

Sistem Produksi Padi Berkelanjutan dengan Penerapan Revolusi Hijau Lestari

Sumarno¹

Ringkasan

Kondisi kekurangan pangan secara kronis yang terjadi di Indonesia hingga tahun 1960-an telah berhasil diatasi dengan penerapan teknologi revolusi hijau, yang didukung oleh penggunaan varietas unggul, pemberian pupuk sintesis takaran tinggi, dan ketersediaan pengairan yang cukup. Penanaman padi secara intensif dalam skala luas sering menimbulkan endemi hama penyakit yang mengharuskan petani mengaplikasikan pestisida secara liberal. Segolongan masyarakat mengkhawatirkan penerapan revolusi hijau sebagai praktek pertanian yang tidak ramah lingkungan, tidak berkelanjutan, dan mempersempit keanekaragaman hayati. Sebagai tandingan, mereka menganjurkan untuk kembali kepada pertanian yang lebih ramah lingkungan dengan menggunakan masukan organik. Lahan sawah sebenarnya memiliki kemampuan alamiah untuk meremajakan diri (*self renewal*) jika dikelola secara baik dan benar. Untuk mencapai keberlanjutan sistem produksi padi sawah perlu dipraktekkan teknologi revolusi hijau lestari yang merupakan operasionalisasi dari “Agroeko-teknologi”, “Usaha Pertanian Ramah Lingkungan” dan “Pengelolaan Sumber Daya dan Tanaman Terpadu”. Komponen utama teknologi revolusi hijau lestari adalah (1) pengkayaan kandungan bahan organik tanah, (2) rotasi tanaman dengan menyertakan tanaman leguminosa, (3) sanitasi lahan dari tumbuhan inang hama-penyakit dan sumber penularan gulma, (4) penanaman multivarietas unggul adaptif pada setiap hamparan, (5) penerapan pola tanam multispesies untuk memperbesar keanekaragaman hayati, (6) penggunaan pupuk anorganik untuk menyediakan kecukupan hara secara optimal, (7) pengelolaan hama penyakit secara terpadu dalam prinsip pengelolaan lingkungan secara ekologis, (8) mencegah terjadinya cemaran limbah fisik dan kimiawi dari luar ekologi sawah, (9) pengolahan tanah secara baik untuk memperoleh pelumpuran yang cukup dalam, dan (10) memelihara sumber pengairan agar tetap berfungsi. Konsep revolusi hijau lestari dimaksudkan untuk menjadikan pemeliharaan kesuburan tanah dan kelestarian sumber daya lahan pertanian sebagai bagian tak terpisahkan dari kegiatan usaha produksi pertanian secara modern dan maju. Dengan menerapkan teknologi revolusi hijau lestari diharapkan tujuan pencukupan pangan nasional dan pemeliharaan keberlanjutan produksi padi dapat dicapai secara bersamaan.

¹ Profesor Riset pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, dan Mantan Direktur Jenderal Tanaman Hortikultura

Revolusi hijau *atau green revolution* di bidang pertanian sering dinilai sebagai teknologi penyelamat manusia dari bahaya kelaparan. Penerapannya dalam sistem produksi padi nasional mampu meningkatkan produksi pangan beras dari 8,0 juta ton pada tahun 1963 menjadi 32 juta ton pada tahun 2004, atau terjadi kelipatan produksi sebesar 400% dalam kurun waktu 40 tahun (Deptan 2005). Di sisi lain, segolongan masyarakat khawatir akan terjadinya ketidakberlanjutan produksi pertanian akibat penerapan revolusi hijau. Isu pencemaran lingkungan dan penurunan keanekaragaman hayati juga menyertai kekhawatiran akan bahaya ketidakberlanjutan tersebut. Revolusi hijau yang dimotori oleh penggunaan varietas unggul responsif terhadap pupuk anorganik tetapi sering memerlukan pestisida untuk proteksi dari serangan hama penyakit, dinilai boros sumber daya dan tidak ramah lingkungan. Penanaman satu varietas murni dalam areal yang luas telah mendesak keragaman genetik berbagai varietas unggul lokal yang biasa ditanam petani, yang berarti telah mempersempit keragaman genetik tanaman.

IRRI (2004) mengidentifikasi tujuh isu yang perlu mendapat pemikiran pemecahannya dalam menerapkan revolusi hijau, yaitu: (a) penurunan mutu lingkungan, (b) jaminan keberlanjutan sistem produksi, (c) pemiskinan petani, (d) cemaran residu sarana produksi yang berupa bahan kimia berbahaya, (e) penurunan kualitas lahan, (f) ketersediaan dan mutu air irigasi, (g) turunnya keanekaragaman hayati dan keragaman genetik tanaman. Oleh karena itu agenda penelitian IRRI 10 tahun ke depan mengetengahkan permasalahan tersebut sebagai bagian penting dari program teknis penelitiannya. Fagi (2006) menilai dampak negatif revolusi hijau berupa berkurangnya musuh alami hama penyakit, pencemaran bodi air dan lingkungan oleh residu pestisida dan pupuk sebenarnya masih dapat dicegah atau diminimalisasi, dengan memberikan pengertian dan penyadaran kepada petani.

Tantangan dalam sistem produksi pertanian pada abad XXI akan menjadi sangat kompleks, karena berbagai kepentingan saling berbenturan, dengan alasan rasionalitas dan tujuan yang berbeda. Isu yang cukup menonjol mencakup enam aspek penting, yaitu: (1) kemiskinan, (2) ketahanan pangan, (3) keberlanjutan sistem produksi, (4) mutu lingkungan, (5) penurunan mutu sumber daya lahan dan air, serta (6) erosi sumber daya genetik (Shah and Strong 1999). Hal-hal tersebut perlu mendapat perhatian dan harus memperoleh penanganan yang berimbang dalam pembangunan pertanian. Di samping itu, pada masa depan akan terdapat empat faktor penting yang menghambat upaya peningkatan produksi padi secara teknis, yaitu: (1) keterbatasan kemampuan untuk terus meningkatkan produktivitas lahan, karena telah dicapainya batas maksimum produktivitas varietas maupun lahan, (2) terjadinya degradasi sumber daya lahan, (3) keterbatasan sumber air, dan (4) semakin meningkatnya serangan hama penyakit akibat timbulnya biotipe dan ras baru. Dalam kurun waktu 20 tahun ke depan dan masa-masa

selanjutnya, usaha pertanian juga akan sangat dibatasi oleh semakin berkurangnya air (Shah and Strong 1999).

