



METODE PERHITUNGAN MITIGASI DAN SERAPAN GAS RUMAH KACA SEKTOR PERTANIAN

Editor: Helena Lina Susilawati
Ai Dariah
Fahmuddin Agus



**BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PERTANIAN
KEMENTERIAN PERTANIAN
JAKARTA 2020**

Metode Perhitungan Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Pertanian

Helena Lina Susilawati, Ai Dariah, dan Fahmuddin Agus
(EDITOR)

**BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PERTANIAN
KEMENTERIAN PERTANIAN
JAKARTA
2020**

Metode Perhitungan Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Pertanian

Penyusun:

Helena Lina Susilawati, Anggri Hervani, Ali Pramono, Aprian Aji Santoso, Adha Fatma Siregar, Nourma Al-Viandari, Ai Dariah, Maswar, Ratri Ariani, Yeni Widiawati, Zuratih, M. Ikhsan Shiddieqy, Agustin Herliatika, Sarah, Miranti Ariani, Fahmuddin Agus

ISBN:

978-602-1327-17-3 Jumlah halaman: vi; 52

Perbanyak buku ini dalam bentuk elektronik maupun cetak, sebagian atau seluruhnya, untuk tujuan non-komersial dan keperluan pendidikan diijinkan tanpa batas, asalkan tidak merubah isi buku dan dengan mencantumkan referensinya sebagai berikut:

Susilawati HL, Hervani A, Pramono A, Santoso AA, Siregar AF, Al-Viandari N, Dariah A, Maswar, Ariani R, Widiawati Y, Zuratih, Asidiqi MI, Herliatika A, Sarah, Ariani M, Agus F. 2020. Metode Perhitungan Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Jakarta.

Kontak:

Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian

Jl. Tentara Pelajar No. 12, Cimanggu, Bogor 16114

Website : <http://bbsdpl.litbang.pertanian.go.id/>

E-mail : sekretariatbbsdpl@yahoo.com

Telp : +62 251 8323012

Fax : +62 251 8311256

Cover depan:

Dari kiri atas ke bawah: Pengambilan contoh gas rumah kaca dari kebun kelapa sawit di tanah gambut Kabupaten Siak, Riau. (Foto: Maswar); Ternak sapi yang dikandangkan di Kebun Percobaan Jakenan (Foto: Yono); Pencacahan hijauan pakan ternak (Foto: Yono), Pengambilan contoh gas rumah kaca dari lahan sawah di KP Jakenan (Foto: Ali Pramono); Pengelolaan kotoran ternak melalui biodigester (Foto: Yono); Pengolahan lahan (Foto: Yono) dan Pembuatan biochar dari sekam padi (Foto: Yono);

Design dan Layout:

Yono

ISBN 978-602-1327-17-3



KATA PENGANTAR

Buku Metode Perhitungan Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Pertanian merupakan salah satu output dari kegiatan Pengelolaan Sumberdaya Lahan Pertanian Mendukung Mitigasi Perubahan Iklim dengan sumber Dana DIPA-BBSDLP tahun 2020. Tim penyusun Metode Perhitungan Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Pertanian merupakan para peneliti Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, khususnya dari BBSDLP dan Puslitbang Peternakan. Pendekatan metode perhitungan didasarkan pada IPCC-Guideline 2019 dan hasil-hasil penelitian khususnya yang telah dilakukan para peneliti lingkup Badan Litbang Pertanian, serta hasil studi literatur.

Metode yang diuraikan dalam buku ini diprioritaskan pada berbagai aksi yang telah dilakukan oleh Kementerian Pertanian, yang data aktivitasnya berpeluang tersedia. Selanjutnya metodologi yang sudah diverifikasi oleh Komisi Metodologi akan digunakan sebagai metode untuk menghitung capaian penurunan emisi sebagai dampak aksi mitigasi sektor pertanian, baik di tingkat pusat maupun daerah, dengan pemrakarsa pemerintah maupun swasta atau lembaga swadaya masyarakat.

Penghargaan dan ucapan terima kasih kami sampaikan kepada semua pihak yang telah terlibat dalam penyusunan buku ini. Semoga buku ini bisa dimanfaatkan oleh semua pihak dalam rangka mendukung mitigasi emisi gas rumah kaca khususnya di sektor pertanian. Buku ini akan terus diperbaharui sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan berkenaan dengan emisi gas rumah kaca pada sektor pertanian.

Kepala Balai Besar
Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian,



Dr. Husnain, MP, M.Sc.

KATA SAMBUTAN

Sektor pertanian merupakan salah satu sektor yang berkomitmen untuk berkontribusi dalam memitigasi (menurunkan) emisi gas rumah kaca (GRK). Terdapat bermacam program nasional maupun daerah dalam peningkatan produksi pangan sekaligus berpotensi menurunkan emisi GRK. Kegiatan perhitungan mitigasi emisi GRK, baik nasional maupun daerah, dari sektor pertanian yang dilakukan setiap tahunnya harus memenuhi prinsip *transparency, accuracy, completeness, comparability, and consistency* (TACCC) sehingga diperlukan metode yang sah untuk perhitungan.

Sebagai salah satu kementerian teknis yang bertanggungjawab dalam penyediaan data sampai perhitungan emisi GRK dari sektor pertanian maka diperlukan pemahaman yang sama tentang metode perhitungan emisi GRK sektor pertanian.

Didalam buku ini terdapat beberapa aksi yang berpotensi memitigasi emisi GRK serta bagaimana cara memperkirakan jumlah penurunan emisi gas rumah kaca tersebut. Semua aksi tersebut perlu dijaga sinerginya dengan adaptasi. Artinya, setiap aksi mitigasi yang akan dijalankan harus mendukung program ketahanan pangan dan harus mampu meningkatkan ketangguhan (*resilience*) sektor pertanian menghadapi perubahan iklim. Dengan adanya buku ini diharapkan juga akan ada konsistensi dalam perhitungan mitigasi emisi GRK pada sektor pertanian.

Kepala Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian,



Dr. Fadjry Djufry

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iv
KATA SAMBUTAN.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
1. PENDAHULUAN	1
2. MITIGASI EMISI CH ₄ DARI LAHAN SAWAH	3
3. MITIGASI EMISI N ₂ O MELALUI PEMUPUKAN BERIMBANG PADA TANAMAN PADI	11
4. PENINGKATAN CADANGAN KARBON TANAH MELALUI PENGGUNAAN PUPUK ORGANIK SEBAGAI DAMPAK PENGGUNAAN UPPO.....	15
5. PENINGKATAN CADANGAN KARBON TANAH MELALUI OLAH TANAH KONSERVASI DAN PENGELOLAAN BAHAN ORGANIK	19
6. PENINGKATAN CADANGAN KARBON TANAH MELALUI PENGGUNAAN BIOCHAR	25
7. MITIGASI EMISI GAS RUMAH KACA MELALUI PERTANIAN TANPA BAKAR	29
8. MITIGASI EMISI CH ₄ ENTERIK MELALUI PERBAIKAN KUALITAS PAKAN TERNAK.....	35
9. MITIGASI EMISI CH ₄ MELALUI PEMANFAATAN BIOGAS KOTORAN TERNAK .	41
10. MITIGASI EMISI CO ₂ DENGAN MENAIKKAN MUKA AIR TANAH GAMBUT	47
DAFTAR BACAAN	50

1. PENDAHULUAN

Indonesia menjadi bagian dalam *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) atau Kerangka Kerja PBB untuk Konvensi Perubahan Iklim dan berkomitmen dalam penurunan emisi gas rumah kaca (GRK) yang didokumentasikan dalam *Nationally Determined Contribution* (NDC) Republik Indonesia dengan sasaran *unconditional* sebesar 29% dan sasaran *conditional* sebesar 41% dibandingkan skenario *business as usual* (BAU) pada tahun 2030. Untuk itu diperlukan pelaporan inventarisasi emisi GRK nasional berdasarkan sumber (*source*) dan rosot (*sink*) secara periodik menggunakan metodologi yang dapat diperbandingkan dan disetujui oleh para pihak (Boer 2009). Metodologi yang digunakan pada perhitungan emisi dan penurunannya (mitigasi) mengacu pada panduan *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC Guidelines 2006; 2019).

Komitmen tersebut tertuang dalam Peraturan Presiden (Perpres) No 61 tahun 2011 mengenai Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi GRK, yang berisi tentang pelaksanaan berbagai kegiatan yang secara langsung dan tidak langsung menurunkan emisi GRK nasional, sesuai dengan target pembangunan nasional. Pelaporan status emisi GRK dan penurunannya yang dilaporkan ke UNFCCC diwajibkan memenuhi kaidah *Clarity, Transparency, Understanding* (CTU) untuk memonitor dan mengevaluasi perkembangan dari waktu ke waktu menuju pencapaian target NDC 2030. Selain itu, pelaporan tersebut juga digunakan untuk pengembangan kebijakan dan evaluasi pencapaian aksi mitigasi penurunan emisi GRK nasional.

Didalam buku ini disampaikan pendekatan dan metode yang dikembangkan oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian dalam penghimpunan data dan analisis data untuk berbagai macam aksi penurunan emisi GRK dengan mengacu pada IPCC Guidelines dan beberapa pendekatan spesifik negara sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan, sehingga prosesnya dapat dilakukan secara transparan, akurat, lengkap, konsisten, dan dapat diperbandingkan (*transparent, accurate, complete, consistent and comparable*/TACCC).

Pendekatan dan metode yang sama dalam proses perhitungan sampai pada pelaporan diharapkan dapat menjamin konsistensi hasil dari setiap perhitungan aksi yang dilakukan pada sektor pertanian, meskipun hal ini dilakukan oleh pihak yang berbeda. Metode yang diuraikan di dalam buku ini adalah penurunan emisi dari lahan sawah; pemupukan, terutama pupuk nitrogen; peningkatan cadangan karbon di dalam tanah melalui penggunaan pupuk organik, olah tanah minimum, dan penggunaan biochar; penurunan emisi melalui sistem pertanian tanpa bakar; penurunan emisi dari fermentasi enterik ternak ruminansia; pemanfaatan biogas kotoran ternak; dan dari pengelolaan lahan gambut yang didrainase. Buku ini akan diperbaharui sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan terkait perhitungan emisi gas rumah kaca sektor pertanian.

2. MITIGASI EMISI CH₄ DARI LAHAN SAWAH

A. Informasi Umum	
Judul metodologi	: Penurunan Emisi CH ₄ dari Lahan Sawah
Pengusul	: Anggri Hervani, Helena Lina Susilawati, Ali Pramono, Aprian Aji Santoso, Miranti Ariani (Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian)
Kategori	: Sektor Pertanian
B. Aksi Mitigasi/Proyek	
Deskripsi aksi mitigasi dalam metodologi	: <p>Metana (CH₄) dihasilkan dari proses dekomposisi bahan organik secara anaerobik oleh bakteri metanogen. Pengelolaan lahan sawah dengan pengairan tergenang berkontribusi 89% dari total emisi CH₄ dari sektor pertanian (Linguist <i>et al.</i>, 2012). Kondisi tergenang merupakan kondisi ideal bagi berlangsungnya dekomposisi anaerobik bahan organik di lahan sawah. Lebih dari 90% CH₄ diemisikan melalui jaringan aerenkima tanaman padi. Eksudat akar dari tanaman padi yang berasal dari sisa tanaman yang mati dan terdekomposisi merupakan sumber energi bagi bakteri metanogen dalam menghasilkan CH₄.</p> <p>Perbaikan budidaya padi sawah khususnya pengaturan air secara berselang atau macak-macak dan penggunaan varietas padi unggul yang rendah emisi CH₄ dapat mengurangi emisi CH₄ dari lahan sawah, karena pengairan berselang atau macak-macak mampu menghadirkan oksigen di rhizosfer sebagai sumber energi bagi bakteri metanotrop untuk mereduksi CH₄. Penggunaan varietas padi unggul yang rendah emisi mampu meminimalkan eksudat akar sebagai bahan untuk menghasilkan CH₄.</p>
Kriteria kelayakan penerapan metodologi	: <ol style="list-style-type: none"> 1. Sistem budidaya padi sawah, terutama yang menerapkan metode pengairan konvensional 2. Lahan sawah tanah hujan di mana diperlukan penghematan air untuk dapat memperluas areal yang dapat diairi 3. Penggunaan varietas padi unggul yang rendah emisi yang sekaligus berpotensi hasil padi yang tinggi

Sumber dan jenis emisi GRK	Sumber Emisi GRK	Jenis Emisi GRK	Keterangan
	<ul style="list-style-type: none"> - Dekomposisi bahan organik di lahan padi sawah dengan pengairan tergenang merupakan kondisi optimum bakteri metanogen memproduksi CH₄ - Varietas yang mempunyai umur panjang dan menghasilkan eksudat akar yang tinggi menghasilkan emisi CH₄ lebih tinggi 	CH ₄	Emisi <i>baseline</i>

C. Perhitungan Emisi *Baseline*





Deskripsi <i>baseline</i>	: Faktor emisi CH ₄ harian sebesar 1,61 kg CH ₄ /ha/hari dengan asumsi tidak digenangi selama 180 hari sebelum tanam, dan penggenangan padi selama musim tanam padi tanpa penambahan bahan organik
Cara perhitungan emisi <i>baseline</i>	$CH_4\text{ padi} = \sum_{i,j,k} (FE_{i,j,k} \times t_{i,j,k} \times A_{i,j,k} \times 10^{-6})$ <p>(Persamaan 5.1 IPCC2019)</p> $FE_{i,j,k} = FE_c \times SF_w \times SF_p \times SF_o \times SF_s \times SF_r$ <p>(Persamaan 5.2 IPCC 2019)</p> <p>Dimana:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. CH₄ padi : emisi CH₄ dari lahan sawah (Gg CH₄ tahun⁻¹) 2. FE_{ijk} : faktor emisi dari pada kondisi tertentu (kg CH₄ ha⁻¹ hari⁻¹) 3. T_{ijk} : periode tanam pada saat kondisi tertentu (hari) 4. A_{ijk} : luas panen lahan sawah kondisi tertentu (ha tahun⁻¹) 5. i, j, dan k: merepresentasikan kondisi lahan dengan ekosistem berbeda, kondisi pengaturan air, jenis dan tipe bahan organik dan kondisi lainnya yang mempengaruhi terbentuknya emisi CH₄ 6. FE_c : Faktor emisi baseline untuk padi sawah dengan irigasi terus-menerus dan tanpa pengembalian bahan organik, menggunakan Tier 2 yaitu 1,61 kg ha⁻¹ hari⁻¹ 7. SF_w (Faktor skala berbagai tipe pengairan). Faktor skala pengairan irigasi dengan penggenangan terus menerus sebesar 1 (satu) 8. SF_p (Faktor skala rejim air sebelum tanam) IPCC 2019 membagi faktor skala rejim air sebelum tanam berdasarkan jumlah hari dimana lahan sawah tidak tergenang air.

