersebut disajikan pada Tabel 3.

Data pada Tabel 3 menunjukkan bahwa sedimen yang keluar dari 18 petak sawah tersebut hanya sekitar $0,8 - 1,4 \text{ t ha}^{-1} \text{ musim}^{-1}$ tanam, sedangkan sedimen yang berasal dari air irigasi dan memasuki lahan sawah, sebanyak $3,4 - 6,2 \text{ t ha}^{-1} \text{ musim}^{-1}$, sebagian besar ($2,0 \text{ t ha}^{-1}$ pada musim pertama dan $5,4 \text{ t ha}^{-1}$ pada musim kedua) mengendap pada lahan sawah.

Selain fenomena kecilnya erosi dan besarnya deposisi pada teras sawah, Tabel 3 juga menunjukkan bahwa erosi tanah dalam jumlah yang agak besar, hanya terjadi pada saat pengolahan tanah (pembajakan dan pelumpuran) dan beberapa saat sesudahnya; tetapi sedimen yang terangkut dari satu petak, sebagian besar akan mengendap pada beberapa petak sawah dibawahnya (seperti diperlihatkan juga pada Gambar 3). Erosi total yang keluar dari hamparan lahan sawah relatif kecil, yakni sekitar $2,2 \text{ t ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$ (dalam dua musim tanam). Data ini menunjukkan bahwa sedimen yang mengendap (*deposited sediment*) di petakan lahan sawah jauh lebih besar dibandingkan dengan sedimen yang keluar (*sediment yield*) dari 18 petakan tersebut. Dengan kata lain sawah pada lahan berlereng dapat dianggap sebagai sistem penyaring (*filter system*) sedimen. Sebagai pembanding, sedimen yang terangkut dari tegalan pada lokasi yang berdekatan adalah sekitar $10 - 20 \text{ t ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$ (Agus *et al.*, 2002; Agus dan Wahyunto, 2003).



Gambar 3. Teras sawah yang berfungsi sebagai kumpulan dam kecil mengumpulkan air, juga merupakan filter sedimen. Sedimen hanya tinggi pada saat pengolahan tanah dan beberapa saat sesudahnya pada petak/teras di mana dilakukan pengolahan tanah dan beberapa petak dibawahnya

Tabel 3. Hasil pengamatan erosi tanah pada 18 petak lahan sawah selama dua musim tanam padi

Pengamatan	Musim tanam	
	Pertama 1 Nov'01- 31 Jan'02	Kedua 16 Maret- 30 Juni 02
Total sedimen yang masuk ke petakan sawah melalui air irigasi	864 kg (3,4 t ha ⁻¹)	1.567 kg (6,2 t ha ⁻¹)
Total sedimen yang keluar dari petakan sawah	347 kg (1,4 t ha ⁻¹)	210 kg (0,8 t ha ⁻¹)
Sedimen yang mengendap (terdeposisi) pada petakan	517 kg (2 t ha ⁻¹)	1.357 kg (5,4 t ha ⁻¹)
Sedimen yang terangkut keluar petakan saat pengolahan tanah	181 kg (0,7 t ha ⁻¹)	165 kg (0,6 t ha ⁻¹)

Sumber: Kundarto *et al.* (2003).

Mitigasi peningkatan suhu udara

Suhu udara suatu wilayah yang masih didominasi oleh hamparan lahan sawah yang luas akan relatif lebih sejuk dibanding dengan wilayah lain yang sudah didominasi oleh areal permukiman. Hal ini karena untuk penguapan air dari permukaan sawah diperlukan energi yang diambil dari panas lahan di sekitar sawah tersebut.

Suatu pengukuran suhu udara rata-rata pada siang hari di tiga kota dengan ketinggian yang sama, tetapi penggunaan lahannya berbeda menunjukkan bahwa suhu udara di pusat kota ternyata paling tinggi, sedangkan di wilayah sekitar kebun campuran (*agroforestry*) paling sejuk. Suhu udara di wilayah hamparan padi sawah 2°C lebih rendah daripada di pusat perkotaan (Tabel 4).

Tabel 4. Suhu udara rata-rata di daerah perkotaan, hamparan lahan sawah, dan sekitar kebun campuran di wilayah DAS Citarum, Jawa Barat

