

ANALISIS SIMULASI UPAYA MITIGASI GAS METAN PADA PADI SAWAH DI INDONESIA¹

*(Simulation analysis of Approach on Mitigation of Methane Gas Emission
from Rice Fields in Indonesia)*

Sobri Effendy¹⁾, Handoko¹⁾, RTM Sutamihardja²⁾ dan Rokhmin Dahuri³⁾

¹⁾ Jurusan Geofisika & Meteorologi FMIPA-IPB

²⁾ Program Agroklimatologi IPB

³⁾ Program PSL IPB Bogor.

ABSTRACT

Flooded rice cultivation is a major source of global methane emission. Methane is produced in soils of flooded rice fields, largely from the anaerobic decomposition of organic materials by methanogenic bacteria. The quantity of methane emitted by rice field depends upon several factors. These include soil properties, nutrient management, water regimes, and cultivation practices. Methane mitigation strategies are to reduce methane emissions by water management, cultivar selection and nutrient management.

The objective of this experiment is to find the best alternative of mitigation of methane emissions from rice fields. There are three steps to conduct this research. First, desk study to find some coefficients of methane emissions and rice productivities. Second, to run simulation based on Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) methodology and Revenue Cost Ratio (R/C) analysis. Third, selection of alternatives derived from the simulation results. There are four categories considered to be the better solution. First, base on greatest rice productivity (5.70 ton/ha) with technical irrigation, IR-64 variety, and organics and NPK fertilizer. Second, option of semi-technical and simple irrigation, Cisadane variety, without fertilizer which produces lower methane emission factor (1.67 kg/ha/day). Third, base on higher R/C value (2.41) was obtained from simple irrigation, IR-64 variety, and organic fertilizer. Last, base on better financial and ecological opportunities with productivity of 5.10 ton/ha, methane emission factor of 2.40 kg/ha/day, and R/C value of 2.41.

RINGKASAN

Metan merupakan gas rumah kaca (GRK) yang efektif dalam menyerap gelombang infra merah bumi dibandingkan CO₂, sehingga menimbulkan efek pemanasan global lebih kuat. Kontribusi metan terhadap pemanasan global menempati urutan kedua setelah CO₂. Sumber utama metan dari budidaya padi sawah adalah melalui aktivitas bakteri pada kondisi anaerob yang merombak bahan organik tanah menjadi metan.

Peningkatan luas sawah guna memperbesar produksi padi berimplikasi terhadap semakin besarnya metan teremis. Mitigasi merupakan upaya preventif, yakni strategi untuk mengurangi emisi metan dengan biaya yang rendah atau pengurangan produksi padi yang minimal. Upaya mitigasi emisi metan dapat dilakukan diantaranya melalui pengaturan air irigasi, seleksi varietas dan pengelolaan hara.

Penelitian ini bertujuan mencari alternatif terbaik mitigasi gas metan pada padi sawah. Ada tiga tahap analisis yang dilakukan. Pertama, studi pustaka guna mencari koefisien emisi metan dan produktivitas padi untuk tiga kategori perlakuan, pengelolaan air, seleksi varietas dan penggunaan hara. Kedua, menjalankan simulasi berdasarkan persamaan *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) dan melakukan analisis usahatani metode analisis R/C (rasio antara *revenue* dan *cost*) berdasarkan Analisa Usahatani Padi -Palawija Direktorat Bina Usahatani Departemen Pertanian. Ketiga, menyeleksi berbagai alternatif hasil simulasi menjadi empat alternatif.

¹ Sebagian dari Tesis Magister Sains Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (PSL) PPS-IPB

Dari simulasi yang dilakukan didapatkan empat pilihan alternatif upaya mitigasi gas metan dari padi sawah di Indonesia. Pertama, alternatif berdasarkan produktivitas padi tertinggi sebesar 5.70 ton/ha yakni, perlakuan irigasi teknis, Varietas IR-64, penggunaan pupuk organik dan mineral. Kedua, alternatif berdasarkan faktor emisi metan terendah 1.67 kg/ha/hari didapatkan pada irigasi semi teknis atau irigasi sederhana, Varietas Cisadane dan tanpa pupuk. Ketiga, alternatif berdasarkan nilai R/C tertinggi 2.41 dari irigasi sederhana, Varietas IR-64 dan pupuk organik. Terakhir, alternatif berdasarkan pertimbangan finansial dan ekologis, yaitu perlakuan irigasi sederhana, Varietas IR-64 dan pupuk organik dengan nilai produktivitas, faktor emisi metan dan R/C masing-masing sebesar 5.10 ton/ha, 2.40 kg/ha/hari dan 2.41.

