

# METODE PENILAIAN ADAPTASI DAN INVENTARISASI GAS RUMAH KACA SEKTOR PERTANIAN



EDITOR  
FAHUDDIN AGUS

BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PERTANIAN  
KEMENTERIAN PERTANIAN

JAKARTA 2019



ISBN 978-602-459-505-0

**METODE PENILAIAN ADAPTASI DAN  
INVENTARISASI GAS RUMAH KACA  
SEKTOR PERTANIAN**

**Fahmuddin Agus (Editor)**

**Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian  
Kementerian Pertanian**

**Jakarta 2019**

## Sitasi

Agus F (Ed.). 2019. Metode Penilaian Adaptasi dan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Sektor Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Jakarta.

Sitasi untuk masing-masing bab disesuaikan berdasarkan nama penulis dan judul bab.

Perbanyak buku ini, baik dalam bentuk elektronik, maupun tercetak untuk tujuan non-komersial diperbolehkan tanpa batas asalkan tidak merubah isi buku. Untuk perbanyak tersebut, nama pengarang dan penerbit asli harus disebutkan. File buku ini dalam format pdf dapat diunggah dari <http://bbsdlp.litbang.pertanian.go.id/ind/index.php/publikasi/buku>

**ISBN 978-602-459-505-0**

Jumlah Halaman: vi; 154

## Kontak

Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian  
Jl. Tentara Pelajar No. 12, Cimanggu  
Bogor 16114

<http://bbsdlp.litbang.pertanian.go.id/>  
[sekretariatbbsdlp@yahoo.com](mailto:sekretariatbbsdlp@yahoo.com)

Tel: +62 251 8323012

Fax: +62 251 8311256

## Cover depan

Dari kiri atas menurut arah jarum jam: Embung di Oelpuah, NTB (Foto: F. Agus); perkebunan karet dengan nanas sebagai tanaman sisipan pada lahan gambut di Jabiren, Kalimantan Tengah (Foto: Maswar); lokasi penelitian emisi gas rumah kaca di Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Jakenan, Jawa Tengah (Foto: Likco), dan integrasi sapi- sawit di Provinsi Riau (Foto: Maswar);

## Design dan Layout

Argo Baroto dan Efi Hanafiah

ISBN 978-602-459-505-0 (pdf)



## KATA PENGANTAR

Sejalan dengan semakin meningkatnya dampak perubahan iklim, maka adaptasi menjadi suatu keharusan untuk sektor pertanian. Hal ini disebabkan karena sektor pertanian sangat rentan terhadap perubahan iklim. Sejalan dengan itu, walaupun sektor pertanian bukan penyumbang emisi yang besar, namun mitigasi sebagai salah satu keuntungan tambahan (*co-benefit*) dari adaptasi, perlu diperhitungkan. Untuk itu kemampuan untuk melakukan inventarisasi gas rumah kaca (GRK) pada sektor pertanian perlu dikembangkan pada tingkat nasional dan tingkat provinsi serta kabupaten.

Petunjuk teknis “Metode penilaian adaptasi dan inventarisasi gas rumah kaca sektor pertanian” ditujukan untuk praktisi di tingkat nasional, provinsi dan kabupaten dalam menilai keberhasilan usaha adaptasi dan nilai tambah (*co-benefit*) adaptasi, yang antara lain adalah berupa penurunan emisi GRK. Petunjuk teknis ini juga dapat dijadikan referensi dalam perkuliahan terkait emisi gas rumah kaca pada sektor pertanian.

Semoga petunjuk teknis ini bermanfaat bagi pembaca sekalian.

Kepala Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian,



Dr. Fadjry Djufry

## DAFTAR ISTILAH

**Adaptasi** adalah suatu proses untuk memperkuat dan membangun strategi antisipasi dampak perubahan iklim serta menerapkan langkah-langkah yang mampu mengurangi dampak negatif dan mengambil manfaat positif perubahan iklim.

**Aerenchyma** adalah jaringan khusus tanaman padi yang berbentuk seperti spons, memiliki ruang yang berada pada batang padi, sehingga memungkinkan terjadinya pertukaran gas dari dalam tanah ke atmosfer.

**Amoniasi** adalah metode pengolahan bahan pakan berserat secara kimia dengan menggunakan amoniak ( $\text{NH}_3$ ) untuk meningkatkan daya cerna sekaligus meningkatkan kadar N (proteinnya)

**Antropogenik** adalah suatu proses yang dihasilkan dari atau diproduksi oleh aktivitas manusia (lihat juga emisi antropogenik)

**Denitrifikasi** adalah proses hilangnya unsur nitrogen atau senyawa nitrogen, khususnya karena reduksi nitrat atau nitrit dengan bantuan bakteri, yang menghasilkan pelepasan nitrogen ke dalam air.

**Deposisi Nitrogen** adalah input nitrogen reaktif dari atmosfer ke biosfer. Deposisi terdapat dua jenis; deposisi kering dan deposisi basah. Deposisi kering sebagai gas dan deposisi basah sebagai hujan.

**Emisi Antropogenik** adalah emisi gas rumah kaca yang disebabkan oleh aktivitas manusia. Aktivitas ini meliputi pembakaran bahan bakar fosil (batubara, minyak bumi, dan gas alam), deforestasi, penggunaan lahan dan perubahan penggunaan lahan (LULUC), produksi ternak, pemupukan, manajemen limbah dan proses industri.

**Energi metabolis** adalah energi yang siap untuk dimanfaatkan oleh ternak dalam berbagai aktivitas seperti aktivitas fisik, mempertahankan suhu tubuh, metabolisme, pembentukan jaringan, produksi dan reproduksi. Kandungan energi metabolis dalam ransum sangat penting karena dapat menggambarkan nilai penggunaan nutrisi dari ransum

**Fermentasi enterik** adalah proses alami pencernaan pada ternak ruminansia seperti sapi, kambing, domba, dan kerbau. Mikroba dalam saluran pencernaan atau rumen, mengurai dan memfermentasikan pakan, dan memproduksi gas metana ( $\text{CH}_4$ ) sebagai produk samping..

**Indikator Adaptasi** adalah suatu parameter yang digunakan untuk memantau kemajuan dalam implementasi kebijakan adaptasi, strategi dan tindakan, dan mengukur efektivitasnya. Indikator adaptasi harus memiliki 5 (lima) karakteristik yaitu sederhana, terukur, bersifat analitis, relevan terhadap kebijakan serta transparan.

**Kapasitas Adaptasi** adalah potensi atau kemampuan suatu sistem untuk menyesuaikan diri dengan perubahan iklim, termasuk variabilitas iklim dan iklim ekstrim, sehingga potensi kerusakannya dapat dikurangi/dicegah.

**Kerentanan** adalah ketidakmampuan suatu sistem menghadapi dampak negatif dari perubahan iklim.

**Keterpaparan** adalah keberadaan manusia, mata pencaharian, spesies/ekosistem, fungsi lingkungan hidup, jasa dan sumberdaya, infrastruktur, atau aset ekonomi, sosial, dan budaya di wilayah atau lokasi yang rawan terhadap keadaan iklim ekstrim sehingga dapat mengalami dampak negatif.

**Koronivia Joint Work on Agriculture (KJWA)** adalah keputusan yang dicapai pada konferensi iklim PBB (COP-23) pada bulan November 2017, yang secara resmi mengakui pentingnya sektor pertanian dalam beradaptasi dan memitigasi perubahan iklim

[https://unfccc.int/files/meetings/bonn\\_nov\\_2017/application/pdf/cp23\\_auv\\_agri.pdf](https://unfccc.int/files/meetings/bonn_nov_2017/application/pdf/cp23_auv_agri.pdf).

**Leaching/Pelindian** adalah proses pencucian hara seperti  $\text{NO}_3^-$  ke dalam lapisan tanah yang lebih dalam karena pergerakan air perkolasi. Proses pencucian dapat berdampak negatif terhadap kualitas air.

**Metanogen** adalah mikroorganisme yang menghasilkan metana sebagai produk sampingan metabolik dalam kondisi anaerobik.

**Metanotrof** adalah mikroorganisme yang dapat menggunakan metana sebagai satu-satunya sumber karbon dan energi.

**Pengapuran** adalah salah satu tindakan perbaikan tanah untuk menaikkan pH tanah dengan menambahkan kapur dolomit ke dalam tanah.

**Mineralisasi N** adalah proses penguraian N organik menjadi bentuk N yang tersedia (dapat diserap) bagi tanaman.

**Mitigasi Perubahan Iklim** adalah tindakan untuk mengurangi faktor-faktor yang menyebabkan pemanasan global dalam bentuk penurunan emisi gas rumah kaca.

**Nationally Determined Contribution (NDC)** adalah komitmen negara pihak terhadap persetujuan Paris untuk mengurangi emisi nasional dan beradaptasi dengan dampak perubahan iklim.

**Nitrifikasi** adalah proses oksidasi enzimatik yang dilakukan oleh mikroorganisme dan berlangsung secara dua tahap untuk menghasilkan energi. Tahap pertama perubahan ammonium menjadi nitrit dibantu oleh bakteri *nitrosomonas* dan *nitrosococcus*. Tahap kedua perubahan nitrit menjadi nitrat dibantu bakteri *nitrobacter*.

**Rewetting** adalah pembasahan kembali (biasa digunakan untuk lahan gambut) tanah gambut yang sudah didrainase dengan menaikkan muka air di tanah sampai tanah menjadi jenuh air pada lahan gambut yang sebelumnya didrainase.

**Sensitivitas** adalah tingkat dimana suatu sistem akan terpengaruh atau responsif terhadap rangsangan iklim, tetapi dapat diubah melalui perubahan sosial ekonomi.

