

## BIAYA PENGURANGAN MARGINAL EMISI GAS RUMAH KACA SEKTOR PERTANIAN

### *Marginal Abatement Cost of Green House Gas Emission from Agricultural Sector*

Miranti Ariani<sup>1</sup>, P. Setyanto<sup>1</sup>, dan M. Ardiansyah<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Balai Penelitian Lingkungan Pertanian  
Jl. Raya Jakenan-Jaken Km 5 PO Box 5, Jaken, Pati 59182  
<sup>2</sup>Climate Change Risk and Opportunity Management in South East Asia  
Institute Pertanian Bogor, Kampus Baranangsiang, Bogor  
E-mail: miranti\_ariani@yahoo.com

Naskah diterima: 17 November 2014

Naskah direvisi: 4 Mei 2015

Disetujui terbit: 4 Agustus 2015

#### ABSTRACT

Greenhouse gases (GHG) concentration in the atmosphere significantly increases with the annual average increase on the past decade (2005-2014) is 2.1 ppm. Today's concentration is 403 ppm, while the upper safety limit for atmospheric CO<sub>2</sub> is 350 ppm. This rising concentration mainly affects global warming and climate change. This study aims to analyze mitigation options in paddy field management that may be conducted through a marginal abatement (MAC) approach by selecting mitigation actions with low cost and high potential emission decrease. This analysis was carried out using the Net Present Value (NPV). Locations were selected purposively in Grobogan Regency, Central Java Province, and East Tanjung Jabung Regency, Jambi Province, in 2013. Data collected consisted of GHG emissions baseline estimate, costs of production and total revenue. Baseline emission was computed using the appropriate approach of 2006 IPCC Guidelines. Data were analyzed using both quantitative and qualitative descriptive methods. The results showed that abatement cost to reduce 1 tCO<sub>2</sub>e in Grobogan Regency from the lowest to highest were low methane rice variety with the cost of Rp106/tCO<sub>2</sub>e, intermittent irrigation (Rp124/tCO<sub>2</sub>e), direct seeded rice (Rp657/tCO<sub>2</sub>e) and shifting between urea granules with urea tablets (Rp3,582/tCO<sub>2</sub>e). Meanwhile in East Tanjung Jabung Regency, the lowest to highest costs were compost for amelioration (Rp163/tCO<sub>2</sub>e), farmyard manure for amelioration (Rp456/tCO<sub>2</sub>e), direct seeded (Rp504/tCO<sub>2</sub>e) and interaction between no tillage+direct seeded rice (Rp608/tCO<sub>2</sub>e). These costs did not include tax, transport and other social costs.

**Keywords:** *agriculture, green house gas, marginal abatement cost, mitigation*

#### ABSTRAK

Konsentrasi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer saat ini mengalami peningkatan dengan kenaikan rata-rata tahunan sebesar 2,1 ppm selama sepuluh tahun terakhir. Saat ini konsentrasinya mencapai nilai 403 ppm, sementara batas atas konsentrasi CO<sub>2</sub> aman bagi atmosfer bumi adalah 350 ppm. Peningkatan ini menyebabkan adanya pemanasan bumi secara global dan perubahan iklim. Penelitian ini bertujuan menganalisis opsi-opsi mitigasi pada pengelolaan lahan sawah yang mungkin dilakukan dengan menggunakan pendekatan *marginal abatement cost* atau biaya pengurangan emisi yang berprinsip pada pemilihan teknologi mitigasi dengan biaya rendah dan potensi penurunan emisi yang besar. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan *net present value* (NPV). Lokasi penelitian dipilih secara *purposive*, yaitu di Kabupaten Grobogan, Provinsi Jawa Tengah; dan Kabupaten Tanjung Jabung Timur, Provinsi Jambi, pada tahun 2013. Data yang dikumpulkan, yaitu data aktivitas untuk perhitungan *baseline* emisi GRK serta data usaha tani yang meliputi semua biaya produksi dan penerimaan. *Baseline* emisi dihitung dengan menggunakan pendekatan sesuai IPCC *Guideline* 2006. Hasil penelitian menunjukkan biaya tambahan yang diperlukan untuk menurunkan emisi 1 tCO<sub>2</sub>e di Kabupaten Grobogan dari yang terendah sampai tertinggi, yaitu teknologi varietas rendah emisi sebesar Rp106/tCO<sub>2</sub>e, teknologi pengairan berselang sebesar Rp124/tCO<sub>2</sub>e, teknologi tanam benih langsung sebesar Rp657/tCO<sub>2</sub>e, dan penggantian urea *prill* dengan urea tablet sebesar Rp3.582/tCO<sub>2</sub>e. Sementara, di Kabupaten Tanjung Jabung Timur biaya tambahan terendah sampai tertinggi, yaitu teknologi ameliorasi dengan kompos sebesar Rp163/tCO<sub>2</sub>e; ameliorasi dengan pupuk kandang sebesar Rp456/tCO<sub>2</sub>e; teknologi tanam benih langsung sebesar Rp504/tCO<sub>2</sub>e; dan interaksi antara tanpa olah tanah+tanam benih langsung sebesar Rp608/tCO<sub>2</sub>e. Biaya ini tidak termasuk pajak, biaya transpor, dan biaya-biaya sosial.

**Kata kunci:** *pertanian, gas rumah kaca, biaya pengurangan emisi, mitigasi*

## PENDAHULUAN

Sektor pertanian secara langsung berkaitan dengan isu perubahan iklim dalam aspek lingkungan, ekonomi, dan sosial, dan dianggap sebagai sektor yang paling rentan terhadap perubahan iklim itu sendiri. Di satu sisi, kegiatan adaptasi ialah kunci keberhasilan sektor pertanian dalam menghadapi perubahan iklim dan mempertahankan keamanan pangan, baik pada skala global, nasional, maupun daerah. Di sisi lain, pertanian menyumbang emisi gas rumah kaca (GRK) sekitar 14% pada skala global dan 7% pada skala nasional (Indonesia Second Natcom UNFCCC, 2010). Sebagai sektor kunci dalam pemenuhan kebutuhan pangan, emisi sektor pertanian diperkirakan akan terus meningkat sampai tahun 2030 seiring dengan peningkatan kebutuhan pangan. Peningkatan ini tentunya akan berdampak pada peningkatan konsentrasi GRK di atmosfer dan berkontribusi dalam merusak lapisan ozon. Untuk mengatasi hal ini, Pemerintah Indonesia telah berkomitmen untuk menurunkan emisi GRK sebesar 26% pada tahun 2020. Target untuk sektor pertanian adalah sebesar 8 gigagram CO<sub>2</sub> ekuivalen (Gg CO<sub>2</sub>e).

Teknologi mitigasi GRK untuk pertanian telah banyak dihasilkan, baik di tingkat global (deAngelo *et al.*, 2006; Verge *et al.*, 2007) maupun nasional (Setyanto *et al.*, 2005; Setyanto dan Kartikawati, 2011). Teknologi mitigasi tersebut antara lain adalah penerapan sistem pengairan secara berselang-seling antara kondisi basah dan kering, penggunaan varietas padi dengan emisi yang rendah, serta penggunaan bahan-bahan pembenah tanah. Selain itu, banyak estimasi yang mengindikasikan bahwa beberapa opsi mitigasi dari pertanian relatif lebih rendah biaya dan menghasilkan keuntungan yang signifikan dalam peningkatan produksi dibandingkan dengan sektor yang lain (Smith *et al.*, 2006, 2008; Beach *et al.*, 2008; MacLeod *et al.*, 2010). Penggunaan pendekatan biaya pengurangan atau *marginal abatement cost* (MAC) ini diperlukan untuk membuat pilihan terhadap opsi mitigasi yang sesuai. Pendekatan MAC adalah besarnya tambahan biaya yang diperlukan untuk menurunkan emisi GRK sebesar 1 tCO<sub>2</sub>e hingga kurun waktu tertentu. Secara umum, analisis MAC digunakan untuk menilai potensi ekonomi sektor pertanian dalam

pengurangan emisi GRK (MacLeod *et al.*, 2010; Moran *et al.*, 2011). Analisis MAC memungkinkan untuk melakukan evaluasi terhadap strategi untuk mengurangi GRK terhadap beberapa skenario referensi yang meliputi biaya maupun manfaat yang diterima. Konsep ini telah banyak dikembangkan selama 20 tahun terakhir (Beach *et al.*, 2008). Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan konsep MAC dalam konteks perubahan iklim, McKinsey and Company (2008, 2009) dan United States Environmental Protection Agency (USEPA) melakukan analisis ini untuk pengurangan emisi semua sektor di USA, Asian Development Bank melalui *Asia Least-cost Greenhouse Gas Abatement Strategy* (ADB, 1998) dan Dewan Nasional Perubahan Iklim (DNPI, 2009) membuat analisis ini untuk semua sektor di Indonesia. Untuk sektor pertanian, pendekatan ini mulai digunakan sekitar tahun 2000 dengan menggunakan pendapat secara kualitatif (Weiske, 2005, 2006) dan beberapa penelitian empiris telah dilakukan di USA dan Uni Eropa (Beach *et al.*, 2008; Macleod *et al.*, 2010; Vermont dan DeCara, 2010; DeCara *et al.*, 2011; Eory *et al.*, 2013).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis opsi-opsi mitigasi pada pengelolaan lahan sawah yang mungkin dilakukan menggunakan pendekatan MAC sehingga diharapkan dapat membantu daerah dalam memilih opsi mitigasi dengan biaya rendah dan potensi penurunan emisi yang besar.