Pilihan pada alternatif berdasarkan pada pertimbangan finansial dan ekologis dipandang lebih bijak, karena selain menguntungkan juga relatif lebih ramah lingkungan. Namun demikian, dalam penerapan di lapangan masih diperlukan uji pendahuluan.

Kata kunci : Mitigasi, metan, padi, analisis rasio revenue dan cost, finansial, ekologi

PENDAHULUAN

Emisi metan berasal dari **sumber alami**: rawa, rayap, laut, kebakaran dan geologis mencapai sebesar 150 Tg/tahun (30% dari total emisi), sedangkan dari **sumber antropogenik**: padi sawah, ruminan, *manure*, *landfill*, pengelolaan air limbah, pembakaran biomassa, pertambangan batu bara dan gas alam sekitar 360 Tg/tahun (70 %) dari total emisi (Bouwman, 1982; Tyler, 1991; Crutzen, 1991).

Emisi dari sumber **antropogenik** terbesar diduga berasal dari padi sawah yakni sebesar 20 % (Khalil, *et al.*, 1993). Sementara luas sawah terbesar terpusat di Asia yaitu 90% dari luas total dunia (Bouwman, 1991), di Indonesia terdapat sebesar 6.6 % atau seluas 9.494 juta hektar (Biro Pusat Statistik, 1996). Diduga luas ini akan terus meningkat sejalan dengan upaya pemerintah untuk mencetak sawah baru, sehingga sumber emisi metan antropogenik yang berasal dari padi sawah akan terus meningkat. Hasil hitungan terakhir emisi metan dari padi sawah Indonesia sebesar 2.46 - 2.62 Tg/tahun untuk periode 1989 - 1993 atau sekitar 6 % dari total emisi padi sawah dunia (Handoko, *et al.*, 1996).

Metan diproduksi dalam tanah pada sawah yang tergenang oleh bakteri methanogen, pada kondisi anaerob dan merupakan dekomposisi dari bahan organik (Boone, 1993). Metan diemisikan melalui tiga cara, yaitu lewat sistem *aerenchyma* tanaman padi sebesar 90 % (Nouchi, 1992), dan melalui *ebullition* (gelembung udara) serta difusi sekitar 10 %.

Faktor-faktor yang mempengaruhi emisi metan dari padi sawah meliputi, varietas padi dan suhu tanah (Husin, 1994), pemberian pupuk dan jerami (Sunar, 1993), tipe tanah (Murdiyarso, *et al.*, 1995; Sutopo, *et al.*, 1995; Subadiyasa, *et al.*, 1995), serta sistem pengelolaan air (Makarim, 1994; Rusli, 1994; Husin 1994).

Metan merupakan salah satu gas rumah kaca (GRK) yang mempunyai kemampuan menyerap sinar infra merah yang dipancarkan oleh permukaan bumi sebesar 28 kali dibandingkan CO₂. Jumlah GRK yang berlebih dan cenderung terus meningkat menimbulkan dampak pemanasan global. Kontribusi metan terhadap pemanasan global sebesar 15 - 22 %, ranking kedua setelah CO₂.

Pemanasan global menyebabkan perubahan iklim dan kenaikan permukaan laut (Soegiarto, 1991). Namun dampak kenaikan permukaan laut terjadi secara gradual, sehingga menurut Soegiarto (1991) masih tersedia waktu untuk melakukan antisipasi dengan cara adaptasi atau **mitigasi**.

Mitigasi gas metan dari padi sawah merupakan strategi untuk mengurangi emisi metan

dengan biaya yang rendah atau pengurangan produksi padi yang minimal. Mitigasi merupakan respon preventif lebih ekonomis dan relatif lebih mudah diterapkan dibandingkan upaya beradaptasi.