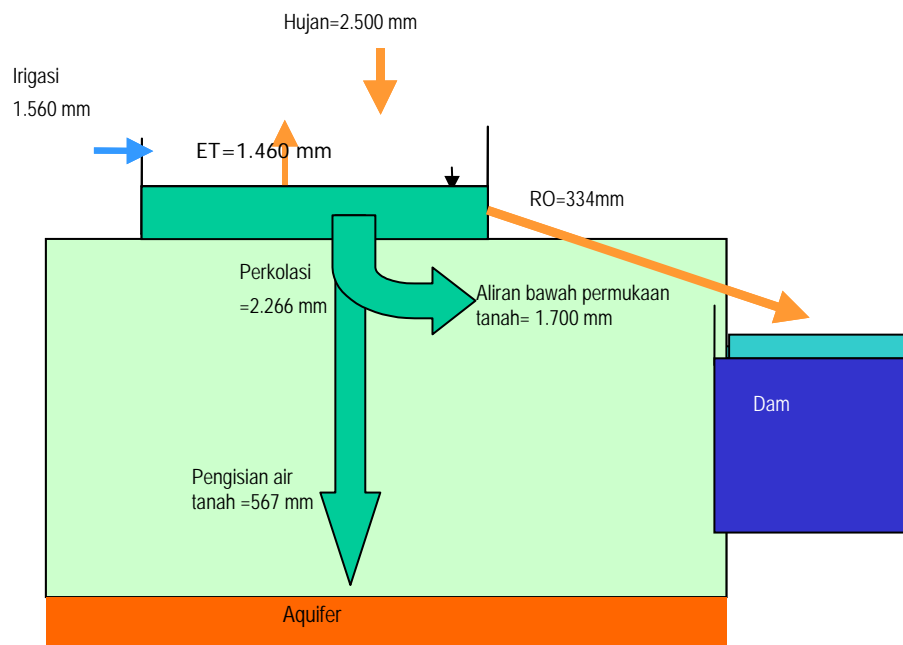
Wilayah Kota	Suhu udara (°C) (pukul 11:00 sampai 15:00 WIB)		
	Perkotaan	Lahan sawah	Kebun campuran
Bandung	34	32	na
Cianjur	34	31	28,5
Purwakarta	35	34	29,5

na : data tidak tersedia

Penggunaan alat pendingin suhu udara, seperti *air conditioner* (AC) atau kipas angin oleh penduduk merupakan usaha untuk mengembalikan secara *artificial* fungsi mitigasi peningkatan suhu udara yang diberikan oleh lahan sawah atau sistem *agroforestry* tersebut.

Pendaur ulang sumber daya air

Berdasarkan konsep neraca air sebagaimana disajikan dalam Gambar 4 dan Tabel 5, lahan sawah menerima air dari curah hujan dan irigasi. Air tersebut kemudian menjelma menjadi air aliran permukaan, menguap melalui proses evaporasi dan transpirasi, dan merembes (perkolasi) ke dalam tanah.



Gambar 4. Skema neraca air tahunan pada lahan sawah (Fagi dan Sanusi, 1983) dan estimasi komponen neraca air untuk DAS Citarum, Jawa Barat (Watung *et al.*, 2003)

Fagi dan Sanusi (1983) memberikan estimasi partisi komponen air hujan dan air irigasi yang diterima lahan sawah dan Watung *et al.* (2003) melakukan kalkulasi partisi tersebut untuk lahan sawah di DAS Citarum. Dari estimasi dan perhitungan tersebut dikemukakan bahwa dari jumlah total pasokan air ke lahan sawah sebesar 4.060 mm tahun⁻¹ yang berasal dari air hujan dan air irigasi, sekitar 2.034 mm (50%) menjelma menjadi air rembesan ke samping dan aliran

permukaan yang akhirnya akan sampai ke badan-badan air. Dari air yang merembes ke dalam tanah lahan sawah, sekitar 75% dapat mengalir sebagai aliran bawah tanah (*subsurface flow*) ke badan air (sungai dan bendungan), sedangkan sebagian lagi (sekitar 25%) akan mengisi ulang (*recharge*) air tanah. Dengan asumsi ini, sekitar 567 mm air perkolasi dapat mengisi air tanah. Air yang menuju *aquifer* dan badan air serta dam dapat didaur ulang untuk berbagai pemanfaatan, baik untuk irigasi, maupun untuk keperluan rumah tangga.

Tabel 5. Neraca air tahunan pada lahan sawah beririgasi di DAS Citarum, Jawa Barat berdasarkan estimasi oleh Watung *et al.* (2003)

Deskripsi	Laju mm hari ⁻¹	Lamanya hari	Jumlah mm tahun ⁻¹
Pasokan air:			
Irigasi (selama musim tanam)	13	120	1.560
Curah hujan			2.500
Total sumber air			4.060
Output/keluaran:			
Perkolasi (air rembesan/resapan)	10,3	220	2.266
-Langsung mencapai badan air (75%)			1.700
-Memasok cadangan air tanah (25%)			567
Aliran permukaan (<i>runoff</i>)			334
Evapotranspirasi	4	365	1.460
Total keluaran			4.060

Penampung limbah organik

Sampah organik yang berasal dari luar pertanian yang mudah terdekomposisi seperti sisa-sisa makanan, kotoran manusia dan sampah kota dapat ditampung oleh lahan pertanian, termasuk sawah dalam bentuk bahan organik, baik bahan organik segar maupun bahan organik yang sudah menjadi kompos. Sawah yang luas di pedesaan mempunyai potensi besar untuk menampung/mendaurulangkan limbah organik. Sebaliknya, di perkotaan, pembuangan sampah merupakan masalah besar. Masalah penumpukan sampah organik di perkotaan selain memerlukan biaya tinggi, juga mencemari lingkungan sekitar tempat pembuangan akhir (TPA) karena terjadinya penumpukan sampah. Sampah organik yang dikembalikan ke lahan pertanian, termasuk sawah, dapat menyumbangkan unsur hara bagi lahan sawah sehingga kesuburan tanah sawah meningkat. Pemanfaatan fungsi lahan sawah sebagai penampung limbah organik akan dapat direalisasikan apabila sudah dikembangkan budaya pemilahan antara sampah organik yang mudah terdekomposisi (*biodegradable*) dari sampah organik tahan urai (*non-biodegradable*) atau sampah nonorganik.