## METODE PENELITIAN

### Kerangka Pemikiran

Target penurunan emisi GRK di lahan pertanian menjadi sesuatu yang tidak dapat dipungkiri lagi. Oleh karena itu, penelitian untuk menemukan teknologi-teknologi yang mampu menurunkan emisi GRK sudah banyak dilakukan. Untuk menerapkan sebuah teknologi, tentunya akan berimplikasi pada biaya yang akan dikeluarkan. Secara umum, analisis MAC digunakan untuk menilai potensi ekonomi sektor pertanian dalam pengurangan emisi GRK (MacLeod *et al.*, 2010; Moran *et al.*, 2011). Analisis ini menyediakan opsi mitigasi GRK, di mana opsi tersebut merupakan tambahan untuk kegiatan mitigasi yang

diharapkan akan diberikan pada skenario *'business as usual'* (Moran *et al.*, 2011). MAC menghasilkan kuantifikasi besarnya emisi GRK yang dapat dikurangi dengan berbagai opsi mitigasi dan mengurutkannya sesuai dengan biaya marjinal yang dibutuhkan. Analisis MAC ini bersifat tidak tetap dan akan berubah dari waktu ke waktu seiring teknologi baru menjadi lebih banyak tersedia dengan biaya yang lebih rendah atau berkembangnya kondisi agronomi dan sosial ekonomi. Dengan menggunakan pendekatan ini, tambahan biaya yang diperkirakan akan dikeluarkan oleh suatu usaha tani dihitung sampai kurun waktu tertentu (tergantung dengan skenario penurunan emisi yang diinginkan). Hal ini untuk melihat apakah sampai kurun waktu tersebut, teknologi ini masih memberikan keuntungan secara ekonomi terhadap penggunaannya semacam studi kelayakan usaha untuk pertanian. Selama kurun waktu tersebut, dengan teknologi yang diterapkan, sampai berapa besar emisi yang mampu diturunkan berdasarkan tingkat kemampuan penurunan emisi masing-masing teknologi. Dengan menggunakan pendekatan kurva tambahan biaya ini, maka akan terlihat berapa besarnya biaya tambahan yang diperlukan serta kemampuan penurunan emisi masing-masing teknologi.

Sebelum melakukan analisis MAC, yang harus dilakukan terlebih dahulu adalah mengetahui emisi aktual di suatu wilayah, kemudian memperkirakan kecenderungannya sampai kurun waktu tertentu.

### Lokasi, Waktu Penelitian, dan Data

Penelitian ini dilaksanakan di dua kabupaten, yaitu Kabupaten Grobogan (Provinsi Jawa Tengah) dan Kabupaten Tanjung Jabung Timur (Provinsi Jambi). Provinsi Jawa Tengah dan Provinsi Jambi adalah dua provinsi yang sampai dengan bulan Oktober 2011 telah menerbitkan Peraturan Gubernur mengenai Rencana Aksi Daerah (RAD) Gas Rumah Kaca, sedangkan Kabupaten Grobogan dan Tanjung Jabung Timur masing-masing adalah kabupaten dengan sumber mata pencaharian utama penduduk di bidang pertanian. Sektor pertanian di Kabupaten Grobogan tahun 2011 berkontribusi sebesar 43% terhadap total PDRB, sedangkan di Kabupaten Tanjung Jabung Timur berkontribusi sebesar 59% dengan pertumbuhan sebesar 1,2%. Data yang dikumpulkan meliputi data luas panen sawah,

populasi ternak, penggunaan pupuk, serta analisis usaha tani yang meliputi data biaya produksi usaha tani dan penerimaannya spesifik lokasi tahun 2011.

### Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data aktivitas adalah bagian terpenting dalam melakukan kegiatan inventarisasi GRK. Data aktivitas sektor pertanian adalah satuan kegiatan manusia di bidang pertanian yang diperkirakan menimbulkan emisi GRK, seperti: jumlah dan jenis ternak, pengelolaan kotoran ternak, luasan tanam padi sawah, jenis irigasi, pertanaman di lahan kering, penggunaan pupuk, dan lain sebagainya. Data-data tersebut diperoleh dari data-data sekunder yang ada di dinas-dinas terkait. Data tersebut kemudian dibuat salinannya. Untuk data-data yang tidak tercatat secara tertulis di dinas terkait, maka dilakukan wawancara langsung dengan pihak yang menangani data di dinas terkait. Data seperti ini sebagian sudah tersedia dan tercatat di dinas terkait yaitu Dinas Pertanian maupun Badan Pusat Statistik. Akan tetapi, beberapa data seperti cara pengelolaan kotoran ternak, jumlah pupuk urea atau N dalam setahun baik pada lahan sawah maupun lahan kering, dan luas penggunaan varietas padi tertentu, kebanyakan belum tercatat dengan baik, sehingga diperlukan wawancara langsung dengan penyuluhnya. Teknik seperti ini dalam kegiatan inventarisasi gas rumah kaca disebut sebagai *expert judgement* dan tidak mengharuskan jumlah responden dalam jumlah tertentu.

Pada kasus jumlah pupuk N, umumnya data yang tercatat adalah realisasi pupuk musiman dari distributor terutama untuk tanaman pangan, sementara untuk perkebunan tidak tersedia. Untuk mendapatkan jumlah pupuk N dalam setahun, diperoleh dengan mengalikan luas tanam masing-masing pertanaman dengan dosis rekomendasi. Data mengenai bentuk pengelolaan kotoran ternak dan luas varietas padi yang digunakan juga tidak tercatat. Oleh karena itu, dilakukan survei langsung ke lapang dan wawancara dengan petugas lapang ataupun petani.

Luas panen lahan sawah dihitung dengan mengalikan luas tanam dengan masa tanamnya. Masing-masing luas tanam sawah sudah terbagi ke dalam beberapa jenis pengairan (irigasi teknis, setengah teknis,

sederhana, tadah hujan, maupun pasang surut (khusus di Tanjung Jabung Timur). Luas panen sawah Kabupaten Grobogan hampir 3 kali lipat Kabupaten Tanjung Jabung Timur (Lampiran 1). Lebih dari 80% luas panen Tanjung Jabung Timur adalah di lahan pasang surut dengan jenis tanah gambut. Selain luas panen sawah dan jenis pengairan, data aktivitas yang dikumpulkan juga yaitu penggunaan varietas padi. Di Kabupaten Grobogan, tahun 2006 varietas padi yang dominan dibudidayakan yaitu IR64 (57%) dan Ciherang (41%), sedangkan varietas lain hanya 2%. Mulai tahun 2010, Ciherang menjadi yang paling dominan, yaitu sebesar 87%, sedangkan IR 64 hanya 7% dan varietas lain 6%. Di Tanjung Jabung Timur tahun 2006, varietas yang dominan adalah IR 42 (hampir 80%) dan 20% adalah varietas lain. Mulai tahun 2010, varietas Batanghari menjadi yang paling dominan. Data aktivitas dan faktor emisi yang digunakan dalam perhitungan dapat dilihat pada Lampiran 1, 2, dan 3.