Mencari alternatif mitigasi yang tepat membutuhkan penelitian lapang dengan memperhitungkan semua unsur yang mempengaruhi emisi. Sehingga penelitian lapang melibatkan banyak variabel, butuh banyak biaya dan perlu waktu lebih lama. Pengembangan model simulasi sebagai alat bantu mencari solusi permasalahan lapang, lebih efisien waktu dan biaya, serta dapat diandalkan. Menurut Soerianegara (1978) kelebihan model simulasi adalah dapat melakukan eksperimentasi terhadap suatu sistem tanpa harus mengganggu atau mengadakan perlakuan terhadap sistem yang diteliti dan kegagalan seperti yang dialami pada penelitian biasa tidak akan terjadi.

Perumusan Masalah

Kecenderungan peningkatan luas sawah untuk memenuhi kebutuhan padi semakin nyata antara lain dengan dicanangkan mega proyek pembukaan sawah satu juta hektar di Propinsi Kalimantan Tengah. Konsekuensi peningkatan luas lahan sawah di Indonesia adalah memperbesar kontribusi emisi metan dari sektor budidaya padi sawah. Hal ini terjadi karena ada kecenderungan upaya meningkatkan produksi padi berimplikasi terhadap peningkatan emisi metan. Sehingga perlu dicari upaya mitigasi strategis yang dapat diterapkan di Indonesia guna mengurangi emisi metan.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan mencari alternatif terbaik mitigasi gas metan pada padi sawah. Terbaik berdasarkan produktivitas padi tertinggi, faktor emisi metan rata-rata terendah, dan nilai R/C (*Revenue Cost Ratio*) tertinggi serta alternatif terbaik berdasarkan finansial dan ekologis.

METODOLOGI

Waktu dan Lokasi

Pelaksanaan penelitian dimulai bulan Agustus 1996 hingga bulan April 1997, di Laboratorium Agrometeorologi, Jurusan Geofisika dan Meteorologi, FMIPA IPB.

Bahan dan Alat

Masukan data meliputi: (1) data sekunder mengenai luas lahan sawah di Indonesia, (2) faktor emisi metan untuk tiga perlakuan simulasi, pengelolaan air, seleksi varietas dan hara, (3) produktivitas padi sawah, (4) luas total sawah: irigasi teknis, irigasi semi teknis, irigasi sederhana, tadah hujan, pasang surut dan ladang, (5) jenis dan jumlah varietas yang ditanam, (6) jenis dan jumlah pupuk yang dipakai, (7) lama musim tanam, (8) data harga komponen pengeluaran dan penghasilan usahatani padi.

Alat yang dipakai: (1) buku panduan metode perhitungan emisi dari IPCC (1995), (2) analisis usahatani padi dan palawija tahun anggaran 1993/1994 dari Direktorat Bina Usahatani dan Pengolahan Hasil (Deptan, 1995), (3) seperangkat komputer (*software Microsoft Excel 5.0 for Windows*) (4) pustaka dan hasil penelitian yang terkait.

Metodologi

Metode penelitian dibagi menjadi tiga tahap meliputi :

Tahap Pertama : Mengumpulkan data hasil penelitian untuk melengkapi koefisien emisi metan dan koefisien produktivitas padi.

Tahap Kedua : Menjalankan model simulasi IPCC dengan tiga perlakuan air: (1) irigasi teknis, (2) irigasi semi teknis, (3) irigasi sederhana, dua perlakuan varietas: (1) IR – 64, (2) Cisadane, empat perlakuan hara: (1) tanpa pupuk; (2) pupuk mineral; (3) pupuk organik; (4) organik + mineral serta melakukan analisis R/C (lihat Lampiran 1).

Tahap Ketiga : Melakukan seleksi hasil simulasi. Pertama, didasarkan pada nilai produktivitas padi tertinggi. Kedua, nilai rata-rata faktor emisi metan terendah. Ketiga, nilai R/C tertinggi. Seleksi keempat didasarkan pada produktivitas > 5.06 ton/ha (rata-rata produktivitas Pulau Jawa). Faktor emisi metan < 2.43 kg/ha/hari (rata-rata faktor emisi metan perlakuan irigasi teknis, semi teknis dan sederhana, sumber: Handoko *et al.*, 1996) serta R/C > 2.39 (nilai R/C Indonesia untuk padi tahun 1997, sumber: Direktorat Bina Usahatani dan Pengolahan Hasil, 1995). Ketiga tahap analisis tersebut disajikan secara lengkap pada Lampiran 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi pada penelitian ini disajikan pada Tabel 1. Dari Tabel 1 dapat dipilih empat alternatif terbaik.