Pengurang kadar nitrat pada air tanah

Nitrat (NO_3^-) merupakan salah satu bentuk unsur nitrogen yang tersedia di dalam tanah dan bersifat sangat dinamis. Nitrat cepat tercuci ke dalam tanah, terutama pada tanah-tanah yang banyak mempunyai pori drainase atau tanah yang gembur. Pada lingkungan lahan sawah, mineralisasi nitrogen cenderung menghasilkan amonium (NH_4^+), sedangkan kadar nitratnya relatif rendah. Selain itu tanah lahan sawah umumnya mempunyai lapisan tapak bajak yang kedap air sehingga pencucian nitrat ke sumur-sumur di sekitar persawahan relatif lebih rendah dibanding dengan pencucian nitrat ke sumur-sumur di sekitar lahan kering.

Suatu penelitian telah dilakukan dengan mengambil dan menganalisis contoh air dari beberapa sumur di sub-DAS Citarik dan DAS Kaligarang dan hasilnya disajikan pada Tabel 6 (Nursyamsi *et al.*, 2001). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kadar NO_3^- pada air sumur yang berada di lingkungan lahan kering sudah melebihi BML (baku mutu lingkungan) yang direkomendasikan oleh *united states environmental protection agency* (USEPA), yakni maksimum $10 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$ (CAST, 1985). Untuk DAS Citarik, nilai tengah konsentrasi nitrat pada air sumur di sekitar tegalan adalah $10,3 \text{ mg l}^{-1}$ dan standar deviasi lebih besar dari nilai tengah. Data ini mempunyai makna bahwa variasi kadar nitrat pada air tanah sangat besar dan cukup banyak sumur atau air tanah yang kadar nitratnya jauh di atas nilai ambang batas.

Tabel 6. Kadar nitrat, amonium, dan sulfat air tanah (air sumur) serta standar deviasinya di sekitar lahan pertanian di sub-DAS Citarik dan DAS Kaligarang (Nursyamsi *et al.*, 2001)

DAS dan penggunaan lahan	Nitrat		Amonium		Sulfat
	mg l ⁻¹				
Sub-DAS Citarik:					
Sawah	4,6	± 4,5	3,2	± 5,8	17,6 ± 17,9
Tegalan	10,3	± 12,4	0,2	± 0,3	8,4 ± 10,3
Kebun campuran	7,8	± 10,9	0,0	± 0,1	1,5 ± 1,8
Hutan	0,9	± 0,4	0,2	± 0,3	1,0 ± 1,4
Sungai	2,5	± 2,4	1,1	± 1,7	42,9 ± 82,3
DAS Kaligarang:					
Sawah	1,1	± 1,4	0,5	± 0,5	8,9 ± 15,1
Tegalan	26,5	± 26,8	0,1	± 0,1	5,2 ± 4,6
Kebun campuran	8,1	± 5,6	0,1	± 0,1	2,0 ± 2,0
Hutan	0,9	± 0,0	0,0	± 0,0	1,3 ± 0,0
Sungai	3,9	± 1,4	0,2	± 0,3	3,5 ± 3,2

Untuk lokasi studi di DAS Kaligarang, nilai tengah dan standar deviasi air sumur di sekitar lahan tegalan jauh lebih tinggi, dan data ini menunjukkan bahwa hanya sedikit sumur di sekitar tegalan di DAS ini yang kadar nitratnya di bawah ambang batas. Air minum yang mengandung nitrat di atas BML tersebut sangat berbahaya karena dapat menyebabkan penyakit bayi biru (*blue baby disease*) (Saeni, 1989 dan Flether, 1991).

Kadar nitrat pada air sumur di sekitar persawahan relatif rendah (berada di bawah nilai ambang batas), padahal para petani menggunakan pupuk urea sebagai sumber nitrogen pada lahan sawah intensifikasi dengan takaran yang jauh lebih tinggi mencapai 200 kg urea ha⁻¹ musim⁻¹ tanam dibandingkan takaran pupuk urea pada lahan kering tanaman pangan yang mencapai 100 kg ha⁻¹ musim⁻¹ tanam (Adiningsih *et al.*, 1997). Fakta tersebut menunjukkan bahwa lahan sawah memberikan dampak mengurangi konsentrasi nitrat pada air tanah.