Tabel 1. Faktor skala berbagai tipe pengairan (SFw)

Rejim air		Kondisi umum		Kondisi Spesifik		SFw berdasarkan riset di Indonesia
		Faktor skala (SFw)	Kisaran	Faktor skala (SFw)	Kisaran	
Dataran tinggi		0	-	0	-	
Irigasi	Penggenangan terus menerus	0,60	0,44-0,78	1,00	0,73-1,27	1,00
	Satu periode pengeringan			0,71	0,53-0,94	0,71
	Beberapa kali periode pengeringan			0,55	0,41-0,72	0,46
Tadah Hujan dan Air Dalam	Reguler tadah hujan	0,45	0,32-0,62	0,54	0,39-0,74	0,49
	Rawan Kekeringan			0,16	0,11-0,24	
	Air dalam	0,06	0,03-0,12	0,06	0,03-0,12	

diekstraksi dari Tabel 5.12 dalam IPCC 2019

Tabel 2. Faktor skala rejim air sebelum tanam (SFp)

Kondisi air irigasi sebelum tanam padi (skema pengairan disajikan dalam gambar)	Kondisi umum		Kondisi spesifik	
	Faktor skala (SFp)	Kisaran	Faktor skala (SFp)	Kisaran
Tidak tergenang sebelum tanam <180 hari 	1,22	1,08-1,37	1,00	0,88-1,12
Tidak tergenang sebelum tanam >180 hari 			0,89	0,80-0,99
Tergenang sebelum tanam (>30 hari) ^{a,b} 			2,41	2,13-2,73
Tidak tergenang sebelum tanam >365 hari ^c 			0,59	0,41-0,84

^a tergenang kurang dari 30 hari sebelum tanam tidak termasuk dalam SFp

^b untuk kalkulasi emisi sebelum tanam (akan ada kelengkapan lanjutan)

^c mengacu pada "tanaman dataran tinggi – rotasi padi" atau diikuti tanpa penggenangan ditahun sebelumnya.

diekstraksi dari Tabel 5.13 dalam IPCC 2019

9. Faktor skala untuk penambahan bahan (SFo). Semua bahan organik baik dari kotoran hewan maupun kompos yang ditambahkan ke sawah perlu dihitung emisinya menggunakan IPCC Guideline.

$$SFo = (1 + \sum_i ROAi \times CFOAi)^{0,59}$$

Tabel 3. Faktor skala untuk penambahan bahan organik (SFo)

Penambahan bahan organik	Faktor konversi (CFOA)	
	IPCC 2006	IPCC 2019
Jerami diaplikasikan <30 hari sebelum tanam	1,00	1,00
Jerami diaplikasikan >30 hari sebelum tanam	0,29	0,19
Kompos	0,05	0,17
Pupuk kandang	0,14	0,21
Pupuk hijau	0,50	0,45

diekstraksi dari Tabel 5.14 dalam IPCC 2006 dan 2019

10. Lama pertanaman padi permusim mulai dari tanam sampai panen (t). Dalam IPCC 2019 umur padi per periode tanam berdasarkan pembagian kawasan meliputi Afrika, Asia Timur, Asia Tenggara, Eropa, Amerika Utara dan Amerika Selatan.

Tabel 4. Lama pertanaman padi permusim mulai dari tanam sampai panen (t)

Dunia		Spesifik kawasan		
Umur Tanaman (hari)	Rentang kesalahan (hari)	Wilayah	Umur Tanaman (hari)	Rentang kesalahan (hari)
113	74-152	Asia Tenggara	102	78-150

diekstraksi dari Tabel 5.11A dalam IPCC 2019

Untuk di Indoensia, karena sudah menggunakan spesifik varietas maka lama pertanaman padi permusim mulai dari tanam sampai panen menggunakan umur tanaman padi yang terdapat di Tabel 5. Varietas yang digunakan sebagai base line adalah varietas IR 64 dengan umur tanam 110 hari.

11. Faktor skala untuk jenis tanah (SFs) adalah 1.
 12. SFr (Faktor skala untuk varietas) digunakan berdasarkan jenis varietas yang ditanam. Untuk varietas IR64 sebagai default adalah sebesar 1 dengan asumsi bahwa varietas ini merupakan varietas yang sudah ditanam sejak lama dan disukai oleh petani dan konsumen.

Tabel 5. Faktor skala untuk varietas (SFr)

Varietas	Umur (hari)	Rata rata hasil (ton/ha)	Faktor skala	Varietas	Umur (hari)	Rata rata hasil (ton/ha)	Faktor skala
Gilirang	120	6,00	2,46	IR 42	140	5,00	1,33
Fatmawati	110	6,00	1,81	Rokan	110	6,00	1,52
Tukad Unda	110	4,00	1,21	Inpari 1	108	7,32	1,34
IR 72	120	5,00	1,10	Inpari 6 Jete	116	6,82	1,34
Cisadane	135	5,00	1,01	Inpari 9 Elo	125	6,41	1,77
IR 64	110	5,00	1,00	Aromatik	115	-	1,35
Margasari	120	3,50	0,93	Batang Anai	110	6,40	0,76
Cisantana	115	5,00	0,92	Muncul	125	-	0,63
Tukad Petanu	110	4,00	0,78	Mendawak	110	3,98	1,26
IR 36	115	4,50	0,73	BP 360	110	5,39	1,06
Memberamo	110	6,50	0,72	BP 205	110	-	0,97
Dodokan	115	5,10	0,72	Hipa 4	116	8,00	0,98
Way Apoburu	105	5,50	0,72	Hipa 6	110	7,40	1,08
Tukad Balian	110	4,00	0,57	Hipa 5 Ceva	110	7,30	1,60
Cisanggarung	110	5,50	0,57	IPB 3S	110	7,00	0,95
Ciherang	115	6,00	0,57	Inpari 13	99	6,60	0,89
Limboto	110	4,50	0,49	Inpari 18	102	6,70	0,90
Wayarem	110	3,50	0,45	Inpari 31	119	6,00	1,05
Maros	118	6,30	0,37	Inpari 32	120	6,30	1,22
Mekongga	120	6,00	1,16	Inpari 33	107	6,60	0,95

D. Perhitungan Emisi Proyek

Sumber emisi <i>leakage</i>	:	Tidak ada
Cara perhitungan emisi aksi mitigasi	:	<p>Langkah 1. Menghitung emisi CH₄ sebelum aksi mitigasi dengan rumus:</p> $\text{CH}_4 \text{ padi} = \sum_{i,j,k} (\text{FE}_{i,j,k} \times t_{i,j,k} \times A_{i,j,k} \times 10^{-6})$ <p>(Persamaan 5.1 IPCC 2019)</p> <p>Menggunakan luasan panen padi dengan irigasi terus-menerus dan tanpa pengembalian bahan organik</p> <p>Langkah 2. Emisi setelah adanya aksi mitigasi dari lahan sawah</p> <p>Perhitungan sama dengan langkah 1 tetapi menggunakan luasan panen padi yang mengaplikasikan pengairan berselang dan macak-macak serta penggunaan varietas padi unggul yang rendah emisi</p>

Contoh perhitungan:

Provinsi A dengan total luas panen sawah 1000 ha dimana 200 ha merupakan sawah irigasi dengan penerapan pengairan berselang menggunakan varietas Ciherang (umur tanaman 115 hari) sedangkan 800 ha masih menggunakan pengairan tergenang terus menerus dengan varietas IR64 (umur tanaman 110 hari). Berapa emisi aktual lahan sawah di provinsi A tersebut?

Pendekatan yang dilakukan:

1. Faktor emisi dari lahan sawah tergenang di Indonesia adalah 1,61 kg ha⁻¹ hari⁻¹
2. Faktor konversi CH₄ ke CO₂ adalah 28 (IPCC 2014)
3. Faktor koreksi pengairan adalah 1 untuk pengairan tergenang terus menerus; lahan sawah tadah hujan menggunakan faktor skala 0,49 (Tabel 1.); pengairan macak-macak menggunakan faktor skala 0,71 (Tabel 1.); dan pengairan berselang menggunakan faktor skala 0,46 (Tabel 1.).
4. Asumsi penggunaan pupuk kandang 2 ton/ha (dengan faktor konversi 0,14) (Tabel 3.) dan pencampuran jerami 1 ton/ha di lahan selama lebih dari 30 hari sebelum olah tanah (dengan faktor konversi 0,29) (Tabel 3.) menghasilkan faktor skala penggunaan pupuk organik di lahan sawah sebesar 1,30 (Tabel 3.).
5. Lama periode tanam padi IR64 adalah 110 dengan faktor skala 1 (Tabel 5.), untuk periode tanam Ciherang adalah 115 dengan faktor skala 0,57 (Tabel 5.)
6. Water regime sebelum waktu tanam, <180 hari = 1 (Tabel 2.).
7. Faktor skala tanah = 1

Langkah 1. Menghitung emisi CH₄ sebelum aksi mitigasi (*baseline*/dari luas total padi sawah) sehingga perhitungannya menjadi:

$$= 1,61 \times 1 \times 1,30 \times 110 \times 1000 \text{ ha} \times 10^{-6}$$

$$= 0,230 \text{ Gg CH}_4 \text{ tahun}^{-1}$$

Kemudian di konversi satuannya dari CH₄ ke CO₂ dan dari Gg ke ton

$$= 0,230 \times 28 \times 1000 \text{ ton CO}_2\text{-e}$$

$$= 6.440 \text{ ton CO}_2\text{-e}$$

Langkah 2. Emisi setelah adanya aksi mitigasi dari lahan sawah (**a+b**)
 Luasan mengaplikasikan pengairan tergenang dengan penggunaan varietas IR64**(a)**

$$= 1,61 \times 1 \times 1 \times 1,30 \times 110 \times 800 \text{ ha} \times 10^{-6}$$

$$= 0,184 \text{ Gg CH}_4 \text{ tahun}^{-1} \times 28 \times 1000 \text{ ton CO}_2\text{-e}$$

$$= 5.152 \text{ ton CO}_2\text{-e}$$

Luasan mengaplikasikan pengairan berselang dengan penggunaan varietas Ciherang**(b)**

$$= 1,61 \times 0,46 \times 0,57 \times 1,30 \times 115 \times 200 \text{ ha} \times 10^{-6}$$

$$= 0,013 \text{ Gg CH}_4 \text{ tahun}^{-1} \times 28 \times 1000 \text{ ton CO}_2\text{-e}$$

$$= 364 \text{ ton CO}_2\text{-e}$$

E. Perhitungan Penurunan Emisi

Reduksi emisi aksi mitigasi	:	<p>Penurunan emisi = Langkah 1 – Langkah 2 (a+b) Dikonversi satuannya dari CH₄ ke CO₂ dan dari Gg ke ton</p> <p>Dari contoh perhitungan diatas maka: Langkah 3. Menghitung penurunan emisi = 6.440 – (5.152 + 364) ton CO₂-e = 924 ton CO₂-e</p>
-----------------------------	---	--

F. Rencana Pemantauan

Parameter yang dimonitor	:	<p>Data aktifitas yang digunakan untuk menghitung emisi metan dari lahan sawah:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Luas panen padi sawah 2. Dosis pemberian bahan organik 3. Indeks pertanaman (IP) 4. Umur tanaman selama satu periode tanam/satu musim tanam 5. Luas sawah irigasi dan non-irigasi
Parameter tetap (<i>ex ante</i>)	:	

G. Daftar Singkatan

CH ₄ padi	=	Emisi gas metana dari lahan sawah (Gg CH ₄ /tahun) GRK Gas rumah kaca
PE	=	Penurunan Emisi
A _{i,j,k}	=	Luas panen lahan sawah saat kondisi tertentu (hari)
t _{i,j,k}	=	Periode tanam pada saat kondisi tertentu (hari)
i _{j,k}	=	Merepresentasikan kondisi lahan dengan ekosistem berbeda, kondisi pengaturan air, jenis dan tipe bahan organik dan kondisi lainnya yang mempengaruhi terbentuknya emisi CH ₄
Fe _i	=	Faktor emisi harian yang terkoreksi untuk luas panen tertentu, kg CH ₄ /hari
Fe _c	=	Faktor emisi baseline untuk padi sawah dengan irigasi terus-menerus dan tanpa pengembalian bahan organik
SF _w	=	Faktor skala yang menjelaskan perbedaan rejim air selama periode budi daya
SF _r	=	Faktor skala untuk varietas padi sawah dan lain lain
SF _s	=	Faktor skala untuk jenis tanah dan lain lain
SF _p	=	Faktor skala yang menjelaskan perbedaan rejim air sebelum periode budidaya
SF _o	=	Faktor skala yang menjelaskan jenis dan jumlah pengembalian bahan organik yang diterapkan pada periode budidaya padi sawah
ROA _i	=	Dosis bahan organik yang diaplikasikan ke sawah dalam bentuk

CFOA_i = berat kering untuk jerami dan berat basah untuk yang lainnya dengan satuan ton/ha
= Faktor konversi terhadap bahan organik yang ditambahkan

H. Daftar Istilah

- Pengairan macak-maca kadalah pengairan dengan ketinggian air 1-2 cm diatas permukaan tanah
- Intermittent/berselang adalah pengairan yang mengatur kondisi lahan tergenang dan relatif kering secara bergantian

3. MITIGASI EMISI N₂O MELALUI PEMUPUKAN BERIMBANG PADA TANAMAN PADI

A. Informasi Umum	
Judul Metodologi	: Mitigasi emisi N ₂ O melalui pemupukan berimbang pada tanaman padi
Pengusul	: Adha Fatma Siregar, Nourma Al-Viandari, Ali Pramono, Anggri Hervani (Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian)
Kategori	: Sektor Pertanian
B. Aksi Mitigasi/Proyek	
Deskripsi aksi mitigasi dalam metodologi	: Efisiensi pemupukan nitrogen (N) masih rendah disebabkan oleh kehilangan utama N dari sistem tanah-tanaman yaitu volatilisasi ammonia, denitrifikasi, aliran permukaan, dan pencucian (De Datta <i>et al.</i> 1991; Ladha <i>et al.</i> 1997). Kehilangan N dari urea dilaporkan berkisar 60-80% pada tanaman padi dan 40-60% pada palawija (De Datta, 1987). Dinitrogen oksida (N ₂ O) merupakan produk antara dari proses nitrifikasi dan denitrifikasi di dalam tanah. Nitrifikasi adalah oksidasi amonium menjadi nitrat oleh mikroorganisme secara aerobik, sedangkan denitrifikasi adalah reduksi nitrat menjadi gas N ₂ oleh mikroorganisme secara anaerobik. Pemberian pupuk pada tanaman padi berdasarkan rekomendasi pemupukan seperti yang tercantum dalam Permentan No. 40 tahun 2007 merupakan salah satu aksi yang dapat menekan emisi N ₂ O dari lahan. Pengelolaan pupuk N (sintetis maupun organik) yang berimbang dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, mengurangi kehilangan N dalam tanah baik melalui pencucian, penguapan, sekaligus menekan emisi N ₂ O.
Kriteria kelayakan penerapan metodologi	: <ol style="list-style-type: none"> 1. Teknologi pemupukan berimbang sesuai dengan kebutuhan hara tanah 2. Penggunaan alat bantu (bagan warna daun, perangkat uji tanah) 3. Perhitungan menggunakan pendekatan perhitungan pemupukan berimbang berdasarkan rekomendasi Permentan No.40 Th 2007