Alternatif Terbaik dari Berbagai Upaya Mitigasi Metan pada Padi Sawah

Pertama, alternatif terbaik berdasarkan produktivitas tertinggi yaitu alternatif keempat (irigasi teknis, Varietas IR-64, pupuk organik dan mineral) dengan nilai sebesar 5.70 ton/ha. Hasil ini dicapai karena semua kebutuhan padi terpenuhi optimal, air terpenuhi kontinu, varietas mempunyai produktivitas tinggi dengan lama musim tanam yang singkat serta paduan pupuk organik dan mineral. Pupuk organik dan mineral memenuhi kebutuhan akan unsur makro (N, P dan K) serta unsur mikro (Na, Mg, Cl, Fe) secara proporsional dalam waktu singkat maupun panjang.

Pilihan pada alternatif pertama tersebut mengandung resiko faktor emisi metan yang besar (3.17 kg/ha/hari) di atas nilai acuan. Nilai faktor emisi metan yang besar didukung oleh dua hal. Pertama, irigasi teknis memberikan kondisi anaerob berkepanjangan sehingga aktivitas bakteri methanogen dalam membentuk metan semakin besar. Kedua perpaduan pupuk organik dan mineral menyebabkan tersedia bahan baku yakni karbon organik dari pupuk organik untuk menjadi metan, serta pupuk mineral menyebabkan makin baiknya pertumbuhan padi dalam hal jumlah anakan, dan diameter jaringan *aerenchyma* makin besar. Jumlah anakan lebih banyak, diameter jaringan *aerenchyma* lebih besar cenderung memperbesar fungsi cerobong padi mengemis metan (Husin, 1994). Pendapat ini dibuktikan oleh Handoko *et al.* (1996) sekitar 50 - 60 % emisi metan di Indonesia berasal dari sawah beririgasi teknis.

Dikaji dari sudut nilai R/C, alternatif pertama mempunyai nilai 2.17 di bawah nilai acuan. Nilai R/C rendah disebabkan oleh biaya yang harus dikeluarkan untuk penggunaan pupuk mineral serta operasional irigasi teknis.

Kedua, alternatif terbaik berdasarkan faktor emisi metan terendah adalah alternatif ke-13 dan ke-21 (irigasi semi teknis atau sederhana, Varietas Cisadane dengan perlakuan tanpa pupuk) sebesar 1.67 kg/ha/hari.

Tabel 1. Berbagai alternatif mitigasi emisi metan pada padi sawah

Table 1. Some mitigation alternatives for methane emission from rice fields

Alternatif	Produktivitas	Faktor emisi CH ₄	Analisis	Keterangan
	(ton/ha)	(kg/ha/hari)	R/C	
1	5.00	2.57	2.32	irigasi teknis, IR-64, tanpa pupuk
2	5.57	2.73	2.13	irigasi teknis, IR-64, pupuk mineral
3	5.27	3.03	2.40	irigasi teknis, IR-64, pupuk organik
4	5.70	3.17	2.17	irigasi teknis, IR-64, organik + mineral
5	4.90	2.30	2.29	irigasi teknis, Cisadane, tanpa pupuk
6	5.47	2.47	2.10	irigasi teknis, Cisadane, pupuk mineral
7	5.17	2.77	2.37	irigasi teknis, Cisadane, pupuk organik
8	5.60	2.90	2.14	irigasi teknis, Cisadane, organik + mineral
9	4.90	1.93	2.32	irigasi semi teknis, IR-64, tanpa pupuk
10	5.47	2.10	2.12	irigasi semi teknis, IR-64, pupuk mineral
11	5.17	2.40	2.39	irigasi semi teknis, IR-64, pupuk organik
12	5.60	2.53	2.16	irigasi semi teknis, IR-64, organik + mineral
13	4.80	1.67	2.28	irigasi semi teknis, Cisadane, tanpa pupuk
14	5.37	1.83	2.10	irigasi semi teknis, Cisadane, pupuk mineral
15	5.07	2.13	2.36	irigasi semi teknis, Cisadane, pupuk organik
16	5.50	2.27	2.13	irigasi teknis, Cisadane, organik + mineral
17	4.83	1.93	2.33	irigasi sederhana, IR-64, tanpa pupuk
18	5.40	2.10	2.13	irigasi sederhana, IR-64, pupuk mineral
19	5.10	2.40	2.41	irigasi sederhana, IR-64, pupuk organik
20	5.53	2.53	2.16	irigasi sederhana, IR-64, organik + mineral
21	4.73	1.67	2.29	irigasi sederhana, Cisadane, tanpa pupuk
22	5.30	1.83	2.10	irigasi sederhana, Cisadane, pupuk mineral
23	5.00	2.13	2.37	irigasi sederhana, Cisadane, pupuk organik
24	5.43	2.27	2.14	irigasi sederhana, Cisadane, organik + mineral
MAX	5.70	3.17	2.41	nilai tertinggi
MIN	4.73	1.67	2.12	nilai terendah