**Siklus karbon (*Carbon cycling*)** adalah aliran karbon (dalam berbagai bentuk, misal karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) karbon dalam biomassa, dan karbon yang larut dalam lautan sebagai karbonat dan bikarbonat) melalui atmosfer, hidrosfer, litosfer dan biosfer darat dan laut).

**Tracking** adalah proses pemantauan adaptasi melalui pengumpulan data dan informasi secara kontinu sehingga memungkinkan pemangku kepentingan memeriksa apakah proses dan hasil adaptasi sejalan dengan tujuan yang diharapkan.

**Urea** adalah senyawa organik yang tersusun dari unsur karbon, hydrogen, oksigen dan nitrogen yang memiliki rumus kimia (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO.

**Volatilisasi** adalah proses kehilangan nitrogen melalui konversi ammonium menjadi gas ammonia yang selanjutnya dilepas ke atmosfer.

# DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISTILAH .....</b>	<b>ii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>v</b>
<b>1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<i>DAFTAR BACAAN.....</i>	<i>2</i>
<b>2. PENILAIAN ADAPTASI SEKTOR PERTANIAN TERHADAP PERUBAHAN IKLIM .....</b>	<b>3</b>
2.1. <i>PENDAHULUAN.....</i>	<i>3</i>
2.2. <i>KERENTANAN SEKTOR PERTANIAN TERHADAP PERUBAHAN IKLIM.....</i>	<i>4</i>
2.3. <i>PENILAIAN ADAPTASI SEKTOR PERTANIAN .....</i>	<i>6</i>
2.4. <i>TAHAPAN PENILAIAN ADAPTASI .....</i>	<i>9</i>
2.5. <i>CONTOH PENILAIAN ADAPTASI.....</i>	<i>16</i>
<i>DAFTAR BACAAN.....</i>	<i>22</i>
<b>3. EMISI CH<sub>4</sub> DARI LAHAN SAWAH.....</b>	<b>23</b>
3.1. <i>LANDASAN TEORI.....</i>	<i>23</i>
3.2. <i>PERKIRAAN EMISI.....</i>	<i>24</i>
3.3. <i>FAKTOR EMISI.....</i>	<i>25</i>
3.4. <i>DATA AKTIVITAS DAN METODE PENGUMPULANNYA.....</i>	<i>33</i>
3.5. <i>CONTOH PERHITUNGAN.....</i>	<i>33</i>
3.6. <i>CONTOH AKSI ADAPTASI DAN NILAI TAMBAH MITIGASI.....</i>	<i>35</i>
<i>DAFTAR BACAAN.....</i>	<i>37</i>
<b>4. PEMUPUKAN DAN PENGAPURAN .....</b>	<b>39</b>
4.1. <i>EMISI N<sub>2</sub>O DARI TANAH YANG DIKELOLA.....</i>	<i>39</i>
4.2. <i>EMISI CO<sub>2</sub> DARI PENGAPURAN.....</i>	<i>61</i>
4.3. <i>EMISI CO<sub>2</sub> DARI PENGGUNAAN PUPUK UREA.....</i>	<i>65</i>
4.4. <i>CONTOH AKSI ADAPTASI DAN NILAI TAMBAH MITIGASI.....</i>	<i>68</i>
<i>DAFTAR BACAAN.....</i>	<i>69</i>
<b>5. PEMBAKARAN BIOMASSA.....</b>	<b>73</b>

5.1.	LANDASAN TEORI.....	73
5.2.	PRAKIRAAN EMISI.....	74
5.3.	FAKTOR EMISI.....	75
5.4.	DATA AKTIVITAS.....	77
5.5.	CONTOH PERHITUNGAN.....	79
5.6.	CONTOH AKSI ADAPTASI DAN NILAI TAMBAH ADAPTASI.....	80
	DAFTAR BACAAN.....	80
<b>6.</b>	<b>PERUBAHAN STOK C PADA TANAH MINERAL .....</b>	<b>83</b>
6.1.	LANDASAN TEORI.....	83
6.2.	PERKIRAAN EMISI.....	84
6.3.	PENENTUAN DATA AKTIVITAS DAN FAKTOR EMISI.....	86
6.4.	TAHAPAN DAN CONTOH PENGHITUNGAN PERUBAHAN CADANGAN C TANAH (SUMBER: IPCC 2019, DENGAN MODIFIKASI).....	91
6.5.	CONTOH PERHITUNGAN.....	93
6.6.	RENCANA AKSI DAN KEUNTUNGAN TAMBAHAN.....	94
	DAFTAR BACAAN.....	95
<b>7.</b>	<b>EMISI DARI SUBSEKTOR PETERNAKAN .....</b>	<b>97</b>
7.1.	LANDASAN TEORI.....	97
7.2.	PERKIRAAN EMISI CH <sub>4</sub> DAN N <sub>2</sub> O DARI SUBSEKTOR PETERNAKAN: FORMULA PERHITUNGAN... ..	100
7.3.	FAKTOR EMISI DEFAULT UNTUK TIER-1.....	104
7.4.	FAKTOR EMISI CH <sub>4</sub> DAN N <sub>2</sub> O DARI SUBSEKTOR PETERNAKAN DI INDONESIA UNTUK TIER-2....	109
7.5.	DATA AKTIVITAS DAN METODE PENGUMPULANNYA.....	110
7.6.	CONTOH PERHITUNGAN.....	115
7.7.	CONTOH AKSI ADAPTASI DAN NILAI TAMBAH MITIGASI.....	129
	DAFTAR BACAAN.....	132
<b>8.</b>	<b>PENDUGAAN EMISI GAS RUMAH KACA DARI LAHAN GAMBUT .....</b>	<b>135</b>
8.1.	LANDASAN TEORI.....	135
8.2.	LAHAN GAMBUT.....	135
8.3.	SUMBER DAN PROSES EMISI DARI LAHAN GAMBUT.....	137
8.4.	PERKIRAAN EMISI.....	138
8.5.	CONTOH AKSI ADAPTASI DAN NILAI TAMBAH.....	152
	DAFTAR BACAAN.....	153

# 1. PENDAHULUAN

**Fahmuddin Agus dan Husnain**

*Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian*

Salah satu hasil kesepakatan *Conference of Parties United Nations Framework Conference on Climate Change* (COP-UNFCCC) yang ke-23 di Bonn adalah *Koronivia Joint Work on Agriculture* (KJWA). KJWA menekankan pentingnya adaptasi, keuntungan tambahan dari adaptasi (*adaptation co-benefits*) dan ketangguhan (*resilience*) sistem pertanian dalam menghadapi perubahan iklim. Istilah mitigasi tidak tertera dalam kesepakatan KJWA tersebut, namun mitigasi dapat dianggap sebagai salah satu keuntungan tambahan dari adaptasi. Ini menunjukkan bahwa prioritas utama kegiatan sektor pertanian menghadapi perubahan iklim adalah adaptasi. Ini disebabkan karena fungsi utama sektor pertanian adalah untuk memproduksi pangan dan menjaga ketahanan pangan. Pembebanan target mitigasi (target penurunan emisi gas rumah kaca) pada sektor pertanian dikhawatirkan dapat mengganggu ketahanan pangan.

Arneth *et al.* (2019) menerangkan keterkaitan yang erat antara perubahan iklim dan lahan, artinya apa yang dilakukan terhadap lahan dapat mempengaruhi perubahan iklim, dan sebaliknya perubahan iklim yang terjadi juga dapat mempengaruhi lahan.

Selama ini fokus pelaporan kegiatan dan dampak perubahan iklim pada sektor pertanian adalah inventarisasi gas rumah kaca (GRK) dan pelaporan mitigasi (pengurangan) emisi GRK. Pelaporan adaptasi dikesampingkan, walaupun seharusnya adaptasi merupakan prioritas utama pada sektor pertanian. Untuk itu Panduan Teknis ini menambahkan aspek penilaian adaptasi dan menyempurnakan petunjuk teknis inventarisasi GRK yang sudah diterbitkan sebelumnya (Agus *et al.* 2014).

Selain menggunakan IPCC (2006) sebagai referensi utama, dalam panduan ini, bila relevan, digunakan juga IPCC 2006 *Refinement* (2019) sebagai referensi tambahan.

Bab II membahas tentang asesmen (penilaian) adaptasi dan kerentanan, Bab III tentang emisi dari lahan sawah, Bab IV tentang emisi N<sub>2</sub>O dan CO<sub>2</sub> dari pemupukan, Bab V tentang emisi CO<sub>2</sub> dari pembakaran biomas tumbuhan dan Bab VI tentang perubahan cadangan karbon tanah mineral. Bab VII menguraikan inventarisasi emisi CH<sub>4</sub> dari proses fermentasi enterik dan emisi CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O dari pengelolaan kotoran ternak. Bab VIII membahas tentang emisi CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O dari lahan gambut yang didraenase. Walaupun dalam komunikasi nasional (*national communication*) topik ini diinventarisasi oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), namun aspek ini terkait erat dengan sektor pertanian.

## DAFTAR BACAAN

- Agus F, Santosa I, Dewi S, Setyanto P, Thamrin F, Wulan YC, Suryaningrum F (eds). 2014. Pedoman Teknis Penghitungan Baseline Emisi dan Serapan Gas Rumah Kaca Sektor Berbasis Lahan: Buku I Landasan Ilmiah. Badan Perencanaan Pembangunan Nasional, Republik Indonesia, Jakarta.
- Arneth A, Denton F, Agus F, Elbehri A, Erb K, Elasha B O, Rahimi M, Rounsevell M, Spence A, Valentini R 2019. Chapter 1: Framing and Context, pages 1.1.-1.98 *in* Aldrian E, McCarl B, Sanchez MJS (Eds.). IPCC Special Report on Climate Change and Land. IPCC, Geneva, Switzerland.
- IPCC 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Agriculture, Forestry and Other Land Use Volume 4). The National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K. (eds). IGES, Japan.
- IPCC. 2019. 2019 IPCC Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IGES, Hayama, Japan.