Detoksifikasi kelebihan unsur hara

Nitrogen dan fosfor merupakan dua unsur utama yang menjadi penyebab pendangkalan badan-badan air melalui proses eutrofikasi. Dewasa ini pertanian dipandang sebagai aktivitas yang menjadi penyebab utama eutrofikasi karena petani cenderung menggunakan pupuk N dan P yang berlebihan untuk memperoleh hasil padi yang tinggi.

Namun sesungguhnya lahan sawah mempunyai mekanisme intrinsik untuk menetralkan unsur N dan P yang berlebihan selama musim tanam. Unsur N dalam bentuk amoniak (NH₃) yang berasal dari hasil dekomposisi bahan organik atau penambahan pupuk akan stabil pada tanah dalam keadaan tereduksi. Kemudian pada saat amoniak tersebut teroksidasi, maka unsur N akan berubah dari bentuk amoniak menjadi nitrat yang sebagiannya mudah tercuci ke lapisan reduksi dan hilang ke udara melalui proses denitrifikasi.

Kemampuan lahan sawah dalam mentransformasi dan denitrifikasi unsur N tersebut sangat nyata berbeda dengan lahan kering dimana nitrogen-nitrat tersebut pada lahan kering akan menjadi sumber pencemar utama bagi tanah dan air permukaan (seperti diperlihatkan dalam Tabel 6).

Unsur P akan stabil tersimpan di dalam tanah sawah karena terikat oleh partikel tanah, khususnya dalam lapisan *sub-soil* yang teroksidasi, sehingga tidak mudah tercuci.

Detoksifikasi bahan kimia pertanian

Walaupun zat-zat kimia hidrokarbon berklorine seperti lindin (BHC), *dichlorodiphenyltrichloroetane* (DDT), dan *pentachlorophenol* (PCP) sudah lama dilarang untuk digunakan di sektor pertanian, tetapi bukti empirik menunjukkan

bahwa zat-zat tersebut terdekomposisi lebih cepat pada lahan sawah yang tergenang dibanding pada lahan kering (Sethunathan dan Siddaramappa, 1978 *dalam* Kyuma, 2004). Hal ini mungkin disebabkan proses deklorinasi (pelepasan klorin) dan dehidroklorinasi dalam keadaan reduksi. Diazinon dan parathion menjadi tidak aktif dalam keadaan terhidrolisis. Demikian juga nitrofen (NIP) dan chlornitrofen (CNP) secara cepat menjadi tidak aktif pada lahan sawah karena proses transformasi reduksi nitrogen dari group nitrat menjadi group amino. Dengan demikian lahan sawah mampu menetralsir sifat racun beberapa unsur kimia sebelum berpengaruh terhadap tempat-tempat lain di hilir sawah.

Namun demikian beberapa bahan kimia pertanian, seperti fenthion (MPP) dan fenobucarb (BPMC), mempunyai paroh waktu (*half life*, $T_{1/2}$) lebih panjang pada lahan sawah dibandingkan dengan di lahan kering, namun untuk bahan agrokimia lain pada umumnya, masa paroh waktunya di lahan sawah lebih pendek.

Penambatan karbon

Bahan organik cenderung terakumulasi lebih banyak pada lahan sawah daripada pada lahan kering. Dikaitkan dengan masalah pemanasan global, fakta tersebut dapat dipandang sebagai kemampuan alami lahan sawah dalam menambat karbon. Kadar C-organik pada lahan sawah biasanya beberapa kali lebih tinggi dibandingkan dengan kadar C-organik lahan kering (Mitsuchi, 1971 *dalam* Kyuma, 2004). Walaupun kecenderungan ini tidak dapat digeneralisasi, namun fakta ilmiah yang dapat diyakini adalah kondisi genangan pada lahan sawah dapat membantu tanah sawah menambat karbon lebih banyak daripada lahan kering.

SIFAT INTRINSIK PELESTARIAN KESUBURAN LAHAN SAWAH

Lahan sawah sudah diusahakan ribuan tahun di kawasan Asia dan mampu mendukung kehidupan manusia yang jumlahnya banyak dengan kepadatan penduduk yang cukup tinggi. Hal ini hanya dimungkinkan karena tingkat produktivitas dan stabilitas sistem lahan sawah yang tinggi. Perilaku dan ketersediaan unsur-unsur hara pada lahan sawah memungkinkan produktivitas lahan sawah tinggi, sedangkan stabilitas lahan sawah lebih didukung oleh karakteristik alaminya berupa sifat-sifat intrinsik lingkungan sebagaimana diuraikan oleh Kyuma (2004) seperti diringkaskan sebagai berikut:

Pemasok unsur hara secara alami

Salah satu sifat intrinsik lingkungan lahan sawah adalah kemampuannya untuk memasok unsur-unsur hara seperti basa-basa (K, Ca, dan Mg), dan silika terlarut secara alami bagi tanaman (padi). Unsur-unsur hara tersebut dipasok melalui air irigasi. Jumlah unsur yang dibawa melalui air irigasi untuk Ca dan Mg

seringkali melebihi jumlah yang dibutuhkan tanaman, dan untuk K dan Si, memenuhi sebagian besar kebutuhan tanaman.