Laju pertumbuhan penduduk yang masih cukup tinggi menjadikan jumlah penduduk Indonesia akan mencapai sekitar 330 juta pada tahun 2025, dan masih akan terus bertambah pada tahun-tahun selanjutnya. Kebutuhan pangan akan terus meningkat sejalan dengan pertumbuhan penduduk, sehingga memaksa usaha pertanian dengan luasan lahan yang terbatas untuk berproduksi secara maksimal.

Dengan terbatasnya sumber daya lahan, usaha pertanian sebagai penghidupan dan kegiatan ekonomi akan berhadapan dengan hal-hal yang saling bertentangan, yaitu antara kecukupan produksi (hasil panen) sebagai dasar ketahanan pangan nasional dengan kualitas lingkungan dan kelestarian keanekaragaman hayati, serta keberlanjutan usaha pertanian bagi kehidupan generasi yang akan datang. Ditambah lagi usaha pertanian bersifat rentan terhadap berbagai faktor ekonomi seperti kompetisi, keuntungan, efisiensi, pilihan dan substitusi, biaya pemasaran, persyaratan mutu, dan sebagainya, sehingga mengharuskan untuk kompetitif di pasar dunia. Peliknya sistem pertanian secara makro dalam melayani kebutuhan kehidupan manusia, maka Sen (1981) mengatakan secara filosofis petani tidak harus menerima pendapat bahwa ketersediaan pangan merupakan hak mutlak dan hak dasar manusia. Pernyataan tersebut mengingatkan agar manusia dapat menyesuaikan jumlah keturunannya dengan kemampuan sumber daya alam yang tersedia, tanpa harus menjadi beban berat petani untuk menyediakan bahan pangan secara murah. Lynam (1994) memberikan karakteristik umum tentang pertanian dilihat dari segi penggunaan sumber daya alam dan aspek keberlanjutannya, sebagai berikut:

- (1) Pertanian adalah usaha multidimensi, meliputi kegiatan ekonomi, kewajiban moral, sistem biologis, ekologis dan sosial. Sistem biologis pertanian didasari dan dirancang atas alasan: kewajiban moral, usaha ekonomi, persyaratan ekologi, dan keberlanjutan sistem produksi, yang masing-masing sering saling berbeda arah.
- (2) Pertanian merupakan usaha yang memerlukan lahan (ruang) yang sangat luas, terdesentralisasi dan tersebar, yang akan kalah efisien dibandingkan dengan penggunaan ruang untuk industri, jasa pemasaran, perumahan, prasarana, dan sebagainya. Hal ini mengakibatkan terjadinya konversi lahan pertanian menjadi fungsi nonpertanian di sekitar perkotaan.
- (3) Pertanian adalah suatu sistem yang bersifat hierarkial, saling mempengaruhi antara komponen-komponen yang nampaknya bebas, seperti pertanian/produksi komoditas secara global, iklim makro dan mikro, sistem hidrologi, agroekosistem, pola tanam, distribusi, perdagangan, dan sebagainya.

Pertanian lahan sawah di Indonesia tidak terlepas dari dilema pertanian umum seperti yang telah disebutkan. Usahatani lahan sawah akan menjadi lebih sederhana apabila masing-masing petani hanya cukup menyediakan pangan sebanyak kebutuhan keluarganya, seperti halnya petani masyarakat Baduy di Cibeo, Banten. Namun hal demikian tidak mungkin dilakukan, karena di antara 220 juta penduduk Indonesia, hanya terdapat 12,67 juta rumah tangga tani (RTT) yang bekerja dalam usaha produksi padi (Sensus Pertanian 2003). Hal ini berarti setiap rumah tangga tani padi harus menyediakan beras bagi 17 orang.

Gambaran suram usaha pertanian tersebut mungkin terlihat karena analisis yang bersifat negatif dan sentimental. Kenyataannya, usaha pertanian padi sawah masih tetap berjalan normal, tanpa keluhan petani secara berlebihan. Secara empiris, pertanian lahan sawah telah menunjukkan kemampuannya berproduksi selama lebih dari 100 tahun secara relatif normal. Kalaupun terjadi ketidakberlanjutan sistem produksi padi sawah, lebih disebabkan oleh faktor eksternal, seperti pemutusan saluran irigasi, pengalihan peruntukan lahan, perubahan sistem hidrologi oleh pembangunan fisik atau oleh adanya cemaran limbah industri. Namun demikian pada saat ini dinilai tetap relevan untuk mempertanyakan keberlanjutan sistem produksi lahan sawah untuk mampu menghasilkan secara optimal, 25, 50, 100 bahkan 1000 tahun yang akan datang. Konsep “keberlanjutan sistem produksi pertanian” memang dimaksudkan untuk melihat ke masa depan secara jangka panjang, dan bukan melihat ke belakang atau masa lalu.

Makalah ini menganalisis secara fisik dan biologis berbagai faktor yang mungkin mengakibatkan ketidakberlanjutan sistem produksi pertanian dan mengidentifikasi upaya-upaya untuk mengatasinya. Penelitian tentang keberlanjutan sistem produksi pertanian di Indonesia belum terprogram, sehingga bahan-bahan dalam tulisan ini banyak diambil dari literatur yang relevan. Makalah ini juga dimaksudkan untuk menggugah kesadaran seluruh masyarakat pertanian tentang pentingnya upaya dan tindakan pemeliharaan keberlanjutan sistem produksi pertanian untuk generasi yang akan datang.

Definisi dan Pengertian

Pertanian berkelanjutan memiliki pengertian umum bahwa “sumber daya lahan dan air secara lestari dapat menghasilkan produk pertanian dengan menggunakan sejumlah masukan yang wajar”. Sebagian ahli lingkungan lebih menekankan pengertian pertanian berkelanjutan kepada “kelestarian lingkungan, minimalisasi kerusakan dan degradasi ekosistem dan mempertahankan keanekaragaman hayati”. Harwood (1987) mengemukakan beberapa dimensi atau kriteria keberlanjutan pertanian, yaitu:

- (1) Dimensi jangka panjang: pelestarian lahan pertanian dan konservasi tanah dan air untuk pertanian dengan tujuan penggunaan jangka panjang ke depan.
- (2) Dimensi sosial kemasyarakatan: pelestarian usaha pertanian harus tetap mampu memberikan lapangan penghidupan dan kegiatan ekonomi yang layak bagi pelaku usaha atau petani.
- (3) Dimensi ekonomi: usaha pertanian harus tetap kompetitif secara ekonomis dibandingkan dengan usaha di bidang lain, walaupun skala usahataniannya kecil.
- (4) Dimensi kelestarian keanekaragaman hayati: keanekaragaman hayati pada tataran plasma nutfah (keragaman genetik) maupun keanekaragaman spesies perlu dijamin kelestariannya, guna menyangga perubahan dan dinamika lingkungan biotik maupun abiotik.
- (5) Dimensi minimalisasi pencemaran lingkungan dan polusi udara: usaha pertanian tidak mencemari lingkungan akibat berbagai residu bahan kimia (pupuk, pestisida, dan herbisida), dan tidak menimbulkan polusi yang berasal dari pembakaran dan pemanasan oleh gas metan secara berlebihan.
- (6) Dimensi kualitas dan kesuburan tanah: pertanian harus dapat melestarikan kesuburan kimia, fisik, dan biologis tanah untuk penggunaan jangka panjang.
- (7) Dimensi kelestarian sumber daya pertanian dan lingkungan: usaha pertanian harus tetap memelihara dan melestarikan sumber daya pertanian dan lingkungan, dengan meminimalisasi erosi, memaksimalkan daya serap air hujan, konservasi sumber air, dan mencegah terjadinya banjir, tanah longsor atau mengeringnya sumber air.

Dari dimensi atau kriteria tersebut Harwood (1987) menyimpulkan “pertanian berkelanjutan adalah usaha pertanian yang memanfaatkan sumber daya secara optimal, untuk menghasilkan produk panen dengan masukan dan biaya yang wajar, memenuhi kriteria sosial, ekonomi dan kelestarian lingkungan, serta tidak menggunakan sarana produksi yang tidak terbarukan”.

Castillo (1992) secara umum memberi definisi pertanian berkelanjutan sebagai “sistem produksi pertanian yang terus-menerus dapat memenuhi kebutuhan pangan, pakan, dan serat bagi kebutuhan nasional dan dapat memberikan keuntungan ekonomi bagi pelaku usaha tanpa merusak sumber daya alam bagi generasi yang akan datang”. Harrington (1992) mengaitkan pertanian berkelanjutan dengan tiga tolok ukur dalam pengelolaan sumber daya pertanian, yaitu kelestarian lingkungan, keanekaragaman hayati, dan keadilan antargenerasi dalam memanfaatkan sumber daya lahan dan terdapat pertumbuhan produksi sesuai dengan permintaan yang terus meningkat.

Definisi lain pertanian berkelanjutan adalah sebagai berikut:

- (1) *American Society of Agronomy* (1989): "Pertanian berkelanjutan adalah usaha pertanian yang dalam jangka panjang memperbaiki kualitas lingkungan dan sumber daya pertanian, dapat mencukupi kebutuhan pangan dan serat bagi manusia, dan memberikan kesejahteraan bagi petani dan masyarakat". Definisi ini akan sukar dipenuhi di Indonesia karena terbatasnya lahan, ditambah dengan kecilnya skala usahatani.
- (2) Francis dan Youngberg (1990): "Pertanian berkelanjutan adalah suatu filosofi, yang mendasarkan sasaran dan pemahaman dampak jangka panjang pada produktivitas sumber daya lahan dan lingkungan. Komponen dari tindakannya adalah keterpaduan segala upaya, pelestarian sumber daya, dan pertanian yang berkeadilan. Tujuan usaha pertanian mencakup mempertahankan produktivitas, mengurangi kerusakan lingkungan, pertumbuhan ekonomi jangka pendek dan jangka panjang, mempertahankan stabilitas kehidupan masyarakat pedesaan, dan memperbaiki kualitas hidup petani". Definisi ini juga sangat sulit dipenuhi oleh usaha pertanian Indonesia, walaupun konsepnya cukup relevan dengan keinginan petani.
- (3) *Congressional Record, the House of Congress, USA*: "Pertanian berkelanjutan adalah sistem produksi tanaman dan ternak secara terpadu, yang dalam jangka panjang tetap mampu mencukupi kebutuhan manusia, memperbaiki kualitas lingkungan dan sumber daya pertanian, memanfaatkan sumber daya yang tidak dapat terbarukan secara efisien, memanfaatkan proses daur ulang biologis, mempertahankan pertumbuhan ekonomi usaha pertanian, dan menaikkan taraf hidup petani dan masyarakat secara keseluruhan".
- (4) *Journal of Sustainable Agriculture* (1990): "Pertanian berkelanjutan adalah usaha pertanian yang mempersyaratkan: (a) sumber daya pertanian dimanfaatkan seimbang dengan peruntukannya, melalui konservasi, pendauran biologis dan pembaruan; (b) praktek usaha pertanian melestarikan sumber daya pertanian dan mencegah perusakan lingkungan, lahan pertanian, sumber air dan udara; (c) produktivitas, pendapatan dan insentif ekonomi tetap layak; dan (d) sistem produksi tetap harmonis dan selaras dengan dinamika sosial ekonomi masyarakat".

Dari semua definisi tersebut, komponen pertanian berkelanjutan yang diutamakan adalah harapan dan keinginan untuk: (1) mempertahankan produktivitas tinggi, (2) menjaga kualitas lingkungan dan keseimbangan ekologis, (3) ekonomi petani yang layak. Implikasi definisi adalah perlunya kesadaran masyarakat untuk menjaga dan merawat sumber daya, perlunya gerakan bersama masyarakat yang memiliki usaha pertanian berdekatan dalam hamparan luas, dan perlunya dukungan pemerintah dalam berbagai aspek konservasi dan ekonomi.

Istilah *sustainable agriculture* juga memiliki banyak padanan pengganti, di antaranya adalah (Pointcellot 2004):

- (1) *Perma culture*, dari asal kata *permanent agriculture*.
- (2) *Biodynamic agriculture*, pertanian yang mengikuti perubahan dinamis biologis lingkungan, tetapi tetap mempertahankan keseimbangan ekologis.
- (3) *Biological agriculture*, suatu istilah yang salah kaprah, karena pertanian apapun, teknik dan jenis masukannya adalah biologis.
- (4) *Ecological agriculture*, pertanian yang memperhatikan kualitas dan keseimbangan lingkungan.
- (5) *Regenerative agriculture*, pertanian yang secara alamiah memelihara, mempertahankan, dan memperbaiki lingkungan tumbuh tanaman.
- (6) *Low input sustainable agriculture* (LISA), yaitu usaha pertanian dengan masukan sarana bahan-bahan organik dari lingkungan setempat, tidak bersifat eksploitatif, dan diharapkan lebih berkelanjutan.
- (7) *Low external input for sustainable agriculture* (LEISA), pada dasarnya sama dengan LISA.

