

ANTISIPASI PERUBAHAN IKLIM: INOVASI TEKNOLOGI DAN ARAH PENELITIAN PADI DI INDONESIA

Irsal Las¹, E. Surmaini¹, dan A. Ruskandar²

¹ Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian

² Balai Besar Penelitian Tanaman Padi

ABSTRACT

Potential impact of climate change on the agricultural sector is declining agricultural production and productivity as a result of the increased temperature, increased sea surface water, changes in rainfall patterns, and increased frequency of extreme climate events. Decline of production, directly affect the welfare of farmers, which is less prosperous and the most vulnerable to climate change. On the other hand Ricefield in Indonesia is the main source of gas emission metana. Research results indicate that total CH₄ emissions from rice paddy field in Indonesia varied between 2,2-6,2 million tons, equivalent CH₄/tahun with 46,2-130 million tonnes CO₂e. Consortium of Research and Development of Agriculture Sector on Climate Change (KP3I) in the year 2008 to the re-calculate CH₄ emissions from rice field is 1.72 million tons, equivalent to 39.63 million tons of CO₂e. However, the other agriculture sub sector is a potential carbon sequester that can not be ignored. Carbon stock from agricultural land especially from peatland and plantation. Peat land in Indonesia reserves estimated at 40 Gt carbon. Plantation crops is also a sequester carbon. Opportunities carbon sink is increased with the conversion of primary forest and Imperata or shrub land into plantations. To define a strategy for climate change, including strategy and direction of rice research, it is necessary to study and comprehensive analysis to identify and understand the impact of climate change on the production system is quantitative. There are two approaches to increase resilience of agriculture to climate change, including mitigation and adaptation. Mitigation technology aims to reduce emissions from green house gasses from agricultural land, especially on paddy fields, among others: (a) use a variety of low-emissions, such as Ciherang, Cisantana, Tukad Balian, Way Apo Buru, Batanghari, and Tenggulang, (b) the use of fertilizer such as urea tablet (prill) and ZA, and (c) the application of technology without olah land, and irrigation intermitten. Adaptation aims to increasing the ability to adjust to climate change, among others, with the development varieties that tolerant to salinity, drought, and flood.

Keywords: *Climate Change, green house gases emission, carbon stock, mitigation, adaptation.*

Dampak potensial dari perubahan iklim terhadap sektor pertanian adalah menurunnya produksi dan produktivitas pertanian sebagai akibat dari peningkatan suhu udara, peningkatan permukaan air laut, perubahan pola hujan, dan peningkatan frekuensi kejadian iklim ekstrim. Penurunan produksi tentu saja berpengaruh langsung terhadap tingkat kesejahteraan petani, yang merupakan kelompok masyarakat yang kurang sejahtera dan paling rentan terhadap perubahan iklim. Di sisi lain lahan pertanian di Indonesia merupakan sumber utama emisi gas metana. Berbagai hasil penelitian menyebutkan total emisi CH_4 dari lahan padi sawah di Indonesia bervariasi antara 2,2-6,2 juta ton CH_4 /tahun atau setara dengan 46,2-130 juta ton CO_2e . Konsorsium penelitian dan pengembangan Perubahan Iklim Sektor Pertanian (KP3I) pada tahun 2008 melakukan penghitungan ulang emisi menyatakan bahwa pelepasan CH_4 dari lahan sawah di Indonesia ke atmosfer adalah 1,72 Juta ton atau setara dengan 39,63 juta ton CO_2e . Namun disisi lain sektor pertanian juga merupakan penyedia cadangan karbon yang tidak dapat diabaikan. Cadangan karbon dari sektor pertanian meliputi tanah gambut dan lahan perkebunan. Cadangan karbon gambut Indonesia diperkirakan sekitar 40 Gt. Tanaman perkebunan merupakan penambat (*sequester*) karbon terbesar di antara berbagai jenis komoditas pertanian. Peluang peningkatan rosot karbon adalah dengan konversi hutan primer dan alang alang atau semak belukar menjadi lahan perkebunan. Untuk menetapkan strategi penanggulangan perubahan iklim, termasuk strategi dan arah penelitian padi, perlu kajian dan analisis yang komprehensif untuk mengetahui dan memahami dampak perubahan iklim terhadap sistem produksi secara kuantitatif. Ada dua pendekatan untuk meningkatkan ketahanan (*resilience*) pertanian terhadap perubahan iklim, yaitu mitigasi dan adaptasi. Teknologi mitigasi bertujuan untuk mengurangi emisi Gas Rumah Kaca dari lahan pertanian khususnya pada lahan pertanian padi sawah, antara lain: (a) penggunaan varietas yang rendah emisi, seperti Ciherang, Cisantana, Tukad Balian, Way Apo Buru, Batanghari, dan Tenggulang, (b) penggunaan pupuk urea tablet/prill dan pupuk ZA, dan (c) penerapan teknologi tanpa olah tanah, dan irigasi intermitten. Teknologi adaptasi bertujuan untuk meningkatkan kemampuan penyesuaian dengan perubahan iklim, antara lain dengan pengembangan teknologi varietas unggul toleran salinitas, kekeringan, dan rendaman.

Kata kunci: *Perubahan iklim, emisi gas rumah kaca, cadangan karbon, mitigasi, adaptasi.*

PENDAHULUAN

Perubahan iklim yang berdampak terhadap pemanasan global dikhawatirkan merusak kehidupan di muka bumi. Penyebab pemanasan global antara lain adalah peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK) akibat dari pemanfaatan bahan bakar fosil, budidaya pertanian dan peternakan, serta konversi lahan secara tidak terkendali. Menurut IPCC (2006). GRK yang diemisikan oleh sektor pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan lainnya adalah CO_2 , N_2O , dan CH_4 . Walaupun dituding sebagai salah satu penyebab emisi GRK, kontribusi budidaya pertanian terhadap pemanasan global sangat kecil tetapi kegiatan ini paling rentan terhadap dampak perubahan iklim.