#### Metode Penyusunan Kurva Biaya Pengurangan

Metode penyusunan kurva biaya pengurangan ini harus didahului dengan perhitungan emisi GRK aktual di daerah tersebut yang kemudian dilanjutkan dengan menyusun proyeksi emisi atau yang lazim disebut proyeksi *business as usual* (BAU) *baseline* sampai kurun waktu tertentu sesuai dengan yang diskenariokan (dalam penelitian ini adalah sampai tahun 2020). Setelah itu yang dilakukan adalah studi literatur mengenai teknologi-teknologi mitigasi GRK dari lahan pertanian yang telah banyak dihasilkan, mencatat berapa besar potensi penurunannya dan dampaknya terhadap hasil padi. Setelah itu, yang paling penting adalah menghitung *abatement cost* (Rp/tCO<sub>2</sub>e) untuk masing-masing teknologi mitigasi tersebut, dengan beberapa langkah sebagai berikut:

- dengan menggunakan data biaya dan penerimaan riil usaha tani sebagai BAU *baseline* biaya dan penerimaan;
- menghitung prakiraan biaya dan penerimaan usaha tani untuk masing-masing aksi mitigasi;
- biaya yang diperhitungkan dalam penelitian hanya biaya tenaga kerja, biaya input produksi, dan sewa lahan, sementara biaya-biaya sosial, pajak dan bahan bakar selama proses usaha tani belum diperhitungkan;

- menentukan tingkat diskonto (*discount rate*), yaitu sebesar 8% yang merupakan suku bunga nyata untuk negara-negara berkembang dan banyak digunakan oleh World Bank dalam analisis ekonominya (Sathaye, 1995);
- menghitung *abatement cost* dengan pendekatan *net present value* (NPV) seperti yang digunakan dalam International Energy Agency (IEA, 2009) dan Food & Agricultural Organization (Boekel *et al.*, 2010).

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0 \quad (1)$$

di mana:

- $C_t$  = *cash flow* atau aliran kas yang diterima tiap tahun  
 $C_0$  = investasi awal  
 $R$  = tingkat diskonto (*discount rate*)  
 $T$  = durasi proyek

$$MAC = \frac{NPV \text{ mitigasi} - NPV \text{ BAU}}{\text{Emisi GRK BAU} - \text{Emisi GRK mitigasi}} \quad (2)$$

Setelah didapat besarnya *abatement cost*, maka selanjutnya untuk menentukan berapa potensi penurunan emisi dari penerapan teknologi tersebut di wilayah penelitian, peneliti menghitung besarnya *abatement potential* (AP), yaitu besarnya GRK yang dapat dikurangi per tahunnya dengan persamaan:

$$AP = AR \times \text{luas lahan yang berpotensi dilakukan aksi mitigasi} \quad (3)$$

di mana:

- $AP$  = besarnya GRK yang dapat dikurangi tiap tahunnya  
 $AR$  = *abatement rate*. yaitu besarnya GRK yang dapat dikurangi per hektar lahan

Perhitungan ini berdasarkan pada asumsi bahwa sekali aksi mitigasi dilakukan, maka akan berlangsung sampai kurun waktu yang telah ditentukan dalam skenario. Penentuan luas lahan yang berpotensi dilakukan aksi mitigasi, dengan menggunakan asumsi dan *expert judgement*. Sebuah teknologi mitigasi bisa juga dilakukan secara bersamaan (terjadi interaksi)

dalam satu luasan lahan tertentu, karena itu juga dilakukan perhitungan besarnya *abatement rate* untuk interaksi antara dua teknologi mitigasi.

Untuk mengadopsi sebuah teknologi sangat tergantung dari kondisi sosial budaya serta karakter dari teknologi tersebut, apakah mudah diterapkan, mudah didapatkan sarana pendukungnya, ataukah justru tidak memungkinkan untuk diterapkan. Oleh karena itu, peneliti juga melakukan kajian lebih lanjut untuk menentukan tingkat kemungkinan adopsi dari masing-masing aksi mitigasi pada empat kategori berdasarkan pada Moran *et al.* (2010) dan MacLeod *et al.* (2010) sebagai berikut:

- a. *Maximum technical*: teknologi mungkin diterapkan jika petani sudah memahami sepenuhnya secara teknis dan mampu benar-benar mengontrol faktor apa saja yang menentukan penurunan emisi
- b. *High feasibility*: teknologi ini memungkinkan untuk diterapkan dengan adanya regulasi atau peraturan dari pemerintah
- c. *Central feasibility*: teknologi ini memungkinkan untuk diadopsi apabila ada kebijakan subsidi dari pemerintah
- d. *Low feasibility*: teknologi ini memungkinkan untuk diterapkan jika pemerintah hanya melakukan sosialisasi melalui pelatihan dan informasi

Selanjutnya kurva biaya pengurangan (*MAC curve*) emisi GRK disusun dengan menggunakan histogram untuk memberikan gambaran yang lebih jelas dan terakhir adalah menghitung potensi penurunan emisi GRK pada akhir periode skenario terhadap proyeksi BAU *baseline*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### BAU *Baseline* Emisi GRK

Hasil Laporan Statistik Tahunan (BPS Kabupaten Grobogan, 2011) menyebutkan bahwa luas wilayah Kabupaten Grobogan seluruhnya adalah 197.586 ha yang terdiri atas tanah sawah 64.790 ha (di mana 20.278 ha adalah sawah tadah hujan), perkebunan rakyat 5.190 ha, hutan nasional 68.633 ha, dan selebihnya adalah untuk penggunaan lainnya. Laporan Statistik Tahunan Kabupaten Tanjung Jabung Timur (BPS Kabupaten Tanjung

Jabung Timur, 2011) menyebutkan luas keseluruhan kabupaten ini adalah sekitar 270.000 ha yang terdiri atas tanah sawah 29.594 ha (di mana 26.160 ha merupakan sawah pasang surut), perkebunan rakyat 101.000 ha, perkebunan besar 48.514 ha, serta selebihnya adalah penggunaan lainnya.

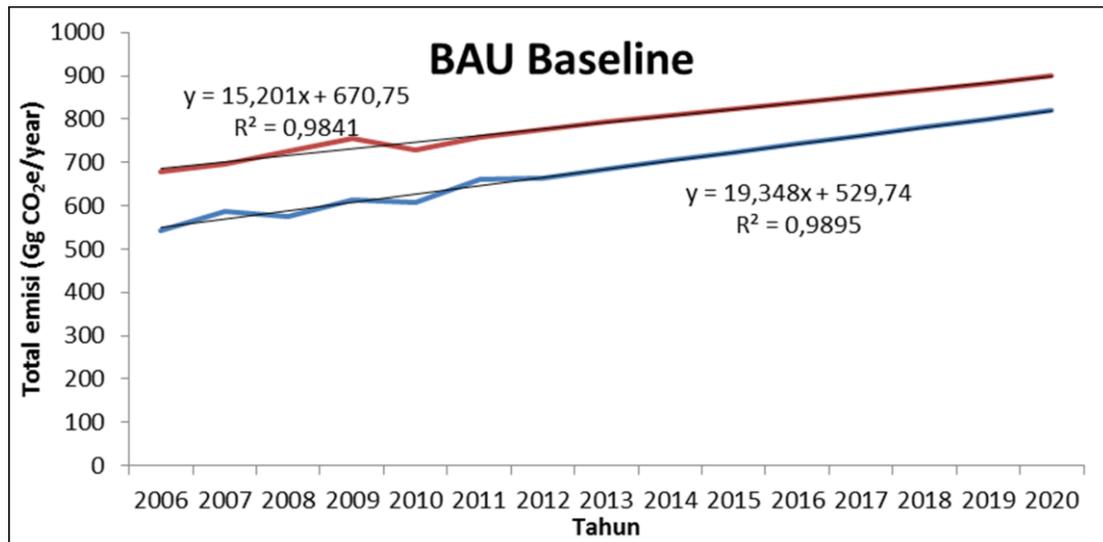
Penyusunan rencana aksi mitigasi, selain memerlukan informasi status emisi, diperlukan juga *baseline* emisi hingga beberapa tahun ke depan yang telah ditentukan. Hal ini penting untuk menentukan berapa target emisi yang akan diturunkan. Proyeksi ke depan ini lazim disebut sebagai BAU (*business as usual*) *baseline*, yaitu prakiraan tingkat emisi yang dihitung berdasarkan pada asumsi jika tidak ada kegiatan mitigasi yang dilakukan menunjukkan kecenderungan kenaikan secara linier dari tahun ke tahun. Berdasarkan data-data aktivitas dan faktor emisi yang telah diperoleh seperti terdapat dalam lampiran, maka disusunlah BAU *baseline* sektor pertanian di Kabupaten Grobogan dan Tanjung Jabung Timur seperti terlihat pada Gambar 1.