Pertanian dengan masukan sarana organik atau yang sering secara salah kaprah disebut sebagai “pertanian organik”, tidak selalu berarti dan dapat menjamin sebagai usaha pertanian yang berkelanjutan. Faktor kelestarian kesuburan tanah, kecukupan hara makro dan mikro, kecukupan air, sumber air dan daya serap air tanah, dan pengendalian erosi permukaan, merupakan pendukung utama usaha pertanian berkelanjutan, yang tidak selalu dapat dipenuhi dalam pertanian dengan masukan bahan organik. Arti organik berasal dari organisme hidup, atau dari proses yang hidup. Dengan demikian, semua hasil pertanian, apapun jenis sarannya, adalah produk organik. Dengan pemahaman yang benar, tidak ada istilah pertanian organik atau pertanian anorganik.

Carter (1988) menganggap keberlanjutan pertanian seperti halnya *land carrying capacity*, yaitu produksi maksimal yang dapat diambil dari suatu luasan lahan, yang tetap lestari kemampuan dan mutunya. Istilah *carrying-capacity* diambil dari bidang peternakan, yang dimaknai sebagai populasi ternak maksimum yang dapat hidup dengan baik pada sebidang tanah pastura (padang-rumput). Dari pandangan sisi negatif, keberlanjutan selalu dikaitkan dengan kerusakan lingkungan, pengurangan keanekaragaman hayati dan mutu lingkungan secara umum. Oleh karena itu definisi keberlanjutan di Amerika Serikat seringkali diartikan sebagai “upaya pemanduan dan pengawalan dalam pemanfaatan bumi dan air (*stewardship of the earth, its soil and water*), yang menekankan kepada aspek minimalisasi degradasi dan kerusakan lingkungan”.

Liebhardt (1987) mendefinisikan keberlanjutan sebagai “suatu sistem pertanian yang cenderung menggunakan masukan eksternal secara minimal dan memperbanyak penggunaan masukan bahan asal setempat”. Definisi ini mengandung banyak kelemahan, karena hanya menjelaskan asal masukan, tanpa memperhatikan kecukupan dan kelestarian lahan.

Banyaknya definisi keberlanjutan pertanian menunjukkan terdapat banyak *interest* atau kepentingan bagi masing-masing pembuat definisi yang kadang-kadang berbeda orientasi. Dalam praktek pertanian tentu tidak seluruh kriteria dalam definisi tersebut dapat dipenuhi, tetapi perlu dipertimbangkan. Sayangnya belum ada definisi keberlanjutan pertanian secara universal yang disepakati, apalagi di Indonesia. Dalam makalah ini penulis menggunakan definisi dari Castillo (1992) sebagai dasar dalam pembahasan konsep pertanian yang berkelanjutan.

Keberlanjutan Sistem Produksi Padi Sawah

Usahatani padi sawah di Jawa yang merupakan usaha pertanian tertua di Indonesia sudah dimulai sejak abad XIII di sekitar pusat kerajaan Surakarta dan Mataram, dan bahkan mungkin jauh sebelum itu. Persiapan untuk penyerangan VOC di Batavia oleh tentara Sultan Agung pada pertengahan abad XVII diperkirakan merupakan awal perluasan persawahan di pantai utara Jawa Barat. Dengan demikian persawahan di Jawa telah berlangsung lebih dari 700 tahun, dan masih berjalan dengan baik hingga saat ini. Di Filipina persawahan berteras di Propinsi Ifugao dilaporkan sudah ada sejak 3000 tahun yang lalu dan masih baik hingga kini (Conception 2006). Di lembah Yangzi, Cina, padi telah diusahakan sejak 9000 tahun yang lalu dan masih berjalan hingga kini (Greenland 1997).

Lahan sawah yang ditanami secara tergenang memang memiliki mekanisme untuk memelihara dan melestarikan keberlanjutan secara alamiah melalui sifat fisik kimiawi dan biologis tanah yang stabil. Air yang menggenang tertahan oleh pematang mengakibatkan lumpur terendapkan pada seluruh permukaan sawah sehingga erosi dapat tercegah. Sifat baik sistem sawah yang lain yang mendorong keberlanjutan produksi lahan sawah menurut Greenland (1997) adalah: (1) tanah tidak menjadi masam setelah pengolahan dan penanaman secara terus-menerus, karena terkait dengan sifat fisiko-kimia tanah yang tergenang; (2) zat hara dari wilayah hulu terakumulasi di lahan sawah, dan hanya sedikit yang tercuci; (3) fosfor terikat dalam bentuk ferro-fosfat yang tersedia bagi tanaman; (4) terjadi penambahan hara lewat air luapan banjir, irigasi, dan pengendapan liat dan debu dari banjir; (5) terjadi fiksasi nitrogen secara biologis atas bantuan mikroba, tumbuhan air, dan tanaman legume; (6) erosi permukaan dicegah oleh adanya teras dan galangan/pematang. Penambahan pupuk organik/pupuk kandang, pembusukan jerami, rotasi tanaman dengan tanaman leguminosa juga banyak berperan dalam

menambah tingkat kelestarian kesuburan kimiawi tanah sawah di Indonesia. Sawah di sekitar gunung berapi bertambah kesuburan tanahnya oleh deposit debu dan pasir yang mengandung hara yang berasal dari letusan vulkanik. Hal tersebut merupakan mekanisme alamiah untuk pelestarian kesuburan.

Pelumpuran tanah sawah mengakibatkan terjadinya reaksi reduksi pada lapisan olah tanah, sedangkan lapisan tanah di bawahnya tetap bersifat oksidatif. Pelumpuran menjadikan kondisi lapisan air-tanah menjadi seolah-olah dangkal (*pseudogleys*) yang mengakibatkan hara tanah menjadi stabil, tetapi tetap terjadi drainase internal yang dapat menghilangkan senyawa toksik (Greenland 1997). Pelumpuran juga mengurangi perkolasi air sehingga kebutuhan air dapat dikurangi, dan dengan mudah genangan dapat dipertahankan sedalam 2-10 cm secara stabil.