Di sisi lain, sekitar 60% penduduk Indonesia menggantungkan hidupnya pada pertanian dan merupakan kelompok masyarakat yang kurang sejahtera dan paling rentan terhadap perubahan iklim. Dengan tingkat pendapatan yang rendah, petani memiliki keterbatasan dalam mengakses kredit dan asuransi, sehingga musim tanam yang sulit diprediksi akibat perubahan iklim menjadikan daya adaptasi mereka semakin rendah terhadap perubahan iklim.

Ke depan, pembangunan pertanian dihadapkan kepada beberapa masalah yang serius, antara lain: (a) pelandaian produktivitas dan produksi tanaman, (b) degradasi sumberdaya lahan dan air yang mengakibatkan *soil sickness*, penurunan kesuburan, dan pencemaran lingkungan, (c) variabilitas dan perubahan iklim yang mengakibatkan banjir dan kekeringan yang berdampak terhadap penurunan produktivitas pertanian, dan (d) alih fungsi dan fragmentasi lahan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanasan global akibat dari perubahan iklim pada wilayah tropis diperkirakan akan menurunkan produktivitas tanaman pangan apabila tidak dilakukan upaya antisipasi. Hal ini sesuai dengan yang diungkapkan oleh Tschirley (2007) bahwa pemanasan global akan menurunkan produktivitas tanaman pangan secara signifikan, terutama di daerah tropis. Sebaliknya, Sheehy *et al.* (2005) menyatakan bahwa peningkatan konsentrasi CO_2 di atmosfer berpengaruh positif terhadap produksi biomas. Setiap kenaikan 75 ppm konsentrasi CO_2 , produksi padi meningkat 0,5 t/ha, tetapi hasil akan turun 0,6 t/ha untuk setiap kenaikan suhu 1°C .

Dalam skala nasional, produksi padi cenderung menurun pada tahun-tahun tertentu, terutama disebabkan oleh banjir dan kekeringan sebagai dampak dari variabilitas dan perubahan pola curah hujan dan musim yang cenderung tidak menentu. Penurunan produksi tentu saja berpengaruh langsung terhadap tingkat kesejahteraan petani. Sebagai contoh, ketika terjadi anomali iklim *El-Nino* pada tahun 2002-2003, jumlah keluarga prasejahtera di Indramayu, yang merupakan salah satu sentra produksi padi Jawa Barat, meningkat sekitar 14 %. Hal ini disebabkan karena mereka mengalami gagal panen, sehingga tidak memiliki pendapatan (Boer 2007a).

PERUBAHAN IKLIM: ANCAMAN TERHADAP SISTEM PRODUKSI PADI

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) yang me-review kondisi global dan regional secara berkala menyatakan bahwa penyebab utama perubahan iklim adalah pemanasan global dan aktivitas manusia (antropogenik). Dampak potensial dari perubahan iklim terhadap sektor pertanian adalah: (a) peningkatan suhu udara, (b) peningkatan permukaan air laut, (c) perubahan pola hujan, dan (d) peningkatan frekuensi kejadian iklim ekstrim (IPCC 1992; 2001; 2007).

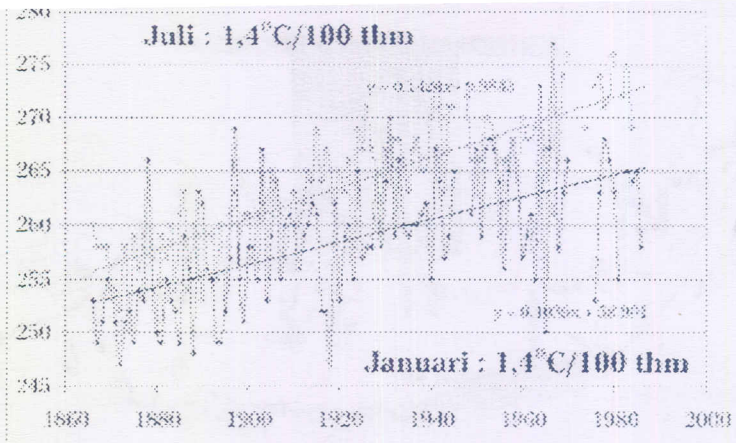
Boer (2007a) menggambarkan perubahan suhu udara di Jakarta pada periode 1880-2000 (Gambar 1). Peningkatan suhu dalam periode tersebut rata-rata $1,4^{\circ}\text{C}$ pada bulan Juli dan $1,04^{\circ}\text{C}$ pada bulan Januari. Dampak peningkatan suhu terhadap tanaman pangan menurut Las (2007) adalah terjadinya peningkatan transpirasi yang menurunkan produktivitas (Gambar 2), peningkatan konsumsi air, percepatan pematangan buah/biji yang menurunkan mutu hasil, dan perkembangan beberapa organisme pengganggu tanaman (OPT). Direktur Jenderal IRRI (International Rice Research Institute) menyatakan pula bahwa peningkatan suhu udara rata-rata 10°C dapat menurunkan produktivitas beras dunia sebesar 5-10% (IRRI 2007).

Meiviana *et al.* (2004) mencatat muka air laut di Jakarta dalam periode 1925-1989 naik $4,38\text{ mm/tahun}$, di Semarang $9,27\text{ mm/tahun}$, dan di Surabaya $5,47\text{ mm/tahun}$. Dampak dari naiknya muka air laut adalah menciutnya lahan pertanian di pesisir pantai Jawa, Bali, Sumatera Utara, Lampung, NTB, dan Kalimantan (Gambar 3), kerusakan infrastruktur pertanian, dan meningkatnya salinitas yang merusak tanaman (Las 2007).