Lahan sawah juga mampu memasok unsur nitrogen melalui dekomposisi bahan organik tanah dan fiksasi melalui proses biologi tanah. Jumlah N yang dapat dijerap melalui fiksasi bisa mencapai 30-40 kg ha⁻¹ musim⁻¹ tanam. Jumlah ini mampu mendukung produksi padi sebanyak 1,5 - 2 t ha⁻¹.

Unsur P dalam tanah sawah lebih mudah tersedia karena proses reduksi dari senyawa besi-fosfat dan kelarutan besi atau aluminium fosfat yang lebih tinggi pada keadaan tanah tereduksi dan pH tinggi. Kemampuan lahan sawah dalam memasok unsur-unsur hara tersebut jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan lahan kering.

Toleran terhadap pengaruh budi daya tanaman monokultur

Walaupun usaha tani padi pada lahan sawah dilakukan tanpa rotasi setiap tahun, tidak ada pengaruh negatif yang nyata sebagaimana akan terjadi pada usaha tani tanaman pangan pada lahan kering. Sistem usaha tani monokultur tanaman pangan pada lahan kering secara terus menerus akan mengakibatkan *tanah sakit* karena terganggunya keseimbangan biologi dan kimianya.

Pergantian keadaan aerobik dan anaerobik pada lahan sawah merupakan salah satu kontrol alami yang efektif mengendalikan keseimbangan biologi dan nonbiologi sehingga tanah sawah *tidak sakit*. Pengalaman praktis di Jepang adalah mengkonversikan usaha tani lahan kering menjadi lahan sawah secara rutin merupakan upaya petani untuk menanggulangi masalah-masalah akibat pertanian monokultur pada lahan kering.

Penanganan gulma relatif lebih mudah

Pengelolaan gulma pada lahan sawah relatif lebih mudah dibanding dengan lahan kering. Pertumbuhan gulma pada lahan sawah yang tergenang relatif terhambat dan biomas gulma pada lahan sawah sekitar sepertiga sampai seperenam dari gulma pada lahan kering. Kalaupun ada beberapa gulma air, pencabutannya akan lebih mudah pada sawah yang tergenang dan berlumpur.

Lagipula, penggenangan dapat memberantas gulma jenis C₄, seperti alang-alang (*Imperata cylindrica*), *Setaria viridis*, *Digitaria adscendence* yang kesemuanya, bila dalam keadaan tidak tergenang, dapat mengalahkan tanaman padi yang merupakan jenis tanaman C₃.

PENGARUH NEGATIF LAHAN SAWAH

Emisi gas rumah kaca

Hasil pengukuran atmosfer menunjukkan bahwa kadar gas rumah kaca (GRK) di udara terus meningkat. Gas rumah kaca tersebut meliputi antara lain karbon dioksida (CO_2), metan (CH_4), nitrogen oksida (N_2O), dan klorofluor-karbon (CFC) yang mampu menyerap panas radiasi gelombang panjang matahari. GRK tersebut menimbulkan fenomena alam yang disebut efek rumah kaca yang berpengaruh terhadap perubahan iklim global (Taylor and MacCracken, 1990).

Emisi gas metan

Metan (CH_4) merupakan GRK kedua setelah CO_2 dalam kaitannya dengan pemanasan global atau efek rumah kaca. Daya pemanasan global satu molekul gas metan di Troposfir sekitar 21 kali lebih tinggi daripada daya pemanasan satu molekul CO_2 . Gas metan akan bertahan di lapisan Troposfir sekitar 7-10 tahun.

Gas metan dihasilkan oleh sekelompok bakteri yang menguraikan bahan organik dalam keadaan anaerobik, misalnya pada lahan sawah, rawa, padang rumput, hutan yang terbakar, dan sebagainya. Lahan rawa dan sawah dipercaya merupakan sumber utama gas metan karena di dalamnya terkandung banyak unsur karbon tanah dan suasananya anaerobik yang mendorong pembentukan gas metan ini.

Pada skala global konsentrasi gas metan meningkat sekitar 1% setiap tahun. Konsentrasi metan dewasa ini di udara setinggi 1,72 ppm (volume) lebih dua kali lipat dari konsentrasi sebelum pra industri yang tingkatnya 0,8 ppm (volume). Lahan basah, termasuk lahan sawah menyumbang sekitar 15 - 45% terhadap kadar metan di atmosfer, sedangkan sumbangan lahan kering sekitar 3 - 10% (Segers and Kenger, 1997).

Produksi (emisi) dan oksidasi metan pada lahan sawah dipengaruhi oleh berbagai mikroorganisme yang aktivitasnya juga dipengaruhi oleh faktor biologi, fisika dan kimia tanah sawah. Rizosfir tanaman padi mempengaruhi produksi dan oksidasi metan. Selama masa pertumbuhan tanaman, fluktuasi air sawah juga mempengaruhi produksi dan oksidasi metan. Setyanto dan Suharsih (buku ini) menguraikan berbagai aspek tentang emisi gas metan pada lahan sawah.