Sumber dan jenis emisi GRK	:	Sumber Emisi GRK	Jenis Emisi GRK	Keterangan
		Penggunaan pupuk N secara konvensional yang sering berlebihan pada sawah intensif	N ₂ O	Emisi <i>baseline</i>
C. Perhitungan Emisi <i>Baseline</i>				
Deskripsi <i>baseline</i>	:	Peningkatan N-tersedia dalam tanah meningkatkan proses nitrifikasi dan denitrifikasi yang kemudian menghasilkan emisi N ₂ O. Peningkatan N-tersedia di dalam tanah terjadi melalui penambahan pupuk N baik pupuk sintetis maupun organik.		
Cara perhitungan emisi <i>baseline</i>	:	Emisi baseline dari pupuk = Emisi N ₂ O langsung dari tanah yang dikelola + Emisi N ₂ O tidak langsung dari tanah yang dikelola + Emisi CO ₂ dari pemupukan urea		
D. Perhitungan Emisi Proyek				
Sumber emisi <i>leakage</i>	:	Tidak ada		
Cara perhitungan penurunan emisi	:	Emisi dari pemupukan berimbang (biasanya dosis urea lebih rendah)= Emisi N ₂ O langsung dari tanah yang dikelola + Emisi N ₂ O tidak langsung dari tanah yang dikelola + Emisi CO ₂ dari pemupukan urea Dengan asumsi bahwa: <ol style="list-style-type: none"> Perhitungan menggunakan asumsi 50% luas panen padi sawah yang menerapkan pemupukan berimbang. Rekomendasi pupuk yang diberikan sekitar 250 kg N ha¹ dan pemberian pupuk N konvensional pada sawah intensif rata-rata 280 kg N ha⁻¹ sehingga selisih (pemborosan) pemupukan sejumlah 30 kg ha⁻¹ 		
E. Perhitungan Penurunan Emisi				
Cara perhitungan penurunan emisi	:	Penurunan emisi dari pupuk berimbang = emisi baseline dari pupuk (CO ₂ -e) – emisi dari pemupukan berimbang Contoh perhitungan: Diketahui daerah A mempunyai luas panen padi sawah sebesar 10.677.887 ha dengan luasan area yang telah menggunakan pemupukan berimbang sebesar 50% dari luasan daerah A. Takaran rekomendasi pemupukan N daerah A sebesar 250 kg N ha ⁻¹ . Diketahui pemberian pupuk umumnya daerah tersebut adalah yaitu 280 kg N/ha. Berapa penurunan emisi dari penggunaan pemupukan berimbang di daerah A?		

	<p>Emisi <i>baseline</i>:</p> <p>a) Efisiensi $N_{N_2O \text{ direct}}$ $= 10.677.887 \text{ ha} \times 50\% \times 280 \times 0,46 \times 0,004 \times 265 \times 10^{-9}$ $= 0,73 \text{ juta ton CO}_2\text{-e} \dots\dots\dots (1)$</p> <p>b) Efisiensi $N_{N_2O \text{ indirect}}$ $= (10.677.887 \text{ ha} \times 50\% \times 280 \times 0,46 \times 0,1 \times 0,01 \times 265 \times 10^{-9})$ $= 0,18 \text{ juta ton CO}_2\text{-e} \dots\dots\dots (2)$</p> <p>c) Efisiensi N_{urea} $= 10.677.887 \text{ ha} \times 50\% \times 280/1000 \times 0.20 \times 44/12 \times 10^{-3}$ $= 1,09 \dots\dots\dots (3)$</p> <p>Total emisi <i>baseline</i> $= (1)+(2)+(3)$ $= 0,73 + 0,18 + 1,09$ $= 2,01 \text{ juta ton CO}_2\text{-e}$</p> <p>Emisi pemupukan berimbang:</p> <p>a) Efisiensi $N_{N_2O \text{ direct}}$ $= 10.677.887 \text{ ha} \times 50\% \times 250 \times 0,46 \times 0,004 \times 265 \times 10^{-9}$ $= 0,65 \text{ juta ton CO}_2\text{-e} \dots\dots\dots (1)$</p> <p>b) Efisiensi $N_{N_2O \text{ indirect}}$ $= 10.677.887 \text{ ha} \times 50\% \times 250 \times 0,46 \times 0,1 \times 0,01 \times 265 \times 10^{-9}$ $= 0,16 \text{ juta ton CO}_2\text{-e} \dots\dots\dots (2)$</p> <p>c) Efisiensi N_{urea} $= 10.677.887 \text{ ha} \times 50\% \times 250/1000 \times 0.20 \times 44/12 \times 10^{-3}$ $= 0,97 \dots\dots\dots (3)$</p> <p>Total emisi pemupukan berimbang $= (1)+(2)+(3)$ $= 0,65 + 0,16 + 0,97$ $= 1,79 \text{ juta ton CO}_2\text{-e}$</p> <p>Penurunan emisi dari pemupukan berimbang: $= 2,01 - 1,79$ $= 0.22 \text{ juta ton CO}_2\text{-e}$</p>
F. Rencana Pemantauan	
Parameter yang dimonitor	: Data aktivitas yang digunakan untuk perhitungan emisi N_2O dari pemupukan berimbang pada tanaman padi adalah: 1. Luas panen padi sawah 2. Konsumsi pupuk anorganik (urea, NPK, ZA) dan organik tahunan, baik untuk sistem konvensional, maupun pada sistem pemupukan berimbang.
Parameter tetap (<i>ex ente</i>)	:

G. Daftar Singkatan

N	=	Nitrogen
N ₂ O	=	Dinitrogen oksida
CO ₂	=	Karbon dioksida
NPK	=	Pupuk majemuk nitrogen, fosfor dan kalium (NPK)
ZA	=	Amonium sulfat

H. Daftar Istilah

- Denitrifikasi adalah proses kehilangan unsur N melalui konversi nitrat menjadi bentuk nitrogen
- Nitrifikasi adalah proses oksidasi enzimatik yang dilakukan oleh mikroorganisme dan berlangsung secara dua tahap untuk menghasilkan energi. Tahap pertama pengubahan ammonium menjadi nitrit dibantu oleh bakteri *nitrosomonas* dan *nitrosococcus*. Tahap kedua pengubahan nitrit menjadi nitrat dibantu bakteri *nitrobacter*

4. PENINGKATAN CADANGAN KARBON TANAH MELALUI PENGGUNAAN PUPUK ORGANIK SEBAGAI DAMPAK PENGGUNAAN UPPO

A. Informasi Umum	
Judul metodologi	: Peningkatan cadangan karbon tanah melalui penggunaan pupuk organik sebagai dampak penggunaan UPPO
Pengusul	: Ali Pramono, Ai Dariah (Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian)
Kategori	: Sektor Pertanian
B. Aksi Mitigasi/Proyek	
Deskripsi aksi mitigasi dalam metodologi	: Pupuk organik selain merupakan sumber hara bagi tanaman, juga merupakan sumber C yang dapat menggantikan C yang hilang atau menambah cadangan C tanah. Dalam jumlah yang memadai, penggunaan pupuk organik juga bisa berdampak terhadap pengurangan penggunaan pupuk organik termasuk urea. Pemanfaatan unit pengolah pupuk organik (UPPO) merupakan salah satu usaha yang dapat meningkatkan penggunaan dan bahan organik sebagai input pertanian. Terdapat <i>co-benefit</i> mitigasi emisi dari program ini, baik yang bersumber dari penambahan simpanan C di dalam tanah maupun pengurangan emisi dari penggunaan pupuk anorganik khususnya urea (jika dosis yang digunakan cukup memadai untuk mensubstitusi pupuk urea). Optimalisasi pemanfaatan pupuk organik melalui pemanfaatan UPPO juga bisa mengurangi emisi GRK yang bersumber dari kotoran ternak. Dalam metode ini diasumsikan sumber bahan organik yang digunakan untuk tanah bersumber dari kotoran ternak. Catatan: Penggunaan pupuk organik tidak selalu melalui pemanfaatan UPPO, data aktivitas tergantung dosis penggunaan, kandungan C dalam pupuk organik, dan luas lahan yang mengimplentasikan pupuk organik. Selain pupuk organik, sumber karbon (C) yang dikembalikan ke dalam tanah bisa dalam bentuk pembenah tanah organik, hijauan sisa tanaman, dan bentuk bahan organik lainnya.
Kriteria kelayakan penerapan metodologi	: 1. Penerapan teknologi ini sangat mudah dan murah dari bahan baku limbah ternak yang tersedia secara <i>in situ</i> . 2. Penerapan teknologi ini dalam jangka panjang memberikan pengaruh positif terhadap sifat fisik, kimia dan biologi tanah, serta dapat menyediakan sebagian hara yang dibutuhkan tanaman dan dapat menyumbang sebagian unsur hara makro maupun mikro yang

		dibutuhkan tanaman.		
Sumber dan jenis emisi GRK	:	Sumber Emisi GRK	Jenis Emisi GRK	Keterangan
		Sumber emisi GRK yang diperhitungkan adalah CH ₄ dari kotoran (<i>Methane Emissions from Manure Management</i>), serta N ₂ O dari pengelolaan kotoran secara langsung (<i>direct</i>) maupun tidak langsung (<i>indirect</i>)	CH ₄ dan N ₂ O	Emisi <i>baseline</i>
C. Perhitungan Emisi <i>Baseline</i>				
Deskripsi <i>baseline</i>	:	Kondisi <i>baseline</i> adalah emisi GRK dari ternak yang dihitung berdasarkan jumlah populasi per jenis ternak dan limbah ternak tanpa pengelolaan. Emisi GRK berupa CH ₄ dari kotoran, serta emisi langsung dan tidak langsung N ₂ O dari pengelolaan kotoran ternak.		
Cara perhitungan emisi <i>baseline</i>	:	<p>Perhitungan emisi GRK mengikuti panduan dalam buku IPCC (2006, 2019 refinement).</p> <ul style="list-style-type: none"> • $CH_{4Manure} = N_{(T)} * EF_{(T)} * 10^{-6}$ (Persamaan 10.22 IPCC, 2006) • $Direct\ N_2O_{(mm)} = NE_{MMS} * EF_{3(S)} * 44/28$ (Persamaan 10.25 IPCC, 2006) • $Indirect\ N_2O_{G(mm)} = NE_{volatilization-MMS} * EF_4 * 44/28$ (Persamaan 10.27 IPCC, 2006) <p>Emisi <i>baseline</i> = emisi CH₄ dari pengelolaan kotoran + emisi langsung N₂O dari pengelolaan kotoran + emisi tidak langsung N₂O dari pengelolaan kotoran</p>		
D. Perhitungan Emisi Proyek				
Sumber emisi <i>leakage</i>	:	C di dalam tanah dapat menurun kembali jika pemberian pupuk kandang tidak kontinyu setiap tahun.		
Cara perhitungan emisi proyek	:	<p>Perhitungan emisi dari aksi mitigasi adalah emisi GRK dari ternak yang dihitung berdasarkan jumlah populasi per jenis ternak dan limbah ternak sapi yang digunakan dalam aksi UPPO.</p> <p>Emisi aksi mitigasi = emisi CH₄ dari pengelolaan kotoran + emisi langsung N₂O dari pengelolaan kotoran + emisi tidak langsung N₂O dari pengelolaan kotoran sapi yang tidak terlibat dalam aksi UPPO</p>		
E. Perhitungan Penurunan Emisi				
Cara perhitungan penurunan	:	<p>Penurunan emisi = (emisi <i>baseline</i> – emisi aksi mitigasi) + sekuestrasi karbon dari pupuk organik</p> <p>Sekuestrasi karbon dari pupuk organik = Jumlah pengadaan UPPO x</p>		

emisi	<p>Jumlah sapi yang terlibat x berat kohe dan jerami (pupuk kandang) (kg/tahun) x kandungan C pupuk kandang (kg/tahun) x C yang tertinggal di tanah x 44/12</p> <p>Asumsi: rata-rata kadar air pupuk organik 20%, rata-rata kandungan C dalam kompos pupuk kandang 39,3% (Hartatik dan Widowati 2006). Peningkatan kandungan C tanah dengan pemberian pupuk kandang adalah sekitar 12% dalam 18 tahun atau 0.67% pertahun dari C yang dikandung oleh pupuk kandang (Maillard dan Angers, 2014).</p> <p>Contoh perhitungan:</p> <p>Pada tahun 2017 jumlah UPPO sebanyak 1400 unit. Jumlah sapi keseluruhan adalah 16.599.000 ekor. Asumsi jumlah sapi yang terlibat dalam satu unit UPPO adalah 10 ekor. Berapakah emisi yang dapat dikurangi dari aksi UPPO?</p> <p>Jawab:</p> <ol style="list-style-type: none"> Emisi baseline = emisi CH₄ dari pengelolaan kotoran ternak + emisi langsung N₂O dari pengelolaan kotoran ternak + emisi tidak langsung N₂O dari pengelolaan kotoran sapi keseluruhan $\text{CH}_{4\text{Manure}} = N_{(T)} * \text{EF}_{(T)} * 10^{-6} = 144,221 \text{ (Gg CH}_4 \text{ tahun}^{-1})$ $= 4.038.188 \text{ ton CO}_2\text{-e tahun}^{-1}$ $\text{Direct N}_2\text{O}_{(mm)} = \text{NE}_{\text{MMS}} * \text{EF}_{3(S)} * 44/28 = 31,94 \text{ (Gg N}_2\text{O tahun}^{-1})$ $= 8.464.100 \text{ ton CO}_2\text{-e tahun}^{-1}$ $\text{Indirect N}_2\text{O}_{G(mm)} = \text{NE}_{\text{volatilization-MMS}} * \text{EF}_4 * 44/28$ $= 19,853 \text{ (Gg N}_2\text{O tahun}^{-1}) = 5.261.045 \text{ ton CO}_2\text{-e tahun}^{-1}$ Emisi baseline = 17.763.333 ton CO₂-e tahun⁻¹ Emisi aksi mitigasi = emisi CH₄ dari pengelolaan kotoran ternak + emisi langsung N₂O dari pengelolaan kotoran ternak + emisi tidak langsung N₂O dari pengelolaan kotoran sapi yang tidak terlibat dalam aksi UPPO $\text{CH}_{4\text{Manure}} = N_{(T)} * \text{EF}_{(T)} * 10^{-6} = 144,172 \text{ (Gg CH}_4 \text{ tahun}^{-1})$ $= 4.036.816 \text{ ton CO}_2\text{-e tahun}^{-1}$ $\text{Direct N}_2\text{O}_{(mm)} = \text{NE}_{\text{MMS}} * \text{EF}_{3(S)} * 44/28 = 31,893 \text{ (Gg N}_2\text{O tahun}^{-1})$ $= 8.451.645 \text{ ton CO}_2\text{-e tahun}^{-1}$ $\text{Indirect N}_2\text{O}_{G(mm)} = \text{NE}_{\text{volatilization-MMS}} * \text{EF}_4 * 44/28$ $= 19,852 \text{ (Gg N}_2\text{O tahun}^{-1}) = 5.260.780 \text{ ton CO}_2\text{-e tahun}^{-1}$ Emisi aksi = 17.747.916 ton CO₂-e tahun⁻¹ Sekuestrasi karbon dari pupuk organik = 1400 * 10 * (14,9 * 365) * (0,393 * 0,8) * 44/12 * 0.67% = 588 ton CO₂/tahun.
-------	--