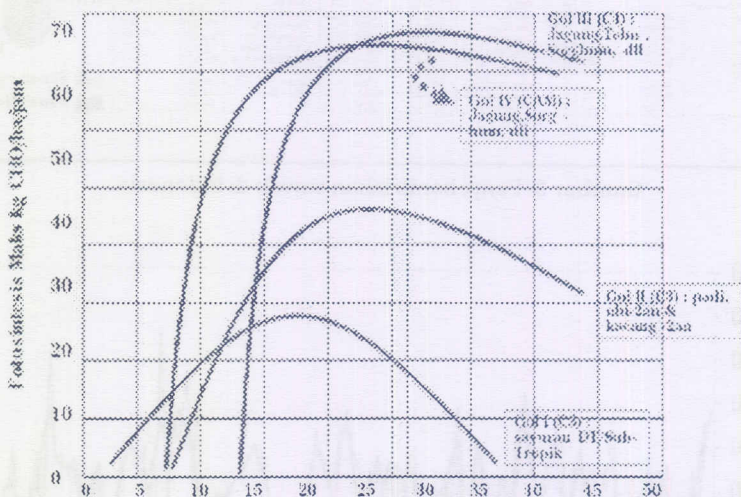
Perubahan iklim juga menyebabkan terjadinya perubahan jumlah dan pola hujan yang mengakibatkan pergeseran awal musim dan periode masa tanam. Sebagai contoh, penurunan jumlah curah hujan di Tasikmalya pada periode 1879-2006 (Gambar 4) menurunkan potensi satu periode masa tanam padi (Runtunuwu dan Syahbuddin 2007).

Beberapa kajian menunjukkan adanya frekuensi dan periode hujan di bagian utara Indonesia cenderung makin tinggi dan panjang. Sebaliknya, frekuensi dan periode hujan di bagian selatan cenderung makin rendah dan pendek (Gambar 5). Jika hal ini benar tentu mengganggu ketahanan pangan nasional, karena lebih dari 60% luas lahan sawah berada di bagian selatan. Di bagian utara Indonesia sumberdaya airnya diperkirakan akan makin meningkat, tetapi lahannya tidak subur di bagian selatan, terutama di Jawa.

Perubahan iklim diperkirakan akan meningkatkan gangguan OPT, kegagalan panen, kerusakan tanaman, dan menurunkan produktivitas. Pengamatan Nastari Bogor dan Klinik Tanaman IPB (2007) di beberapa kabupaten (Indramayu, Magelang, Semarang, Boyolali, Kulon Progo, dan Ciamis) menunjukkan telah terjadinya pergeseran jenis hama padi utama

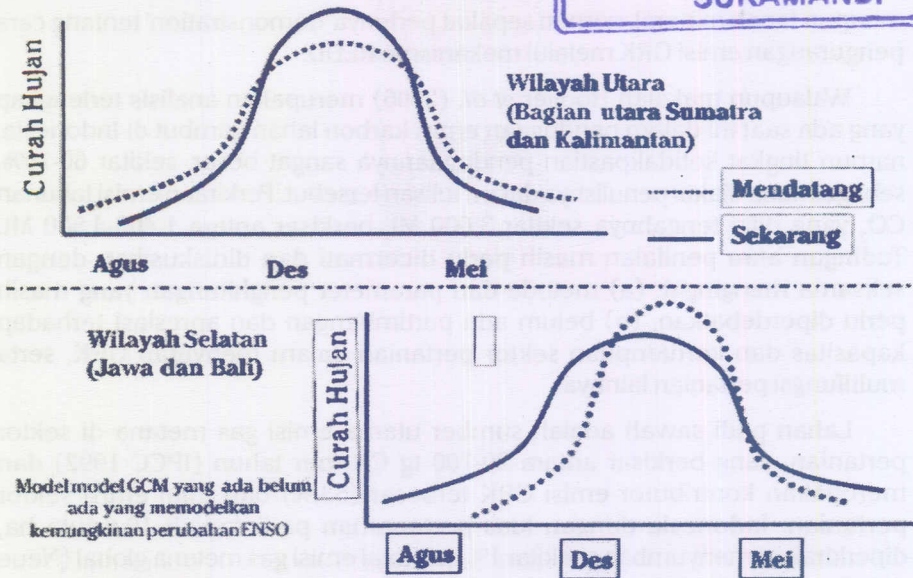


Gambar 1. Tren perubahan suhu Jakarta periode 1860-2000 (Boer 2007a).



Gambar 2. Produktivitas fotosintat dan suhu udara (Kasam 1976; FAO 1978).

dalam beberapa tahun terakhir. Misalnya, hama penggerek batang padi *Sesamia inferens* yang sebelumnya hanya minoritas dibanding penggerek batang padi *Scirpophaga incertulas* dan *Scirpophaga innotata*, saat ini sudah mendominasi. Penyakit bacterial leaf blight (*Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*) dalam tiga tahun terakhir juga sudah dominan, sementara penelitian terhadap penyakit ini masih terbatas, sehingga kerusakan tanaman yang diakibatkannya akan sulit dikendalikan.



Gambar 5. Prediksi perubahan pola hujan Tipe Monson di wilayah Indonesia bagian utara dan selatan (Boer (2007b)).

PERUBAHAN POSISI PERTANIAN AKIBAT PERUBAHAN IKLIM

Emisi Gas Rumah Kaca dari Sektor Pertanian

Sampai tahun 2004, menurut UNDP (2008), Indonesia berada pada urutan ke-15 negara penghasil GRK tertinggi di dunia dengan emisi tahunan 378 juta ton (Mt) CO_2e . Namun dengan dipresentasikannya makalah Wetland International (Hooijer *et al.* 2006) pada *Conference of Parties* (COP) ke-12 di Nairobi, Kenya, perhatian dunia tertuju pada Indonesia, terlebih lagi IPCC yang terdiri atas 3.000 pakar itu menerima laporan dari *Wetland International*.

Dalam makalah tersebut, Indonesia dilaporkan sebagai negara penghasil GRK tertinggi ketiga di dunia setelah Amerika Serikat dan Cina. Emisi GRK Indonesia diperkirakan 3.000 Mt atau 3 Giga ton (Gt) CO_2e per tahun. Lebih lanjut dikemukakan bahwa sekitar 2.000 Mt dari total emisi tersebut berasal dari lahan gambut. Pembukaan hutan gambut yang pada umumnya dengan cara tebas-bakar diperkirakan menghasilkan CO_2 sebanyak 1.400 Mt dan dekomposisi gambut menyumbang sekitar 600 Mt CO_2 setiap tahun. Emisi dari pembukaan hutan dan perubahan penggunaan lahan bukan gambut hanya sekitar 500 Mt dan emisi yang berhubungan dengan pembakaran untuk pertanian juga 500 Mt CO_2e .