Total emisi GRK Kabupaten Grobogan dengan metode Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2006 adalah sekitar 678-758 Gg CO<sub>2</sub>e dan diperkirakan akan terus meningkat mencapai angka 898 Gg CO<sub>2</sub>e di tahun 2020 jika tidak ada aksi mitigasi, sedangkan di Kabupaten Tanjung Jabung Timur sekitar 543-659 Gg CO<sub>2</sub>e dan mencapai angka 820 Gg CO<sub>2</sub>e tahun 2020.

### Teknologi Mitigasi GRK Potensial

Penyaringan terhadap aksi mitigasi yang berpotensi diterapkan di Kabupaten Grobogan dan Tanjung Jabung Timur dilakukan melalui studi literatur dari hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan. Dari hasil studi dipilih tujuh teknologi mitigasi dari lima sumber publikasi (ADB, 1998; Setyanto *et al.*, 2005; Setyanto dan Kartikawati, 2011; Balingtan, 2003-2012; dan Susilawati *et al.*, 2010) seperti terlihat pada Tabel 1.

Setiap aksi mitigasi yang telah dipilih terdapat di dalamnya besaran potensi pengurangan emisi serta pengaruhnya terhadap hasil padi (Tabel 1). Perhitungan potensi pengurangan emisi (tCO<sub>2</sub>e/ha) didasarkan pada emisi CH<sub>4</sub> rata-rata dari lahan sawah di Indonesia, yaitu 160,9 kg CH<sub>4</sub>/ha/musim. Sementara, biaya tambahan



Gambar 1. BAU *baseline* emisi GRK Kabupaten Grobogan dan Kabupaten Tanjung Jabung Timur, 2006-2020

Tabel 1. Teknologi mitigasi GRK dari beberapa sumber publikasi

Teknologi mitigasi	Potensi pengurangan	Hasil padi
Tanam benih langsung <sup>a</sup>	37 kg CH <sub>4</sub> /ha	Naik 4,5%
Penggantian urea <i>prill</i> dengan urea tablet <sup>a</sup>	18,1 kg CH <sub>4</sub> /ha	Naik 20,5%
Penggunaan varietas rendah emisi <sup>b</sup>	57%	Naik 15%
PTT (pengairan berselang/ <i>intermittent</i> ) <sup>c</sup>	46%	Naik 5%
Ameliorasi dengan kompos <sup>d</sup>	19%	Naik 23%
Ameliorasi dengan pupuk kandang <sup>d</sup>	13%	Naik 25%
Tanpa olah tanah+tanam benih langsung <sup>e</sup>	70%	Naik 3%

Sumber: <sup>a</sup>ADB (1998)

<sup>b</sup>Setyanto *et al.* (2005)

<sup>c</sup>Setyanto *et al.* (2011)

<sup>d</sup>Balingtan (2008-2012); Susilawati *et al.* (2010)

<sup>e</sup>Balingtan (2003-2007)

untuk melakukan tindakan pengurangan emisi dihitung dengan pendekatan NPV, yaitu nilai ekonomi yang biasa digunakan dalam analisis prakiraan keuntungan atau investasi dalam periode tertentu (Tabel 2). NPV ini menggambarkan perbedaan nilai sekarang dari aliran penerimaan di masa mendatang dari sebuah investasi berdasarkan tingkat diskon tertentu. Analisis NPV biasa digunakan untuk menilai kelayakan sebuah proyek yang akan dijalankan.

### **Abatement Potential**

*Abatement potential* atau potensi pengurangan

dihitung berdasarkan asumsi sebagai berikut:

#### 1. Kabupaten Grobogan

- Teknologi tanam benih langsung diterapkan pada lahan sawah di daerah tadah hujan yang hanya satu kali tanam dalam setahun karena minimnya curah hujan, yaitu seluas 20.278 ha. Pada perhitungan *existing* emisi, faktor skala rejim air untuk daerah tadah hujan yaitu sebesar 0,49 sudah dimasukkan.
- Teknologi penggunaan varietas rendah emisi, bisa diterapkan di daerah irigasi ½ teknis, sederhana, dan desa. Pada

Tabel 2. Potensi pengurangan emisi (*abatement rate*) dan biaya tambahan untuk pengurangan emisi (*abatement cost*)

Teknologi mitigasi	<i>Abatement rate</i> (tCO <sub>2</sub> e/ha)	<i>Abatement cost</i> (Rp/tCO <sub>2</sub> e)	
		Grobogan	Tanjabtjm
Tanam benih langsung	1,6	657	504
Penggantian urea <i>prill</i> dengan urea tablet	0,8	3.582	
Penggunaan varietas rendah emisi	3,9	106	
PTT (pengairan berselang/intermiten)	3,1	124	
Ameliorasi dengan kompos	1,3		163
Ameliorasi dengan pupuk kandang	1,7		456
Tanpa olah tanah + tanam benih langsung	2,6		608

perhitungan *existing* emisi di lahan tersebut, faktor skala rejim pengairan berselang sudah dimasukkan sesuai kondisi di lapang.

- Teknologi pengairan berselang bisa diterapkan pada daerah irigasi teknis, di mana di daerah ini, air selalu tersedia sehingga lahan sawah selalu dalam kondisi tergenang karena petani masih memaksimalkan ketersediaan air untuk pengairan. Pengenalan dan penerapan teknologi ini selain akan lebih menghemat air, hasil padi juga akan meningkat.
- Teknologi penggantian urea *prill* dengan urea tablet juga sesuai untuk diterapkan di lahan sawah yang selalu tergenang, di mana potensi pembentukan gas CH<sub>4</sub> besar. Meskipun teknologi ini mempunyai potensi penurunan emisi yang cukup besar dan meningkatkan hasil padi, akan tetapi karena harga urea tablet lebih mahal dibandingkan urea *prill*, kemungkinan tingkat adopsi oleh petani adalah rendah. Maka dari itu, proporsi teknologi ini untuk diterapkan juga pada areal yang sempit, yaitu sekitar 20% dari luasan daerah irigasi. Hal ini diasumsikan dengan adanya subsidi atau bantuan dari pemerintah.

## 2. Kabupaten Tanjung Jabung Timur

- Teknologi tanam benih langsung bisa diterapkan di daerah tadah hujan, yaitu pada areal lahan sawah seluas 1.542 ha dengan pertimbangan di daerah ini ketersediaan air terbatas.
- Teknologi kombinasi tanpa olah tanah dan tanam benih langsung, bisa

diterapkan terutama di daerah pasang surut. Lahan sawah di kabupaten ini 80% dari total berada di daerah pasang surut. Lahan pasang surut sendiri terdiri dari 70% bergambut dan sisanya tidak bergambut. Luas lahan pasang surut tidak bergambut yaitu sekitar 8.873 ha dan 20.703 ha lainnya merupakan daerah pasang surut bergambut. Pada lahan pasang surut bergambut, selain diterapkan teknologi tanpa olah tanah dan tanam benih langsung, juga bisa diterapkan teknologi ameliorasi dengan kompos maupun pupuk kandang.

Penerapan PTT merupakan kebijakan yang telah diterapkan pemerintah melalui keputusan menteri pertanian, dan penggunaan varietas rendah emisi dimungkinkan untuk diterapkan dengan adanya peraturan yang sejenis. Teknologi PTT adalah suatu pendekatan inovatif dalam upaya meningkatkan produktivitas dan efisiensi usaha tani. Peningkatan produktivitas dilakukan melalui pemakaian benih varietas unggul bermutu produktivitas tinggi termasuk benih padi hibrida dan jagung hibrida, sistem jarak tanam jajar legowo, pemupukan berimbang dan pemakaian pupuk organik, serta pupuk biohayati, pengelolaan pengairan dan perbaikan budi daya disertai pengawalan, pendampingan, pemantauan, dan koordinasi. Strategi ini terutama dilaksanakan di wilayah di mana perluasan areal sudah sulit dilakukan, sehingga dengan penerapan teknologi spesifik lokasi diharapkan masih dapat ditingkatkan produktivitasnya. Berdasarkan hasil penelitian Setyanto dan Kartikawati (2011), dihitung dari komponen pengelolaan pengairannya, teknologi ini secara signifikan mampu menurunkan emisi GRK dari lahan padi sawah.