Irigasi semi teknis dan sederhana mengemisikan metan lebih rendah dibandingkan irigasi teknis (Husin, 1994; Rusli, 1994 dan Handoko *et al.*, 1996). Hal ini terjadi karena kondisi irigasi semi teknis dan sederhana menciptakan suasana anaerob yang bergantian dengan aerob saat irigasi dihentikan. Kondisi anaerob cenderung mempercepat laju emisi metan, sedangkan kondisi aerob mencegah pembentukan metan dan mendukung oksidasi metan menjadi CO₂ oleh bakteri metanotroph. Pilihan pada Varietas Cisadane menekan emisi metan lebih efektif karena jumlah anakan lebih sedikit. Alternatif ini tetap mengandung resiko yakni produktivitas terendah dan nilai R/C di bawah nilai acuan.

Ketiga, alternatif terbaik berdasarkan nilai R/C tertinggi yakni 2.41 adalah alternatif ke-19 (irigasi sederhana, IR-64 dan pupuk organik), analisis R/C memperhitungkan rasio antara keluaran dan masukan, nilai masukan pada perlakuan pupuk organik adalah relatif rendah jika dibandingkan dengan pupuk mineral, didukung pula oleh perlakuan irigasi sederhana, biaya operasional relatif lebih murah.

Keempat, alternatif terbaik karena memenuhi persyaratan yang ditentukan yaitu, nilai produktivitas di atas 5.06 ton/ha, faktor emisi CH_4 di bawah 2.43 kg/ha/hari dan nilai R/C di atas 2.39 adalah alternatif ke-19 (irigasi sederhana, IR-64 dan pupuk organik). Alternatif ke-19 (irigasi sederhana, IR-64 dan pupuk organik) dapat diterapkan di Indonesia. Semua lahan beririgasi teknis, semi teknis dijadikan irigasi sederhana, dengan cara mengatur pengairan dari kontinu menjadi berselang. Irigasi sederhana lebih efisien dalam konservasi air, biaya operasional dan investasi awal dibandingkan dengan irigasi teknis. Pilihan pada Varietas IR-64 merupakan varietas berumur relatif singkat dengan produktivitas lebih tinggi dibandingkan Cisadane. Penggunaan pupuk organik dapat memacu hasil walau tidak maksimal dibandingkan pupuk mineral, tetapi dapat menekan biaya operasional.

Uji Model Simulasi

Uji kelayakan untuk melihat logika setiap alternatif yang disimulasi adalah membandingkan nilai simulasi dengan hasil observasi atau hitungan (nilai acuan). Hasil uji dinilai layak bila hasil simulasi dari ketiga keluaran yang dikaji berkisar antara nilai acuan. Hasil uji disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Uji kelayakan model simulasi
Table 2. Verification of the simulation model

No.	Keluaran	Nilai terendah	Nilai tertinggi	Nilai acuan	Keterangan
1.	Rataan faktor emisi CH_4 (kg/ha/hari)	1.67	2.12	2.43	hasil hitungan (Handoko <i>et al.</i> , 1996)
2.	Produktivitas (ton/ha)	4.73	5.70	5.06	Rataan Pulau Jawa
3.	Nilai R/C	2.12	2.41	2.39	(29 % dari nilai R/C Indonesia 1994)

Dari Tabel 2 terlihat bahwa hasil simulasi untuk semua komponen keluaran yang dikaji berada di antara nilai acuan. Hal ini membuktikan kelayakan model simulasi.