Emisi gas nitrogen oksida

Selain mengeluarkan gas N_2 (dinitrogen), proses denitrifikasi juga mengeluarkan gas nitrogen oksida (N_2O). Uniknya, gas N_2O juga dihasilkan dalam proses nitrifikasi yang bersifat oksidatif sehingga sumbangan lahan sawah yang berada dalam keadaan reduktif tidak begitu penting dalam emisi gas ini. Bahkan

proses yang oksidatif ini lebih penting dalam emisi gas nitrogen oksida. Jika suasana sangat reduktif, bahkan lahan sawah dapat menjadi tempat penyerapan (*sink*) N_2O .

Gas N_2O merupakan gas rumah kaca yang tingkat pemanasan satu molekulnya setara dengan 200-300 kali tingkat pemanasan yang disebabkan oleh CO_2 . Gas ini juga merupakan salah satu penyebab penciutan lapisan ozon di Stratosfir.

Polusi air

Walaupun ada mekanisme detoksifikasi pada lahan sawah, N dan P dari sawah dapat memasuki saluran drainase dan dapat mengalir ke badan air seperti sungai, kolam, dan danau. Proses pengangkutan hara ini terutama terjadi pada musim penanaman karena diperlukan pengeringan (suasana macak-macak) dan adanya pemupukan.

Selain itu, sewaktu pelumpuran dan beberapa saat sesudahnya, lahan sawah bisa menjadi sumber lumpur, namun jumlah total lumpur (sedimen) yang keluar dari lahan sawah, seperti yang tercantum pada Tabel 3, relatif kecil dibandingkan dengan yang berasal dari lahan kering (tegalan).

Konsumsi air yang tinggi

Air merupakan unsur sangat penting pada sistem sawah dan ketersediaan air dalam jumlah tinggi merupakan prasyarat persawahan. Untuk satu musim tanam diperlukan air sebanyak 1.500 mm, walaupun tidak kesemua air ini dimanfaatkan untuk proses evapotranspirasi. Seperti diilustrasikan pada Gambar 4, sebagian air tersebut mengisi cadangan air tanah (*ground water*), serta sebagian lagi merembes kembali ke badan air. Dengan semakin kompetitifnya pengadaan air maka tidak begitu mudah untuk mengadakan air dengan jumlah yang berlimpah tersebut untuk sawah.

Ancaman terhadap kualitas lingkungan lahan sawah

Di samping ancaman alih guna, lahan sawah juga terancam menurun kualitasnya akibat terkontaminasi berbagai limbah dari kawasan permukiman dan industri yang berada pada areal persawahan. Ada indikasi yang kuat bahwa bahan pewarna dan logam berat yang berasal dari pabrik tekstil mencemari lingkungan persawahan. Wawancara dengan penduduk di sub-DAS Citarik, Kabupaten Bandung, Jawa Barat mengungkapkan bahwa beberapa jenis ikan yang dulunya banyak, sekarang tidak ditemukan lagi di Sungai Citarik dan hal ini dipercayai merupakan dampak dari pencemaran air oleh limbah industri.

Laporan penelitian Adimihardja (2000, tidak dipublikasikan) menyatakan bahwa telah terjadi peningkatan kadar logam berat pada lahan sawah sepanjang

Sungai Citarik yang di sekitarnya banyak terdapat pabrik tekstil. Berdasarkan laporan tersebut, Suganda *et al.* (2003) meneliti luas lahan sawah yang sudah tercemar, kadar logam berat di dalam tanah dan di dalam jaringan tanaman. Contoh tanah dan air diambil dari lokasi dekat pabrik tekstil sampai jarak 2 km ke arah hilir, serta dari sebelah kanan dan kiri sungai pada jarak 0,5 km.

Hasil analisis contoh air dari sumur penduduk dan air sungai tidak menunjukkan adanya peningkatan kadar logam berat, tetapi petani setempat menyatakan bahwa warna air sungai dan air sawah yang berdekatan dengan pabrik sering berubah dari jernih menjadi kehitam-hitaman atau kemerah-merahan. Pernyataan petani tersebut ditunjang dengan pengamatan di lapangan seperti ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Limbah pada salah satu bak penjernihan air (*water purification pond*) (gambar kiri) dan warna air pada lahan sawah yang berdekatan dengan salah satu pabrik tekstil (gambar kanan) di DAS Citarum, Jawa Barat

Analisis kimia menunjukkan bahwa kadar Cu, Zn dan Co pada tanah sawah di sekitar pabrik tekstil di Citarik sudah mencapai titik kritis atau BML (Tabel 7). Namun demikian kadar logam berat pada contoh tanaman masih lebih rendah dari BML, kecuali untuk kadar Zn yang telah melewati ambang batas tidak aman bagi konsumsi manusia dan ternak (Tabel 8).