## 2. PENILAIAN ADAPTASI SEKTOR PERTANIAN TERHADAP PERUBAHAN IKLIM

***Elza Surmaini dan Woro Estiningtyas***  
*Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Bogor*

### 2.1. PENDAHULUAN

Konferensi para pihak pada *Conference of Parties of The United Nations Framework Conference on Climate Change (COP-UNFCCC)* ke-23 yang diselenggarakan di Bonn pada tahun 2017, mengadopsi keputusan 4/CP.23 tentang *Koronivia Joint Work on Agriculture (KJWA)* yang isinya bagaimana meningkatkan pertukaran teknologi dan informasi, bagaimana mengakses (menilai), dan bagaimana mengimplementasikan kegiatan adaptasi di sektor pertanian (St-Louis 2018). Enam elemen penting dari KJWA yang harus ditindaklanjuti adalah:

- a) Tatacara implementasi hasil dari lima lokakarya tentang isu-isu yang terkait dengan pertanian;
- b) Metode dan pendekatan untuk menilai adaptasi, *co-benefit* adaptasi, dan ketangguhan pertanian;
- c) Peningkatan kandungan karbon tanah, kesehatan tanah dan kesuburan tanah pada padang rumput dan lahan pertanian serta sistem terintegrasi, termasuk perbaikan pengelolaan air;
- d) Perbaikan penggunaan hara dan manajemen pupuk kandang menuju sistem pertanian yang berkelanjutan dan tangguh;
- e) Perbaikan sistem manajemen ternak; dan
- f) Dimensi sosial ekonomi dan ketahanan pangan dari perubahan iklim pada sektor pertanian.

Sejalan dengan itu, kesepakatan pada COP di Paris pada tahun 2015 menegaskan agar kebutuhan produksi pangan tidak terancam akibat upaya mitigasi emisi Gas Rumah Kaca (GRK). Artinya, ketersediaan pangan harus menjadi prioritas untuk menjaga keamanan pangan, mengakhiri kelaparan, dan mengurangi kerentanan akibat perubahan iklim. Oleh karena itu, adaptasi merupakan prioritas pada sektor pertanian. Dengan prioritas adaptasi, maka kesepakatan Paris menekankan pentingnya untuk memonitor dan mempelajari aksi adaptasi dan menetapkan bahwa:

- a) Negara-negara para pihak perlu melaporkan secara periodik proses upaya adaptasi (prioritas, implementasi, dukungan yang diperlukan, rencana dan aksi) sebagai salah satu komponen yang terkait dengan komunikasi atau dokumen Rencana Aksi Nasional (RAN) dan *Nationally Determined Contributions* (NDCs) pada tahun 2020.
- b) Penilaian adaptasi penting dilakukan untuk mengetahui apakah upaya adaptasi dapat mengurangi kerentanan, meningkatkan kapasitas adaptasi, dan meningkatkan resiliensi (ketangguhan) sektor pertanian terhadap perubahan iklim.
- c) Perlunya sharing ilmu pengetahuan dan informasi terkait perencanaan dan implementasi adaptasi.
- d) Melakukan inventarisasi dan penilaian implementasi adaptasi baik di tingkat nasional, provinsi, maupun lokal.

Dalam rangka mempersiapkan pelaporan adaptasi yang mulai tahun 2020 dilaporkan dalam NDC, berbagai metode dikembangkan untuk menilai adaptasi dan keuntungan tambahan dari adaptasi (*adaptation co-benefit*) seperti yang pada butir kedua KJWA. Penilaian adaptasi adalah pemantauan dan evaluasi terhadap keberhasilan proses dan hasil adaptasi untuk mengurangi kerentanan, meningkatkan kapasitas adaptasi dan meningkatkan ketahanan terhadap perubahan iklim.

## 2.2. KERENTANAN SEKTOR PERTANIAN TERHADAP PERUBAHAN IKLIM

Salah satu tujuan dari adaptasi adalah untuk meningkatkan resiliensi (ketangguhan) atau mengurangi kerentanan sektor pertanian terhadap perubahan iklim. Peraturan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 39/PERMENTAN/HM.130/8/2018 tentang sistim peringatan dini dan penanganan dampak perubahan iklim pada sektor pertanian menyebutkan bahwa perubahan iklim adalah berubahnya iklim yang diakibatkan langsung atau tidak langsung oleh aktivitas manusia yang menyebabkan perubahan komposisi atmosfer secara global serta perubahan variabilitas iklim alamiah yang teramati pada kurun waktu yang dapat dibandingkan.

Kerentanan adalah ketidakmampuan suatu sistem menghadapi dampak negatif dari perubahan iklim. Kerentanan sektor pertanian terhadap perubahan iklim terkait tiga faktor utama, yaitu biofisik, genetik dan manajemen. Menurut IPCC (2012) tingkat kerentanan dinilai berdasarkan tiga indikator, yaitu : keterpaparan, sensitivitas dan kapasitas adaptasi. Keterpaparan adalah keberadaan manusia, mata pencaharian, spesies/ekosistem, fungsi lingkungan hidup, jasa dan sumberdaya, infrastruktur atau aset ekonomi, sosial, dan budaya di wilayah atau lokasi yang dapat mengalami dampak negatif. Sensitivitas adalah tingkat dimana suatu sistem akan terpengaruh atau responsif terhadap rangsangan iklim, tetapi dapat diubah melalui perubahan sosial ekonomi.

Kapasitas adaptasi adalah kemampuan suatu sistem untuk menyesuaikan diri dengan perubahan iklim, termasuk variabilitas iklim dan iklim ekstrim, sehingga potensi kerusakannya dapat dikurangi/dicegah.

Pengetahuan dan kemampuan untuk melihat dan memahami dengan baik hubungan antara data (sebagai input) dan faktor penentu kerentanan diperlukan untuk memilih data yang tepat sebagai indikator yang dapat merepresentasikan tingkat kerentanan. Konsep kerentanan sangat terkait erat dengan ancaman dan risiko. Risiko iklim adalah potensi dampak negatif perubahan iklim yang merupakan interaksi antara kerentanan, keterpaparan dan bahaya. Interaksi antara kerentanan, ancaman dan keterpaparan akan melahirkan risiko dan akan memberikan dampak pada berbagai sektor termasuk sektor pertanian (Gambar 2.1).



Gambar 2.1. Konsep interaksi antara kerentanan dan ancaman menjadi risiko (Sumber: IPCC 2014)

Penilaian tingkat kerentanan diperlukan sebagai salah satu ukuran penilaian keberhasilan adaptasi. Atlas Kerentanan Usahatani Pangan dan Risiko Iklim telah dihasilkan untuk level kabupaten/kota di Pulau Jawa dan Sulawesi (Estiningtyas *et al.* 2016) dan Kalimantan (Estiningtyas *et al.* 2018). Sebagai contoh di Provinsi Sulawesi Selatan tingkat kerentanan usahatani pangan dan risiko banjir dan kekeringan yang masuk dalam kategori “sangat tinggi” adalah Kabupaten Luwu dan Toraja Utara. Faktor determinan yang berpengaruh terhadap tingkat kerentanan di Kabupaten Luwu adalah rasio luas lahan pertanian terhadap luas wilayah, sedangkan faktor determinan untuk kapasitas adaptasi adalah rasio jumlah jenis alsintan per luas sawah.

Berdasarkan faktor determinan ini maka rekomendasi yang diusulkan untuk meningkatkan kapasitas adaptasi antara lain: bantuan alat mesin pertanian (alsintan) spesifik lokasi sesuai kebutuhan dan menyediakan suku cadang, mengoptimalkan

Alsintan yang sudah ada dan pengembangan serta pemberdayaan Kelompok Tani Usaha Pelayanan Jasa Alsintan (Keltan Upja). Sementara untuk menurunkan tingkat keterpaparan dan sensitivitas berdasarkan faktor determinan tersebut, rekomendasi yang disarankan antara lain: pembukaan lahan pertanian baru dan transmigrasi yang disinergikan dengan pelaksanaan program reforma agraria. Untuk Kabupaten/Kota Toraja Utara, rekomendasi yang disarankan untuk meningkatkan kapasitas adaptasi antara lain: memperbaiki kelembagaan penyuluh, mengangkat penyuluh baru, pembinaan, advokasi dan pengawasan serta peningkatan kesejahteraan untuk peningkatan etos kerja penyuluh. Sementara usulan rekomendasi untuk menurunkan tingkat keterpaparan dan sensitivitas adalah: pemerataan pendapatan, menciptakan lapangan pekerjaan, bantuan sosial/bantuan langsung tunai secara selektif dan subsidi silang.

Wilayah dengan tingkat kerentanan sangat tinggi atau tinggi yang menerapkan program dan aksi adaptasi maka dalam penilaian berikutnya tingkat kerentanannya diharapkan turun menjadi sedang atau rendah. Hal ini memperlihatkan bahwa program dan aksi adaptasi tersebut mampu meningkatkan kapasitas adaptasi serta menurunkan keterpaparan dan sensitivitas sehingga tingkat kerentanannya turun.

Dalam juknis ini penilaian adaptasi diawali dengan identifikasi program/kegiatan baik yang ada dalam Kementerian Pertanian maupun yang ada dalam masyarakat yang dikelompokkan dalam kategori, sub-kategori dan indikator. Contoh penilaian adaptasi didasarkan pada proyek atau kegiatan di sektor pertanian.