		<p>Jadi,</p> $\text{Pengurangan emisi} = (\text{Emisi baseline} - \text{Emisi aksi mitigasi}) + \text{Sekuestrasi karbon} = (17.763.333 - 17.749.241) + 588 = 14.092 + 588$ $= 14.680 \text{ ton CO}_2\text{-e/tahun}$
--	--	--

F. Rencana Pemantauan

Parameter yang dimonitor	:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Jumlah pengadaan UPPO 2. Jumlah sapi yang terlibat dalam pengadaan UPPO
Parameter tetap (<i>ex ante</i>)	:	<p>Kandungan karbon dalam pupuk organik organik</p> <p>Peningkatan kandungan karbon per tahun</p>

G. Daftar Singkatan

C	=	Karbon
CO ₂	=	Karbondioksida
CH ₄	=	Methane
GRK	=	Gas rumah kaca
UPPO	=	Unit pengolah pupuk organik

5. PENINGKATAN CADANGAN KARBON TANAH MELALUI OLAH TANAH KONSERVASI DAN PENGELOLAAN BAHAN ORGANIK

A. Informasi Umum				
Judul metodologi	:	Peningkatan kandungan karbon tanah melalui olah tanah konservasi dan pengelolaan bahan organik		
Pengusul	:	Ai Dariah, Maswar, Ratri Ariani, Fahmuddin Agus (Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian)		
Kategori	:	Sektor Pertanian		
B. Aksi Mitigasi/Proyek				
Deskripsi aksi mitigasi dalam metodologi	:	<p>Pengolahan tanah ditujukan untuk memudahkan penanaman, menyediakan lapisan yang gembur untuk pertumbuhan perakaran, dan untuk mencampur pupuk ke lapisan tanah. Namun pengolahan tanah dapat merusak struktur tanah, sehingga bahan organik yang terlindung dalam agregat tanah bisa terekspose, dan menjadi mudah terdekomposisi. Untuk tanah yang mempunyai sifat fisik yang cukup gembur, dapat diterapkan sistem olah tanah minimum (OTM), bahkan tanpa olah tanah (TOT). Dengan OTM atau TOT, karbon akan lebih banyak tersimpan di dalam tanah.</p> <p>Di samping itu, input bahan organik seperti sisa tanaman, cover crop, pupuk hijau dan pupuk kandang dapat meningkatkan cadangan C tanah. Pemberian pupuk, terutama pupuk N atau penanaman tanaman yang dapat memfiksasi N juga berkontribusi meningkatkan cadangan C tanah.</p>		
Kriteria kelayakan penerapan metodologi	:	Olah tanah minimum dan tanpa olah tanah dapat diterapkan pada hampir semua jenis tanah, terutama tanah yang cukup gembur. Pengelolaan bahan organik merupakan perlakuan yang sangat direkomendasikan untuk semua jenis dan semua pola tanam.		
Sumber dan jenis emisi GRK	:	Sumber Emisi GRK	Jenis Emisi GRK	Keterangan
		Cadangan C tanah meningkat (emisi negatif) akibat pengolahan tanah konservasi. Selain itu pengelolaan bahan organik berpotensi meningkatkan cadangan C tanah	CO ₂	Sebagian kecil C yang diberikan dalam bentuk bahan organik menyumbang terhadap peningkatan cadangan C tanah

C. Perhitungan Emisi <i>Baseline</i>	
Deskripsi <i>baseline</i>	: <ul style="list-style-type: none"> • Praktek Pengolahan tanah sempurna (konvensional), yaitu pengolahan tanah yang dilakukan pada setiap awal musim tanam. • Pemberian bahan organik dalam jumlah “sedang”, misalnya hanya dengan daur-ulang sisa tanaman.
Cara perhitungan emisi <i>baseline</i>	: Cadangan C tidak berubah (emisi = 0) bila menerapkan olah tanah konvensional atau bila menggunakan bahan organik dengan input sedang.
D. Perhitungan Emisi Proyek	
Sumber emisi <i>leakage</i>	: Praktek jangka pendek, misalnya sesudah empat tahun dengan praktik TOT kemudian tanah diolah, maka sebagian C yang sudah tersimpan akan teremisi kembali (<i>non-permanence</i>).
Cara perhitungan emisi proyek	: Menggunakan faktor perubahan cadangan C tanah (Tabel 1) dikalikan dengan cadangan C tanah pada awal tahun inventarisasi.
E. Perhitungan Penurunan Emisi	
Cara perhitungan penurunan emisi	<p>: Perubahan cadangan pada tanah mineral akibat perubahan praktek olah tanah dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut (IPCC 2019)</p> $\Delta C_{\text{mineral}} = \frac{[\sum_{c,s,i}(SOC_{REFc,s,i} \cdot FMG_{c,s,i} \cdot A_{c,s,i})]_0 - [\sum_{c,s,i}(SOC_{REFc,s,i} \cdot FMG_{c,s,i} \cdot A_{c,s,i})]_{(0-T)}}{D}$ <p>$\Delta C_{\text{Mineral}}$ = perubahan cadangan karbon pada tanah mineral, ton C tahun⁻¹ SOC₀ = Cadangan karbon organik tanah awal pada tahun terakhir suatu periode inventarisasi, ton C SOC_(0-T) = Cadangan karbon organik tanah pada tahun awal suatu periode inventarisasi, ton C</p> <p>T = jumlah tahun selama periode inventarisasi, tahun D = periode waktu perubahan, tahun. Biasanya 20 tahun, atau tergantung asumsi F_{MG} c = zona iklim, s = jenis tanah, dan i = sistem pengelolaan SOC_{REF} = cadangan karbon referensi, ton C ha⁻¹ (Table 2.3 pada Chapter 2 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006 atau menggunakan rata-rata simpanan C pada berbagai jenis tanah di Indonesia, Tabel 2) atau menggunakan hasil pengukuran. F_{MG} = faktor perubahan cadangan untuk rejim pengolahan tanah (Tabel 5.5, IPCC 2019)</p>

	<p>A = luas lahan inventory (ha).</p> <p>Contoh perhitungan: Suatu areal lahan kering luas 100.000 ha, pada wilayah beriklim basah dengan jenis tanah Inceptisols, merubah sistem pengolahan tanah dari sistem olah tanah sempurna menjadi praktek tanpa olah tanah. Berapa emisi yang dapat ditekan ?</p> <p>Jawab: Cadangan C Inceptisols = 81,42 t ha⁻¹ (Tabel 2) Faktor perubahan cadangan C = 1,1 (Tabel 1)</p> <p>Jumlah pengurangan emisi: $= [(100.000 \text{ ha} \times 81,42 \text{ t/ha} \times 1,1) - (100.0000 \text{ ha} \times 81,42 \text{ t/ha} \times 1)] / 20 \text{ th}$ $= 814.200 \text{ t C} / 20 \text{ tahun} = 40.710 \text{ t C/tahun}$ Jadi dari areal 100.000 ha terjadi pengurangan emisi = $40.710 \text{ t C/tahun} \times 44/12 = 149.270 \text{ t CO}_2\text{-e}$</p>
--	---

F. Rencana Pemantauan

Parameter yang dimonitor	:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Luas areal yang menerapkan teknik OTM dan TOT 2. Luas areal yang menerapkan pengelolaan bahan organik dengan input tinggi 3. Kandungan C dalam tanah (untuk Tier 3) atau gunakan Tabel 2 untuk perhitungan Tier 2
Parameter tetap (<i>ex-ante</i>)	:	Faktor perubahan cadangan C

G. Daftar Singkatan

C	=	Karbon
CO ₂	=	Karbondioksida
TOT	=	Tanpa olah tanah
OTM	=	Olah tanah minimum

H. Daftar Istilah

- Olah tanah sempurna (konvensional) adalah pengolahan tanah yang dilakukan pada setiap awal tanam dengan tahapan lengkap mulai dari pembajakan, penjemuran, penggaruan, dan lainnya
- Olah tanah minimum adalah pengolahan tanah sesuai kebutuhan misal hanya pada zona perakaran
- Tanpa olah tanah adalah cara penanaman tanpa pembalikan dan penggemburan tanah terlebih dahulu, hanya dilakukan pembuatan lubang (tugal) untuk pembenaman benih atau dengan cara taburbenih langsung (tabela). Tanpa olah tanah umumnya disertai

aplikasi mulsa bahan organik
- C referensi adalah rata-rata kandungan tanah pada jenis tanah dan iklim tertentu

Tabel 1. Faktor perubahan cadangan C relatif (>20 tahun) untuk sistem olah tanah dan input pupuk dan bahan organik di daerah tropis

Faktor	Level	Regime kelembaban	Acuan IPCC 2019	Error	Deskripsi
Olah tanah (FMG)	Olah tanah sempurna	Kering/ lembab/ basah	1	n/a	Tabel 5.5 (IPCC 2006)
	Olah tanah minimum	Kering	0,99	±7%	Tanah pertanian primer dan / atau sekunder tetapi dengan olah tanah berkurang (dangkal dan tanpa pembalikan tanah). Biasanya meninggalkan 30% residu saat tanam. Tabel 5.5 (IPCC 2006)
		Lembab/ Basah	1,04	±7%	
	Tanpa olah tanah	Kering	1,04	±7%	Penyemaian langsung tanpa pengolahan tanah primer, dengan hanya sedikit gangguan tanah di zona penyemaian. Tabel 5.5 (IPCC 2006)
Lembab/ Basah		1,1‡	±5%	Herbisida biasanya digunakan untuk pengendalian gulma. Tabel 5.5 (IPCC 2006)	
Input (FI)	Rendah	Tropis	0,95	±13%	Pengembalian residu rendah (seperti pada sayuran, tembakau atau kapas), atau residu dibakar, lahan sering bera, tanpa pupuk mineral dan tanpa tanaman yang mampu memfiksasi N. Tabel 5.5 (IPCC 2006)
			0,92	±14%	
		Tropis pegunungan	0,94	±50%	
	Sedang	Tropis	1	n/a	Semua sisa tanaman dikembalikan atau digunakan pupuk kandang. Dengan pemupukan mineral atau N-fixing crop secara bergilir. Tabel 5.5 (IPCC 2006)
	Tinggi tanpa pupuk	Tropis	1,04	±13%	Input C dari sisa tanaman atau pupuk hijau, tetapi tanpa pupuk kandang Tabel 5.5 (IPCC 2006)
			1,11‡	±10%	
		Tropis pegunungan	1,08	±50%	
Tinggi +pupuk	Tropis, termasuk tropis pegunungan	1,26‡	11%	Input C dari sisa tanaman atau pupuk hijau, dan pupuk kandang. Tabel 5.5 (IPCC 2006) yang dimodifikasi oleh Maillard dan Angers (2013).	

Keterangan:

‡ Angka dengan huruf tebal (bold) merupakan nilai perubahan cadangan karbon yang cukup tinggi dan direkomendasikan agar jumlah mitigasinya dihitung bila tersedia data aktivitas

Tabel 2. Rata-rata kerapatan dan cadangan C organik tanah kedalaman 0-30 cm pada beberapa ordo tanah mineral di Pulau Sumatera (dapat digunakan sebagai C Reff untuk tanah-tanah di Indonesia (Sumber: Shofiyati *et al.*, 2010)

Ordo tanah	Rata-rata Kerapatan C organik tanah (kg Cm^{-3})*	Cadangan C organik tanah (t C ha^{-1})**
Alfisols	17,59	52,77
Entisols	37,52	112,56
Inceptisols	27,14	81,42
Andisols	41,92	125,76
Mollisols	43,95	131,85
Oxosols	21,42	64,26
Spodosols	30,65	91,95
Ultisols	21,57	64,71

*)Dihitung dengan persamaan: $BD \cdot C$, dimana BD = bulk density (g cm^{-3}), C = kadar C organik tanah (%). **) dihitung dengan menggunakan persamaan = $KC \cdot H$ (dimana KC = kerapatan C (t ha^{-1}), ketebalan = 0,3 m)

6. PENINGKATAN CADANGAN KARBON TANAH MELALUI PENGGUNAAN BIOCHAR

A. Informasi Umum				
Judul metodologi	:	Peningkatan cadangan karbon tanah melalui penggunaan biochar		
Pengusul	:	Ai Dariah, Maswar, Ratri Ariani, Fahmuddin Agus (Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian)		
Kategori	:	Sektor Pertanian		
B. Aksi Mitigasi/Proyek				
Deskripsi aksi mitigasi dalam metodologi	:	Selain penggunaan pupuk organik atau kompos, usaha lainnya untuk mengembalikan C ke dalam tanah adalah dengan menggunakan bahan organik dalam bentuk yang lebih stabil yaitu biochar. Biochar dihasilkan dari proses pembakaran bahan organik dalam kondisi rendah oksigen (pirolisis). Biochar bisa bertahan di dalam tanah dalam waktu sangat lama (>1000 tahun). Pada proses pirolisis pelepasan C dalam bentuk CO ₂ dan CH ₄ tidak bisa dihindari, namun sebagian C yang terkandung dalam bahan organik akan berubah menjadi bentuk C yang lebih stabil dan sulit terdekomposisi.		
Kriteria kelayakan penerapan metodologi	:	<ul style="list-style-type: none"> • Tersedia bahan organik yang dapat diproses menjadi biochar. • Tersedia teknologi yang mudah dan murah atau tersedia insentif (misalnya pasar karbon) agar usahatani dengan penggunaan biochar tetap menguntungkan. 		
Sumber dan jenis emisi GRK	:	Sumber Emisi GRK	Jenis Emisi GRK	Keterangan
		C tanah diperkaya oleh biochar yang tidak mudah terdekomposisi	CO ₂ , CH ₄ dan N ₂ O	C di dalam biochar
C. Perhitungan Emisi <i>Baseline</i>				
Deskripsi <i>baseline</i>	:	Praktik tanpa penggunaan biochar.		
Cara perhitungan emisi <i>baseline</i>	:	Emisi/sekuestrasi <i>baseline</i> diasumsikan 0 bila tanpa penggunaan biochar.		