Varietas padi rendah emisi adalah varietas padi yang teridentifikasi melalui berbagai hasil penelitian menghasilkan emisi  $\text{CH}_4$  lebih rendah dibandingkan dengan varietas padi yang lain. Metana adalah GRK yang dihasilkan melalui dekomposisi bahan organik secara anaerobik (Cao *et al.*, 1995; Levy *et al.*, 2007). Kemampuan varietas mengemis gas metan bergantung kepada rongga aerenkim, jumlah anakan, biomassa, sistem perakaran, dan aktivitas metabolisme (Aulakh *et al.*, 2001). Proses pembentukan metan merupakan akibat dari dekomposisi bahan organik pada kondisi anaerob. Tanaman padi memegang peran penting dalam emisi gas  $\text{CH}_4$  dari lahan sawah. Kurang lebih 90%  $\text{CH}_4$  yang dilepas dari lahan sawah ke atmosfer diemisikan melalui tanaman dan sisanya melalui gelembung air (*ebullition*). Ruang udara pada pembuluh aerenkim yang terdapat pada daun, batang, dan akar yang berkembang dengan baik menyebabkan pertukaran gas pada tanah tergenang (anaerob) berlangsung cepat (Aulakh *et al.*, 2002). Pembuluh aerenkim bertindak sebagai cerobong (*chimney*) untuk lepasnya  $\text{CH}_4$  ke atmosfer. Keragaman emisi gas metan dari lahan sawah ditentukan oleh perbedaan sifat fisiologi dan morfologi varietas padi (Las, 2007; Setyanto *et al.*, 2010).

Penggantian urea *prill* dengan urea tablet mempunyai tingkat penurunan emisi yang cukup besar, akan tetapi teknologi mitigasi ini masuk dalam kategori *central feasible* karena petani akan lebih tertarik untuk menerapkannya apabila ada kebijakan pemberian subsidi yang berlaku, mengingat harga pupuk urea tablet yang relatif lebih mahal. Urea dalam bentuk tablet mempunyai sifat yang lebih basa (pH 8) dibanding urea dalam bentuk *prill* karena ber-*coating*. Selain itu, penambahan urea dalam bentuk tablet menyebabkan reaksi oksidasi dalam tanah menjadi lebih besar dibanding reaksi reduksi terkait dengan ketersediaan kation dan anion, sehingga nilai potensial redoks menjadi positif. Hal ini terutama berpengaruh pada proses pembentukan gas  $\text{CH}_4$ , di mana gas ini optimal terbentuk pada kondisi keasaman tanah 6-7 dan potensial redoks -150 mV sampai -200 mV.

Teknologi tanpa olah tanah dan tanam benih langsung termasuk *high feasible*, terutama di Kabupaten Tanjung Jabung Timur di mana sebagian besar areal sawah adalah di lahan pasang surut. Teknologi ini meskipun tidak signifikan menaikkan produksi padi,

sangat sesuai diterapkan di daerah pasang surut terutama berkaitan dengan pengelolaan tanah. Tanpa olah tanah berarti meminimalkan gangguan pada kandungan hara dalam tanah, sehingga mengurangi lepasnya karbon tersimpan dalam tanah karena adanya penurunan oksidasi di daerah pasang surut. Hal ini berarti menghindari lepasnya pirit yang terbentuk di dalam tanah pada saat tergenang air laut atau sungai. Sementara, teknologi tanam benih langsung termasuk *low feasible* karena pada umumnya teknologi ini banyak diterapkan oleh petani di daerah atau pada saat minimnya air.

Teknologi ameliorasi, termasuk dalam kategori yang *high feasible* karena penerapan teknologi ameliorasi ini selain mampu menurunkan emisi GRK, juga sebagai bahan pembenah unsur hara tanah sehingga hasil padi menjadi meningkat. Dalam hal ini, dimungkinkan bagi pemerintah untuk mengeluarkan peraturan mengenai penerapannya oleh petani. Sebesar 63.922 tCO<sub>2</sub>e/th emisi GRK di Kabupaten Tanjung Jabung Timur dapat diturunkan pada tingkat adopsi teknologi yang tinggi.

Amelioran adalah bahan yang dapat meningkatkan kesuburan tanah melalui perbaikan kondisi fisik dan kimia. Kriteria amelioran yang baik bagi lahan gambut adalah memiliki kejenuhan basa (KB) yang tinggi, mampu meningkatkan derajat pH secara nyata, mampu memperbaiki struktur tanah, memiliki kandungan unsur hara yang lengkap, dan mampu mengusir senyawa beracun terutama asam-asam organik. Amelioran dapat berupa bahan organik maupun anorganik. Pemberian bahan amelioran seperti pupuk organik, tanah mineral, zeolit, dolomit, fosfat alam, pupuk kandang, kapur pertanian, abu sekam, purun tikus (*Eleocharis dulcis*) dapat meningkatkan pH tanah dan basa-basa tanah (Subiksa *et al.*, 1997; Salampak, 1999; Mario, 2002). Penambahan bahan-bahan amelioran yang banyak mengandung kation polivalen juga dapat mengurangi pengaruh buruk asam-asam organik beracun. Lahan sawah di Kabupaten Tanjung Timur sebagian besar (lebih dari 70%) berada pada daerah pasang surut dengan jenis tanah gambut sehingga pemberian bahan amelioran, selain akan memperbaiki struktur tanah gambut yang miskin hara, juga dapat menurunkan emisi GRK (Balingtan, 2008, 2009, 2010, 2011).

### Kurva Biaya Pengurangan Emisi GRK

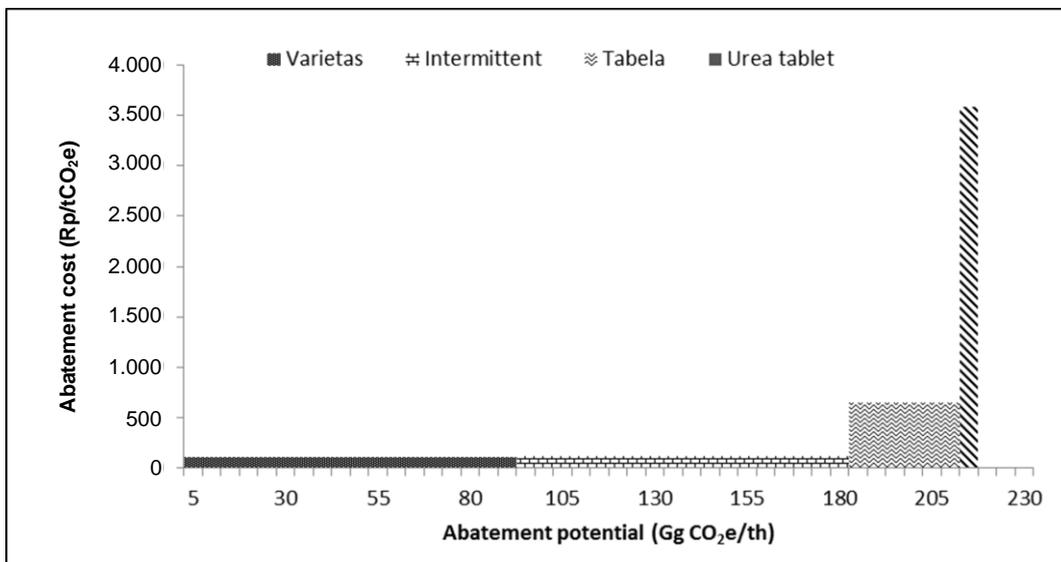
Kurva biaya pengurangan emisi GRK di Kabupaten Grobogan (Gambar 2) menunjukkan bahwa sebesar 212.822 tCO<sub>2</sub>e/th atau sekitar 24% sampai dengan tahun 2020 dapat diturunkan dengan biaya dibawah Rp1.000/tCO<sub>2</sub>e dan tambahan penurunan emisi sebesar 5.532 tCO<sub>2</sub>e/th atau 0,12% bisa dicapai dengan biaya tambahan sebesar Rp3.582/tCO<sub>2</sub>e, sedangkan di Kabupaten Tanjung Jabung Timur, sebesar 66.317 tCO<sub>2</sub>e/th atau sekitar 8,1% sampai tahun 2020 dapat diturunkan dengan biaya tambahan dibawah Rp1.000/tCO<sub>2</sub>e. Penurunan sebesar 24% di Kabupaten Grobogan tersebut akan diperoleh dengan penerapan teknologi mitigasi berupa penggunaan varietas padi yang rendah emisi, sistem pengairan berselang, dan cara tanam dengan tábela (tanam benih langsung) pada luasan padi sawah tertentu.