### 2.3. PENILAIAN ADAPTASI SEKTOR PERTANIAN

FAO (2017) menggunakan istilah penilaian (*tracking*) untuk menilai keberhasilan proses dan hasil adaptasi. Untuk melakukan penilaian diperlukan pengumpulan data dan informasi yang kontinu sehingga dapat diketahui apakah proses dan hasil adaptasi sudah sejalan dengan tujuan baik pada level nasional, provinsi atau lokal. Ada dua bagian penting dalam kerangka pelaksanaan adaptasi yaitu: komponen adaptasi dan indikator adaptasi.

#### **Komponen Adaptasi**

Kegiatan adaptasi mencakup lima komponen umum, yaitu: 1). Pengamatan variabel iklim dan non-iklim; 2). Penilaian dampak perubahan iklim, kerentanan dan risiko; 3). Perencanaan; 4). Pelaksanaan, dan 5). Pemantauan adaptasi.

Pengamatan terhadap variabel iklim dan non-iklim yang berpengaruh terhadap pertanian diperlukan untuk menilai kerentanan dan dampak untuk perencanaan adaptasi. Data yang relevan meliputi: sistem pertanian dan pangan, variabel lingkungan pertanian,

dampak iklim dan variabel sosial ekonomi seperti pertumbuhan populasi, kemiskinan dan kerawanan pangan.

Dampak perubahan iklim terhadap sumberdaya alam dan ekosistem misalnya berkurangnya ketersediaan air, meningkatnya kerusakan tanaman akibat kejadian iklim ekstrim dan ledakan Organisme Pengganggu Tanaman (OPT). Penilaian kerentanan dan risiko dilakukan terhadap indikator keterpaparan, sensitivitas dan kapasitas adaptasi. Hasil penilaian kerentanan dapat dijadikan rekomendasi kegiatan adaptasi.

Komponen perencanaan meliputi identifikasi dan penilaian kegiatan adaptasi yang terintegrasi dengan kebijakan dan strategi sektor pertanian. Pengarusutamaan adaptasi kedalam perencanaan pembangunan pertanian bertujuan menghindari duplikasi upaya adaptasi. Pelaksanaan dapat dilakukan pada tingkat nasional, provinsi dan lokal, baik berdasarkan proyek, program, kebijakan, atau strategi.

Monitoring dan evaluasi bertujuan untuk memantau semua proses dan komponen adaptasi (observasi, penilaian, perencanaan dan pelaksanaan). Pemantauan dan evaluasi harus dapat menggambarkan tingkat adaptasi saat ini dan merekomendasikan upaya adaptasi yang masih perlu dilakukan pada masa yang akan datang.

### **Indikator Adaptasi**

Adaptasi dikelompokkan dalam 4 (empat) kategori yaitu 1). Sumberdaya alam dan ekosistem, 2). Sistem produksi pertanian, 3). Sosial ekonomi, 4). Lembaga dan pembuat kebijakan. Kategori sumberdaya alam dan ekosistem dan sistem produksi pertanian umumnya berbasis hasil pada tingkat lokal, sedangkan kategori sosial ekonomi dan kelembagaan dan pengambil kebijakan berbasis proses yang dinilai pada skala nasional.

Empat kategori utama diatas dapat dipilah menjadi empat sub-kategori, yang berperan penting dalam menguraikan pentingnya indikator individu yang menentukan kerentanan sistem dan kapasitas adaptasi. Sebagai contoh, sub kategori pada kategori sumberdaya alam dan ekosistem adalah ketersediaan dan akses terhadap kualitas sumberdaya air untuk pertanian. Sub-kategori dan indikator dapat fleksibel sesuai dengan program adaptasinya. Contoh selengkapnya dari kategori, sub kategori dan indikator untuk pertanian disajikan pada Tabel 2.1.

**Sumberdaya alam dan ekosistem.** Sumberdaya alam dan ekosistem mempengaruhi kegiatan pertanian dan berpotensi dimanfaatkan untuk kegiatan adaptasi. Contoh indikator yang dapat digunakan adalah ketersediaan sumberdaya air dan tren ketersediaan dan kualitas air .

**Sistem produksi pertanian.** Produksi pertanian digunakan untuk memantau interaksi antara sumberdaya alam, ekosistem dan sistem produksi pertanian akibat dampak perubahan iklim. Contoh indikator yang digunakan adalah fluktuasi produksi

pangan yang dapat digunakan sebagai indikator untuk melihat dampak perubahan iklim terhadap sistem produksi pertanian.

**Sosial ekonomi.** Indikator yang berhubungan dengan akses terhadap informasi dan layanan, informasi peluang pekerjaan, bantuan sosial dan asuransi untuk petani berperan penting dalam mengurangi kerentanan terhadap perubahan iklim. Misalnya, proporsi petani kecil yang dapat mengakses kredit mikro mencerminkan sejauh mana petani kecil dapat berinvestasi dalam teknologi dan praktik budidaya yang tahan iklim.

**Lembaga dan pembuatan kebijakan.** Kapasitas lembaga dan tingkat koordinasi lembaga sangat menentukan efektivitas adaptasi dalam pengelolaan risiko iklim. Indikator yang terkait dengan lembaga dan pembuatan kebijakan mencerminkan sejauh mana lembaga mampu merumuskan dan menerapkan kebijakan dan strategi adaptasi yang efektif.

Tabel 2.1. Kategori dan sub-kategori untuk penilaian adaptasi sektor pertanian (FAO 2017)

<b>Kategori</b>	<b>Sub-Kategori</b>
Sistem produksi pertanian	1. Produksi dan produktivitas pertanian
	2. Pengelolaan sistem produksi pertanian berkelanjutan
	3. Dampak cuaca dan kejadian iklim ekstrem pada produksi pertanian dan mata pencaharian
	4. Proyeksi dampak dari perubahan iklim terhadap tanaman dan ternak
Sosial ekonomi	1. Ketahanan pangan dan gizi (kerentanan)
	2. Akses terhadap layanan utama
	3. Akses terhadap kredit, asuransi, perlindungan sosial di pedesaan
	4. Nilai tambah pertanian, pendapatan dan diversifikasi mata pencaharian
Sumberdaya alam dan ekosistem	1. Ketersediaan dan akses terhadap kualitas sumberdaya air untuk pertanian
	2. Ketersediaan dan akses terhadap kualitas sumberdaya lahan untuk pertanian
	3. Status ekosistem dan fungsinya
	4. Status keberagaman sumberdaya genetik pertanian
Kelembagaan dan kebijakan	1. Dukungan layanan institusional dan teknik
	2. Kepedulian terhadap kapasitas kelembagaan dan pengguna
	3. Pengarusutamaan prioritas adaptasi perubahan iklim pada kebijakan pertanian dan sebaliknya
	4. Pendanaan untuk pengelolaan adaptasi dan risiko

## Karakteristik Indikator Adaptasi

Untuk dapat melakukan penilaian adaptasi, maka indikator adaptasi harus memiliki 5 (lima) karakteristik yaitu: sederhana, terukur, analitis, relevan dengan kebutuhan petani, relevan dengan kebijakan serta transparan.

**Sederhana.** Indikator harus sederhana, jelas dan mudah dipahami, transparan dan obyektif. Namun, penyederhanaan yang berlebihan dan standarisasi indikator dapat menyebabkan hilangnya informasi yang berharga.

**Terukur.** Indikator harus didasarkan pada data yang tersedia, atau data yang dapat disediakan dengan biaya proporsional. Data harus berkualitas tinggi dan mutakhir.

**Analitis.** Indikator harus dapat dianalisa dan validitasnya harus diterima secara luas dan dapat dibandingkan lintas ekosistem, kawasan, komunitas, dan negara.

**Relevan dengan kebutuhan petani.** Faktor yang berpengaruh terhadap peningkatan produksi dan produktivitas, misalnya ketersediaan prasarana dan sarana pertanian.

**Relevan dengan kebijakan.** Setiap indikator harus dapat digunakan dalam penyusunan kebijakan berbagai kegiatan adaptasi.

**Transparan.** Indikator harus transparan dan mudah diinterpretasikan sehingga pengguna dapat memahami arti kisaran nilainya.