Hal-hal tersebut tidak dijumpai pada lahan kering yang tidak memiliki mekanisme pelestarian kesuburan tanah secara alamiah, bahkan peka erosi, dan mudah terinfestasi oleh gulma. Lahan sawah memang merupakan teknik pengelolaan tanah yang sangat ideal bagi lahan di wilayah tropika basah.

Neraca Hara Tanah Sawah

Keseimbangan antara pemasukan hara ke dalam tanah sawah dengan “pengeluaran” hara dalam bentuk hasil panen, kehilangan hara oleh pelindihan (*leaching*), volatilisasi dan lain-lain merupakan kunci kelestarian kesuburan lahan sawah. Para penyuluh pertanian perlu memahami bahwa tanaman padi tidak saja memerlukan hara yang cukup banyak dan seimbang guna mendukung pertumbuhan tanaman yang optimal dan hasil panen yang maksimal, tetapi tanaman juga mengambil atau menguras hara dari dalam tanah guna membentuk hasil panen maupun jerami. Pengambilan hara dari dalam tanah sering diistilahkan sebagai “penambangan hara tanah oleh tanaman”.

Banyaknya hara tanah yang terangkut oleh hasil panen tanaman bergantung pada jenis tanaman, bentuk dan volume hasil panen. Hara tanah yang terangkut oleh hasil panen dan tidak kembali ke dalam tanah untuk nitrogen berkisar antara 32-114 kg N/ha, untuk fosfor 3-17 kg P/ha, dan untuk kalium 5-159 kg K/ha (Tabel 1). Pemanenan secara terus-menerus selama puluhan, ratusan, dan bahkan ribuan tahun tentu akan mengakibatkan kurusnya tanah, apabila tidak dilakukan pemupukan. Dengan demikian, tindakan pemupukan di samping menyediakan hara bagi tanaman juga berfungsi memelihara kesuburan tanah agar hara tidak habis terkuras oleh hasil panen.

Apabila jerami tidak dikembalikan ke tanah, jumlah hara yang terangkut oleh tanaman padi menjadi lebih banyak (Tabel 2). Sebelum penerapan revolusi hijau, hasil padi cukup rendah, 2,5-3,0 t/ha gabah kering, dan jerami dibiarkan membusuk di tanah. Dengan demikian, penambangan hara oleh tanaman

Tabel 1. Hara terserap dari dalam tanah dan terangkut sebagai hasil panen.

Jenis tanaman	Hasil panen (t/ha)	Bentuk hasil panen	Hara tanah terserap (kg/ha)					
			N	P	K	Ca	Mg	S
Jagung	6,0	Biji kering	94	17	23	24	5,4	7,8
Padi	5,0	Gabah kering	75	14	19	1,5	5,0	4,0
Ubi kayu	30	Umbi segar	51	15	75	12	6	6
Ubi jalar	30	Umbi segar	114	15	159	12	15	9
Kedelai	1,5	Biji kering	75	6	23	4	4	3,0
Kacang tanah	1,0	Biji kering	32	3	5	1,4	1,6	1,2
Kacang hijau	1,0	Biji kering	55	4	17	4	3	2
Kentang	25	Umbi segar	67	7,5	90	7,5	7,5	7,5
Wortel	20	Umbi	60	10	76	8	4	3
Mentimun	30	Buah segar	51	15	51	9	6	3

Sumber: PPI (2004).

Tabel 2. Jumlah hara yang terbawa oleh hasil panen padi pada lahan sawah. Hasil gabah kering = 5,0 t/ha; jerami = 6,0 t/ha.

Hara	Hara terambil dari dalam tanah (kg/ha)		
	Jerami	Gabah	Total
N	48	75	123
P ₂ O ₅	16	32	48
K ₂ O	120	23	143
S	6	6	12
Si	420	100	520

Sumber: PPI (2004).

padi masih rendah, sekitar setengah dari nilai pada Tabel 1. Oleh berbagai proses alamiah, kehilangan hara tersebut masih dapat dikembalikan dari sumber alamiah (Tabel 3). Tetapi dengan tingkat produktivitas 6 t/ha GKG, kehilangan hara karena terangkut hasil panen menjadi sukar dikembalikan oleh sumber hara alamiah, tanpa pemupukan (Tabel 4).

Tanpa pemberian pupuk setiap tahun akan terjadi defisit hara yang cukup besar, yang menyebabkan kemunduran kesuburan lahan sawah. Proses defisit hara yang terjadi secara terus-menerus selama puluhan tahun akan mengakibatkan penurunan kesuburan tanah dan berdampak pada ketidakberlanjutan sistem produksi pada lahan sawah.

Tabel 3. Neraca hara di lahan sawah, pada tingkat produktivitas 2-3 t/ha GKG.

Komponen	Jumlah hara masuk dan keluar (kg/ha/th)			Keterangan
	N	P	K	
Hara masuk				
Terbawa hujan	12	0,2	12	Rotasi padi-k.hijau
Terbawa irigasi	8	0,1	25	
Endapan	17	5,0	120	CH 2000-2500 mm/th
Fiksasi biologis	83	-	-	
Pupuk kandang	12	2	10	
Total	132	7,3	167	
Hara keluar				
Panen gabah 2 t/ha	24	5	6	
Jerami 3 t/ha	18	2	75	
Panen kacang 0,6 t/ha	18	4	8	
Perkolasi	10	2	30	
Volatilisasi	4	0	0	
Total	74	13	113	
Neraca hara	+ 58	- 5,7	+ 48	Jerami diambil
	+ 76	- 3,7	+ 123	Jerami dikembalikan

Sumber: Greenland (1997).

Tabel 4. Neraca hara di lahan sawah, pada tingkat produktivitas 8 t/ha dari dua kali panen setahun.

Komponen	Jumlah hara masuk dan keluar (kg/ha/th)			Keterangan
	N	P	K	
Hara masuk				
Terbawa hujan	15	0,3	15	Rotasi padi-padi-kacang hijau
Terbawa irigasi	12	0,2	35	
Fiksasi N biologis	108	-	-	CH 2000-3000 mm/th
Berasal dari pupuk	200	40	50	
Total	335	40,5	100	
Hara keluar				
Panen gabah 8 t/ha/th	96	20	24	
Jerami 8 t/ha/th	48	6	160	
Panen kacang 1 t/ha	35	8	16	
Perkolasi	18	3	46	
Volatilisasi	90	0	0	
Total	288	37	245	
Neraca hara	+ 47	+ 3,5	- 145	Jerami diambil
	+ 113	+ 9,5	+ 15	Jerami ditanam

Sumber: Greenland (1997).