D. Perhitungan Emisi Proyek	
Sumber emisi <i>leakage</i>	: tidak ada
Cara perhitungan emisi proyek	: Jumlah sequestrasi adalah sejumlah C yang dikandung biochar, dikurangi emisi CO ₂ , CH ₄ dan N ₂ O yang terjadi dalam proses pirolisis.
E. Perhitungan Penurunan Emisi	
Cara perhitungan penurunan emisi	<p>: Persamaan yang digunakan untuk menghitung perubahan stok C tanah sebagai dampak penggunaan atau aplikasi biochar ke dalam tanah adalah sebagai berikut (IPCC, 2019, persamaan 2.26.A):</p> $\Delta BC = \sum_{p=1}^n \left[(BC_{TOTp} \cdot F_{Cp} \cdot F_{Permp}) - \left[(BC_{TOTp} \cdot GWP - CH_4 \cdot 0.0110) + (BC_{TOTp} \cdot GWP - N_2O \cdot 0.000022) \right] \right]$ <p>Dimana,</p> <p>ΔBC = perubahan tahunan stok karbon tanah yang terkait dengan penambahan biochar, ton sequestrasi C tahun⁻¹</p> <p>BC_{TOTp} = jumlah total biochar yang dimasukkan ke dalam tanah mineral selama tahun inventaris untuk produksi jenis p, ton biochar bahan kering tahun⁻¹</p> <p>F_{Cp} = kandungan karbon organik biochar berdasarkan proses produksi p, ton C ton⁻¹ biochar bahan kering (IPCC 2019, Tabel 2.3A Tabel 1 atau menggunakan data hasil penelitian di Indonesia seperti pada Tabel 2)</p> <p>$F_{perm p}$ = fraksi C biochar tersisa setelah 1000 tahun (IPCC 2019, Tabel 2.3B pada Tabel 3)</p> <p>n = jumlah jenis produksi biochar yang berbeda</p> <p>$GWP - CH_4$ = potensi pemanasan global dari metana yang dihasilkan selama pirolisis dalam satuan karbon dioksida, kg CO_{2-e} kg⁻¹ CH₄</p> <p>$GWP - N_2O$ = potensi pemanasan global dari nitro oksida yang dihasilkan selama pirolisis dalam satuan karbon dioksida, kg CO_{2-e} kg⁻¹ N₂O</p> <p>Contoh perhitungan:</p> <p>Jika pada tahun inventarisasi pada lahan pertanian seluas 40.000 ha diberikan biochar sekam dengan dosis sebanyak 2 t ha⁻¹ pada setiap</p>

	<p>musim tanam (lahan mempunyai IP 2 ataudua musim tanam pertahun. Berapa serapan C pada tahun tersebut?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Jumlah biochar yang diberikan = 2 MT/tahun * 2 ton ha⁻¹ MT⁻¹ * 40.000 ha= 160.000 ton/tahun - Kandungan C pada biochar sekam (Fcp) yang dibuat dengan sistem pirolisis adalah 0,49 (Tabel 2.3A atau Tabel 4 Ap.1 IPCC, 2019, Tabel 1) - Faktor F_{perm P} (fraksi C biochar tersisa setelah 1000 tahun, sistem pembakaran suhu tinggi adalah 0,43 (IPCC 2019, Tabel 2.3B atau Tabel 4Ap.2 Tabel 3), karena waktu inventory 1 tahun maka $F_{perm P} = 1 - ((1 - 0.43) / 1000) = 0.999$ - GWP-CH₄ = 28 - GWP-N₂O = 265 <p>Jadi ΔBC (Perubahan cadangan C tanah terkait dengan penambahan biochar dalam t C tahun⁻¹):</p> $= (16.000 \text{ t} * 0,49 * 0.999) - [(16.000 * 28 * 0,0110) + (16.000 * 265 * 0,000022)]$ $= 78.355 - (49.280 - 932,8) = 28.143 \text{ t C}$ $= 28.143 * 44 / 12 \text{ t CO}_2\text{-e/tahun} = 103.189,21 \text{ t CO}_2\text{-e}$
--	--

F. Rencana Pemantauan

Parameter yang dimonitor	:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bahan baku biochar 2. Jumlah biochar 3. Kandungan C dalam biochar 4. Tipe produksi biochar
Parameter tetap (<i>ex-ante</i>)	:	Kandungan C di dalam biochar

G. Daftar Singkatan

C	=	Karbon
CO ₂	=	Karbondioksida
CH ₄	=	Methane
N ₂ O	=	Nitrous Oksida
GWP	=	Global Warming Potential

H. Daftar Istilah

- Biochar adalah bahan padat kaya karbon hasil konversi dari limbah organik (biomas pertanian) melalui pembakaran tidak sempurna atau suplai oksigen terbatas (pirolisis)
- Limbah pertanian adalah sisa dari proses produksi pertanian. Limbah pertanian yang

dapat digunakan untuk biochar antara lain jerami padi, sekam padi, jerami kacang-kacangan, serasah dan ranting tumbuhan, tandan buah kosong sawit

Tabel 1. *Default value* untuk f_{cp} untuk faktor kandungan C biochar berdasarkan metode produksi (F_{cp}) (Sumber IPCC, 2019 TABLE 2.3A, NEW GUIDANCE)

Bahan baku	Proses Produksi Pirolisis	Nilai default IPCC dari F_{Cp}
Kotoran Hewan	Pirolisis	0.38 ± 49%
	gasifikasi	0.09 ± 53%
Kayu	Pirolisis	0.77 ± 42%
	Gasifikasi	0.52 ± 52%
Herbaceous (rumput, forb, daun; tidak termasuk sekam padi dan jerami)	Pirolisis	0.65 ± 45%
	Gasifikasi	0.28 ± 50%
Sekam padi dan jerami	Pirolisis	0.49 ± 41%
	Gasifikasi	0.13 ± 50%
Kulit Kacang, pits and stones	Pirolisis	0.74 ± 39%
	Gasifikasi	0.40 ± 52%
Biosolids (sludge kertas, sludge limbah)	Pirolisis	0.35 ± 40%
	Gasifikasi	0.07 ± 50%

Tabel 2. Kandungan C pada berbagai jenis biochar (Sumber: Nurida *et al.* 2014)

Jenis biochar	Kandungan C (%)
Sekam	30,76
Kulit buah kakao	33,04
Tempurung kelapa	80,59
Tempurung kelapa sawit	49,18
Sampah kota	31,41
Ranting legume pohon	18,11
Cangang kelapa sawit	26,26

Tabel 3. *Default value* untuk F_{permp} (Fraksi C biochar tersisa setelah 1000 tahun (Sumber IPCC 2019, TABLE 2.3B, NEW GUIDANCE)

Produksi	IPCC default value F_{permp}
Pirolisis dan gasifikasi suhu tinggi (> 600 °C)	0.43 ± 30%
Pirolisis suhu sedang (450-600 °C)	0.28 ± 24%
Suhu pirolisis rendah (<450 °C) atau tidak terkontrol atau tidak ditentukan	0.13 ± 73%

7. MITIGASI EMISI GAS RUMAH KACA MELALUI PERTANIAN TANPA BAKAR

A. Informasi Umum									
Judul metodologi	:	Mitigasi emisi gas rumah kaca melalui pertanian tanpa bakar							
Pengusul	:	Anggri Hervani, Helena Lina Susilawati, Aprian Aji Santoso (Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian)							
Kategori	:	Sektor Pertanian							
B. Aksi Mitigasi/Proyek									
Deskripsi aksi mitigasi dalam metodologi	:	<p>Pembakaran biomassa dari sisa-sisa tanaman merupakan salah satu sumber emisi gas rumah kaca (GRK) yang berasal dari pembakaran tidak sempurna seperti metana (CH₄), <i>non-methane volatile organic compound</i> (NMVOC), nitrogen (N₂O, NO_x), karbon dioksida (CO₂) dan partikel-partikel hasil pembakaran yang bersifat karsinogenik yang dapat terdistribusi secara luas (Li <i>et al.</i> 2016; Sun <i>et al.</i> 2016)</p> <p>Manajemen lahan tanpa bakar yang biasa dilakukan adalah dengan menggunakan dekomposer dalam penyiapan lahan. Dekomposer digunakan untuk mempercepat perombakan bahan organik sisa tanaman sehingga penyiapan lahan bisa dilakukan lebih cepat. Bahan organik, seperti sisa tanaman, yang telah mati diurai oleh dekomposer menjadi unsur-unsur hara tersedia bagi tanaman.</p>							
Kriteria kelayakan penerapan metodologi	:	<p>Sisa panen dari tanaman yang ditanam pada musim tanam sebelumnya tidak dibakar.</p> <p>Sisa panen dapat diolah menjadi kompos dan proses pengomposan bisa dipercepat dengan pemberian dekomposer, selanjutnya kompos dapat dikembalikan ke lahan sebagai pupuk organik.</p>							
Sumber dan jenis emisi GRK	:	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Sumber Emisi GRK</th> <th style="width: 25%;">Jenis Emisi GRK</th> <th style="width: 25%;">Keterangan</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pembakaran sisa tanaman jagung, padi tebu</td> <td>CH₄, CO, N₂O dan NO_x</td> <td>Emisi <i>baseline</i></td> </tr> </tbody> </table>	Sumber Emisi GRK	Jenis Emisi GRK	Keterangan	Pembakaran sisa tanaman jagung, padi tebu	CH ₄ , CO, N ₂ O dan NO _x	Emisi <i>baseline</i>	
		Sumber Emisi GRK	Jenis Emisi GRK	Keterangan					
Pembakaran sisa tanaman jagung, padi tebu	CH ₄ , CO, N ₂ O dan NO _x	Emisi <i>baseline</i>							
<p>Emisi CO₂ tidak dimasukkan kedalam salah satu jenis emisi gas rumah kaca dari kebakaran biomass pertanian karena gas CO₂ dari sektor pertanian dianggap nol atau CO₂ tidak sebagai emisi utama karena adanya proses fotosintesis dari tanaman yang menyerap CO₂.</p>									

C. Perhitungan Emisi *Baseline*

Deskripsi *baseline* : Perhitungan emisi CH₄, CO, N₂O dan NO dari pembakaran biomassa yang dibedakan menjadi 2 yaitu perhitungan biomassa di lahan tanaman pangan (*cropland*) dan pembakaran biomassa dari padang rumput (*grassland*). Pembakaran biomassa dari lahan pertanian pada umumnya terkait dengan pembakaran sisa pertanian seperti jerami dan sekam padi, tebu, jagung dan lain-lain, sedangkan pembakaran biomassa dari padang rumput merupakan cara tradisional untuk merangsang pertumbuhan hijauan pakan yang lebih muda.

Cara perhitungan emisi *baseline* : Estimasi perhitungan emisi GRK dari kebakaran biomassa secara umum:

$$L_{fire} = A \times M_B \times C_f \times G_{ef} \times 10^{-3}$$
 (Rumus 2.27 IPCC 2006)

Dimana:
 L_{fire} = emisi GRK dari pembakaran biomas (ton CH₄, N₂O dsb)
 A = luas area yang terbakar (ha)
 M_B = Jumlah biomassa yang terbakar (ton ha⁻¹). Termasuk didalamnya biomas, seresah dan kayu yang telah mati. Apabila masih menggunakan Tier 1 maka seresah dan kayu yang mati dianggap nol
 C_f = faktor pembakaran
 G_{ef} = faktor emisi dari bahan yang terbakar (g kg⁻¹)

Tabel 1. Nilai berat biomassa terbakar (M_B x C_f) berdasarkan jenis tanaman

Jenis vegetasi	Rata-rata biomas terbakar (ton ha ⁻¹)
Sisa tanaman jagung	10,0
Sisa tanaman padi	5,5**
Sisa tanaman tebu*	6,5

Sumber: diekstrak dari Tabel 2.4 (IPCC 2006)
 *untuk tebu merupakan nilai sebelum tanaman dipanen
 ** baru meliputi jerami, jika termasuk sekam maka rata-rata produksi sekam adalah 16,3-28% dari berat gabah kering giling (Thahir *et al.* 2008), sedangkan produksi jerami bisa juga diasumsikan sama dengan produksi gabah kering giling

Tabel 2. Faktor emisi dari bahan kering yang berasal dari sisa panen yang dibakar di lahan pertanian yang digunakan sebagai G_{ef}

Gas teremisi	Faktor emisi (g kg ⁻¹ bahan kering yang terbakar)
CO ₂	1515 ± 177
CO	92 ± 84
CH ₄	2,7
N ₂ O	0,07
NO _x	2,5 ± 1,0

Sumber: diekstrak dari Tabel 2.5 (IPCC 2006)

Tabel 3. Faktor pembakaran (C_f) fraksi dari bahan organik yang terbakar berdasarkan jenis vegetasi

Jenis vegetasi	Rata-rata C_f
Sisa tanaman jagung	0,80
Sisa tanaman padi	0,80
Sisa tanaman tebu	0,89

Sumber: ekstrak dari Tabel 2.6 IPCC 2006

Tabel 4. Proporsi area yang mempraktikkan pembakaran dalam penyiapan lahan di berbagai provinsi (berdasarkan assessment pada tahun 2010). Angka ini berupa angka sementara selamabelum ada survei yang lebih baru

Provinsi	Proporsi area yang biasa membakar dalam penyiapan lahan (%)
Aceh	0,4
Sumatera Utara	0,1
Sumatera Barat	0,7
Riau	0,7
Jambi	0,7
Sumatera Selatan	0,7
Bengkulu	0,7
Lampung	0,15
Kep. Bangka Belitung	0,7
Kep. Riau	Nd
DKI Jakarta	Nd
Jawa Barat	0,15
Jawa Tengah	0,15
DI Yogyakarta	0,15
Jawa Timur	0,15
Banten	0,15
Bali	0,4
Nusa Tenggara Barat	0,4
Nusa Tenggara Timur	0,25
Kalimantan Barat	0,4
Kalimantan Tengah	0,4
Kalimantan Selatan	0,1
Kalimantan Timur	0,4
Kalimantan Utara	Nd
Sulawesi Utara	0,7
Sulawesi Tengah	0,7
Sulawesi Selatan	0,5
Sulawesi Tenggara	0,7
Gorontalo	0,7
Sulawesi Barat	0,5
Maluku	0,8
Maluku Utara	Nd
Papua Barat	0,8
Papua	0,8

D. Perhitungan Emisi Proyek	
Sumber emisi <i>leakage</i>	: Tidak ada
Cara perhitungan emisi proyek	: Menghitung emisi GRK dari bahan organik yang dibakar sesuai Rumus 2.27 IPCC (2006)
E. Perhitungan Penurunan Emisi	
Cara perhitungan penurunan emisi	<p>: Penurunan emisi dihitung sebagai pengurangan emisi atau emisi yang dapat dihindari karena dihentikannya kebiasaan praktik membakar dalam penyiapan lahan.</p> <p>Contoh perhitungan</p> <p>Pertanyaan: Suatu daerah di provinsi Aceh mempunyai luas lahan tanaman pangan (padi) 500.000 ha. Berapakah gas rumah kaca (CH₄, NO, N₂O dan NO_x) yang diemisikan dari daerah tersebut? Dan berapa nilai mitigasinya jika 10% luas lahan yang biasanya melakukan pembakaran dalam penyiapan lahan, pada tahun ini menerapkan teknologi tanpa pembakaran?</p> <p>Jawaban: Luas panen padi = 500.000 ha Fraksi biomas yang dibakar di Aceh = 0,4 (Tabel 4) Penerapan teknologi tanpa pembakaran = 10% dari fraksi luas area yang biasa biomass yang di bakar = 10% x 0,4 x 500.000 = 20.000 ha Faktor emisi sisa pertanian untuk CH₄ = 2,7, CO = 92, NO₂ = 0,07 dan NO_x = 2,5 (g GRK kg⁻¹ biomassa kering) (Tabel 2). Default untuk berat biomassa jerami padi (Mb*Cr)=5,5 ton ha⁻¹ (Tabel 1.) Default C_f untuk jerami padi = 0.8 (Tabel 3.)</p> <p>Tahapan Perhitungan:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) Hitung luas lahan yang dibakar BAU = 500.000 ha x 0,4 = 200.000 ha (2) Hitung luas lahan mitigasi = 10% x 200.000 ha = 20.000 ha (3) Hitung luas lahan yang dibakar setelah mitigasi = 200.000 ha – 20.000 ha = 180.000 ha (4) Hitung emisi dari lahan pertanian yang dibakar sebagai BAU adalah <ul style="list-style-type: none"> LCH₄ = (200.000 ha x 5,5 ton ha⁻¹ x 0,8 x 2,7 g GRK kg⁻¹ biomassa kering)/1000 = 2.376 ton CH₄ LCO = (200.000 ha x 5,5 ton ha⁻¹ x 0,8 x 92 g GRK kg⁻¹ biomassa kering)/1000 = 80.960 ton CO