Pemilihan aksi mitigasi yang paling menguntungkan secara ekonomi maupun lingkungan dapat dilakukan dengan melihat pada kurva biaya pengurangan emisi GRK. Kabupaten Grobogan akan mendapatkan keuntungan lingkungan dan ekonomi yang maksimal dengan menerapkan aksi mitigasi PTT dan penggantian varietas dengan varietas padi yang rendah emisi, yaitu hanya dengan tambahan biaya pengurangan Rp100-150/tCO<sub>2</sub>e dapat menurunkan emisi sebesar 181.312 tCO<sub>2</sub>e/th. Sementara, Kabupaten Tanjung Jabung Timur dengan penerapan aksi

mitigasi penambahan bahan amelioran mampu menurunkan emisi sebesar 19.304 tCO<sub>2</sub>e/th dengan tambahan biaya sebesar Rp150-450/tCO<sub>2</sub>e (Gambar 3). Biaya-biaya tersebut dihitung hanya berdasarkan biaya pada faktor input usaha tani seperti tenaga kerja dan penggunaan pupuk, sementara biaya penggunaan bahan bakar selama proses usaha tani tidak diperhitungkan, seperti halnya biaya-biaya sosial. Biaya-biaya ini dimungkinkan berubah seiring dengan perubahan kebijakan oleh pemerintah.

### Potensi Adopsi Teknologi

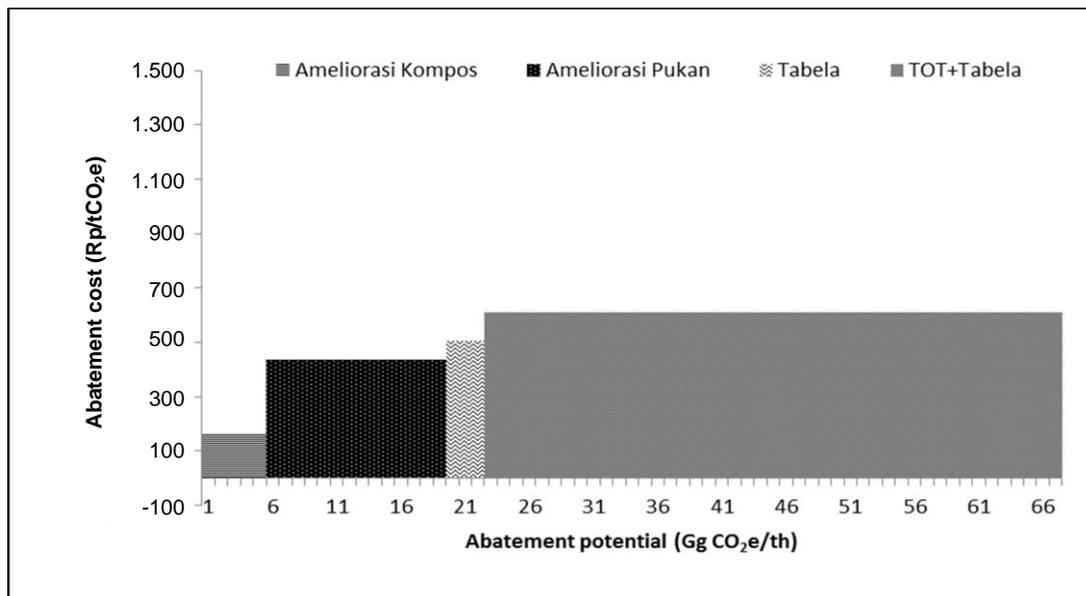
Potensi pengurangan emisi dengan kemungkinan adopsi teknologi seperti tertera dalam Tabel 3. Dalam hal ini terdapat tiga macam kemungkinan adopsi untuk masing-masing teknologi, yaitu: *high feasible*, *central feasible*, dan *low feasible*. Menurut Moran *et al.* (2010) dan MacLeod *et al.* (2010), *high feasible* adalah kemungkinan tingkat adopsi petani terhadap suatu teknologi mitigasi apabila ada peraturan pemerintah, sementara *central feasible* adalah apabila selain terdapat peraturan pemerintah untuk menerapkan suatu teknologi, juga diberlakukan pemberian subsidi bagi yang menerapkannya, dan *low feasible* adalah kemungkinan adopsi teknologi jika pemerintah menyosialisasikannya melalui pendidikan/informasi saja jika sesuai untuk suatu kondisi tertentu. Di Kabupaten Grobogan, sebesar 181.310 tCO<sub>2</sub>e/th dapat dikurangi



Gambar 2. Kurva biaya pengurangan emisi GRK Kabupaten Grobogan

dengan kemungkinan adopsi yang tinggi (*high feasible*), yaitu melalui penerapan program PTT (pengelolaan tanaman terpadu) dan penggunaan varietas rendah emisi. Penerapan PTT merupakan kebijakan yang telah diterapkan pemerintah melalui keputusan Menteri Pertanian dan penggunaan varietas rendah emisi dimungkinkan untuk diterapkan dengan adanya peraturan yang sejenis.

Tingkat adopsi oleh petani, selain dipengaruhi oleh kebijakan pemerintah, juga akan dipengaruhi oleh pola hidup, seperti diketahui bahwa sebagian besar petani tidak menerima keuntungan finansial yang maksimum, sehingga pola hidup mereka dipengaruhi oleh banyak faktor termasuk kondisi pasar (misal: harga sarana produksi pertanian dan juga harga jual hasil pertanian). Pike (2008) dalam



Gambar 3. Kurva biaya pengurangan emisi GRK Kabupaten Tanjung Jabung Timur

Tabel 3. *Abatement potential* dan kemungkinan adopsi teknologi mitigasi

Teknologi Mitigasi	Kemungkinan adopsi <sup>a</sup>	<i>Abatement potential</i> (tCO <sub>2</sub> e/tahun)	
		Grobogan	Tanjabtjm
Tanam benih langsung	<i>Low feasible</i>	31.512	2.396
Penggantian urea <i>prill</i> dengan urea tablet	<i>Central feasible</i>	5533	
Penggunaan varietas rendah emisi	<i>High feasible</i>	90.776	
PTT (pengairan berselang/intermiten)	<i>High feasible</i>	90.534	
Ameliorasi dengan kompos	<i>High feasible</i>		5.317
Ameliorasi dengan pupuk kandang	<i>High feasible</i>		13.987
Tanpa olah tanah+tanam benih langsung	<i>High feasible</i>		44.618

Sumber: <sup>a</sup>Moran *et al.* (2010), MacLeod *et al.* (2010)

Besaran penurunan emisi berdasarkan asumsi bahwa luas lahan sawah meningkat secara linier, sementara biaya dihitung berdasarkan tingkat diskon 8%/th. Akan tetapi, hal ini tentu saja masih sangat tergantung pada kebijakan pemerintah yang diberlakukan.

Bates (2001) mengemukakan bahwa kondisi pasar merupakan satu set faktor yang memengaruhi pengambilan keputusan dalam usaha tani, yaitu termasuk faktor internal (pengetahuan, kebiasaan, dan perilaku), faktor sosial (norma dan peraturan), kebijakan terkait lingkungan, dan faktor-faktor lainnya.

Tabel 4. Potensi penurunan hingga tahun 2020 terhadap proyeksi emisi BAU *baseline*

Kabupaten	Potensi Penurunan Emisi	
	BAU (tCO <sub>2</sub> e)	Mitigasi (tCO <sub>2</sub> e)
Grobogan	897.967	679.540
Tanjabtjm	820.740	753.682

## KESIMPULAN DAN IMPLIKASI KEBIJAKAN

### Kesimpulan

Biaya tambahan yang diperlukan untuk menurunkan emisi 1 tCO<sub>2</sub>e di Kabupaten Grobogan dari yang terendah sampai tertinggi adalah penerapan teknologi varietas rendah emisi sebesar Rp106/tCO<sub>2</sub>e, penerapan teknologi pengairan berselang sebesar Rp124/tCO<sub>2</sub>e, penerapan teknologi tanam benih langsung sebesar Rp657/tCO<sub>2</sub>e dan penggantian urea *prill* dengan urea tablet sebesar Rp3.582/tCO<sub>2</sub>e. Sementara, di Kabupaten Tanjung Jabung Timur biaya tambahan terendah sampai tertinggi adalah penerapan teknologi ameliorasi dengan kompos sebesar Rp163/tCO<sub>2</sub>e, ameliorasi dengan pupuk kandang sebesar Rp456/tCO<sub>2</sub>e, penerapan tanam benih langsung sebesar Rp504/tCO<sub>2</sub>e, dan interaksi antara tanpa olah tanah dan tanam benih langsung sebesar Rp608/tCO<sub>2</sub>e.