Penyebab Ketidakberlanjutan Pertanian Padi Sawah

Secara umum faktor penyebab terjadinya ketidakberlanjutan usaha pertanian adalah kemunduran kualitas lahan, terutama kesuburan fisik dan kimiawi, sehingga usaha pertanian menjadi tidak layak secara ekonomi. Bukti empiris memperlihatkan bahwa penelantaran lahan pertanian sebagian besar disebabkan oleh faktor kesuburan tanah yang menurun, lapisan olah tanah yang habis tererosi, terjadinya infestasi gulma jahat seperti alang-alang (*Imperata* sp.), terdapatnya senyawa meracun tanaman, atau tidak tersedianya sumber pengairan. Rendahnya kandungan bahan organik dan populasi mikroba tanah, serta tekstur tanah yang kasar (lebih banyak fraksi pasir) juga sering merupakan penyebab terjadinya ketidakberlanjutan pertanian tanaman pangan semusim.

Penyebab ketidakberlanjutan pertanian dapat dikelompokkan menjadi enam faktor, yakni: (1) kerusakan fisik lahan, (2) lingkungan, (3) kesuburan, (4) ketersediaan air, (5) sosial ekonomi, dan (6) keseimbangan hayati. Konversi lahan menjadi fungsi nonpertanian juga merupakan penyebab nyata dan mungkin yang terbesar di antara faktor penyebab ketidakberlanjutan pertanian, tetapi tidak dibahas dalam makalah ini, karena proses alih fungsi lahan merupakan tindakan kesengajaan yang sebenarnya dapat dicegah dengan ketentuan perundangan.

Kerusakan Fisik Lahan

Dengan pengelolaan lahan yang baik disertai penambahan bahan organik ke dalam tanah, rotasi tanaman, pengembalian residu tanaman dan pembajakan dalam, lahan sawah diharapkan akan tetap baik secara fisik. Perubahan fisik lahan pertanian menjadi tanah tandus, tanah "bongkor" (tanah bersenyawa meracun tanaman), tanah padat, tanah berbatu, tanah yang terinfestasi alang-alang dan lahan tergenang adalah fenomena ketidakberlanjutan pertanian yang terluas di Indonesia.

Kerusakan fisik tanah sawah dapat terjadi karena praktek pengelolaan yang kurang baik, seperti tanpa rotasi tanaman, penanaman padi secara terus-menerus sehingga tanah tergenang sepanjang tahun (drainase buruk), pembajakan dangkal menggunakan bajak rotari, tidak pernah dilakukan penambahan bahan organik atau pengembalian residu tanaman ke dalam tanah, pelumpuran tanah kurang dalam, dan terbentuknya lapisan mata bajak yang dangkal. Pengambilan lapisan olah tanah (*top soil*) sebagai bahan bata dan genting juga merupakan penyebab kerusakan fisik tanah. Demikian pula penambangan pasir dari lapisan *sub-soil*, berakibat kerusakan fisik lahan sawah.

Terjadinya banjir dari bagian hulu sungai yang mengakibatkan jebolnya pematang dan terjadinya erosi permukaan tanah, atau penimbunan pasir dan batuan sering merupakan penyebab kerusakan fisik lahan sawah yang berbatasan dengan perbukitan. Kondisi sebaliknya, banjir yang mengakibatkan bendungan sumber pengairan rusak dapat mengakibatkan lahan sawah kekeringan tanpa ada sumber pengairan. Banjir lumpur dan pasir akibat semburan luapan dari galian tambang minyak bumi, seperti yang terjadi di Sidoarjo, Jawa Timur, juga mengakibatkan kerusakan lahan sawah yang sangat serius.

Limbah industri yang mengandung logam berat, bahan beracun dan senyawa kimia lain sering merusak sifat tanah, selain mengakibatkan kerusakan kimiawi tanah. Tanah menjadi padat atau mengeras, sering disebabkan oleh limbah industri tersebut. Limbah kota berupa sampah anorganik yang terbawa air selokan dan saluran pengairan sering merusak lahan sawah di pinggiran kota. Sampah kota yang menimbun tanaman padi mengakibatkan kerusakan tanaman yang cukup nyata. Pembuatan teralis penghalang sampah pada saluran pemasukan air sangat membantu menghindari pemasukan sampah ke petakan sawah.

Kerusakan fisik tanah disebabkan oleh pemadatan yang ditimbulkan oleh alat mesin pertanian, dozer, *back-hoe*, alat transportasi, traktor dan sejenisnya, jarang terjadi di sawah-sawah pedesaan. Tetapi di sekitar pembangunan jalan raya, pemadatan tanah sawah oleh gerakan alat-alat berat tidak dapat diabaikan.

Kerusakan fisik tanah sawah tersebut nyata terjadi di seluruh wilayah persawahan yang produktif. Hingga saat ini belum ada peraturan yang dapat mencegah terjadinya kerusakan fisik lahan sawah yang ditimbulkan oleh kelalaian dan kesalahan manusia. Untuk menjaga keberlanjutan sistem produksi lahan sawah sudah waktunya dibuat peraturan perlindungan fisik lahan sawah yang diakibatkan oleh kerusakan-kerusakan tersebut.

Kerusakan Lahan Secara Kimiawi

Kerusakan kimiawi lahan sawah dapat terjadi akibat penambangan hara oleh penanaman secara terus-menerus, tanpa pemupukan dan penambahan bahan organik. Kahat unsur mikro Zn sering terjadi pada lahan sawah berdrainase buruk, atau juga pada tanah organik dan tanah berpasir. Kemunduran kesuburan tanah sering disebabkan oleh kekurangsadaran petani dalam merawat kelestarian kesuburan tanahnya.

Cemaran limbah industri, berupa logam berat, residu proses industri manufaktur, berbagai limbah cairan dan padatan nonorganik sering berakibat terhadap kerusakan kimiawi lahan sawah.

Pada lahan rawa pasang surut, naiknya senyawa beracun seperti sulfid, pirit, senyawa aluminium merupakan kerusakan tanah yang bersifat fatal. Pengelolaan lahan rawa memerlukan pengaturan sistem hidrologi yang tepat agar tidak mengakibatkan timbulnya senyawa beracun.

Pada lahan yang bersifat salin, timbulnya senyawa yang bereaksi basa ($\text{pH} > 7$) juga sangat merusak sifat kimia tanah. Tanah sodik atau tanah salin juga menjadi tidak sesuai untuk usaha pertanian sawah. Penelitian untuk menetralisasi lahan sodik atau lahan salin masih sedikit dilakukan di Indonesia.