	$\text{LN}_2\text{O} = (200.000 \text{ ha} \times 5,5 \text{ ton ha}^{-1} \times 0,8 \times 0,07 \text{ g GRK kg}^{-1} \text{ biomassa kering})/1000 = 61,6 \text{ ton N}_2\text{O}$ $\text{LNO}_x = (200.000 \text{ ha} \times 5,5 \text{ ton ha}^{-1} \times 0,8 \times 2,5 \text{ g GRK kg}^{-1} \text{ biomassa kering})/1000 = 2.200 \text{ ton NO}_x$ <p>(5) Menghitung emisi aktual dari lahan pertanian dengan tanpa pembakaran biomassa adalah</p> $\text{LCH}_4 = (180.000 \text{ ha} \times 5,5 \text{ ton ha}^{-1} \times 0,8 \times 2,7 \text{ g GRK kg}^{-1} \text{ biomassa kering})/1000 = 2.138,4 \text{ ton CH}_4$ $\text{LCO} = (180.000 \text{ ha} \times 5,5 \text{ ton ha}^{-1} \times 0,8 \times 92 \text{ g GRK kg}^{-1} \text{ biomassa kering})/1000 = 72.864 \text{ ton CO}$ $\text{LN}_2\text{O} = (180.000 \text{ ha} \times 5,5 \text{ ton ha}^{-1} \times 0,8 \times 0,07 \text{ g GRK kg}^{-1} \text{ biomassa kering})/1000 = 55,44 \text{ ton N}_2\text{O}$ $\text{LNO}_x = (180.000 \text{ ha} \times 5,5 \text{ ton ha}^{-1} \times 0,8 \times 2,5 \text{ g GRK kg}^{-1} \text{ biomassa kering})/1000 = 1.980 \text{ ton NO}_x$ <p>(6) Menghitung penurunan emisi tanpa pembakaran biomass BAU – emisi aktual</p> $\text{LCH}_4 = 2.376 - 2.138,4 = 237,6 \text{ ton CH}_4$ $\text{LCO} = 80.960 - 72.864 = 8.096 \text{ ton CO}$ $\text{LN}_2\text{O} = 61,6 - 55,44 = 6,16 \text{ ton N}_2\text{O}$ $\text{LNO}_x = 2.200 - 1.980 = 220 \text{ ton NO}_x$ <p>(7) Konversi ke CO₂ ekuivalen Semua gas rumah kaca dikonversi ke CO₂ dimana masing-masing gas rumah kaca memiliki nilai Global Warming Potential (GWP) yang berbeda beda terhadap CO₂. Berdasarkan Fifth Assesment Report (IPCC, 2014) nilai GWP CH₄ = 28, CO = 1-3 (digunakan nilai 2 sebagai nilai tengah), N₂O = 265, NO_x = 7-10 (digunakan nilai 8,5 sebagai nilai tengah). Sehingga perhitungan emisi pembakaran biomass adalah:</p> $\text{LCH}_4 = 237,6 \times 28 = 6.652,8 \text{ ton CO}_2\text{e}$ $\text{LCO} = 8.096 \times 2 = 16.192 \text{ ton CO}_2\text{e}$ $\text{LN}_2\text{O} = 6,16 \times 265 = 1.632,4 \text{ ton CO}_2\text{e}$ $\text{LNO}_x = 220 \times 8,5 = 1.870 \text{ ton CO}_2\text{e}$ <p>Jadi total penurunan emisi dari pembakaran biomass sebesar = $6.652,8 + 16.192 + 1.632,4 + 1.870 = 26.947,2 \text{ ton CO}_2\text{e}$</p>
--	--

F. Rencana Pemantauan

Parameter yang dimonitor	: <ol style="list-style-type: none"> Luas tanam areal pertanian masing-masing provinsi, atau areal tanam nasional Luas area yang beralih dari kebiasaan membakar menjadi tanpa bakar <p>Asumsi yang digunakan: Apabila data proporsi area dan jumlah biomass yang terbakar tidak ada, maka dapat menggunakan <i>expert judgement</i>. Proporsi area yang terbakar dan berat biomass yang terbakar pada perhitungan pembakaran biomass di Indonesia masih menggunakan asumsi berdasarkan <i>expert judgement</i> karena biomass yang ada di lahan tidak</p>
--------------------------	---

		sepenuhnya dibakar.
Parameter tetap (<i>ex ante</i>)	:	
G. Daftar Singkatan		
L_{fire}	=	Emisi GRK dari pembakaran biomas (ton CH_4 , N_2O dsb)
A	=	Luas area yang terbakar (ha)
M_B	=	Jumlah biomassa yang terbakar (ton ha^{-1}). Termasuk didalamnya biomas, seresah dan kayu yang telah mati. Apabila masih menggunakan Tier 1 maka seresah dan kayu yang mati dianggap nol
C_f	=	Faktor pembakaran
G_{ef}	=	Faktor emisi dari bahan yang terbakar (g kg^{-1})
H. Daftar Istilah		

8. MITIGASI EMISI CH₄ ENTERIK MELALUI PERBAIKAN KUALITAS PAKAN TERNAK

A. Informasi Umum	
Judul Metodologi	: Mitigasi emisi CH ₄ enterik melalui perbaikan kualitas pakan ternak ruminansia
Pengusul	: Yeni Widiawati, Zuratih, M. Ikhsan Shiddieqy, Agustin Herliatika (Puslitbang Peternakan, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian)
Kategori	: Sektor pertanian
B. Aksi Mitigasi/Proyek	
Deskripsi aksi mitigasi dalam metodologi	<p>: Proses pencernaan pakan di dalam saluran pencernaan ternak ruminansia menghasilkan gas metana yang di eruktasikan ke udara melalui mulut, sehingga berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca. Perbaikan kualitas pakan yang dikonsumsi ternak ruminansia dapat mengurangi produksi gas metana dari enterik fermentasi tersebut. Perbaikan kualitas pakan dapat dilakukan melalui teknik suplementasi dengan cara memberikan hijauan berupa daun leguminosa dan konsentrat sebagai pakan suplemen untuk pakan dasarnya.</p> <p>Tanaman leguminosa yang dapat digunakan sebagai suplemen adalah kaliandra, lamtoro, gliricidia, indigofera dan daun singkong. Konsentrat yang diberikan dapat berupa dedak, onggok, polard, bungkil inti sawit, jagung baik yang diberikan secara tunggal maupun dalam bentuk pakan campuran. Teknik suplementasi ini dapat menurunkan emisi gas metana enterik 8%-20% (Widiawati dan Thalib, 2006).</p> <p>Teknik suplementasi ini dapat meningkatkan kecernaan pakan dan mengurangi terbuangnya energi pakan dalam bentuk metana. Hal ini bernilai positif bagi ternak dimana energi pakan tersebut akan digunakan untuk meningkatkan produksi dan reproduksi ternak sehingga terjadi peningkatan produktivitas ternak.</p> <p>Dengan demikian penurunan produksi gas CH₄ dari setiap ternak mengandung arti adanya penyelamatan energi yang terbuang untuk kemudian digunakan sebagai tambahan energi untuk produksi ternak.</p>
Kriteria kelayakan penerapan metodologi	: Pemanfaatan limbah pertanian dan perkebunan seperti dedak, bungkil inti sawit, polard, onggok yang tidak termanfaatkan oleh manusia dapat dimanfaatkan sebagai bahan pakan ternak ruminansia untuk meningkatkan produktivitas ternak dan mengurangi emisi enterik dari ternak. Tanaman leguminosa seperti lamtoro, kalindra, gliricidia, indigofera dapat digunakan sebagai tanaman tumpang sari di areal pertanian dan perkebunan untuk menyuburkan tanah, dimana daunnya

		dapat digunakan sebagai pakan suplemen yang dapat menurunkan emisi gas enterik dan meningkatkan produksi ternak.		
Sumber dan jenis emisi GRK	:	Sumber Emisi GRK	Jenis Emisi GRK	Keterangan
		Proses fermentasi enterik ternak ruminansia	CH ₄	Emisi <i>baseline</i>

C. Perhitungan Emisi *Baseline*

Deskripsi <i>baseline</i>	:	<p>Fermentasi enterik adalah bagian alami dari proses pencernaan pakan oleh mikroba rumen pada ternak ruminansia seperti sapi, kambing, domba, dan kerbau. Proses fermentasi tersebut menghasilkan rantai karbon dan hidrogen yang dapat digunakan ternak sebagai sumber energi atau digunakan oleh bakteri metanogen untuk menghasilkan gas metana.</p> <p>Produksi gas metana enterik dipengaruhi oleh jenis dan kualitas pakan. Pakan dengan kandungan serat kasar tinggi memiliki pencernaan yang rendah dan menghasilkan gas metana yang tinggi, namun sebaliknya dengan pakan yang mengandung serat kasar rendah.</p> <p>Jumlah enterik metana yang dihasilkan selama proses pencernaan pakan dihitung sebagai produksi metana per unit pakan tercerna yang disebut faktor emisi. Nilai faktor emisi akan berbeda untuk setiap jenis ternak ruminansia. Sehingga emisi baseline adalah emisi dari populasi ternak dengan pola pemberian pakan yang umum dilakukan oleh peternak sekarang dan memasukan unsur faktor emisi yang ada di IPCC maupun faktor emisi lokal Indonesia.</p>
Cara perhitungan emisi <i>baseline</i>	:	<p style="text-align: center;">Emisi CH₄ enterik = FE_(T) x (N_(T)) (Persamaan 10.19 IPCC 2006)</p> <p>Emisi CH₄ enterik = Emisi CH₄ dari fermentasi enterik [kg CH₄ /tahun]</p> <p>FE_(T) = Faktor emisi (untuk metode Tier 1 digunakan <i>default factor</i> (IPCC 2006) dan untuk Tier-2 digunakan faktor emisi lokal Indonesia untuk setiap jenis ternak [kg CH₄ /ekor/tahun]</p> <p>N_(T) = Populasi berdasarkan jenis ternak T [ekor]</p>

Tabel 1. Faktor emisi CH₄ Tier 1 dari proses pencernaan (fermentasi enterik) berbagai jenis ternak (IPCC 2006)

Jenis Ternak	Faktor Emisi (kg CH ₄ /ekor/tahun)
Sapi Potong	47 ^{**}
Sapi Perah	61 ^{**}
Domba	5 [*]
Kambing	5 [*]
Kerbau	55 [*]

Sumber: * Tabel 10.10 IPCC (2006); ** Tabel 10.11 IPCC (2006)

Tabel 2. Faktor emisi (FE) gas CH₄ Tier 2 dari fermentasi enterik berbagai jenis ternak berdasarkan sub-kategori status fisiologis ternak

Jenis ternak	Sub-kategori	Faktor emisi (kg CH ₄ ekor ⁻¹ tahun ⁻¹)
Sapi potong	Anak (0-1 th)	18,2
	Pertumbuhan (1-2 th)	27,2
	Muda (2-4 th)	41,78
	Dewasa (> 4 th)	55,89
	Import (fattening)	25,49
Sapi Perah	Anak (0-1 th)	16,55
	Pertumbuhan (1-2 th)	35,05
	Muda (2-4 th)	51,96
	Dewasa (> 4 th)	77,14
Kerbau	Anak (0-1 th)	20,55
	Pertumbuhan (1-2 th)	41,11
	Muda (2-4 th)	61,66
	Dewasa (> 4 th)	82,21
Domba	Anak	1,31
	Muda	4,33
	Dewasa	5,25
Kambing	Anak	2,29
	Muda	2,64
	Dewasa	3,27

Sumber: Widiawati *et al.* (2016); IPCC (2006) modifikasi Pulitbangnak 2016 *unpublished*

D. Perhitungan Emisi Proyek

Sumber emisi leakage	:	Tidak ada
Cara perhitungan emisi	:	<p>Emisi Mitigasi = FE_(T) x (N_(TP)) x (1-Faktor Koreksi)</p> <p>Emisi = Emisi CH₄ dari fermentasi enterik setelah aksi</p>

proyek		Mitigasi enterik	mitigasi [kg CH ₄ /tahun]
		FE _(T)	= Faktor emisi (untuk metode Tier 1 digunakan <i>default factor</i> (IPCC 2006) dan untuk Tier 2 digunakan faktor emisi lokal Indonesia untuk setiap jenis ternak (kg CH ₄ ekor ⁻¹ tahun ⁻¹)
		N _(TP)	= Populasi berdasarkan jenis ternak T yang diberi Pakan suplemen perlakuan pakan (ekor)
		Faktor koreksi	= Faktor koreksi (faktor penurunan emisi) untuk ternak yang mengkonsumsi hijauan pakan yang dicampur tanaman leguminosa adalah 0,045, dan faktor koreksi untuk pemanfaatan konsentrat adalah 0,035

E. Perhitungan Penurunan Emisi

Cara perhitungan penurunan emisi	:	<p>PE = (Emisi Baseline – Emisi Mitigasi) x 28</p> <p>PE = penurunan emisi dari Perbaikan kualitas pakan, dari perbaikan kualitas hijauan pakan dan/atau pemberian konsentrat (kg CO₂-e) 28 = Global warming potential (GWP) CH₄ terhadap CO₂</p> <p>Contoh Perhitungan: Pada tahun 2015, di Kabupaten A terdapat sapi potong muda sebanyak 10.000 ekor. Program perbaikan pakan melalui teknik suplementasi pakan menggunakan 100 ekor sapi potong. Dari program ini di lapangan terjadi adopsi dari peternak sebanyak 20 kali dari ternak percontohan, sehingga jumlah ternak yang mengalami perbaikan kualitas pakan menjadi 2000 ekor. Nilai faktor emisi enterik untuk sapi potong muda adalah 41,78 kg CH₄/ekor/tahun. Perbaikan dilakukan dengan pemberian daun legum kaliandra dengan jumlah pemberian 5 kg ekor⁻¹ hari⁻¹ pada pakan utama berupa rumput dan berupa konsentrat sesuai anjuran program. Berapakah penurunan emisi CH₄ enterik fermentasi yang mampu dicapai oleh program tersebut?</p> <p>Jawab: Jumlah ternak = 10.000 Jumlah ternak yang mengadopsi program perbaikan kualitas pakan = 100 x 20 = 2000 ekor. Jumlah ternak yang tidak mengadopsi = 10.000 - 2000 = 8000 Faktor koreksi emisi dari perbaikan pakan ternak menggunakan hijauan leguminosa = 0,045 Faktor koreksi emisi dari perbaikan pakan ternak menggunakan konsentrat = 0,035 Nilai faktor emisi enterik untuk sapi potong muda adalah 41,78 kg CH₄ ekor⁻¹ tahun⁻¹.</p>
----------------------------------	---	--

Emisi baseline dihitung dari 2000 ternak sebelum program dan dari 2000 ternak sesudah program.