COP 13 di Bali tidak menghasilkan resolusi mekanisme *Reducing Emissions from Deforestation and Degradation* (REDD), baik untuk lahan gambut

maupun tanah mineral, namun sepakat perlunya 'demonstration' tentang cara pengurangan emisi GRK melalui mekanisme REDD.

Walaupun makalah Hooijer *et al.* (2006) merupakan analisis terlengkap yang ada saat ini dalam pendugaan emisi karbon lahan gambut di Indonesia, namun tingkat ketidakpastian pendugaannya sangat besar, sekitar 60-70%, sebagaimana diakui penulisnya dalam tulisan tersebut. Perkiraan emisi tahunan CO₂ yang nilai tengahnya sekitar 3.000 Mt, berkisar antara 1.400-4.500 Mt. Tudingan atau penilaian masih perlu dicermati dan didiskusikan dengan seksama mengingat: (a) metode dan parameter penghitungan yang masih perlu diperdebatkan, (b) belum ada pertimbangan dan apresiasi terhadap kapasitas dan kemampuan sektor pertanian dalam menyerap GRK, serta multifungsi pertanian lainnya.

Lahan padi sawah adalah sumber utama emisi gas metana di sektor pertanian, yang berkisar antara 20-100 tg CH₄ per tahun (IPCC 1992) dan merupakan kontributor emisi GRK terbesar (53,%) dari total emisi sektor pertanian. Indonesia dengan luas pertanaman padi sawah 10,6 juta ha, diperkirakan menyumbang sekitar 1% dari total emisi gas metana global (Neue dan Roger 1993). Laju emisi gas metana ditentukan oleh sifat fisiologi dan morfologi jaringan tanaman, terutama rongga aerenkhima, jumlah anakan, biomassa padi, pola perakaran, dan aktivitas metabolisme. Pawitan *et al* (2008) melakukan penghitungan ulang emisi menyatakan bahwa pelepasan CH₄ dari lahan sawah di Indonesia ke atmosfer adalah 1,72 juta ton atau setara dengan 39,63 juta ton CO₂e, sementara dari sektor peternakan hanya 0,76 juta CH₄ atau setara dengan 17,51 juta ton CO₂e. Angka ini jauh di bawah perhitungan oleh berbagai pihak sebelumnya.

Menurut kajian ADB (1998), sektor pertanian dan peternakan menyumbang emisi CH₄ sebesar 3,4 juta ton/tahun (71,4 juta ton CO₂e). Beberapa penulis lain juga menyebutkan total emisi CH₄ dari lahan padi sawah di Indonesia bervariasi antara 2,2-6,2 juta ton CH₄/tahun atau setara dengan 46,2-130 juta ton CO₂e (Mathews *et al.* 1997; Sass dan Fisher 1997; Husin 1994). Beragamnya informasi mengenai besaran emisi CO₂e dari sektor tanaman pangan disebabkan oleh perbedaan ekstrapolasi (*upscaling*) dari faktor emisi ke skala lahan yang lebih luas. Selain itu, keterbatasan data emisi karbon in situ dapat menyebabkan pendugaan yang *under estimate* atau bahkan *over estimate*.

Cadangan Karbon dari Sektor Pertanian

Sektor pertanian juga merupakan penyedia cadangan karbon yang tidak dapat diabaikan. Cadangan karbon dari sektor pertanian meliputi tanah gambut dan lahan perkebunan. Namun, data sebaran dan luas lahan gambut di Indonesia mempunyai tingkat ketidakpastian yang tinggi, mulai dari 16,1 juta ha sampai 20,9 juta ha (Wahyunto *et al.* 2003, 2004, 2007). Tingkat ketidakpastian tertinggi terdapat pada lahan gambut di Papua dengan kisaran 0,1 juta ha sampai 10,9

Tabel 1. Cadangan karbon (bawah tanah; *below ground*) di pulau utama Indonesia

Pulau	Luas (juta ha)	Cadangan C (juta ton)	Cadangan karbon (t/ha)
Sumatera	+ 7.2	22,283	3,093
Kalimantan	+ 5.8	11,275	1,954
Papua	+ 8.0	3,623	454
Jumlah	+ 20.0	37,181	

Sumber: Agus *et al.* (2008).

juta ha. Ini menunjukkan terbatasnya survei pada lahan gambut (Driessen 1978; Puslittanah 1981 dalam Wahyunto 2007).

Ketidakpastian sebaran dan luas lahan gambut tersebut mempengaruhi cadangan karbon pada lahan gambut di Indonesia (Tabel 1). Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa lahan gambut di Papua sangat dangkal. Ketersediaan karbon 450 t/ha pada umumnya berasal dari lahan gambut yang ketebalannya sekitar 1 m. Data tersebut memperlihatkan pula bahwa lahan gambut di Sumatera, Kalimantan, dan Papua mempunyai cadangan karbon sekitar 37 Gt. Apabila cadangan karbon di atas permukaan tanah diasumsikan 150 t/ha, maka total cadangan karbon gambut Indonesia sekitar 40 Gt.

Tanaman perkebunan merupakan penambat (*sequester*) karbon terbesar di antara berbagai jenis komoditas pertanian. Selain menjanjikan penambatan karbon, pengembangan tanaman perkebunan berpotensi memperbaiki kehidupan masyarakat lokal. Penggunaan awal lahan menentukan jumlah net emisi dari konversi lahan menjadi lahan perkebunan. Misalnya, apabila lahan hutan primer dikonversi menjadi lahan perkebunan sawit, maka akan terjadi net emisi CO₂ sebesar 325 t/ha/25 tahun (25 tahun adalah asumsi satu siklus perkebunan karet). Sebaliknya, apabila lahan alang-alang dikonversi menjadi lahan perkebunan sawit, maka potensi penambatan CO₂ sekitar 215 t/ha/25 tahun (Agus *et al.* 2008). Pendekatan lain yang menjanjikan peningkatan resorot karbon yang cukup berarti adalah melalui rehabilitasi lahan alang-alang atau semak belukar menjadi lahan perkebunan.