Kurva biaya pengurangan emisi GRK di Kabupaten Grobogan menunjukkan bahwa sebesar 212.822 tCO<sub>2</sub>e/th atau sekitar 24% sampai dengan tahun 2020 dapat diturunkan dengan biaya di bawah Rp1.000/tCO<sub>2</sub>e, sementara di Kabupaten Tanjung Jabung Timur sebesar 66.317 tCO<sub>2</sub>e/th atau sekitar 8,1% sampai tahun 2020 dapat diturunkan dengan biaya tambahan di bawah Rp1.000/tCO<sub>2</sub>e.

Biaya tambahan tersebut dihitung berdasarkan biaya riil yang dikeluarkan dalam usaha tani, tapi belum memasukkan biaya-biaya sosial serta perhitungan biaya transpor.

### Implikasi Kebijakan

Tingkat adopsi teknologi mitigasi oleh petani akan sangat dipengaruhi oleh kebijakan yang dikeluarkan oleh pemerintah setempat maupun pemerintah pusat. Perbaikan jaringan irigasi, terutama jaringan tersier akan sangat membantu dalam upaya penurunan emisi karena akan memudahkan petani mengatur air.

Rekomendasi dan adanya subsidi pemerintah untuk penggunaan pupuk organik (kompos dan pupuk kandang) di tanah gambut juga secara tidak langsung akan mendukung upaya penurunan emisi.

Pemilihan kegiatan untuk menurunkan emisi GRK dari sektor pertanian hendaknya tetap memerhatikan dampak secara ekonomi terhadap petani, kondisi lingkungan biofisik lokasi, dan juga sosial budaya masyarakat setempat. Pemilihan teknologi untuk menurunkan emisi GRK juga harus memerhatikan bagaimana produksi tetap tinggi dengan emisi yang serendah mungkin.

## DAFTAR PUSTAKA

- [ADB] Asian Development Bank. 1998. Asia Least-cost Greenhouse Gas Abatement Strategy. Manila: Asian Development Bank Publisher.
- Aulakh, M.S., R. Wassmann, C. Bueno, and H. Rennenberg. 2001. Impact of root exudates of different cultivars and plant development stages of rice (*Oryza sativa L.*) on methane production in a paddy soil. *Plant Soil* 230:77-86.
- Aulakh, M.S., R. Wassmann, and H. Rennenberg. 2002. Methane transport capacity of twenty-two rice cultivars from five major Asian rice-growing countries. *Journal of Agricultural, Ecosystem & Environment* 91:59-71.
- [BPS] Badan Pusat Statistik Provinsi Jambi. 2010. Provinsi Jambi dalam Angka. Jambi: BPS Provinsi Jambi
- [BPS] Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah. 2011. Propinsi Jawa Tengah dalam Angka. Semarang: BPS Provinsi Jawa Tengah.
- [BPS] Badan Pusat Statistik Kabupaten Grobogan. 2011. Grobogan dalam Angka. Grobogan: BPS Kabupaten Grobogan.
- [BPS] Badan Pusat Statistik Kabupaten Tanjung Jabung Timur. 2011. Tanjung Jabung Timur dalam Angka. Tanjung Jabung Timur: BPS Kabupaten Tanjung Jabung Timur.
- [Balingtan] Balai Penelitian Lingkungan Pertanian. 2003. Laporan Tahunan Balingtan 2003. Pati: Balai Penelitian Lingkungan Pertanian.
- [Balingtan] Balai Penelitian Lingkungan Pertanian. 2004. Laporan Tahunan Balingtan 2004. Pati: Balai Penelitian Lingkungan Pertanian.
- [Balingtan] Balai Penelitian Lingkungan Pertanian. 2005. Laporan Tahunan Balingtan 2005. Pati: Balai Penelitian Lingkungan Pertanian.

- [Balingtan] Balai Penelitian Lingkungan Pertanian. 2006. Laporan Tahunan Balingtan 2006. Pati: Balai Penelitian Lingkungan Pertanian.
- [Balingtan] Balai Penelitian Lingkungan Pertanian. 2007. Laporan Tahunan Balingtan 2007. Pati: Balai Penelitian Lingkungan Pertanian.
- [Balingtan] Balai Penelitian Lingkungan Pertanian. 2008. Laporan Tahunan Balingtan 2008. Pati: Balai Penelitian Lingkungan Pertanian.
- [Balingtan] Balai Penelitian Lingkungan Pertanian. 2009. Laporan Tahunan Balingtan 2009. Pati: Balai Penelitian Lingkungan Pertanian.
- [Balingtan] Balai Penelitian Lingkungan Pertanian. 2010. Laporan Tahunan Balingtan 2010. Pati: Balai Penelitian Lingkungan Pertanian.
- [Balingtan] Balai Penelitian Lingkungan Pertanian. 2011. Laporan Tahunan Balingtan 2011. Pati: Balai Penelitian Lingkungan Pertanian.
- Bates, J. 2001. Economics evaluation of emission reductions of nitrous oxides and methane in agriculture in the EU: bottom up analysis. Technical Report: Contribution to a study for DG Environment. European Commission by Ecofys Energy and Environment and National Technical University of Athens.
- Beach, R.H., B.J. DeAngelo, S. Rose, C. Li, W. Salas, and S.J. DelGrosso. 2008. Mitigation potential and cost for global agricultural greenhouse gas emission. *Journal of Agricultural Economics* 38(2):109-115.
- Boekel, L., P. Sutter, O. Touhemoulin, and M. Jonsson. 2010. Using Marginal Abatement Cost Curves to Realize the Economics Appraisal of Climate Smart Agriculture Policy Options. Rome: Food and Agricultural Organization. [http://www.fao.org/fileadmin/templates/x\\_act/pdf/Technical\\_guidelines/ex-act\\_MACC\\_116EN.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/x_act/pdf/Technical_guidelines/ex-act_MACC_116EN.pdf). (26 Juli 2013).
- Cao, M., J.B. Dent, and O.W. Heal. 1995. Methane emissions from China's paddyland. *Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment* 55(2):129-137.
- DeAngelo, B.J., F.C. de la Chesnaye, R.H. Beach, A. Sommer, and B.C. Murray. 2006. Methane and nitrous oxide mitigation in agriculture. *The Energy Journal*, Special Issue: Multi-Greenhouse Gas Mitigation and Climate Policy 45:89-108.
- DeCara, S., M. Houze, and P.A. Jayet. 2011. Marginal abatement cost of greenhouse gas emission from European agriculture, cost effectiveness, and the EU non-ETS burden sharing agreement. *Ecological Economics* 70:1680-1690.
- [DNPI] Dewan Nasional Perubahan Iklim. 2009. Kurva Biaya Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca Indonesia. Jakarta: Dewan Nasional Perubahan Iklim.
- Eggleton, H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: General Guidance for National Kanagua: IGES.
- Eory, V., C.F.E. Topp and D. Moran. 2013. Multiple pollutant cost-effectiveness of greenhouse gas mitigation measures in the UK agriculture. *Environmental Science and Policy* 27:55-67.
- Indonesia Second Natcom UNFCCC. 2010 Indonesia Second National Communication under The United Nations Framework Convention on Climate Change. Present and Future Generation. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
- [IEA] International Energy Agency. 2009. Methodology for calculating electricity and heat Marginal Abatement Cost Curves (MACC). World Energy Outlook. Paris: International Energy Agency. [www.iea.org/media/wesebsite/2009/WE2009.pdf](http://www.iea.org/media/wesebsite/2009/WE2009.pdf). (2 Juni 2013).
- Las I. 2007. Antisipasi perubahan iklim. *Tabloid Sinar Tani* edisi 14-20 November 2007.
- Levy, P.E., D.C. Mobbs, S.K. Jones, R. Milne, C. Campbell, and M.A. Sutton. 2007. Simulation of fluxes of greenhouse gases from European grasslands using the DNDC Model. *Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment* 121(11):186-192.
- MacLeod, M., D. Moran, E. Wall, V. Eory, A. McVittie, A. Barnes, R. Rees, C. Topp, G. Pajot, R. Matthews, P. Smith, and A. Moxey. 2010. Developing greenhouse gas marginal abatement cost curve for agricultural emission from crops and soil in the UK. *Journal of Agricultural System* 103(4):198-209.
- Mario, M.D. 2002. Peningkatan Produktivitas dan Stabilitas Tanah Gambut dengan Pemberian Tanah Mineral yang Diperkaya oleh Bahan Berkadar Besi Tinggi. Disertasi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- McKinsey & Company, 2008. Pathways to a low-carbon economy—global greenhouse gases (GHG) abatement costs curve. Version 1 of the Global Greenhouse Gas Abatement Costs Curve. <http://www.mckinsey.com> (4 September 2013)
- McKinsey & Company, 2009. Pathways to a low-carbon economy – global greenhouse gases (GHG) abatement costs curve. Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Costs Curve. <http://globalghgcostcurve.bymckinsey.com> (4 September 2013).
- Moran, D., M. MacLeod, E. Wall, V. Eory, A. McVittie,