Tahap 1: Hitung emisi CH₄ baseline dari fermentasi enterik 2000 ekor ternak

Baseline CH₄ fermentasi enterik

$$\begin{aligned}
 &= FE \times \text{Total populasi ternak yang mengikuti program} \\
 &= 41,78 \text{ kg CH}_4 \text{ ekor}^{-1} \text{ tahun}^{-1} \times 2000 \text{ ekor} \\
 &= 83.560 \text{ kg CH}_4 \text{ tahun}^{-1} = 83,56 \text{ ton CH}_4 \text{ tahun}^{-1} \dots\dots\text{(a)}
 \end{aligned}$$

Tahap 2: Hitung emisi fermentasi enterik setelah perbaikan pakan ternak menggunakan hijauan leguminosa

Emisi fermentasi enterik setelah perbaikan pakan ternak menggunakan hijauan leguminosa

$$\begin{aligned}
 &= FE \times \text{jumlah ternak yang mengadopsi program} \times (1-0,045) \\
 &= 41,78 \text{ kg CH}_4 \text{ ekor}^{-1} \text{ tahun}^{-1} \times 2000 \times (1-0,045) \\
 &= 79.799 \text{ kg CH}_4 \text{ tahun}^{-1} = 79,79 \text{ ton CH}_4 \text{ tahun}^{-1} \dots\dots\text{(b)}
 \end{aligned}$$

Tahap 3: Hitung penurunan emisi karena perbaikan pakan ternak menggunakan hijauan leguminosa

$$= a-b = (83,56-79,79) = 3,77 \text{ ton tahun}^{-1} \dots\dots\dots\text{(c)}$$

Tahap 4: Hitung emisi fermentasi enterik setelah pemberian konsentrat untuk 2000 ekor sapi

Emisi fermentasi enterik setelah pemberian konsentrat

$$\begin{aligned}
 &= FE \times \text{ternak perlakuan} \times (1-0,035) \\
 &= 41,78 \text{ kg CH}_4 \text{ ekor}^{-1} \text{ tahun}^{-1} \times 2000 \times (1-0,035) \\
 &= 80.635 \text{ kg CH}_4 \text{ tahun}^{-1} = 80,64 \text{ ton CH}_4 \text{ tahun}^{-1} \dots\dots\text{(d)}
 \end{aligned}$$

Tahap 5: Hitung penurunan emisi karena pemberian konsentrat

$$\begin{aligned}
 &= a-d \\
 &= (83,56-80,64) \text{ ton CH}_4 \text{ tahun}^{-1} = 2,92 \text{ ton CH}_4 \text{ tahun}^{-1} \dots\dots\text{(e)}
 \end{aligned}$$

Tahap 6: Hitung penurunan emisi karena perbaikan kualitas pakan dengan memberikan leguminosa dan pemberian konsentrat.

$$\begin{aligned}
 &= c+e \\
 &= (3,77 + 2,92) \text{ ton CH}_4 \text{ tahun}^{-1} = 6,69 \text{ ton CH}_4 \text{ tahun}^{-1} \dots\dots\text{(f)}
 \end{aligned}$$

Tahap 7: Konversi CH₄ ke CO₂-e dengan faktor pengali 28

$$\begin{aligned}
 \text{Emisi} &= 6,69 \text{ ton CH}_4 \text{ tahun}^{-1} \times 28 \text{ CO}_2/\text{CH}_4 \\
 &= 187 \text{ ton CO}_2\text{-e}
 \end{aligned}$$

Jadi penurunan emisi = 187 ton CO₂-e

Catatan: Pada sub-kategori ternak yang berbeda, nilai FE_(T) disesuaikan seperti pada Tabel Faktor emisi (FE) gas CH₄ dari fermentasi enterik dari berbagai jenis ternak

F. Rencana Pemantauan

Parameter yang dimonitor	:	<ul style="list-style-type: none"> • Pakan konvensional • Pakan suplemen yang diberikan • Jumlah ternak yang menerima program perbaikan kualitas pakan (pakan suplemen)
--------------------------	---	--

G. Daftar Singkatan

CH ₄	=	Gas Metan
CO ₂	=	Karbondioksida
FE	=	Faktor Emisi
GWP	=	<i>Global Warming Potential</i>

H. Daftar Istilah

9. MITIGASI EMISI CH₄ MELALUI PEMANFAATAN BIOGAS KOTORAN TERNAK

A. Informasi Umum									
Judul metodologi	:	Mitigasi emisi CH ₄ melalui pemanfaatan biogas kotoran ternak							
Pengusul	:	Helena Lina Susilawati, Sarah, Anggri Hervani, Ali Pramono, Miranti Ariani (Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian)							
Kategori	:	Sektor pertanian							
B. Aksi Mitigasi/Proyek									
Deskripsi aksi mitigasi dalam metodologi	:	Kotoran ternak khususnya ruminansia mengemisikan gas CH ₄ selama proses penyimpanan, pengolahan, penumpukan atau pengendapan dan berkontribusi sebesar 12%-41% dari total sektor pertanian (Chadwick <i>et al.</i> , 2011). Kotoran ternak yang disalurkan ke biodigester membuat terjadinya biotransformasi yang melibatkan bakteri secara anaerob sehingga CH ₄ yang dihasilkan dari kotoran ternak dapat ditahan untuk tidak keluar ke udara bebas. Biogas yang dominan dihasilkan antara lain CH ₄ 50-70%, CO ₂ 30-40%, hidrogen 5-10%, dan gas-gas lainnya dalam jumlah sedikit (Harahap, dkk., 1978; Simamora, 1989). Gas CH ₄ yang tertangkap didalam biodigester dalam volume yang besar dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif terbarukan untuk keperluan rumah tangga. Produksi biogas memungkinkan terwujudnya pertanian berkelanjutan yang nir limbah (<i>zero waste</i>) dan ramah lingkungan apabila biogas ini digunakan untuk energi alternatif.							
Kriteria kelayakan penerapan metodologi	:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pengolahan kotoran ternak yang disalurkan ke biodigester sehingga emisi CH₄ dari kotoran hewan dapat ditangkap 2. Gas yang dihasilkan digunakan sebagai substitusi energi pengganti bahan bakar fosil 							
Sumber dan jenis emisi GRK	:	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Sumber Emisi GRK</th> <th style="text-align: center;">Jenis Emisi GRK</th> <th style="text-align: center;">Keterangan</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- CH₄ dari kotoran ternak (<i>Methane emissions from manure management</i>), - N₂O dari pengelolaan kotoran secara langsung (<i>direct</i>) maupun tidak langsung (<i>indirect</i>)</td> <td>CH₄ dan N₂O</td> <td>Emisi <i>baseline</i></td> </tr> </tbody> </table>	Sumber Emisi GRK	Jenis Emisi GRK	Keterangan	- CH ₄ dari kotoran ternak (<i>Methane emissions from manure management</i>), - N ₂ O dari pengelolaan kotoran secara langsung (<i>direct</i>) maupun tidak langsung (<i>indirect</i>)	CH ₄ dan N ₂ O	Emisi <i>baseline</i>	
Sumber Emisi GRK	Jenis Emisi GRK	Keterangan							
- CH ₄ dari kotoran ternak (<i>Methane emissions from manure management</i>), - N ₂ O dari pengelolaan kotoran secara langsung (<i>direct</i>) maupun tidak langsung (<i>indirect</i>)	CH ₄ dan N ₂ O	Emisi <i>baseline</i>							

C. Perhitungan Emisi <i>Baseline</i>	
Deskripsi <i>baseline</i>	: Penanganan kotoran ternak dalam proses penyimpanan, pengolahan dan pengendapan menghasilkan emisi CH ₄ dan N ₂ O. Pengolahan kotoran ternak tanpa biodigester membuat emisi yang dihasilkan menjadi teremisi ke atmosfer. Kondisi baseline adalah emisi GRK dari ternak yang dihitung berdasarkan jumlah populasi per jenis ternak dan limbah ternak khususnya sapi yang kotorannya tidak diproses dalam biodigester. Emisi CH ₄ serta N ₂ O langsung dan tidak langsung dari kotoran ternak
Cara perhitungan emisi <i>baseline</i>	: Perhitungan emisi GRK mengikuti panduan dalam buku IPCC (2006, 2019 refinement). <ul style="list-style-type: none"> • CH₄ Manure = N_(T) * EF_(T) * 10⁻⁶ (Persamaan 10.22 IPCC, 2006) • Direct N₂O_(mm) = NE_{MMS} * EF_{3(S)} * 44/28 (Persamaan 10.25 IPCC, 2006) • Indirect N₂O_{G(mm)} = NE_{volatilization-MMS} * EF₄ * 44/28 (Persamaan 10.27 IPCC, 2006) Emisi baseline = emisi CH ₄ dari pengelolaan kotoran + emisi langsung N ₂ O dari pengelolaan kotoran + emisi tidak langsung N ₂ O dari pengelolaan kotoran
D. Perhitungan Emisi Proyek	
Sumber emisi <i>Leakage</i>	: Tidak ada
Cara perhitungan emisi proyek	: Perhitungan emisi dari aksi adalah emisi GRK dari ternak yang dihitung berdasarkan jumlah populasi per jenis ternak dan pengelolaan limbah ternak sapi yang dimasukkan ke dalam biodigester Emisi aksi = emisi CH ₄ dari pengelolaan kotoran + emisi langsung N ₂ O dari pengelolaan kotoran + emisi tidak langsung N ₂ O dari pengelolaan kotoran sapi total setelah dikurangi jumlah sapi yang terlibat dalam aksi BATAMAS dikurangi dengan efek pembakaran (<i>flaring</i>) dari gas CH ₄ serta pengaruh pengurangan emisi dari substitusi bahan bakar tidak terbarukan dengan biogas
E. Perhitungan Penurunan Emisi	
Cara perhitungan penurunan emisi	: Penurunan emisi = (emisi baseline – emisi aksi) + (<i>Methane avoidance</i> aksi Batamas + substitusi energi) <i>Methane avoidance</i> aksi Batamas = Jumlah pengadaan biodigester x jumlah sapi yang terlibat dalam

pengadaan biogas x volume gas dari kotoran sapi per hari dalam biodigester x tekanan biodigester x 365 hari x konversi CH₄ ke CO₂e

Substitusi energi = substitusi ke LPG + substitusi ke minyak tanah
 Asumsi yang digunakan dalam perhitungan bahwa biogas yang dihasilkan 90%-nya digunakan untuk substitusi LPG dan 10%-nya digunakan untuk substitusi minyak tanah.

Emisi LPG (digantikan oleh biogas)

- **Energi LPG (ton CO₂)** = volume biogas (m³/thn) x % penggunaan LPG x 0,46 x heating value LPG (GJ/kg) x 10⁻³ x faktor emisi LPG (ton CO₂/TJ)
- 1 m³ CH₄ dari digester pada tekanan 3 atm dapat menggantikan 0,46 kg LPG
- HV LPG = 0,052 GJ/m³
- FE LPG = 63,1 ton CO₂/TJ

Emisi Kerosene (minyak tanah) (digantikan oleh biogas)

- **Minyak tanah (ton CO₂)** = volume biogas (m³/thn) x % penggunaan minyak tanah x 0,62 x heating value minyak tanah (GJ/liter) x 10⁻³ x faktor emisi tanah (ton CO₂/TJ)
- 1 m³ CH₄ dari digester pada tekanan 3 atm dapat menggantikan 0,62 liter minyak tanah
- HV minyak tanah = 0,0362 GJ/liter
- FE minyak tanah = 71,9 ton CO₂/TJ

Contoh perhitungan:

Pada tahun 2019, daerah A mempunyai populasi sapi sebanyak 17.050.006 ekor. Pada tahun tersebut, terdapat pengadaan BATAMAS sebanyak 1400 unit dimana 1 unit BATAMAS melibatkan 75 ekor sapi. Berapakah emisi yang dapat dikurangi dari aksi BATAMAS? Asumsi: Biogas yang dihasilkan 90%-nya digunakan untuk substitusi LPG dan 10%-nya digunakan untuk substitusi minyak tanah.

Emisi baseline = emisi CH₄ dari pengelolaan kotoran + emisi langsung N₂O dari pengelolaan kotoran + emisi tidak langsung N₂O dari pengelolaan kotoran

$$\begin{aligned} \text{CH}_4 \text{ Manure} &= N_{(T)} \times EF_{(T)} \times 10^{-6} = 17.050.006 \times 0,72 \\ &= 12,28 \text{ Gg CH}_4 \text{ tahun}^{-1} \\ &= 343,73 \text{ Gg CO}_2\text{-e tahun}^{-1} \dots\dots\dots \text{(a)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Direct N}_2\text{O}_{(mm)} &= NE_{MMS} \times EF_{3(S)} \times 44/28 \\ &= 518,40 \times 0,014 \times 44/28 \\ &= 11,73 \text{ Gg N}_2\text{O tahun}^{-1} \\ &= 3108,60 \text{ Gg CO}_2\text{-e tahun}^{-1} \dots\dots\dots \text{(b)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Indirect N}_2\text{O}_{G(\text{mm})} &= \text{NE}_{\text{volatilization-MMS}} \times \text{EF}_4 \times 44/28 \\ &= 5,12 \times 0,007 \times 44/28 \\ &= 0,0579 \text{ Gg N}_2\text{O tahun}^{-1} \\ &= 15,34 \text{ Gg CO}_2\text{-e tahun}^{-1} \dots\dots\dots(\mathbf{c}) \end{aligned}$$

Emisi baseline = **(a) + (b) + (c)** = 3467,67 Gg CO₂-e tahun⁻¹.... **(1)**
 Emisi aksi = emisi CH₄ dari pengelolaan kotoran + emisi langsung N₂O dari pengelolaan kotoran + emisi tidak langsung N₂O dari pengelolaan kotoran sapi total setelah dikurangi sapi yang terlibat dalam aksi BATAMAS

$$\begin{aligned} \text{CH}_4_{\text{Manure}} &= \text{N}_{(\text{T})} \times \text{EF}_{(\text{T})} \times 10^{-6} = (17.050.006 - 105.000) \times 0,72 \\ &= 12,20 \text{ Gg CH}_4 \text{ tahun}^{-1} \\ &= 341,61 \text{ Gg CO}_2\text{-e tahun}^{-1} \dots\dots\dots(\mathbf{d}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Direct N}_2\text{O}_{(\text{mm})} &= \text{NE}_{\text{MMS}} \times \text{EF}_{3(\text{S})} \times 44/28 \\ &= 515,20 \times 0,014 \times 44/28 \\ &= 11,66 \text{ Gg N}_2\text{O tahun}^{-1} \\ &= 3089,46 \text{ Gg CO}_2\text{-e tahun}^{-1} \dots\dots\dots(\mathbf{e}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Indirect N}_2\text{O}_{G(\text{mm})} &= \text{NE}_{\text{volatilization-MMS}} \times \text{EF}_4 \times 44/28 \\ &= 5,08 \times 0,007 \times 44/28 \\ &= 0,0575 \text{ Gg N}_2\text{O tahun}^{-1} \\ &= 15,24 \text{ Gg CO}_2\text{-e tahun}^{-1} \dots\dots\dots(\mathbf{f}) \end{aligned}$$

$$\text{Emisi aksi} = \mathbf{(d) + (e) + (f)} = 3446,31 \text{ Gg CO}_2\text{-e tahun}^{-1}(\mathbf{2})$$

Methane avoidance aksi Batamas =

Jumlah pengadaan Biogas x jumlah sapi yang terlibat dalam pengadaan biogas x volume gas dari kotoran sapi per hari dalam biodigester x tekanan biodigester x 365 hari x konversi CH₄ ke CO₂-e

$$\begin{aligned} &= 1400 \times 75 \times 2 \times (16 \times ((1 \times 650)/(0,082 \times 303))) \times 3 \times 365 \times 28 \times 10^{-9} \\ &= 2.695,06 \text{ Gg CO}_2\text{-e tahun}^{-1} \dots\dots\dots(\mathbf{3}) \end{aligned}$$

Dimana:

menghitung 1 mol metana dalam biodigester dg hukum kesetimbangan gas PVnRT, tekanan 1 atm, volume CH₄ 650 m³ (komposisi biogas 65% adl metana), tetapan gas 0.082, suhu dalam digester 30 derajat Celcius.