PENELITIAN PADI UNTUK MITIGASI DAN ADAPTASI PERUBAHAN IKLIM

Ada dua pendekatan untuk meningkatkan kelenturan (*resilience*) pertanian terhadap perubahan iklim, yaitu mitigasi dan adaptasi. Teknologi mitigasi bertujuan untuk mengurangi emisi GRK dari lahan pertanian guna mengurangi laju perubahan iklim global, khususnya pada lahan pertanian padi sawah, antara lain: (a) penggunaan varietas yang mempunyai emisi GRK yang lebih rendah, (b) penerapan teknologi pemupukan, dan (c) penerapan teknologi pengelolaan air dan lahan. Teknologi adaptasi bertujuan untuk meningkatkan kemampuan penyesuaian dengan perubahan iklim, antara lain teknologi varietas unggul toleran salinitas, kekeringan, dan rendaman.

Inovasi Teknologi Budidaya Padi untuk Mitigasi Perubahan Iklim

Varietas rendah emisi GRK

Dari puluhan varietas padi yang diteliti terdapat enam varietas yang menghasilkan emisi gas CH_4 rendah, yaitu Ciherang, Cisantana, Tukad Balian, Way Apo Buru, Batanghari, dan Tenggulang (Setyanto *et al.* 2004). Pawitan *et al.* (2008) melakukan *review* terhadap hasil penelitian emisi dari berbagai varietas padi untuk faktor koreksi dari setiap varietas (Tabel 2). Varietas IR64 yang dijadikan standar pada tahun 2005 rata-rata mengemisi 202 kg CH_4 /ha/musim. Emisi terbesar dihasilkan oleh varietas Gilirang (497 kg CH_4 /ha/musim), namun baru diperoleh dari satu pengukuran, sedangkan terendah dari varietas Maros, yaitu 74 kg CH_4 /ha/musim. Nilai faktor koreksi (CF) emisi gas metana antar-varietas berkisar antara 0,37-2,46 dengan varietas standar IR64 (CF = 1).

Teknologi pengelolaan air

Pengaruh pengairan berselang (*intermittent irrigation*) secara signifikan dapat menekan emisi CH_4 . Menurut penelitian Setyanto (2002), *correction*

Tabel 2. Emisi gas metana dari berbagai varietas padi dan faktor koreksinya (CF)

No.	Varietas	Rata-rata emisi (kg CH_4 /ha/musim)	SD	CV (%)	CF
1	Gilirang	496,9			2,46
2	Fatmawati	365,9			1,81
3	Aromatik	273,6	138,87	50,8	1,35
4	Tukad Unda	244,2	106,54	43,6	1,21
5	IR72	223,2	133,01	59,6	1,10
6	Cisadane	204,6	133,85	65,4	1,01
7	IR64*	202,3	165,17	81,7	1,00
8	Margasari	187,2	89,93	48,0	0,93
9	Cisantana	186,7	53,71	28,8	0,92
10	Tukad Petanu	157,8	32,16	20,4	0,78
11	Batang Anai	153,5	81,24	52,9	0,76
12	IR36	147,5	121,56	82,4	0,73
13	Memberamo	146,2	99,49	68,1	0,72
14	Dodokan	145,6	144,54	99,2	0,72
15	Way Apo Buru	145,5	84,21	57,9	0,72
16	Muncul	127,0	26,87	21,2	0,63
17	Tukad Balian	115,6	25,87	22,4	0,57
18	Cisanggarung	115,2	62,77	54,5	0,57
19	Ciherang	114,8	103,14	89,8	0,57
20	Limboto	99,2	40,80	41,1	0,49
21	Way Rarem	91,6	38,09	41,6	0,45
22	Maros	73,9	61,02	82,6	0,37

Sumber: Pawitan *et al.* (2008).

factor (CF) berkisar antara 0,38-0,53 dengan rata-rata 0,46, lebih kecil dibandingkan dengan emisi GRK dari penggenangan terus-menerus (CF = 1). Emisi gas metana pada lahan sawah irigasi di Sukamandi pada musim kemarau 2008, yang ditanami 12 varietas padi, dengan pengairan tergenang terus-menerus dan berselang masing-masing 134 kg dan 285 kg CH₄/ha/musim atau setara dengan CF = 0,47. Berdasarkan data ini maka nilai CF untuk pengairan berselang ditetapkan sebesar 0,46 (Tabel 3).

Penerapan teknologi tanpa olah tanah (TOT) mampu mereduksi laju emisi gas metana sebesar 65% dibanding olah tanah sempurna. Emisi gas metana pada lahan sawah tadah hujan dengan perlakuan TOT padi dengan walik jerami lebih rendah dibanding perlakuan pemberian pupuk kandang dan urea (Mulyadi *et al.* 2002). Demikian juga teknologi irigasi berselang, selain menghemat pemakaian air juga dapat mereduksi emisi gas metana sebesar 30% dibanding pertanaman yang digenangi secara terus-menerus (Makarim *et al.* 1996).