Kerusakan lahan sawah yang diakibatkan oleh perubahan kimiawi tanah memerlukan penanganan dan penyuluhan yang intensif agar petani mengerti secara praktis. Proses kimiawi sukar dimengerti oleh petani, sehingga diperlukan percontohan dan petak demonstrasi di lokasi yang menunjukkan masalah kimiawi.

Pencemaran limbah industri berupa bahan kimia anorganik perlu dicegah dengan peraturan yang tegas terhadap pelaku industri, yang dikaitkan dengan persyaratan analisis dampak lingkungan.

Kerusakan dari Aspek Penurunan Keragaman Hayati

Ekologi lahan sawah memiliki kondisi yang homogen dari segi vegetasi, didominasi oleh tanaman padi pada skala yang relatif luas. Keanekaragaman vegetasi tinggi hanya dapat diperoleh dari rotasi tanaman dan tumpangsari pada batas petak atau galengan. Keragaman genetik tanaman padi sering menjadi sangat sempit oleh penggunaan varietas murni yang seragam (satu varietas) dalam hamparan luas. Penanaman varietas populer secara terus-menerus tanpa rotasi varietas, seperti penanaman varietas IR64 sejak 1985, jelas menambah sempit dan minimnya keragaman genetik dan keragaman spesies pada ekologi sawah.

Hal-hal yang demikian dapat mengakibatkan ekologi yang fragil, mudah terganggu oleh cekaman biologis (hama penyakit) maupun cekaman abiotik (kekeringan), yang dapat berakibat fatal terhadap usaha produksi padi. Pertanian lahan sawah dengan teknologi revolusi hijau memang cenderung mengubah kondisi vegetasi heterogen menjadi homogen dan keragaman genetik rendah.

Koreksi terhadap keadaan ekologi dan keanekaragaman hayati lahan sawah yang sempit dapat dilakukan dengan menanam banyak varietas unggul pilihan individu petani, rotasi varietas, rotasi tanaman, dan pengelolaan lahan secara berselang-seling antara tanaman padi, tanamam lahan kering, dan tanaman tahunan pada satu hamparan. Perbandingan luasan antara sawah, lahan kering tanaman semusim, lahan kering tanaman tahunan disarankan 60:30:10, atau 75:15:10, agar terjadi keragaman spesies dalam satu hamparan.

Keanekaragaman flora + fauna nontanaman di atas dan di bawah permukaan tanah menjadi terganggu oleh penggunaan pestisida secara liberal. Timbulnya epidemi hama dan penyakit padi sawah disebabkan oleh terganggunya ekologi dan keseimbangan antara hama/patogen dengan parasit, predator, dan kompetitor yang efektif.

Perawatan ekologi biota nontanaman di lahan sawah memerlukan kearifan dan kesadaran akan bahaya penggunaan pestisida secara liberal. Pengendalian hama penyakit secara terpadu sesuai dengan kaidah pengelolaan lingkungan secara lestari dan prinsip PHT, sebenarnya merupakan jalan keluar guna menjaga keanekaragaman flora-fauna tingkat rendah penyusun ekologi lahan sawah.

Pelestarian Keberlanjutan Sistem Produksi Padi Sawah

Menjaga keberlanjutan sistem produksi padi sawah akan bermakna menjaga keberlanjutan kehidupan bangsa dan masyarakat Indonesia secara keseluruhan. Bersama dengan hal itu revolusi hijau tetap diperlukan untuk menjamin ketersediaan dan kecukupan pangan nasional. Bagi kelompok masyarakat yang menganggap revolusi hijau merupakan teknologi yang mengakibatkan tidak berkelanjutannya sistem produksi padi, dua hal tersebut mungkin dinilai bertentangan. Jawaban atas kekhawatiran tersebut adalah memperbaiki komponen teknologi revolusi hijau, agar diperoleh paket teknologi “revolusi hijau lestari” atau “revolusi hijau berkelanjutan”.

Banyak alternatif teknologi telah dikemukakan untuk mencapai revolusi hijau lestari tersebut, antara lain rumusan agroeko-teknologi (Sumarno dan Suyanto 1995), usahatani ramah lingkungan (Sumarno *et al.* 2000), pengelolaan sumber daya lahan dan tanaman terpadu (Makarim dan Las 2005), dan beberapa modifikasi lainnya. Pada dasarnya, alternatif teknologi untuk memperoleh revolusi hijau lestari adalah menggabungkan komponen teknologi pertanian modern dengan tindakan yang bersifat konservasi dan ekologis, seperti: (1) pemberian bahan organik dan pupuk kandang ke dalam tanah; (2) rotasi tanaman dengan menyertakan tanaman legume atau tanaman yang memerlukan pengolahan tanah secara intensif seperti tebu, tembakau, tanaman hortikultura; (3) sanitasi lahan dari tanaman inang serangga hama dan patogen penyakit; (4) penanaman varietas unggul adaptif lokalitas spesifik yang saling berbeda antartetani antarblok guna meningkatkan keragaman genetik tanaman; (5) penerapan pola tanam yang menyertakan berbagai jenis tanaman dalam satu blok lahan, dengan teknik surjan, penanaman palawija pada pematang, penanaman sayuran semusim pada petak-petak penyelang sekitar 10-20% dari luasan sawah yang letaknya terpecah; (6) penambahan pupuk anorganik untuk menjaga ketersediaan hara secara optimal, (7) penerapan prinsip pengelolaan hama penyakit secara terpadu; (8) menghindari cemaran limbah fisik maupun kimiawi dari luar ekologi sawah; (9) pengolahan

tanah secara baik untuk memperoleh kedalaman lumpur lebih dari 20 cm; dan (10) menjaga/memelihara sumber pengairan tetap berfungsi agar tanaman padi tidak tercekam kekeringan.

Masing-masing komponen revolusi hijau lestari tersebut masih dapat dirinci dalam operasionalisasinya. Misalnya pada komponen (1) pemberian bahan organik dan pupuk kandang dapat dilakukan dari beberapa pilihan: (a) pengomposan jerami dan mengembalikannya ke dalam tanah, (b) usahatani komplementer ternak sapi/kerbau dengan tanaman padi menuju pertanian nirlimbah (*zero waste*), (c) penanaman leguminose sebagai pupuk hijau, dan (d) pengkayaan bahan organik tanah dengan pemberian kompos, pupuk kandang, atau mulsa organik pada tanaman palawija pada musim kemarau. Pemilihan komponen tersebut didasarkan pada kesesuaiannya dengan agroekologi dan kondisi sosial ekonomi setempat.