*Asumsi 1 ekor menghasilkan 2 m³. Tekanan dalam biodigester 2 atm

$$\begin{aligned} \text{Energi LPG (ton CO}_2) &= \text{volume biogas (m}^3\text{/thn)} \times \% \text{ penggunaan LPG} \times 0,46 \times \text{heating value LPG (GJ/kg)} \times 10^{-3} \times \text{faktor emisi LPG (ton CO}_2\text{/TJ)} \\ &= 1400 \times 75 \times 365 \times 2 \times 0,9 \times 0,46 \times 0,052 \times 10^{-3} \times 63,1 \\ &= 104.122,65 \text{ ton CO}_2 \\ &= 104,12 \text{ Gg CO}_2 \text{ tahun}^{-1} \dots\dots\dots(\mathbf{g}) \end{aligned}$$

$$\text{Minyak tanah (ton CO}_2) = \text{volume biogas (m}^3\text{/thn)} \times \% \text{ penggunaan}$$

	<p>minyak tanah x 0,62 x heating value minyak tanah (GJ/liter) x 10⁻³ x faktor emisi tanah (ton CO₂/TJ)</p> <p>= 1400 x 75 x 365 x 2 x 0,1 x 0,62 x 0,0362 x 10⁻³ x 71,9</p> <p>= 12.369,19 ton CO₂</p> <p>= 12,37 Gg CO₂ tahun⁻¹(h)</p> <p>Substitusi energi = (g) + (h)</p> <p>= 104,12 + 12,37</p> <p>= 116,49 Gg CO₂ tahun⁻¹..... (4)</p> <p>Pengurangan emisi = (emisi baseline – emisi aksi) + (Methane avoidance aksi Batamas + substitusi energi)</p> <p>= (1 - 2) + (3 + 4)</p> <p>= (3467,67 - 3446,31) + (2.695,06 + 116,49)</p> <p>= 2832,91 Gg CO₂-e tahun⁻¹</p>
--	---

F. Rencana Pemantauan

Parameter yang dimonitor	:	<ul style="list-style-type: none"> • Jumlah pengadaan biogas • Jumlah sapi yang terlibat dalam pengadaan biogas
--------------------------	---	---

G. Daftar Singkatan

BATAMAS	=	Biogas Asal Ternak Bersama Masyarakat
CO ₂	=	Karbondioksida
GRK	=	Gas rumahkaca
FE	=	Faktor emisi
HV	=	Heating Value
LPG	=	Liquefied Petroleum Gas

H. Daftar Istilah

- Biogas adalah gas yang dihasilkan oleh aktivitas mikroorganismenya secara anaerobik
- Biodigester adalah alat yang digunakan untuk mengubah limbah organik (kotoran ternak) menjadi biogas

Tabel 1. Biogas dibandingkan dengan bahan bakar lainnya

Bahan Bakar	1 m ³ biogas setara dengan
LPG	0,46 kg
Minyak solar	0,52 liter
Bensin	0,80 liter
Minyak tanah	0,62 liter
Gas kota	1,50 m ³
Kayu bakar	3,50 kg

Sumber: Wahyuni, 2013

10. MITIGASI EMISI CO₂ DENGAN MENAIKKAN MUKA AIR TANAH GAMBUT

A. Informasi Umum				
Judul metodologi	:	Mitigasi emisi CO ₂ dengan menaikkan muka air tanah gambut		
Pengusul	:	Maswar, Ai Dariah, Ratri Ariani, Fahmuddin Agus (Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian)		
Kategori	:	Pertanian/Kehutanan		
B. Aksi Mitigasi/Proyek				
Deskripsi aksi mitigasi dalam metodologi	:	Sekat kanal (<i>Canal blocking</i>) merupakan salah satu teknik pengelolaan/pengaturan muka air tanah di lahan gambut. Pembuatan sekat kanal dapat meningkatkan tinggi muka air tanah di lahan gambut, sehingga volume gambut yang berada dalam kondisi tidak jenuh air (<i>aerobik</i>) disekitar permukaan tanah gambut menjadi berkurang. Hal ini dapat menurunkan tingkat dekomposisi material gambut, yang sekaligus menurunkan emisi CO ₂ .		
Kriteria kelayakan penerapan metodologi	:	Lahan gambut yang didrainase yang muka air tanahnya dapat dikurangi (menjadi lebih dangkal) tanpa mengurangi produksi tanaman yang dibudidayakan.		
Sumber dan jenis emisi GRK	:	Sumber Emisi GRK	Jenis Emisi GRK	Keterangan
		Emisi dari dekomposisi gambut yang didrainase	CO ₂	Emisi <i>baseline</i>
C. Perhitungan Emisi <i>Baseline</i>				
Deskripsi <i>baseline</i>	:	Kedalaman muka air tanah pada lahan gambut sebelum dibangun sekat kanal, dan luas lahan gambut yang tidak memiliki sekat kanal.		
Cara perhitungan emisi <i>baseline</i>	:	Memperkirakan berapa pengurangan kedalaman drainase dikalikan dengan luas areal dan dikalikan dengan 0,725 berdasarkan persamaan Wakhid <i>et al.</i> (2017) yang dimodifikasi.		

D. Perhitungan Emisi Proyek	
Sumber emisi <i>leakage</i>	: Tidak ada
Cara perhitungan emisi proyek	: Penurunan Emisi dari aksi pengaturan tinggi muka air tanah di lahan gambut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Wakhid <i>et al.</i> (2017) yang dimodifikasi: $Y = -0,725 x - 4,25$ Dimana: Y = jumlah emisi CO ₂ (t/(ha ⁻¹ tahun ⁻¹)) x = muka air tanah (cm) di permukaan tanah
E. Perhitungan Penurunan Emisi	
Cara perhitungan penurunan emisi	: Total emisi pada kondisi tinggi muka air tanah awal (sebelum ada sekat kanal) – Total emisi berdasarkan kondisi tinggi muka air tanah akhir (setelah dibangun sekat kanal). Menggunakan persamaan/rumus: $Em = (TMA_{awal} - TMA_{akhir}) \times A \times FE$ Keterangan: Em = Emisi mitigasi (t/ha/th) TMA _{awal} = rata-rata tinggi muka air tanah sebelum dibangun sekatkanal TMA _{akhir} = rata-rata tinggi muka air tanah setelah dibangun sekat kanal A = luas lahan yang tinggi muka air tanahnya dipengaruhi oleh pembangunan sekat kanal FE = Faktor emisi (yaitu 0,723 t CO ₂ /ha/th untuk setiap perubahan 1 cm tinggi muka air tanah) Contoh perhitungan: Pada lahan gambut terdegradasi (sudah dibangun saluran drainase tanpa sekat kanal) seluas 1000 hektar, direstorasi dengan cara dibangun sekat kanal (<i>canal blocking</i>), rata-rata TMA tahunan sebelum sekat kanal dibangun adalah 90 cm (dari permukaan lahan), sedangkan setelah pembangunan sekat kanal TMA rata-rata tahunan lahan menjadi 40 cm (dari permukaan lahan). Pertanyaan: berapa t/ha/th mitigasi emisi GRK dari pembangunan sekat kanal pada lahan tersebut? Jawab: Rata-rata total mitigasi emisi CO ₂ adalah: $(90 \text{ cm} - 40 \text{ cm}) \times 1000 \text{ ha} \times 0,723 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$ $= 36.150 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$

F. Rencana Pemantauan

Parameter yang dimonitor	:	- Tinggi muka air tanah sebelum dan setelah dibangun sekat kanal - Luas areal yang menerapkan sekat kanal tersebut
Parameter Tetap (<i>ex ante</i>)	:	Faktor emisi berbagai jenis penggunaan lahan (IPCC 2014)

G. Daftar Singkatan

CO ₂	=	Karbondioksida
GRK	=	Gas rumahkaca
FE	=	Faktor emisi
TMA	=	Tinggi muka air tanah
LPG	=	Liquefied Petroleum Gas

H. Daftar Istilah

DAFTAR BACAAN

- Agus F (Ed.). 2019. Metode Penilaian Adaptasi dan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Sektor Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Jakarta.
- Dariah A, Nurida NL, Sutono. 2013. The effect of biochar on soil quality and maize production in upland in dry climate region. In Proceeding 11th International Conference the East and Southeast Asia federation of Soil Science Societies. Bogor, Indonesia
- De Datta SK, Buresh RJ, Samson RJ, Obecemea MN, Real JG. 1991. Direct measurement of ammonia and denitrification fluxes from urea applied to rice. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:543-548.
- De Datta SK. 1987. Fertilizer management for efficient use in wetland rice soils. pp. 671-701 in *Soil and Rice*. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, PO Box 933, Manila.
- Fageria, N.K. 2009. The use of Nutrients in Crop Plants. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton. Pp 430.
- Gerber PJ, Steinfeld H, Henderson B, Mottet A, Opio C, Dijkman J, Falcucci A, Tempio G. 2013. Tackling Climate Change Through Livestock: A Global Assessment of Emissions and Mitigation Opportunities; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, ISBN 978-92-5-107920-1.
- Harahap, F.M., Apandi dan Ginting, 1978, Teknologi Gasbio, Pusat Teknologi Pembangunan Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Hartatik, W. dan L.R. Widowati. 2006. Pupuk Kandang. Dalam Simanungkalit, R.D.M., D. A. Suriadikarta, R. Saraswati, D. Setyorini, dan W. Hartatik (Eds). Pupuk Organik dan Pupuk Hayati. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor.
- IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, 11.5. N₂O Emissions from Managed Soils
- IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- IPCC. 2019. The "2019 Refinement to The 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories". Final Draft Report – Volume 4, Agriculture, forestry and other land use. IGES, Hayama, Japan.
- Ladha J K, de Bruijn FJ, Malik KA. 1997. Introduction: assessing opportunities for nitrogen fixation in rice-a frontier project. In Ladha, J. K. (Ed.). *Opportunities for Biological Nitrogen Fixation in Rice and Other Non-Legumes. Developments in Plant and Soil Sciences*. Vol. 75. Kluwer Academic Publishers. In Cooperation with IRRI. The Netherlands.

- Li C, Hu Y, Zhang F, Chen J, Ma Z, Ye X, Yang X, Wang L, Tang X, Zhang R, Mu M, Wang G, Kan H, Wang X, Mellouki A. 2016. Multi-pollutants emissions from the burning of major agricultural residues in China and the related health-economic effect assessment. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* <http://dx.doi.org/10.5194/acp-2016-651>
- Linguist B, Van Groenigen KJ, Adviento-Borbe MA, Pittelkow C Van Kessel C. 2012. An agronomic assessment of greenhouse gas emissions from major cereal crops. *Global Change Biology* 18(1), 194-209.
- Maillard, E., D.A. Angers. 2013. Animal manure application and soil organic carbon stocks: a meta-analysis. *Global Change Biology* (2014) 20, 666–679, doi: 10.1111/gcb.12438.
- Nurida NL, Dariah A, Rachman A. 2009. Kualitas limbah pertanian sebagai bahan baku pembenah berupa biochar untuk rehabilitasi lahan. Prosiding Seminar Nasional dan dialog Sumberdaya Lahan Pertanian. Tahun 2008. Hal 209-215.
- Nurida NL. 2014. Potensi Pemanfaatan Biochar untuk Rehabilitasi Lahan Kering di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. Edisi Khusus: 57-68.
- Santi LP, Goenadi DH. 2012. Pemanfaatan biochar cangkang sawit sebagai pembawa mikroba pemantap agregat. *Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Kelaman: Buana Sains*. Tribhuana Press. Vol 12: No. 1. Hal: 7-14.
- Shofiyati R, Las I, Agus F. 2010. Indonesia soil data base and predicted stock of soil carbon. In Proc. International Workshop on Evaluation and Sustainable Management of Soil Carbon Sequestration In Asian Country. Bogor, Indonesia. 28-29 September 2010.
- Sukartono dan W.H. Utomo. 2012. Peranan biochar sebagai pembenah tanah pada pertanaman jagung di tanah lempung berpasir (*sandy loam*) semiarid tropis Lombok Utara. *Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Kelaman: Buana Sains*. Tribhuana Press. Vol 12: No. 1. Hal: 91-98
- Sun J, Peng H, Chen J, Wang X, Wei M, Li W, Yang L, Sun J, Peng H, Chen J, Wang X, Li W, Yang L, Zhang Q, Wang W, Mellouki A. 2016. An estimation of CO₂ emission via agricultural crop residue open field burning in China from 1996 – 2013. *J. Clean. Prod.* 112: 2625–2631. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.112>.
- Van Noordwijk M, Cerri C, Woomer PL, Nugroho K, Bernoux M. 1997. Soil carbon dynamics in the humid tropical forest zone. *Geoderma* 79: 187-225.
- Wahyuni, S. 2013. Panduan Praktis Biogas. PenebarSwadaya, Jakarta.
- Wakhid N, Hirano T, Okimoto Y, Nurzakiah S, Nursyamsi D. (2017). Soil carbon dioxide emissions from a rubber plantation on tropical peat. *Science of the Total Environment* p. 857–865. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.035



ISBN 978-602-1327-17-3



9 786021 327173