Teknologi pemupukan

Bentuk pupuk N yang umum digunakan dalam budidaya padi sawah adalah urea prill. Penggunaan urea tablet atau urea briket dimaksudkan untuk meningkatkan efisiensi pemupukan, yaitu mengurangi N pupuk yang hilang tercuci. Volume emisi gas metana dari perlakuan pupuk urea prill dan urea

Tabel 3. Skala berbagai pengelolaan air pada lahan sawah di Indonesia, emisi CH₄ berkisar antara 0,67-79,86 g/m²/musim, rata-rata 16,09 (= 160,9 kg/ha)

Kategori	Sub-kategori	SF	
		(diadopsi dari IPCC Guidelines 1996)	terkoreksi (dari berbagai hasil studi di Indonesia)
Dataran tinggi	Tidak ada	0	
	Irigasi terus menerus	1,0	1,00
Dataran rendah	Irigasi	Sekali pengeringan	0,5 (0,2–0,7)
		Pengeringan berkali kali	0,2 (0,1–0,3)
	Irigasi <i>intermittent</i>		0,46 (0,38–0,53)
	Tadah hujan	Curah hujan tinggi	0,8 (0,5–1,0)
		Curah hujan rendah	0,4 (0–0,5)
	Pasang surut	Kedalaman air 50–100 cm	0,8 (0,6–1,0)
		Kedalaman air <50 cm	0,6 (0,5–0,8)

Sumber: Pawitan *et al.* (2008).

tablet hampir sama, masing-masing 177,9 kg dan 177,8 kg $\text{CH}_4/\text{ha}/\text{musim}$, dengan nilai $\text{CF} = 0,99$. (Suharsih *et al.* 2004; Setyanto *et al.* 1999).

Penggunaan pupuk N yang mengandung belerang (S) seperti ZA cenderung meluas penggunaannya pada tanah sawah ber-pH netral hingga alkalin. Sebelumnya, masalah tanaman padi yang kahat S masih jarang ditemukan. Dengan berkembangnya teknologi pemupukan spesifik lokasi, penggunaan pupuk N dalam bentuk ZA untuk mengatasi kahat S dan sekaligus mensuplai N akan terus berkembang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa volume emisi gas metana dari pupuk ZA lebih rendah, yaitu 157 kg $\text{CH}_4/\text{ha}/\text{musim}$ dibanding dari pupuk urea yang mencapai 179 kg $\text{CH}_4/\text{ha}/\text{musim}$ (Setyanto *et al.* 1999; Mulyadi *et al.* 2001). Penelitian Makarim *et al.* (1996) membuktikan bahwa emisi gas metana dapat direduksi hingga 17,3% dengan penggunaan pupuk ZA, sedangkan dengan penggunaan pupuk urea pril hanya 8,0% dibandingkan dengan tanpa urea.

Inovasi Teknologi Budidaya Padi untuk Adaptasi Perubahan Iklim

Varietas toleran salinitas

Salah satu dampak dari naiknya permukaan air laut akibat perubahan iklim adalah meningkatnya salinitas, terutama di pesisir pantai. Salinitas pada tanaman padi sangat erat kaitannya dengan keracunan logam berat. Sejak tahun 2000 telah dilepas tiga varietas di samping dihasilkan dua galur harapan padi toleran salinitas, masing-masing Way Apo Buru, Margasari, Lambur, GH TS-1, dan GH TS-2. Pengembangan varietas dan galur harapan ini menjadi salah satu solusi dalam mengatasi salinitas.

Varietas toleran kekeringan

Dalam upaya mengantisipasi iklim kering telah dihasilkan dan dilepas beberapa varietas padi yang selain tahan terhadap hama dan penyakit juga toleran kekeringan, meliputi varietas, Dodokan dan Silugonggo, galur harapan S3382 dan BP23. Pengembangan varietas dan galur harapan ini diharapkan dapat mengatasi masalah kekeringan.

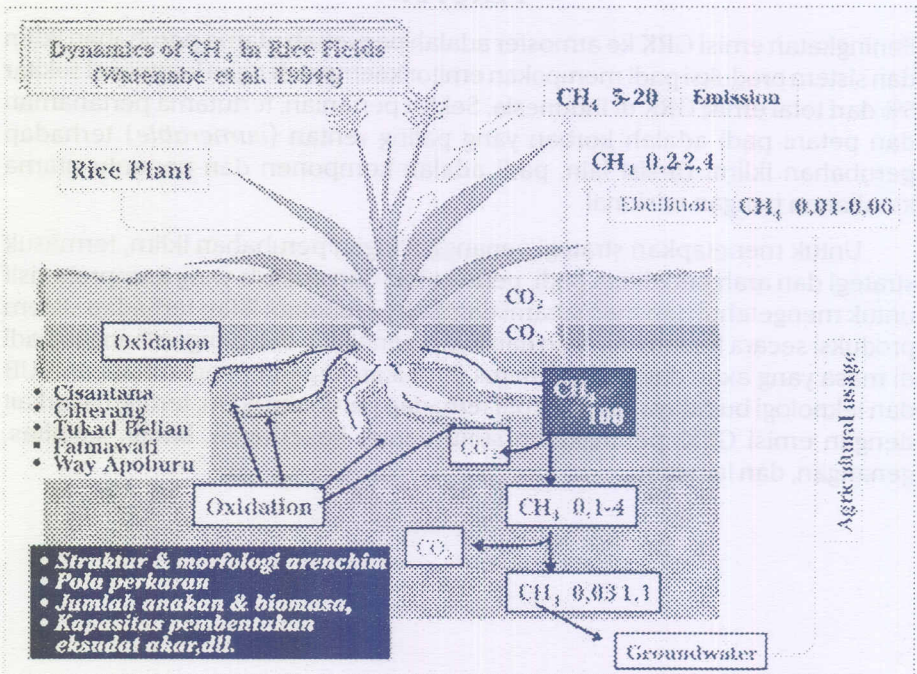
Varietas toleran rendaman

Lahan rawa memiliki potensi yang besar untuk pengembangan pertanian ke depan, khususnya dalam mendukung ketahanan pangan nasional. Agroekosistem ini selalu jenuh air (*saturated*) atau tergenang (*waterlogged*) air dangkal sepanjang tahun atau selama waktu tertentu. Dalam upaya mengoptimalkan produktivitas lahan rawa telah diperoleh galur harapan padi toleran rendaman, yaitu GHTR1, IR69502-6-SRN-3-UBN-1-B-1-3, IR70181-5-PMI-1-2-B-1, IR70213-9-CPA-12-UBN-2-1-3-1, dan IR70215-2-CPA-2-1-B-1-2.