Konsep revolusi hijau lestari pada dasarnya adalah penerapan agro-ekoteknologi, yakni adanya komplementasi (kebersamaan) antara penggunaan sumber daya lahan pertanian dengan tindakan pemeliharaan dan upaya pelestariannya. Tindakan pemeliharaan kesuburan tanah dan kelestarian sumber daya lahan harus menjadi bagian integral dari kegiatan usaha produksi pertanian setiap saat.

Dengan menerapkan konsep revolusi hijau lestari maka dua tujuan besar dapat dicapai sekaligus, yaitu mencukupi ketersediaan pangan bagi seluruh penduduk yang terus meningkat dan mempertahankan keberlanjutan sistem produksi lahan sawah.

Kesimpulan

1. Untuk mencukupi kebutuhan pangan pokok bangsa Indonesia, sistem produksi padi dengan teknologi revolusi hijau tetap diperlukan untuk diterapkan. Agar dua tujuan pembangunan pertanian, yaitu ketahanan pangan nasional dan keberlanjutan sistem produksi pertanian dapat tercapai, teknologi revolusi hijau perlu dikoreksi dengan menerapkan komponen teknologi revolusi hijau lestari.
2. Pokok tindakan dari revolusi hijau lestari adalah upaya perluasan keragaman genetik varietas yang ditanam, keanekaragaman hayati pada habitat lahan sawah, peningkatan kandungan bahan organik dan hara dalam tanah, pengelolaan lingkungan agar terjadi keseimbangan ekologi antara OPT dengan musuh-musuh alami dalam konteks PHT serta pemeliharaan lingkungan ekologi lahan sawah agar sumber pengairan lestari.
3. Rumusan teknologi revolusi hijau lestari perlu dirumuskan, disepakati, dan disosialisasikan kepada petani dan perlu dijadikan materi program penyuluhan pertanian.

Pustaka

- American Societay of Agronomy. 1989. Decision reached on sustainable agriculture. ASA News, No. 15. ASA, Madison, Wisconsin, USA.
- Carter, H.O. 1988. The agricultural sustainability issue: an overview and research assessment, p.115-135. *Dalam*: E. Javier and U. Rerborg (Eds.). The Changing Dynamics of Global Agriculture. ISNAR, The Hague, The Netherlands.
- Castillo, G.T. 1992. Sustainable agriculture begins at home. Workshop on Sustainable Agriculture, UPLB, Philippines.
- Conception, R.N. 2006. Multifunctionality of Ifugao rice terraces in the Philippines. Seminar Multifungsi dan Revitalisasi Pertanian. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian, Bogor.
- Congressional Record. 1990. Farm bill: food, agriculture, conservation, and trade act of 1990. Public Law 101-624. Title XVI, Section 1603. Government Printing Office, Washington DC, USA.
- Deptan. 2005. 100 years of Departemen of Agriculture. Departemen Pertanian Republik Indonesia. Jakarta.
- Fagi, A.M. 2006. Konsepsi pertanian berbasis ekologi. Lokakarya Revitalisasi Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Jakarta.
- Francis, C.A. and G. Youngberg. 1990. Sustainable agriculture: an overview. *In*: Sustainable Agriculture in Temperate Zone. Wiley, New York.
- Greenland, D.J. 1997. The sustainability of rice farming. CAB International and IRRI. CAB Int. Wallingford, United Kingdom.
- Harrington, L.W. 1992. Interpreting and measuring sustainability, issues and options. Farming for the Future. MacMillan, London.
- Harwood, R.R. 1987. Low input technologies for sustainable agricultural system. *In*: V.W. Ruttan and C.E. Pray. (Eds.). Policy for Agricultural Research West View Press., Boulder, Colorado, USA.
- IRRI. 2004. IRRI's environmental agenda – an approach towards sustainable development. IRRI, Los Banos, Philippines.
- Journal of Sustainable Agriculture. 1990. <http://www.haworthpressinc.com> (10 Agustus 2006).
- Liehardt, W.C. 1987. Low inputs sustainable agriculture production systems. Workshop on Agric. Dev. And Env. Res. NAS-CSAV, Czechoslovakia.

- Lynam, J.K. 1994. Sustainable growth in agricultural production: The links between production, resources and research, p.3-27. *In*: P. Goldsworthy and F.P. de Vries (*Eds.*). Opportunities, use, and transfer of system research methodes in agriculture to developing countries. Kluwer Academic Publisher, ISNAR-ICASA. London.
- Makarim, A.K. dan I. Las. 2005. Terobosan peningkatan produktivitas padi sawah irigasi melalui pengembangan model pengelolaan tanaman dan sumber daya terpadu (PTT), p.115-127. *Dalam*: B. Suprihatno, A.K. Makarim, I.N. Widiarta, Hermanto, dan A.S. Yahya (*Eds.*). Inovasi teknologi padi. Buku I. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan.
- Pointcellot, R.P. 2004. Sustainable horticulture production, today and tomorrow. Prentice Hall, New Jersey, USA.
- PPI. 2004. Rice. A practical guide to nutrient management. PPI-PPIC/IRRI. Noveross, Georgia. USA.
- Sen, A. 1981. Poverty and farmings. An essay on entitlement and deprivation. Clarendon Press. Oxford, UK.
- Shah, M. and M. Strong. 1999. Food in the 21th century. From sciences to sustainable agriculture. CGIAR Secretariat, World Bank, Washington, D.C., USA.
- Sumarno dan Suyamto. 1998. Agroekoteknologi sebagai dasar pembangunan sistem usaha pertanian berkelanjutan. p.235-256. Prosiding Analisis Ketersediaan Sumberdaya Pangan dan Pembangunan Pertanian Berkelanjutan. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Jakarta.
- Sumarno; I.G. Ismail; dan Sutjipto. 2000. Konsep usahatani ramah lingkungan. p. 55-74 *Dalam*: A. Karim Makarim, S. Kartaatmadja, J. Sujitno, Soetjipto Ph., dan Suwarno (*Eds.*). Tonggak kemajuan teknologi produksi tanaman pangan. Prosiding Simposium Penelitian Tanaman Pangan IV. Puslitbang Tanaman Pangan, Bogor.