Uji kepekaan simulasi untuk melihat perlakuan yang paling berpengaruh terhadap keluaran yang dikaji. Tiga perlakuan utama pengaturan air, seleksi varietas dan pengelolaan hara bila dilihat nilai rata-ratanya terhadap salah satu komponen keluaran yaitu rataan faktor emisi metan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Uji kepekaan model simulasi
Table 3. Sensitivity analysis of the simulation model

No.	Variabel yang diuji	Kisaran rataan faktor emisi ch_4 (kg/ha/hari)	Selisih	Ranking
1.	Pengaturan Air	2.11 - 2.74	0.63	0.60
2.	Seleksi Varietas	2.19 - 2.45	0.26	3
3.	Pengelolaan Hara	2.01 - 2.61	0.60	2

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa pengaturan air merupakan perlakuan yang paling peka terhadap keluaran faktor emisi metan mulai dari 2.11 untuk rata-rata perlakuan irigasi sederhana dan semi teknis hingga 2.74 kg/ha/hari untuk rata-rata perlakuan irigasi teknis. Disusul perlakuan pengelolaan hara yang mempunyai rata-rata 2.01 tanpa pupuk hingga 2.61 kg/ha/hari untuk perlakuan pupuk organik dicampur mineral.

Uji kepekaan memberi informasi bahwa pengaturan air merupakan perlakuan yang peka dan bervariasi, sedikit perubahan perlakuan akan menghasilkan keluaran yang berbeda. Pendapat ini didukung oleh fakta hasil observasi di Indonesia (Husin dan Rusli 1994, Makarim, 1996) dan peneliti luar Neue dan Roger (1993) yang menemukan bahwa teknik penggenangan sawah merupakan faktor utama pembentukan metan. Kondisi tergenang kontinu cenderung mengemisikan metan lebih besar. Sedangkan kondisi tergenang berselang pada irigasi sederhana mengemisikan metan lebih rendah. Hasil yang rendah disebabkan pada saat irigasi dihentikan kondisi sawah menjadi aerob yang menyebabkan pembentukan dan emisi metan menjadi terhambat.

KESIMPULAN

Dari hasil simulasi didapatkan empat alternatif upaya mitigasi gas metan dari padi sawah : **Pertama**, alternatif terbaik berdasarkan produktivitas padi tertinggi yakni, alternatif keempat (irigasi teknis, Varietas IR-64, pupuk organik dan mineral), dengan nilai produktivitas sebesar 5.70 ton/ha. **Kedua**, alternatif terbaik berdasarkan faktor emisi metan terendah yakni, alternatif ke-13 dan ke-21 (irigasi semi teknis atau irigasi sederhana, Varietas Cisadane dan tanpa pupuk), dengan nilai faktor emisi sebesar 1.67 kg/ha/hari. **Ketiga**, alternatif terbaik berdasarkan nilai R/C tertinggi yaitu alternatif ke-19 (irigasi sederhana, Varietas IR-64 dan pupuk organik), dengan nilai R/C sebesar 2.41. **Keempat**, alternatif terbaik berdasarkan pertimbangan finansial dan ekologis yaitu alternatif ke-19 (irigasi sederhana, Varietas IR-64 dan pupuk organik), dengan nilai produktivitas, faktor emisi metan dan R/C masing-masing sebesar 5.10 ton/ha, 2.40 kg/ha/hari dan 2.41.

Hasil uji kelayakan menunjukkan bahwa model simulasi terbukti layak. Sedangkan dari hasil uji kepekaan diketahui bahwa pengaturan irigasi merupakan perlakuan yang paling berpengaruh terhadap faktor emisi metan.