## 2.4. TAHAPAN PENILAIAN ADAPTASI

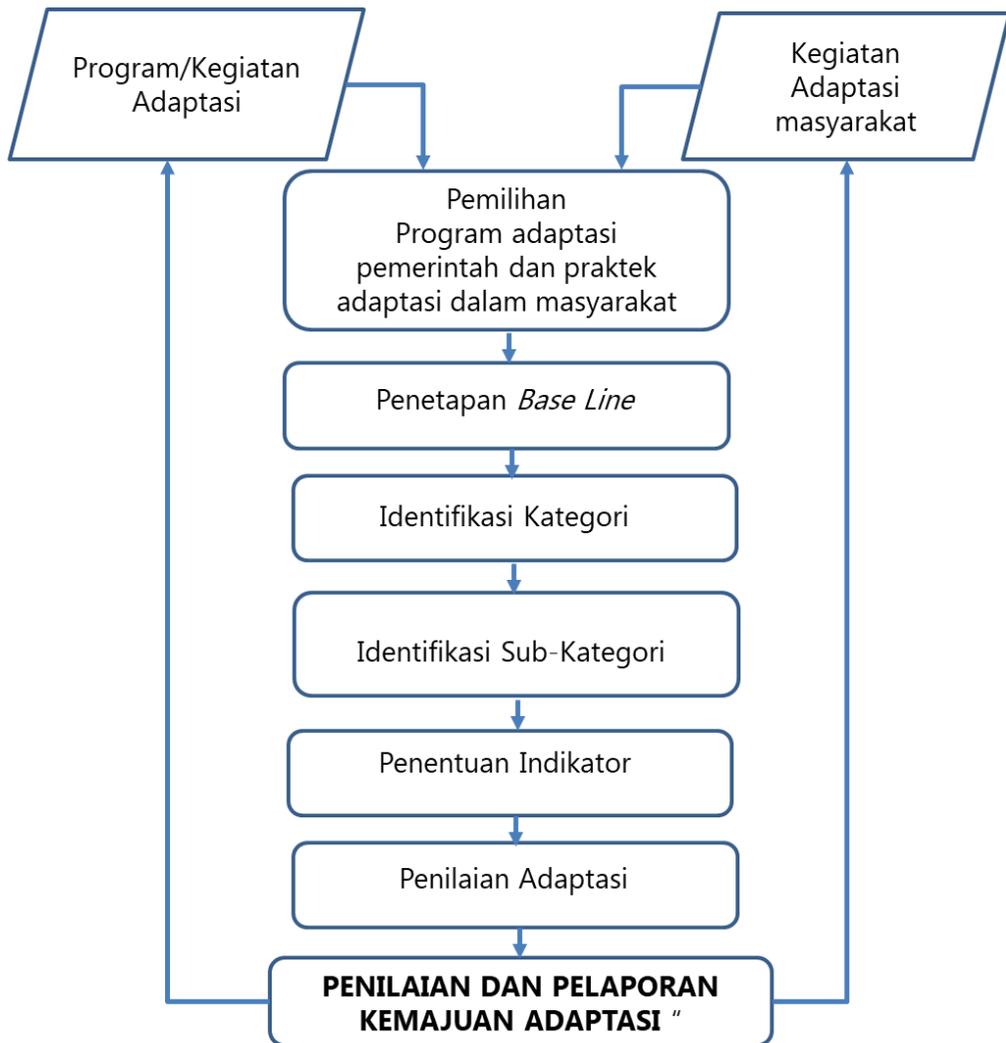
Tahapan penilaian adaptasi merupakan proses penilaian sebelum implementasi adaptasi dan sesudahnya yang mencakup proses dan hasilnya. Tahapan penilaian adaptasi disajikan pada Gambar 2.2.

### Identifikasi program/kegiatan adaptasi

Pada tahap identifikasi perlu ditentukan apakah akan menilai proses atau hasilnya, cakupannya apakah nasional, provinsi atau lokal, dan apa saja indikator yang digunakan. Sumber data sangat penting keberadaannya, bagaimana data dan informasi dikumpulkan, institusi dan sumberdaya yang dapat memberikan dukungan data, siapakah stakeholdernya dan bagaimana keterlibatannya. Sebelum kegiatan adaptasi perlu dilakukan *Forum Group Discussion* (FGD) dengan pengambil kebijakan untuk menentukan indikator dan target adaptasi untuk memudahkan dalam menentukan tingkat adaptasi yang dicapai

## Pemilihan Indikator

Indikator yang dipilih harus dapat menggambarkan dengan jelas target dari kegiatan adaptasi. Data dan informasi dari indikator yang telah ditetapkan dapat dikumpulkan dari berbagai sumber, termasuk statistik internasional, nasional dan provinsi, laporan dan dokumen resmi, serta wawancara dengan pengambil kebijakan. Sumber data dan metode perhitungan harus akurat, dan proses pengumpulan informasi harus dikomunikasikan secara transparan.



Gambar 2.2. Tahapan penilaian adaptasi perubahan iklim

## Penetapan *Baseline*, Target dan Interval

Untuk menilai proses adaptasi, *baseline* dan target harus ditetapkan untuk setiap indikator yang dipilih. *Baseline* adalah titik awal dimana suatu aksi adaptasi mulai dipantau. Target adalah proses atau hasil adaptasi yang diinginkan. Sebelum kegiatan adaptasi dilakukan, target adaptasi harus diidentifikasi dan disepakati. Setelah *baseline* dan target ditetapkan, ditentukan nilai interval yang digunakan untuk menetapkan tingkat adaptasi. Nilai minimum merupakan tingkat adaptasi yang sangat rendah, sedangkan nilai maksimum untuk tingkat adaptasi yang sangat tinggi.

## Analisis dan Penilaian Adaptasi

Penilaian dilakukan untuk setiap indikator pada berbagai titik waktu untuk menggambarkan kinerja adaptasi. Hasil penilaian adaptasi merupakan alat untuk mengidentifikasi apakah suatu daerah masih memerlukan adaptasi lebih lanjut dengan upaya yang lebih spesifik. Penilaian proses dilakukan dengan menganalisis indikator, karena penilaian berdasarkan kategori atau sub-kategori dapat mengaburkan perbedaan antara kinerja masing-masing indikator.

Nilai sub-kategori dapat dihitung sebagai rata-rata nilai terbobot dari indikator dalam sub-kategori. Nilai indikator, baik kuantitatif dan kualitatif dapat dikelaskan untuk selanjutnya ditentukan tingkat adaptasinya (Tabel 2.2 dan 2.3).

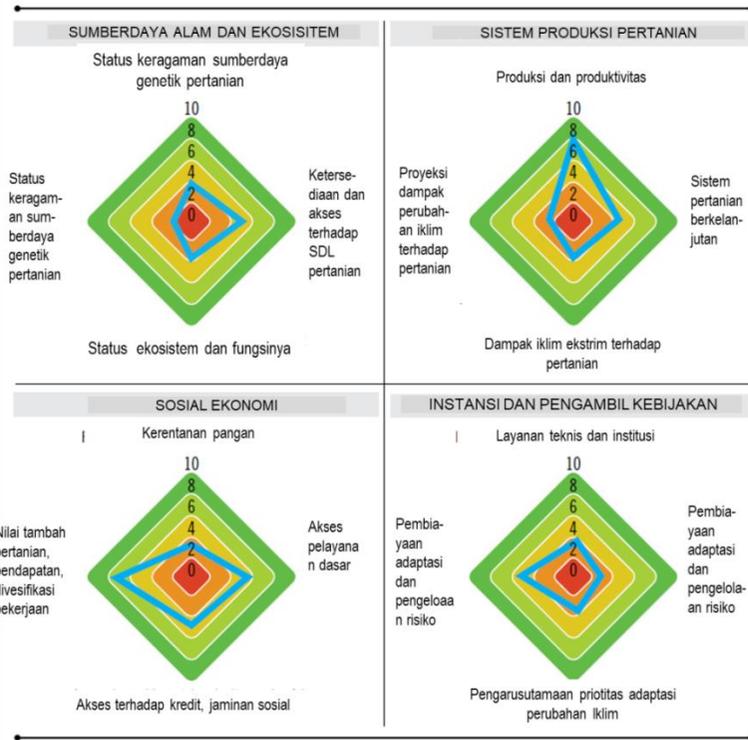
Tabel 2.2. Contoh pengkelasan tingkat adaptasi secara kuantitatif untuk indikator jumlah embung dari target 30 yang akan dibangun

Tingkat adaptasi	Kelas	Interval jumlah embung
Sangat Rendah	0	0
	1	1-3
	2	4-6
	3	7-9
Rendah	4	10-12
	5	13-15
Sedang	6	16-18
	7	19-21
Tinggi	8	22-24
	9	25-27
Sangat Tinggi	10	28-30

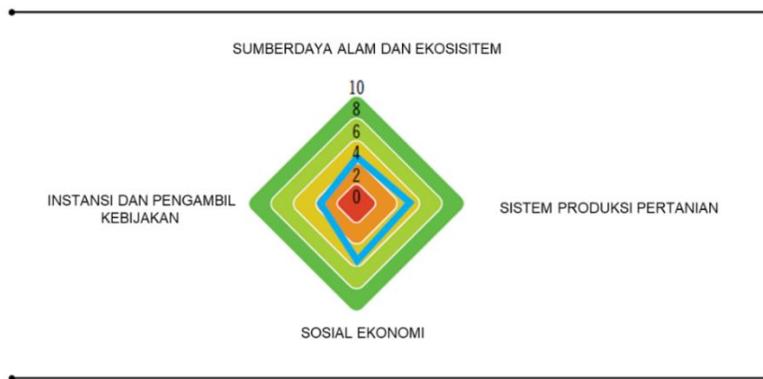
Tabel 2.3. Contoh pengkelasan tingkat adaptasi secara kualitatif untuk indikator kapasitas lembaga dalam menilai dan menyeleksi indikator adaptasi

<b>Tingkat adaptasi</b>	<b>Kelas</b>	<b>Keterangan</b>
Sangat Rendah	0	tidak ada
	1	sangat buruk
	2	buruk
Rendah	3	terbatas
	4	sangat terbatas
Sedang	5	agak sedang
	6	sedang
Tinggi	7	agak baik
	8	Baik
Sangat Tinggi	9	sangat baik
	10	terbaik

Gambar 2.3 memperlihatkan contoh skor tingkat adaptasi yang dicapai untuk setiap kategori. Misalnya, pada kategori sosial ekonomi tingkat adaptasi yang rendah adalah pada sub-kategori kerawanan pangan. Selanjutnya, skor kategori dihitung berdasarkan rata-rata dari setiap sub-kategori (contohnya pada Gambar 2.4). Keempat kategori mempunyai skor antara 3 (tingkat adaptasi rendah) dan level 5 (tingkat adaptasi sedang) setelah dilakukan penilaian adaptasi. Skor rendah pada sub-kategori pengambil kebijakan dan institusi mengindikasikan proses adaptasi yang terhambat.