Mengingat adanya indikasi meningkatnya kadar logam berat, maka diperlukan upaya deliniasi lahan sawah di sekitar pabrik berdasarkan tingkat pencemarannya. Sawah yang tanahnya mengandung logam berat di atas BML akan mengancam keamanan pangan (*food safety*) dan karena itu diperlukan langkah-langkah kebijakan untuk penanganannya seperti penggunaan lahan untuk pertanian non pangan (tanaman hias atau serat), dan perumusan kompensasi bagi petani yang tanah sawahnya tercemar.

Tabel 7. Kadar logam berat pada tanah sawah di sekitar pabrik tekstil di Rancaekek, Kabupaten Bandung, Jawa Barat

Logam berat	Kadar (kisaran)		BML pada tanah
	Minimum	Maksimum	
	mg kg ⁻¹		
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: Suganda *et al.* (2003)
BML = Batas minimum lingkungan.

Tabel 8. Kisaran kadar logam berat pada jerami padi dan beras yang berasal dari sawah di sekitar pabrik tekstil di Rancaekek, Kabupaten Bandung, Jawa Barat

Logam berat	Kadar (kisaran)		BML pada tanaman
	Jerami	Beras	
	mg kg ⁻¹		
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	-
Ni	0,437-15,864	0,609-43,072	5-30

Sumber: Suganda *et al.* (2003)
BML = Batas minimum lingkungan.

PENUTUP

Ditinjau dari aspek lingkungan, lahan sawah mempunyai arti penting karena menyumbangkan jasa lingkungan (mempunyai multifungsi) dalam bentuk mitigasi banjir, pengendalian erosi dan sedimentasi, pendaur ulang sumber daya air, mitigasi peningkatan suhu udara, penampung atau pendaur ulang limbah organik, pengurang kadar nitrat pada air tanah, detoksifikasi kelebihan unsur hara dan residu pestisida sehingga tidak mencemari lingkungan, serta penambat karbon. Selain menyumbangkan jasa lingkungan, lahan sawah telah mampu mendukung ketahanan pangan selama ribuan tahun. Hal ini disebabkan berbagai sifat intrinsik pelestarian yang dipunyainya antara lain pemasok unsur hara secara alami (terutama untuk lahan sawah beririgasi), toleran terhadap sistem pertanian monokultur, dan lebih mudahnya penanganan gulma.

Walaupun mempunyai banyak aspek positif, lahan sawah juga mempunyai beberapa pengaruh negatif terhadap lingkungan, antara lain emisi gas rumah kaca, terutama gas metan, polusi air oleh hara dan sedimen pada awal musim tanam, serta tingginya kebutuhan air untuk sistem sawah.

Alih guna lahan sawah menjadi lahan nonpertanian, seperti kawasan permukiman dan industri, menyebabkan berbagai jasa lingkungan yang dapat disumbangkan lahan sawah, secara total atau parsial, menjadi hilang tanpa dapat dipulihkan (*irreversible*). Selain itu, alih guna sebagian lahan sawah menyebabkan terjadinya ancaman kualitas lingkungan pada lahan sawah yang tersisa. Ancaman tersebut terutama ditimbulkan oleh berbagai limbah kimia yang berasal dari berbagai jenis kegiatan industri.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih, J.S., T. Prihatini, J. Purwani, and A. Kentjanasari. 1997. Development of integrated fertilizer management to sustain food crop production in Indonesia: The use of organic and biofertilizers. *Indonesian Agric. Reserach and Dev. Journal* 19: 57-66.
- Agus, F. and Wahyunto. 2003. Evaluation of flood mitigation function of several land use systems in selected areas of West Java, Indonesia. Paper presented at Japan/OECD Expert Meeting on Land Conservation Indicators, 13-15 May, 2003, Kyoto, Japan.
- Agus, F., U. Kurnia, and A.R. Nurmanaf (*Eds.*). 2001. *Proceedings, National Seminar on the Multifunction of Paddy Fields*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor, Indonesia. 147 p.