Saran

Pilihan pada alternatif terbaik dari sudut finansial dan ekologis dipandang lebih bijak karena selain menguntungkan juga relatif lebih ramah lingkungan. Namun dalam penerapan masih diperlukan uji lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Biro Pusat Statistika. 1996. Statistical year book of Indonesia from the year 1989 -1995. Jakarta.
- Boone, D. R. 1993. Biological formation and consumption of methane. In M.A.K. Khalil (ed.) Atmospheric methane; source, sink and role in global change. 102-127 pp. NATO ASI Series I : Global Env. Change. Vol. 13. Springer-Verlag. Berlin.

- Bouwman, A. F. 1982. Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. In. A. F. Bouwman (ed). Soils and Greenhouse effect. 61-97 pp. John Willey & Sons Ltd. Chichester.
- Bouwman, A. F. 1991. Agronomic aspect of wetland rice cultivation and associated methane emission. *Biogeochemistry*. 15 (2): 65-88.
- Crutzen, P.J. 1991. Methane's sink and sources nature. 350 : 380-381.
- Direktorat Bina Usahatani dan Pengolahan Hasil. 1995. Analisa Usahatani Padi-Palawija T.A. 1993/1994. Laporan Survey. Subdit Sumber Daya. Jakarta.
- Handoko, I. Las, J. S. Baharsyah, A. M. Fagi, A. Bey, M. Y. Ishadami. 1996. Greenhouse Gasses Inventory from Agriculture Sector in Indonesia. Paper presented at National Workshop on Asia Least-cost Greenhouse gases and Abatement Strategy (ALGAS). Ministry of Environment, Jakarta, July 3-4, 1996. 31 pp.
- Husin, Y. A. . 1994. Methane flux from Indonesia wetland rice: The effect of water management and rice variety. A Disertation Post Graduate Program. IPB. Bogor.
- IPCC. 1995. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. (Vol.3.) UNEP-OECD-IEA- IPCC. Bracknell. UK.
- Khalil, M. A. K. and R. A. Rasmussen. 1981. Secular trends of atmospheric methane. *Chemosphere* 11 : 877-883.
- Khalil, M. A. K., M. J. Shearer and R. A. Rasmussen. 1993. Methane sinks and distributions In *Atmospheric Methane : Sources, sink and role in global change*.
- M. A. K. Khalil (ed.). 168 - 179 pp. NATO ASI Series 1 : Global Environ. Change Vol. 13. Springer Verlag. Berlin.
- Makarim, A. K., P. Setyanto and A. M. Fagi. 1994. Mathane flux in rainfed lowland rice field at Jakenan, Pati, Central Java. Paper Presented at the planing meeting of methane emission from rice fields. Coducted by IRRI-EPA-UNDIP Semarang, 5-8/12/94.
- Makarim A.K., P. Setyanto, and A.M. Fagi. 1996. Suppressing methane emssion from rainfed lowland rice field in Jakenan, Central Java. Proceedings of The International Symposium on maximizing Sustainable Rice Yields throught Improved Soil and Environtmental Management. p 365-378.
- Murdiyarso, D., .A. Husin, Supiandi, Adijuwana dan Sunar. 1995. Wetland rice agriculture techniques and agroecology aspect in reference with controlling methane emission at optimal rice production. Env. Research Center, IPB.
- Neue, H. U. and P.A. Roger. 1993. Rice agriculture: Factors controlling emission. In M.A.K. Khalil (ed.). *Atmospheric methane: source, sink and role in global change*. 58 - 298 pp. NATO ASI Series 1 : Global Env. Change Vol. 13. Springer-Verlag. Berlin.
- Nouchi, I. 1992. Mechanisms of methane transport through rice plants, proc. of CH₄ and N₂O Workshop: CH₄ and N₂O emission from national and anthropogenmic sources and their reduction research plan. 5 - 24 pp. National Inst.of Agro. Env. Sci. Tsukuba. Japan.