Gambar 2.3. Contoh penilaian dan pemetaan kinerja sub-kategori dari indikator adaptasi (Sumber: FAO 2017)



Gambar 2.4. Radar Diagram untuk pemetaan skor kategori (Sumber: FAO 2017)

## Pelaporan dan penyampaian informasi kepada pengambil kebijakan

Penilaian kemajuan adaptasi adalah proses berkelanjutan dimana pelaporan dan informasi merupakan bagian terpenting. Proses penilaian adaptasi dilakukan sampai target yang ditentukan tercapai. Laporan hasil penilaian adaptasi dapat dijadikan dasar oleh pengambil kebijakan untuk mengidentifikasi kesenjangan dalam tindakan adaptasi, konsekuensi yang ditimbulkan serta langkah-langkah alternatif atau kompensasi yang perlu disiapkan agar target adaptasi dapat tercapai.

Untuk sektor pertanian kegiatan adaptasi dapat bersifat langsung maupun tidak langsung. Program dan aksi adaptasi diharapkan tidak saja memberikan manfaat tetapi juga nilai tambah (*co-benefit*). Nilai tambah adaptasi adalah manfaat tambahan kegiatan adaptasi yang berupa penurunan emisi GRK (mitigasi). Beberapa contoh kegiatan adaptasi, manfaat dan nilai tambahnya disajikan pada Tabel 2.4 dan 2.5.

Tabel 2.4. Contoh kegiatan adaptasi secara langsung, manfaat (*benefits*), dan nilai tambah (*co-benefits*)

No	Kegiatan	Manfaat ( <i>benefits</i> )	Nilai Tambah ( <i>co-benefits</i> )
1.	Konservasi tanah	Mempertahankan produktivitas tanah	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Meningkatkan kapasitas infiltrasi</li> <li>• Mengurangi risiko banjir</li> <li>• Meningkatkan cadangan karbon tanah dan tanaman</li> </ul>
2.	Panen air dan konservasi air	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Meningkatkan ketersediaan air untuk tanaman</li> <li>• Memperpanjang musim tanam</li> <li>• Meningkatkan luas tanam</li> <li>• Meningkatkan produksi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mengurangi risiko banjir,</li> <li>• Mengurangi risiko kekeringan</li> </ul>
3.	Pembangunan dan pemeliharaan jaringan irigasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peningkatan ketersediaan air</li> <li>• Peningkatan efisiensi pemanfaatan air</li> <li>• peningkatan luas tanam dan indeks tanam</li> <li>• Peningkatan produksi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pengurangan risiko kekeringan</li> <li>• Peningkatan cadangan karbon lansekap</li> </ul>
4.	Penggunaan bahan organik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Meningkatkan kapasitas tanah memegang air</li> <li>• Meningkatkan kapasitas tukar kation dan kandungan hara tanah</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Meningkatkan cadangan karbon tanah</li> </ul>

No	Kegiatan	Manfaat ( <i>benefits</i> )	Nilai Tambah ( <i>co-benefits</i> )
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memperbaiki struktur tanah</li> <li>• Meningkatkan aktifitas fauna dan flora tanah</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Meningkatkan keragaman hayati fauna dan flora tanah</li> </ul>
5.	Pemupukan berimbang	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk</li> <li>• Meningkatkan pertumbuhan tanaman</li> <li>• Meningkatkan hasil tanaman</li> </ul>	Mengurangi emisi (terutama emisi N <sub>2</sub> O) dari pemupukan yang berlebihan
6.	Kalender tanam dan system peringatan dini	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mengurangi risiko gagal panen akibat kekeringan atau kebanjiran</li> <li>• Meningkatkan produksi</li> </ul>	
7.	Pengembangan varietas padi toleran banjir, kekeringan, salinitas dan OPT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menurunkan risiko penurunan hasil</li> <li>• Meningkatkan produksi</li> </ul>	
8.	Irigasi berselang ( <i>intermittent</i> ) pada lahan sawah	Meningkatkn efisiensi penggunaan air	Menurunkan emisi CH <sub>4</sub>
9.	Perbaikan kualitas pakan ternak	Meningkatkan reproduksi dan produksi ternak	Menurunkan emisi enteric CH <sub>4</sub> melalui peningkatan efisiensi dalam mencerna makanan

Tabel 2.5. Contoh kegiatan adaptasi secara tidak langsung

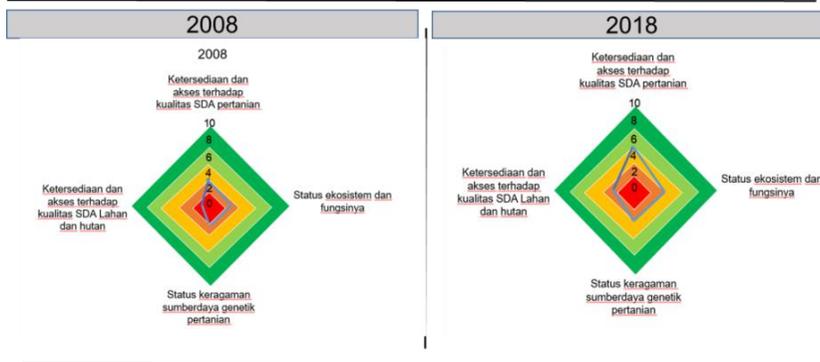
No	Kegiatan	Manfaat	Nilai Tambah
1.	Sekolah lapang iklim	Meningkatkan pemahaman dan keterampilan petani dalam beradaptasi terhadap perubahan iklim	-
2.	Asuransi pertanian	Meningkatkan kesejahteraan petani melalui jaminan terhadap atas kerugian akibat kejadian iklim ekstrim	-
3.	Pendanaan	Meningkatkan kemampuan petani dalam berinvestasi	Meningkatkan kesejahteraan petani
4.	Penyediaan sarana dan prasarana	Meningkatkan kemampuan petani dalam berusaha tani	Meningkatkan ketahanan pangan rumah tangga petani

## 2.5. CONTOH PENILAIAN ADAPTASI

Beberapa indikator utama untuk penilaian adaptasi di sektor pertanian terkait dengan sumberdaya alam dan ekosistem, sistem produksi pertanian, sosial ekonomi serta kelembagaan dan kebijakan masing-masing dengan sub kategorinya disajikan dalam Tabel 2.6.

Sebagai gambaran diberikan salah satu contoh penilaian adaptasi terhadap salah satu program di Kementerian Pertanian yaitu Program Penyediaan dan Pengembangan Prasarana dan Sarana Pertanian dengan kegiatan Pengelolaan Air Irigasi untuk Pertanian dengan output berupa embung pertanian. Proses penilaian diawali dengan identifikasi indikator pada sub kategori untuk setiap kategori (Tabel 2.6). Selanjutnya dilakukan penilaian terhadap setiap sub kategori yang merupakan nilai rata rata setiap indikator dalam sub kategori tersebut. Nilai sebelum dan sesudah proses adaptasi seperti disajikan pada Gambar 2.5.

Proses kemajuan adaptasi setiap indikator perwakilan untuk setiap sub-kategori dapat dilihat pada Gambar 2.6. Contohnya untuk sub-kategori ketersediaan dan akses terhadap kualitas sumberdaya air untuk pertanian dipilih indikator jumlah embung yang dibangun. Sebelum proyek dilaksanakan pada tahun 2008 terdapat 5 buah embung dan dalam jangka waktu 10 tahun pada tahun 2018 terjadi peningkatan menjadi 10 buah embung. Pada Tabel 2.6 disajikan bahwa target embung yang dibangun adalah 30 buah. Dengan 5 buah embung pada tahun 2008, tingkat adaptasi sangat rendah, dan pada tahun 2018 jumlah embung meningkat menjadi 10 buah, dengan tingkat adaptasi menjadi kategori rendah. Rekomendasi dari penilaian tersebut adalah masih diperlukan pembangunan embung agar mencapai tingkat adaptasi tinggi atau sangat tinggi.



Gambar 2.5. Contoh hasil penilaian sub-kategori pada kategori sumberdaya alam dan ekosistem yang terkait dengan perubahan iklim

	Tingkat adaptasi			
	9-10 sangat tinggi	7-9 tinggi	5-7 sedang	3-5 rendah
<b>TAHAN</b>				
	Jumlah embung yang dibangun	Program konservasi tanah	Ekosistem lahan kering	Jumlah varietas padi toleran kekeringan
			2018 (6)	
	2018 (4)	2018 (3)	↑	2018(4)
	2018 (4)	2018 (3)	↑	2018(4)
<b>RENTAN</b>	2008 (2)	2008 (1)	2008 (3)	2008 (2)
	Ketersediaan dan akses terhadap kualitas SDA air untuk pertanian	Ketersediaan dan akses terhadap kualitas SDL dan hutan untuk pertanian	Status ekosistem dan fungsinya	Status keberagaman sumberdaya genetik pertanian
				0-<3 sangat rendah

Gambar 2.6. Proses kemajuan adaptasi sebagai salah satu contoh untuk kategori sumberdaya alam dan ekosistem

Tabel 2.6. Identifikasi indikator penilaian adaptasi untuk kegiatan “Pengelolaan air irigasi untuk pertanian (embung pertanian)”

Nama Kegiatan : .....

Lokasi : .....

Status : Sebelum/sesudah\* adanya kegiatan (\*coret yang tidak perlu)

Tahun : .....