- A. Barnes, R. Rees, C. Topp, G. Pajot, R. Matthews, P. Smith, and A. Moxey. 2010. Marginal abatement costs curves for UK agricultural greenhouse gas emissions. *Journal of Agricultural Economics*. doi: 10.1111/j.1477-9552.2010.00268.x.
- Moran, D., M. MacLeod, E. Wall, V. Eory, A. McVittie, A. Barnes, R. Rees, C. Topp, G. Pajot, R. Matthews, P. Smith, and A. Moxey. 2011. Developing carbon budgets for UK agriculture, land use, land-use change and forestry out to 2022. *Climate Change* 105(34):43-49.
- Salampak, 1999. Peningkatan Produktivitas Tanah Gambut yang Disawahkan dengan Pemberian Bahan Amelioran Tanah Mineral Berkadar Besi Tinggi. Disertasi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Sathaye, A. Jayant, and S. Meyers. 1995. Greenhouse gas mitigation: a guideline. <http://ies.lbl.gov/respubs/ggma/ghgcontents.html>. (7 November 2013).
- Setyanto, P., A.K. Makarim, A.M. Fagi, R. Wassmann, and L.V. Buendia. 2000. Crop management affecting methane emission from irrigated and rainfed rice in central Java. *Journal of Nutrient Cycling Ecosystem* 58:85-93.
- Setyanto, P., A.B. Rosenani, and C.I. Fauziah. 2002. Influence of soil properties on CH<sub>4</sub> emission from rice field. *Indonesian Journal of Agricultural Science* 4(1):29-43.
- Setyanto, P., A.B. Rosenani, R. Boer, C.I. Fauziah, and M.J. Khanif. 2005. The effect of rice cultivars on methane emission from irrigated rice field. *Indonesian Journal of Agricultural Science* 5 (1):20-31.
- Setyanto, P., M. Ariani, dan A.K. Makarim. 2010. Reduksi emisi metana melalui varietas padi. hlm. 231-245. Dalam: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Prosiding Seminar dan Lokakarya Nasional Inovasi Sumberdaya Lahan Pertanian. Buku I. Bogor: BBSDLP.
- Setyanto, P. and R. Kartikawati. 2011. Integrated rice crop management for low emittance of methane. *Indonesian Journal of Agriculture Sciences* 4(1):8-16.
- Smith P, D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H. Janzen, P. Kumar, B. McCarl, S. Ogle, F. O'mara, C. Rice, B. Scholes, O. Sirotenko, M. Howden, T. McAllister, G. Pan, V. Romanenkov, U. Schneider, and S. Towprayoon. 2006. Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118: 6-28. doi: 10.1016/j.agee.2006.06.006
- Smith P, D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H. Janzen, P. Kumar, B. McCarl, S. Ogle, F. O'mara, C. Rice, B. Scholes, O. Sirotenko, M. Howden, T. McAllister, G. Pan, V. Romanenkov, U. Schneider, S. Towprayoon, W. Martin, and J. Smith. 2008. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society. Biological Sciences* 363: 789-813. Doi: 10.1098/rstb.2007.2184
- Subiksa, I.G.M., K. Nugroho, M. Sholeh, dan I.P.G. Widjaja Adhi. 1997. The effect of ameliorants on the chemical properties and productivity of peat soil. In: Rieley and Page (Eds). pp:321-326. *Biodiversity and Sustainability of Tropical Peatlands*. Tresait: Samara Publishing Ltd.
- Susilawati, H.L., M. Ariani, R. Kartikawati, dan P. Setyanto. 2011. Ameliorasi tanah gambut meningkatkan produksi padi dan menekan emisi gas rumah kaca. *Sinar Tani Edisi* 6-12 Maret 2011 No 3400 Tahun XLI.
- United Nation Environmental Protection Agency. 2005. Greenhouse gas mitigation potential in US forestry and agriculture. EPA 430-R-05-006. Washington, D.C.: US Environmental Protection Agency.
- Verge XPC, C.R. De Kimpe, and R.L. Desjardins. 2007. Agricultural production, greenhouse gas emissions and mitigation potential. *Agricultural and Forest Meteorology* 142:255-269. doi:10.1016/j.agrformet.2006.06.011.
- Vermont, B. and S. DeCara. 2010. How costly is mitigation of non-CO<sub>2</sub> greenhouse gas emission from agriculture? A meta analysis. *Ecological Economics* 69(7):1373-1386.
- Weiske, A. 2005. Survey of technical and management-based mitigation measures in agriculture. Impact of Environmental Agreements on the Common Agricultural Policy (MEACAP) WP3 07a. London: Institute of European Environmental Policy.
- Weiske, A. 2006. Selection and specification of technical and management-based measures in agricultural production for modeling: Impact of Environmental Agreements on the Common Agricultural Policy (MEACAP) WP3 D10a. London: Institute of European Environmental Policy.

Lampiran 1. Data aktivitas subsektor pertanian Kabupaten Grobogan dan Tanjung Jabung Timur, 2006-2011

Tahun	Luas panen sawah (ha)		Pupuk N di lahan sawah (t N/th)		Pupuk N di lahan kering (t N/th)		Pupuk urea t/th	
	Grobogan	Tanjabtim	Grobogan	Tanjabtim	Grobogan	Tanjabtim	Grobogan	Tanjabtim
2006	100.707	32.775	11.653	3.675	31.746	24.514	80.102	55.322
2007	99.933	34.043	11.895	3.740	34.980	28.508	77.842	62.354
2008	101.475	33.769	12.964	3.848	39.969	27.465	79.930	60.424
2009	102.675	32.571	13.553	3.788	34.908	33.968	84.042	73.780
2010	107.915	29.848	14.640	3.566	27.607	36.896	74.233	79.215
2011	108.915	29.594	16.627	3.419	30.799	42.584	78.408	91.017

Lampiran 2. Data aktivitas subsektor peternakan Kabupaten Grobogan, 2006-2011

Jenis ternak	Populasi ternak (ekor)					
	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Sapi perah	388	332	335	335	336	426
Sapi potong	105.154	105.549	137.322	137.843	160.838	212.409
Kerbau	1.937	1.206	2.476	2.545	2.536	2.581
Kuda	722	589	488	494	489	484
Kambing	99.969	111.928	105.252	104.703	115.394	111.839
Babi			215	215	125	139
Domba	15.625	16.634	15.422	14.936	18.938	29.528
Ayam buras	940.531	1.420.824	1.204.524	1.146.639	1.115.794	985.995
Ayam ras (petelur)	36.450	42.000	42.000	52.800	52.800	40.466
Ayam ras (pedaging)	1.064.800	300.000	264.500	278.000	297.097	200.965
Itik	94.872	102.102	64.617	103.041	102.945	83.412
Itik	84.489	92.697	64.617	92.650	92.650	83.412
Itik manila	10.383	9.405		10.391	10.295	
Angsa	2.312	5.317	4.785	5.331	5.462	2.775
Burung puyuh	69.608	48.377	57.173	55.483	59.233	47.596
Kelinci	10.869	12.901	12.587	15.170	15.236	12.776

Lampiran 3. Data aktivitas subsektor peternakan Kabupaten Tanjung Jabung Timur, 2006-2011

Jenis ternak	Populasi ternak (ekor)					
	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Sapi	8.746	9.742	10.225	11.458	13.327	13.627
Kerbau	449	451	458	530	178	197
Kambing	13.497	14.444	15.142	24.080	24.156	32.378
Domba	118	99	123	118	104	115
Ayam kampung/buras	237.136	237.942	239.798	387.270	416.146	621.988
Ayam broiler	56.980	58.360	22.480	33.050	127.931	112.161
Itik	27.737	30.186	31.460	28.303	29.744	32.860