Strategi Penelitian Padi Menghadapi Perubahan Iklim

Selama ini arah dan strategi penelitian dan pengembangan padi lebih difokuskan pada pengembangan varietas unggul baru (VUB) dengan produktivitas tinggi, tahan hama penyakit, dan toleran kekeringan. Dalam upaya menghadapi perubahan iklim maka fokus penelitian padi juga harus ditujukan antara lain untuk menghasilkan VUB yang (a) lebih toleran terhadap suhu lebih tinggi, (b) efisien dalam memanfaatkan air dan radiasi surya, (c) lebih rendah mengemisi GRK (terutama metana) tetapi produktivitas tetap tinggi, (d) toleran salinitas dan rendaman, serta (e) genjah dan toleran kekeringan.

Pembentukan varietas dengan emisi GRK (metan) rendah ditentukan, antara lain oleh struktur dan morfologi/anatomi aerenchima, perakaran tidak terlalu dangkal, jumlah anakan tidak terlalu banyak, dan kapasitas pembentukan asam eksudat tinggi (Gambar 6). Pembentukan varietas yang lebih toleran suhu tinggi dan efisien dalam memanfaatkan radiasi surya dan air ditentukan antara lain oleh titik kompensasi/jenuh cahaya yang lebih tinggi, mirip dengan tanaman C4 (Gambar 2). Oleh sebab itu, pendekatan bioteknologi dan pemuliaan inkonvensional berperan penting dalam mengembangkan gen-gen spesifik yang dapat ditransfer. Beberapa penelitian memberikan argumentasi yang dapat dijadikan landasan dalam pengembangan tanaman padi C3 menjadi tanaman padi mirip C4, antara lain sebagaimana yang



Gambar 6. Dinamika dan mekanisme emisi gas metana dari lingkungan tumbuh padi.

diungkapkan oleh Las *et al.* (2008): (a) banyak spesies liar padi yang mempunyai sifat dan pola anatomi yang mirip tanaman C4, banyak enzim C4 dijumpai pada tanaman C3 dengan sindrom C3 dan C4 yang tidak terpisah secara tegas, dan (c) gen C4 pada tanaman jagung dapat dimasukkan ke dalam tanaman padi.

Salah satu kegiatan penelitian Konsorsium Litbang Perubahan Iklim Sektor Pertanian (KP3I) mengindikasikan bahwa jika tidak dilakukan upaya adaptasi, maka perubahan suhu udara 1-2°C dapat menurunkan produktivitas padi pada dataran rendah hingga 20%. Sebaliknya, pada kondisi demikian, produktivitas padi cenderung meningkat di dataran tinggi (Boer *et al.* 2008). Dalam kaitan itu, maka pengembangan padi dataran tinggi di masa mendatang menjadi salah satu alternatif dalam mengkompensasi penurunan produksi padi di dataran rendah akibat perubahan iklim.

Untuk pengembangan inovasi teknologi budidaya tanaman padi, penelitian perlu difokuskan pada beberapa sasaran, antara lain: (a) pengembangan sistem pengairan yang sangat efisien, termasuk irigasi berselang, (b) pengembangan sistem pengolahan tanah yang lebih terbatas, (c) pemupukan berimbang terpadu (anorganik dan organik) spesifik lokasi, dan (d) pengembangan PTT/SRI yang terintegrasi dengan ternak.

PENUTUP

Peningkatan emisi GRK ke atmosfer adalah penyebab utama perubahan iklim dan sistem produksi padi merupakan emitor keempat dengan kontribusi sekitar 5% dari total emisi GRK di Indonesia. Sektor pertanian, terutama pertanaman dan petani padi adalah korban yang paling rentan (*vulnerable*) terhadap perubahan iklim. Di sisi lain, padi adalah komponen dan penentu utama ketahanan pangan nasional.

Untuk menetapkan strategi penanggulangan perubahan iklim, termasuk strategi dan arah penelitian padi, perlu kajian dan analisis yang komprehensif untuk mengetahui dan memahami dampak perubahan iklim terhadap sistem produksi secara kuantitatif. Arah dan fokus penelitian dan pengembangan padi di masa yang akan datang juga harus ditujukan kepada pengembangan VUB dan teknologi budidaya yang adaptif terhadap perubahan iklim, terutama terkait dengan emisi GRK, peningkatan suhu udara, kekeringan, banjir, salinitas, genangan, dan lain-lain.

DAFTAR PUSTAKA

- ADB. 1998. Asian least cost greenhouse gases abatement strategy. Indonesia. Manila.
- Agus, F., T. June, H. Syahbudin, E. Runtunuwu and E. Susanti. 2008. Field scale carbon budget in land use transition into plantations in indonesia. Laporan tahunan Konsorsium Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim pada Sektor Pertanian. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor.
- Boer, R. 2007a. Fenomena perubahan iklim: Dampak dan strategi menghadapinya. Dipresentasikan pada Seminar Nasional Sumberdaya Lahan dan Lingkungan. Bogor, 8 November 2007.
- Boer, R. 2007b. Overview isu perubahan iklim global. Presentasi pada Rapat (Round Table Discussion) Tim Pokja Anomali Iklim. Bogor, 22 Agustus 2007. Badan Litbang Pertanian.
- Boer, R., A. Buono, Sumaryanto, E. Surmaini, W. Estiningtyas, A. Rakhman. 2008. Pengembangan Sistem Prediksi Perubahan iklim untuk Ketahanan Pangan. Laporan Tahunan Konsorsium Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim pada Sektor Pertanian. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor.
- Hooijer, A., M. Silvius, H. Worsten, and S. Page. 2006. Peat CO₂ Assessment of CO₂ Emission from drained peatlands in SE Asia. Delft Hydraulics Report Q3943 (2006).
- Husin, Y.A., D. Murdiyarso, M.A.K. Khalil, R.A. Rasmussen, M.J. Shearer, S. Subihan, S. Sunar, and H. Adijiwana. 1994. Methane flux from Indonesian wet-land rice: The effects of water management and rice variety. Chemosphere 34 (4): 3153-3180.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (Eds). Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- IPCC. 2006. 2006 IPCC Guideline for National Greenhouses Gases Inventories. IGES. Japan.
- IPCC. 2001. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken and K.S. White (Eds). Cambridge University Press. Cambridge. 1032 p.