Tabel 2.6a. Daftar isian identifikasi indikator untuk indikator utama sumberdaya alam dan ekosistem

No	Sub-Kategori	Indikator	Unit	Sumber Data	Outcome/ Proses
1	Ketersediaan dan akses terhadap kualitas sumberdaya air untuk pertanian	Jumlah embung yang dibangun	.... unit	Kemendesa, PSP (Kementan)	
2		Kerapatan jaringan irigasi	....ha	PU Pengairan	
3		Panjang jaringan irigasi	....km	PU Pengairan	
4		Curah hujan tahunan	....mm	BMKG,Balitklimat, PU Pengairan	
5	Ketersediaan dan akses terhadap kualitas sumberdaya lahan dan hutan	Program konservasi tanah	....ha	Dinas, PSP (Kementan)	
6		Pembukaan sawah baru	....ha	PSP (Kementan)	
7		Luas lahan yang terdegradasi per luas total	....ha		
8	Status ekosistem dan fungsinya	Ekosistem lahan kering pertanian (persen thd total area)	....%	BBSDLP (Kementan)	
9		Luas hutan (persen thd total area)	....%	KLHK	
10	Status keberagaman sumberdaya genetik pertanian	Lima tanaman dominan dalam total produksi tanaman	....%	BPS, Kementan	

Tabel 2.6b. Daftar isian identifikasi indikator untuk indikator utama sistem produksi pertanian

No	Sub-Kategori	Indikator	Unit	Sumber Data	Outcome/ Proses
1	Produksi dan produktivitas pertanian	Luas sawah irigasi (persen thd total)	.....% dari total sawah	BPS	Outcome
2		Produktivitas padi, jagung, kedelai	....ton/ha ....ton/ha ....ton/ha	BPS	Outcome
3		Indeks penanaman	...kali	BPS, Wawancara	Outcome
4	Pengelolaan sistem produksi pertanian berkelanjutan	Luas sawah yang dapat diairi	...ha	BPS, PU	Outcome
5		Jumlah komoditas pangan alternatif yang dapat dimanfaatkan untuk penganekaragaman pangan utama dan fungsional	....Jenis	BPS, wawancara	Outcome
6		Efisiensi penggunaan air di lahan irigasi	....Rp/m <sup>3</sup>	PU, Kementan	Proses
7		Luas lahan konservasi thd luas lahan pertanian	....%	Kementan	Proses
8		Efisiensi penggunaan pupuk	...kg/ha	Kementan	Proses
9	Dampak cuaca dan kejadian iklim ekstrem pada produksi pertanian dan mata pencaharian	Luas lahan sawah yang terkena banjir	....ha	Ditlin-Kementan	Outcome
10		Luas lahan sawah yang terkena kekeringan	....ha	Ditlin-Kementan	Outcome
11		Luas lahan sawah yang terkena OPT	....ha	Ditlin-Kementan	Outcome
12	Proyeksi dampak dari perubahan iklim terhadap tanaman dan ternak	Proyeksi dampak PI thd sektor pertanian	....%	Kementan	Outcome

Tabel 2.6c. Daftar isian identifikasi indikator untuk indikator utama sosial ekonomi

No	Sub-Kategori	Indikator	Unit	Sumber Data	Outcome/ Proses
1	Ketahanan pangan dan gizi (kerentanan)	Jumlah penduduk miskin	....orang	BPS	Outcome
2	Akses terhadap layanan utama	Panjang jalan berdasarkan jenis permukaan	....km	BPS	Outcome
3	Akses terhadap kredit, asuransi, perlindungan sosial di pedesaan	Jumlah petani yang sudah mengikuti asuransi pertanian	....orang	PSP (Kementan)	Outcome
4		Luas sawah yang diasuransikan dibandingkan dengan total luas sawah	....%	PSP (Kementan)	Outcome
5	Nilai tambah pertanian, pendapatan dan diversifikasi mata pencaharian	Jumlah petani yang memanfaatkan sumber air	.....orang	PSP (Kementan)	Outcome
6		Pendapatan petani	....Rp/ha	BPS, Kementan	Pendapatan petani

Tabel 2.6d. Daftar isian identifikasi sub kategori dan indikator untuk indikator utama kelembagaan dan kebijakan

No	Sub-Kategori	Indikator	Unit	Sumber Data	Outcome/ Proses
1	Dukungan layanan institusional dan teknik	Jumlah petani yang mengetahui informasi iklim	...Orang	Wawancara	Outcome
2		Jumlah Gabungan Perkumpulan Petani Pengguna Air (GP3A)	....Buah	Kementan, wawancara	Outcome
3	Kepedulian terhadap kapasitas kelembagaan dan pengguna	Jumlah petani yang mengetahui teknologi dalam pengelolaan air	....Orang	Wawancara	Outcome
4		Jumlah petani yang mengetahui kalender tanam untuk penetapan pola tanam	....Orang	Wawancara	Outcome
5	Pengarusutamaan prioritas adaptasi perubahan iklim pada kebijakan pertanian dan sebaliknya	Peraturan tentang penggunaan dan pembagian air	....Buah	Dinas Pertanian, PU Pengairan	Outcome
6	Pendanaan untuk pengelolaan adaptasi dan risiko	Proporsi dana yang dialokasikan untuk adaptasi	....%	Kementan	Outcome

## DAFTAR BACAAN

- Estiningtyas E, Susanti E, Surmaini E. 2016. Kerentanan Sub-Sektor Tanaman Pangan Terhadap Perubahan Iklim. Jurnal Sumberdaya Lahan Edisi Khusus, Desember 2016. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Litbang Pertanian, Bogor.
- Estiningtyas W, Syahbuddin H, Sumaryanto, Mulyani A, Setyorini D, Kartiwa B, Rachman A, Susanti E, Surmaini E, Suciandini, Apriyana Y, Pramudia A, Sarvina Y, Kurniawan Y, Nugroho AA, Samudera RP, Hutami AS. 2016. Analisis dan Pemetaan Tingkat Kerentanan Pangan Terhadap Anomali Iklim (El-Nino, La-Nina). Laporan akhir. Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Bogor.
- FAO. 2017. Tracking adaptation in Agricultural Sector: Climate change adaptation Indicators
- IPCC. 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Special Report of The Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press
- IPCC. 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Part B: Regional Aspects. In Barros VR, Field CD, Dokken DJ, Mastrandrea MD, Mach KJ, Bilir KJ, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RG, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, and White LL (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 688. (available at [www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-AnnexII\\_FINAL.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-AnnexII_FINAL.pdf)).
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.7/Menlhk/Setjen/Kum.1/2/2018 Tentang Pedoman Kajian Kerentanan, Risiko, Dan Dampak Perubahan Iklim.
- Peraturan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 39/PERMENTAN/HM.130/8/2018 Tentang Sistem Peringatan Dini dan Penanganan Dampak Perubahan Iklim Pada Sektor Pertanian.
- Salinger MJ, Sivakumar MVK, Motha R. 2005. Reducing Vulnerability of Agriculture and Forestry to Climate Variability and Change: Workshop Summary and Recommendations. *Climatic Change* (2005) 70: 341–362.
- Sheehy JE, Elmido A, Centeno G, Pablico P. 2005. Searching for new plant for climate change. *Journal of Agricultural Meteorology* 60:463–468. FAO. Rome.
- St-Louis M, Schlickerrieder J, Bernoux M. 2018. The Koronivia Joint Work on Agriculture and the Convention Bodies: an Overview. FAO's Climate and Environment Division (CBC). FAO, Rome.19p.

## 3. EMISI CH<sub>4</sub> DARI LAHAN SAWAH

**Anggri Hervani, Helena Lina Susilawati, Hesti Yulianingrum, Ali Pramono,  
Mas Teddy Sutriadi**

*Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Jakenan, Jawa Tengah*

### 3.1. LANDASAN TEORI

Lahan sawah di Indonesia merupakan penyokong kebutuhan pangan utama khususnya beras. Namun pengelolaan lahan sawah secara global dengan metode pengairan tergenang merupakan kontributor utama emisi metana (CH<sub>4</sub>) yaitu sebesar 89% dari emisi CH<sub>4</sub> total dari sektor pertanian (Linguist *et al.* 2012). Padi berperan sebagai fasilitator dalam produksi, oksidasi dan transport CH<sub>4</sub> ke atmosfer (Wassmann dan Aulakh 2000). Tanaman padi merupakan penyedia substrat karbon dalam bentuk eksudat yang berasal dari sisa tanaman yang mati dan terdekomposisi sehingga digunakan oleh bakteri metanogen dalam memproduksi CH<sub>4</sub> (Lu *et al.* 2000, 2002; Aulakh *et al.* 2001b). Selain itu, kondisi air di lahan sawah berperan penting dalam produksi CH<sub>4</sub> karena bakteri metanogen hidup dalam kondisi anaerob maka keberadaan bakteri metanogen dalam proses dekomposisi bahan organik dalam kondisi sawah tergenang merupakan faktor utama dalam menghasilkan CH<sub>4</sub> (Conrad 2005).



Gambar 3.1. Pengukuran emisi CH<sub>4</sub> dari lahan sawah

Produksi CH<sub>4</sub> dalam tanah yang terlepas ke atmosfer melalui cerobong aerenkima dari tanaman padi adalah sebesar 80-98%, sisanya adalah melalui proses difusi molekuler melalui permukaan air irigasi dan ebolusi (Holzapfel-Pschorn *et al.* 1986; Holzapfel-Pschorn dan Seiler 1986; Tyler *et al.* 1997; Yu *et al.* 1997). Selain itu, peran aerenkima padi

adalah sebagai cerobong transport oksigen dari atmosfer ke zona perakaran sehingga menyebabkan kondisi aerobik untuk respirasi akar dalam kondisi tanah yang tergenang dan menghasilkan oksidasi CH<sub>4</sub> dalam rhizosfer (Sigren *et al.* 1997; Eller dan Frenzel 2001; Colmer 2003; Suralta dan Yamauchi 2008). Mekanisme ini yang salah satunya yang menyebabkan besarnya emisi CH<sub>4</sub> dari berbagai varietas padi akan berbeda (Huang *et al.* 1997; Bilek *et al.* 1999). Oleh karena produksi substrat dari masing-masing varietas padi dan kapasitas transport CH<sub>4</sub> dari masing-masing varietas padi berpengaruh terhadap emisi CH<sub>4</sub> maka pemilihan varietas padi rendah emisi CH<sub>4</sub> dan tinggi produktivitas adalah sebagai salah satu cara efektif dalam menurunkan emisi CH<sub>4</sub> dari lahan sawah (Gutierrez *et al.* 2013).