- Agus, F., Wahyunto, and S. H. Tala'ohu. 2002. Multifunctional roles of paddy fields in case watersheds in Java, Indonesia. Presented at the Working Group Meeting of the ASEAN-Japan Project on Multifunctionality of Paddy Farming and Its Effects in ASEAN Countries, 27 February-1 March 2002, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Biro Pusat Statistik. 2003. Statistik Indonesia. BPS. Jakarta.
- CAST (*Council for Agricultural Sciences and Technology*). 1985. Agricultural and Groundwater Quality. Rep. 103. CAST, Ames, IA.
- Fagi, A.M. dan S.A. Sanusi. 1983. Meningkatkan efisiensi air irigasi dengan teknik budidaya tanaman dan teknik pengairan. Kumpulan makalah Lokakarya Penelitian Padi. Cibogo, Bogor 22-24 Maret 1983. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Bogor.
- Fletcher, D. 1991. A. National perspective. pp. 9-17. *In* R.F. Follet, D.R. Keeney, and R.M. Cruse (*Eds.*) Managing Nitrogen for Ground Water Quality and Farm Profitability. Soil Science Soc. of America, Madison, Wisconsin.
- Irawan, B., S. Friyatno, A. Supriyatna, I.S. Anugrah, N.A. Kitom, B. Rachman, dan B. Wiryono. 2001. Perumusan Modal Kelembagaan Konservasi Lahan Pertanian. Pusat Penelitian Sosial Ekonomi Pertanian, Bogor.
- Kundarto, M., F. Agus, A. Maas, dan B.H. Sunarminto. 2003. Neraca air, erosi tanah, dan transpor lateral hara NPK pada sistem persawahan di Sub DAS Kali Babon, Semarang. hlm. 223-238. *dalam* Prosiding Seminar Nasional Multifungsi dan Konversi Lahan Pertanian. Bogor, 2 Oktober dan Jakarta, 25 Oktober 2002. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Kyuma, K. 2004. Paddy Soil Science. Kyoto University Press and Trans Pacific Press. 280 p.
- Nishio, M. 1999. Multifunction Character of Paddy Farming. Second Group Meeting on the Interchange of Agricultural Technology Information between ASEAN Member Countries and Japan, 16-18 February, 1999, Jakarta.
- Nursyamsi, D., Sulaeman, M.E. Suryadi, dan F.G. Berelaka. 2001. Kandungan beberapa ion di dalam sumber air di Sub DAS Citarik dan DAS Kaligarang. hlm. 103-109 *dalam* Prosiding Seminar Nasional Multifungsi Lahan Sawah. Bogor, 1 Mei 2001. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.

- Saeni, M.S. 1989. Kimia Lingkungan. Pusat Antar Universitas (PAU) Ilmu Hayat. Institut Pertanian Bogor, Bogor. 151 hlm.
- Segers, R. and S.W.M. Kenger. 1997. Methane production as a function of anaerobic carbon mineralization: A process model. *Soil Biology and Biochemistry* 30: 1.107-1.117.
- Setyanto, P., A.B. Rosenani, A.K. Makarim, I. Che Fauziah, A. Bidin, dan Suharsih. 2002. Soil controlling factors of methane gas production from flooded rice fields in Pati District, Central Java. *Indonesian Journal of Agricultural Science* 3 (1): 1-11.
- Suganda, H., D. Setyorini, H. Kusnadi, I. Saripin, dan U. Kurnia. 2003. Evaluasi pencemaran limbah industri tekstil untuk kelestarian lahan sawah. hlm. 203-221 *dalam* Prosiding Seminar Nasional Multifungsi dan Konversi Lahan Pertanian. Bogor, 2 Oktober dan Jakarta, 25 Oktober 2002. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Sumaryanto, S. Friyatno, dan B. Irawan. 2001. Konversi lahan sawah ke penggunaan nonpertanian dan dampak negatifnya. hlm. 1-18 *dalam* Prosiding Seminar Nasional Multifungsi Lahan Sawah. Bogor, 1 Mei 2001. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Sutono, S., S.H. Tala'ohu, O. Sopandi, dan F. Agus. 2003. Erosi pada berbagai penggunaan lahan di DAS Citarum. hlm. 113-133 *dalam* Prosiding Seminar Nasional Multifungsi dan Konversi Lahan Pertanian. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Tala'ohu, S.H., F. Agus, dan G. Irianto. 2001. Hubungan perubahan penggunaan lahan dengan daya sangga air Sub DAS Citarik dan DAS Kaligarang. hlm. 93-102 *dalam* Prosiding Seminar Nasional Multifungsi Lahan Sawah. Bogor, 1 Mei 2001. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor. (In Indonesian).
- Taylor, K.E. and M.C. MacCracken. 1990. Projected effect of increasing concentrations of carbon dioxide and trace gases on climate. p.1-17. *In* B.A. Kimball, N.J. Rosenberg, L.H. Allen, Jr., G.H. Heichel, C.W. Stuber, D.E. Kissel and S. Ernst. *Impact of Carbon Dioxide, Trace Gases, and Climate Change on Global Agriculture*. American Society of Agronomy, Inc. Madison, USA. 133 p.

- Wahyunto, Zainal Abidin, M., Priyono, A., and Sunaryo. 2001. Studi perubahan penggunaan lahan di Sub DAS Citarik, Jawa Barat dan DAS Kaligarang, Jawa Tengah. Hal. 39-63. *dalam* Prosiding Seminar Nasional Multifungsi Lahan Sawah, Bogor, 1 Mei 2001. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Watung, R.L., S.H. Tala'ohu, dan F. Agus. 2002. Fungsi lahan sawah dalam preservasi air. Hal. 149-157. *dalam* Prosiding Seminar Nasional Multifungsi dan Konversi Lahan Pertanian. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Wischmeier, W.H. and D.D. Smith 1978. Predicting rainfall erosion losses, A guide to conservation planning. USDA. Agric. Handbook. 537. Washington DC.