- IPCC. 2001. Summary for Policymakers, in Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., Van Der Linden, P.J. and Xiaosu, D (eds). Climate Change 2001: The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, 944 p.
- IPCC. 1992. Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. J.T. Houghton, B.A. Calendar and S.K. Varney (Eds), Cambridge University Press. Cambridge. 200 p.
- IRRI. 2007. Coping with climate change. Climate change threatens to affect rice production across the globe- What is known about the likely impact, and what can be done about it? Rice Today July-September 2007. p. 10-13.
- Kassam, AH. 1976. Crops of the West African semi-arid tropics. International Crops Research Institute for The Semi-Arid Tropics. India. 154 p.
- Las, I. 2007. Menyiasati fenomena anomali iklim bagi pemantapan produksi padi nasional pada era Revolusi Hijau Lestari. Jurnal Biotek-LIPI. Naskah Orasi Pengukuhan Profesor Riset, 6 Agustus 2004.
- Makarim, A. K., P. Setyanto, and A.M. Fagi. 1996. Suppressing methane emissions from rainfed lowland rice field in Jakenan, Central Java. Proceedings of The International Symposium on Maximizing Sustainable Rice Yields through Improved Soil and Environmental Management. p. 365-378.
- Matthews, R.B., M.J. Kropff, T. Horie, and D. Bachelet. 1997. Simulating the impact of climate change on rice production in Asia and evaluating options for adoption. Agric. Syst. 54: 399-425.
- Meiviana, A., D.R. Sulistiowati, M.H. Soejachmoen. 2004. Bumi makin panas. Ancaman perubahan iklim di Indonesia. Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia dan Yayasan Pelangi Indonesia. Jakarta. 65 p.
- Mulyadi, A. Wihardjaka, S.H. Mulya, I.J. Sasa, S. Partohardjono. 2002. Emisi dan mitigasi CH₄ di lahan sawah tadah hujan. Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan. Vol 21 (1): 33-38.
- Mulyadi, Suharsih, J.J. Sasa, dan H. Suganda. 2001. Penurunan emisi gas metana melalui pemilihan varietas, bahan organik, dan pupuk nitrogen pada padi walik jerami. Seminar Nasional Pengelolaan Lingkungan Pertanian. p. 469-478.
- Nastari Bogor dan Klinik Tanaman IPB. 2007. Laporan Safari Gotong Royong Sambung Keperluan untuk Petani Indonesia di 24 Kabupaten-Kota di Pulau Jawa 4 April-2 Mei 2007. Yayasan Nastari Bogor-Klinik Tanaman IPB.

- Neue, H.U. and P.A. Roger. 1993. "Rice agriculture: Factors controlling emissions." In: M.A.K. Khalil and M. Shearer (eds). "Global Atmospheric Methane: Source, Sink, and Role in Global Change." NATO ASI Ser I, Global Environmental Change. Vol 13. Springer, Berlin Heidelberg New York. p. 254-298.
- Pawitan, H, K. Makarim, P. Setyanto, I. Amien, Wahyunto, E. Surmaini, H. Susilawati. 2008. Update dan Penajaman Data Emisi dan Penyerapan Gas Rumah Kaca (GRK) Sub Sektor Tanaman Pangan. Laporan Akhir Konsorsium Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim Sektor Pertanian. BBSDLP.
- Runtuuwu, E. dan H. Syahbuddin. 2007. Perubahan pola curah hujan dan dampaknya terhadap periode masa tanam. Jurnal Iklim dan Tanah. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian. Bogor.
- Sass, R.L., F.M. Fisher, Y.B. Wang and F.T. Turner. 1997. Methane emission from rice fields: The effect of flood water management. *Global Biogeochem Cycles* 6: 249-262.
- Setyanto, P., Suharsih, A. Wihardjaka, A.K. Makarim. 1999. Pengaruh pemberian pupuk anorganik terhadap emisi gas metana pada lahan sawah. Risalah seminar hasil penelitian emisi gas rumah kaca dan peningkatan produktivitas padi di lahan sawah. p. 36-43.
- Setyanto, P. 2004. Methane Emission from Rice Field under Different Crop Establishments and Rice Cultivars. [Disertasi].
- Sheehy, J.E., A. Elmido, G. Genteno, and P. Pablico. 2005 Searching for new plants for climate change. *J. Agric. Met.* 60: 463-468.
- Suharsih, P. Setyanto, dan A.K. Makarim. 2004. Emisi gas metana (CH_4) dan pertumbuhan varietas padi pada lahan sawah irigasi tanah Vertisols. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* Vol. 23(2): 79-85. Puslitbangtan, Badan Litbang Pertanian.
- Tschirley, J. 2007. Climate change adaptation: Planning and practices. Power point keynote presentation of FAO's Environment, Climate Change, Bioenergy Division. Rome, 10-12 September 2007.
- UNDP. 2008. Fighting climate change: Human solidarity in a divided world. Human Development Report 2007/2008.
- Wahyunto, S. Ritung and H. Subagjo. 2003. Peta Luas Sebaran Lahan Gambut dan Kandungan Karbon di Pulau Sumatera, 1990-2002 (Maps of Peatland Distribution and Carbon Content in Sumatra, 1990-2002). Wetlands International-Indonesia Programme & Wildlife Habitat Canada (WHC).

Wahyunto, S. Ritung, Suparto, and H. Subagjo. 2004. Peta Luas Sebaran Lahan Gambut dan Kandungan Karbon di Pulau Kalimantan, 2000-2002 (Maps of Peatland Distribution and Carbon Content in Kalimantan, 2000-2002.). Wetlands International-Indonesia Programme & Wildlife Habitat Canada (WHC).

Wahyunto, Subagjo H. 2007. Peta Luas Sebaran Lahan Gambut di Papua. Wetlands International-Indonesia Programme & Wildlife Habitat Canada (WHC).