- Rusli. 1994. Emisi metan dinihari dari padi sawah dengan teknik pemberian air yang berbeda. Tesis program Pascasarja. IPB. Bogor.
- Soegiarto, A. 1991. The Southeast Asian responses to ENSO. Makalah pada workshop toward a sustainable Env. Future for the Southeast Asian Region. UGM Yogyakarta, 6-10 Mey 1991.
- Soerianegara, I. 1978. Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan. Bagian 2. Sekolah Pascasarjana Jurusan PSL-IPB. Bogor.
- Subadiyasa, N. N. , N. Arya and M. Kimura. 1995. Effects of rice straw amendement mineral fertilizer aplication on methane flux from soil types grown white IR-64 and Kruing Aceh rice varieties in irrigated wetland rice in Bali. Paper presented at National Workshop on Inventory of emission and sink of greenhouse gases in Indonesia. Conducted by Ministry of Env. Indonesia. Bogor 4-5 Agustus 1995.
- Sunar. 1993. Kajian pemberian jerami padi pada tanah sawah yang ditanami dua varietas padi terhadap emisi metan. Tesis Program Pascasarjana-IPB. Bogor.
- Sutopo, G. N., J. Lumbanraja, H. Suprpto, Sunyoto, W.S. Ardjase, H.Haraguchi and M. Kimura. 1995. Methane emission from wetland rice in Lampung. Paper presented at National Workshop on Inventory of emission and sink of greenhouse gases in Indonesia. Conducted by Ministry of Env. Indonesia. Bogor 4-5 Agustus 1995.
- Tyler, S.C. 1991. The global methane budget. In E. Rogers and B. Whitman (eds.) Microbiol. Production and consumption of greenhouse gases: methane, nitrous oxides and halomethanes. 7-38 pp. American Society for Microbiol. Washington, D C.

Lampiran 1. Contoh analisis R/C alternatif satu

KOMPONEN PENGELUARAN I. INPUT : A TENAGA KERJA	FISIK		NILAI RUPIAH	
	UPAHAN (hari)	KERABAT (hari)	RIIL DIKELUARKAN	DIPER- HITUNGAN
1. PERSEMAIAN	1.2	2.8	5850	13650
2. OLAH TANAH SIAP TANAM : - MANUSIA	2.8	2.1	14700	11025
- TERNAK	0	0	0	0
- MESIN	6.3	0	110155.5	0
3. MENANAM/TANDUR	23	0.9	103500	4050
4. PEMELIHARAAN : - MENYIANG	12.6	2.1	52731	8788.5
- MEMUPUK	0	0	0	0
- PERLINTAN	1.5	1.5	7650	7650
5. PASCA PANEN : -PANEN,RONTOK,ANGKUT	30.5	3.1	166987.5	16972.5
- JEMUR	0.6	0.4	3285	2190
JUMLAH A	78.5	12.9	464859	64326
B. SARANA PRODUKSI				
1. BIBIT/BENIH (kg)	27.7		55400	
2. PUPUK MINERAL : - UREA (kg)	191.6		0	
- ZA (kg)	64.2		0	
- TSP (kg)	91.3		0	
- ZK/KCL (kg)	63		0	
- PPC/ZPT (cc)	395		0	
3. PUPUK ORGANIK : - PUKAN, KOMPOS (kg)	50			0
4. RACUN : - PADAT (kg)	4.9		20580	
- CAIR (cc)	1		14250	
5. PEMBERANTAS RUMPUT	0		0	
JUMLAH B	888.7	0	90230	0
C. LAIN-LAIN				
1. SEWA TANAH PER MUSIM				400000
2. PAJAK TANAH PER MUSIM			40000	
3. BUNGA PINJAMAN			50000	
4. PENYUSUTAN			0	
5. LAIN-LAIN			20000	
JUMLAH C			110000	400000
TOTAL BIAYA PRODUKSI (COST) = A + B + C				
- TOTAL BIAYA DIKELUARKAN PETANI (TBDP= X)			665089	
- TOTAL BIAYA SECARA BISNIS (TBSB = Y)				464326
- TOTAL BIAYA PRODUKSI (TBP = X + Y)				1129415
II. OUTPUT				
1. TOTAL PRODUKSI (kg)	5000			
2. HARGA (Rp/kg)	525			
3. TOTAL PENGHASILAN (BENEFIT) = 1 X 2				2625000
III. PENDAPATAN BERSIH				
- SECARA BISNIS (USAHATANI) = BENEFIT - TBP				1495585
- PETANI = BENEFIT - TBDP				1959911
R/C = BENEFIT / TBP				2.32

Lampiran 2. Tiga tahap analisis penelitian