Pada lahan sawah dengan kondisi pengairan tergenang akan meningkatkan produksi CH<sub>4</sub> karena terciptanya kondisi anaerob. Dalam kondisi tergenang, air masuk ke pori-pori tanah menggantikan udara di dalamnya. Kemudian terjadi proses reduksi dimana konsentrasi O<sub>2</sub> dan nilai potensial redoks akan turun, hal ini memicu aktivitas bakteri methanogen. Metana diproduksi sebagai produk akhir dari mineralisasi bahan organik tanah melalui rantai methylotronic, hydrogenotrophic dan acetoclastic dengan tidak adanya elektron penerima (seperti O<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Fe (III) dan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) atau digunakan secara langsung oleh mikroba anaerob sebagai substrat (Lagomarsino *et al.* 2016; Kruger *et al.* 2005; Naharia *et al.* 2005). Dengan penerapan pengairan berselang menyebabkan terjadinya reaksi reduksi dan oksidasi secara bergantian yang berakibat terhambatnya pembentukan CH<sub>4</sub>.

### 3.2. PERKIRAAN EMISI

Persamaan perhitungan emisi CH<sub>4</sub> dari lahan sawah secara sederhana merupakan faktor pengali antara faktor emisi dengan data aktifitas, penjabarannya adalah sebagai berikut:

$$CH_4_{padi} = \sum_{i,j,k} (FE_{I,J,K} \times t_{i,j,k} \times A_{I,J,K} \times 10^{-6}) \text{ (Persamaan 5.1 IPCC 2019)}$$

dimana

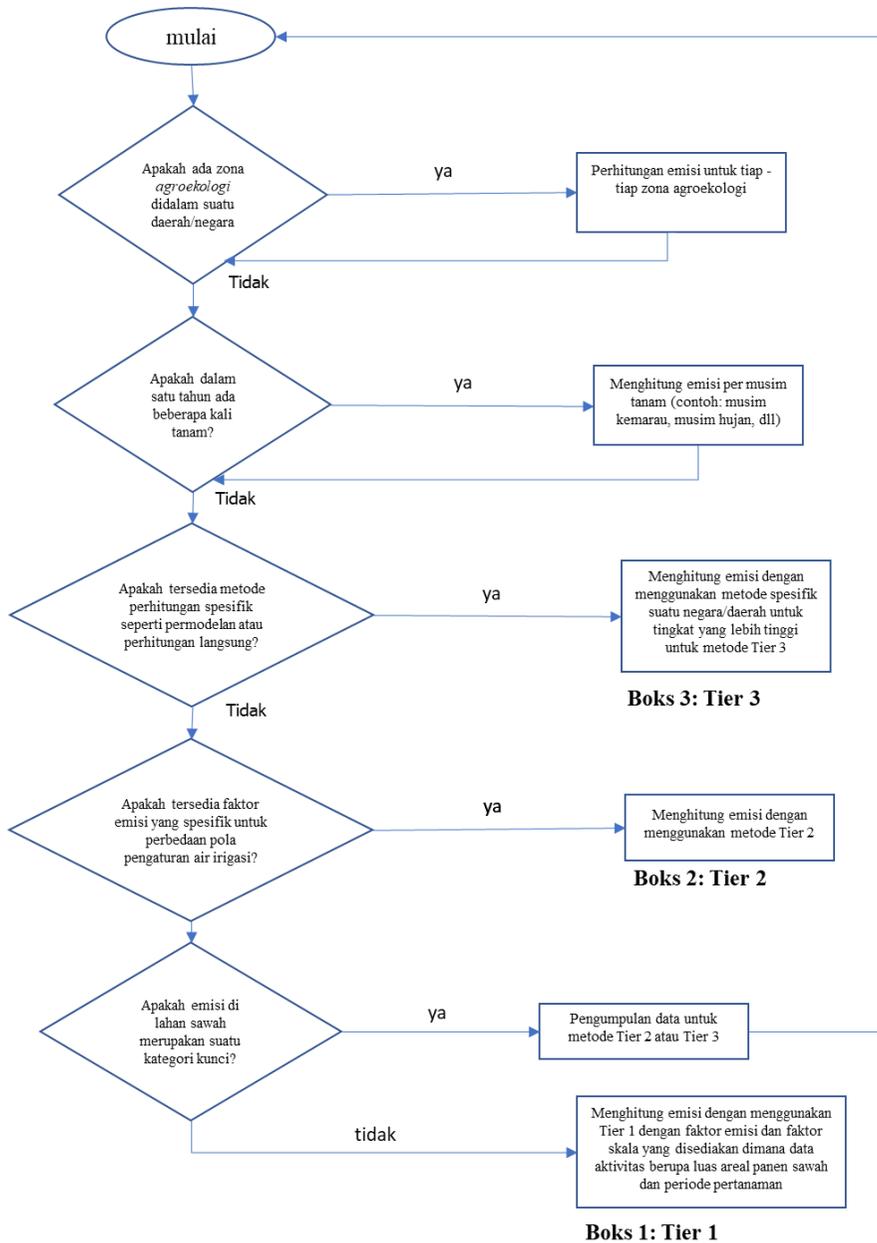
- CH<sub>4</sub> Padi : emisi CH<sub>4</sub> dari lahan sawah (Gg CH<sub>4</sub> tahun<sup>-1</sup>)
- FE<sub>ijk</sub> : faktor emisi dari pada kondisi tertentu (kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> hari<sup>-1</sup>)
- T<sub>ijk</sub> : periode tanam pada saat kondisi tertentu (hari)
- A<sub>ijk</sub> : luas panen lahan sawah pada kondisi tertentu (ha tahun<sup>-1</sup>)
- 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 CH<sub>4</sub>

### 3.3. FAKTOR EMISI

Terdapat 3 (tiga) tingkat ketelitian “Tier” dalam metodologi inventarisasi untuk memperkirakan emisi gas rumah kaca. Tingkatan ketelitian dari “Tier dibedakan mulai dari penggunaan persamaan yang sederhana hingga kompleks. Tingkat sederhana menggunakan data default dari IPCC Guidelines 2006 hingga penggunaan data spesifik untuk sistem yang lebih kompleks.

#### ***Tier 1***

Tingkat ketelitian ini dirancang untuk perhitungan yang sederhana, dimana persamaan-persamaan dan nilai-nilai parameter default (misalnya, faktor-faktor emisi telah disediakan pada IPCC 1996, 2006 atau, 2019, dan dapat digunakan. Untuk Tier 1 biasanya berupa data faktor emisi global atau regional (KLH 2012). Tier 1 digunakan apabila suatu negara atau daerah dimana metana bukan merupakan sebuah kategori kunci untuk emisi atau bila negara ataupun daerah tersebut belum memiliki faktor emisi yang spesifik.



Gambar 3.2. Bagan penentuan penggunaan metode inventarisasi gas rumah kaca lahan sawah

Untuk perhitungannya menggunakan Persamaan 5.2 Tier 1 dari IPCC 2019 sebagai berikut:

$$FE_i = FE_c \times SF_w \times SF_p \times SF_o \text{ (Persamaan 5.2 IPCC 2019)}$$

Dimana:

$FE_i$  : Faktor emisi harian yang terkoreksi untuk luas panen tertentu, *kg CH<sub>4</sub> per 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 budidaya

$SF_p$  : 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

Keterangan:

1. Default baseline untuk emisi CH<sub>4</sub> dari lahan sawah ( $FE_c$ ).

Nilai *baseline* faktor emisi digunakan misalnya apabila sebuah negara A di kawasan Asia Tenggara maka nilai faktor emisinya adalah 1,22 kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> hari<sup>-1</sup>, berarti emisi metana lahan sawah negara A tersebut adalah sebesar 1,22 kg metana per hektar per hari.

Tabel 3.1. Baseline faktor emisi CH<sub>4</sub> harian dengan asumsi tidak digenangi selama 180 hari sebelum tanam, dan penggenangan padi selama musim tanam padi tanpa penambahan bahan organik (dari Tabel 5.11, IPCC 2019)

Dunia		Spesifik Kawasan		
Faktor Emisi (kg CH <sub>4</sub> ha <sup>-1</sup> hari <sup>-1</sup> )	Kisaran (kg CH <sub>4</sub> ha <sup>-1</sup> hari <sup>-1</sup> )	Wilayah	Faktor Emisi (kg CH <sub>4</sub> ha <sup>-1</sup> hari <sup>-1</sup> )	Kisaran (kg CH <sub>4</sub> ha <sup>-1</sup> hari <sup>-1</sup> )
1,19	0,8-1,76	Afrika <sup>1</sup>	1,19	0,80-1,76
		Asia Timur	1,32	0,89-1,96
		Asia Tenggara	1,22	0,83-1,81
		Asia Selatan	0,85	0,58-1,26
		Eropa	1,56	1,06-2,31
		Amerika Utara	0,65	0,44-0,96
		Amerika Selatan	1,27	0,86-1,88

Keterangan: Faktor emisi dan kisaran ditentukan berdasarkan tingkat kepercayaan 95% dengan model statistik berbasis pembaruan

<sup>1</sup>Untuk Afrika, menggunakan perkiraan global karena kurangnya data.

2. Faktor skala untuk CH<sub>4</sub> dari berbagai tipe pengairan ( $SF_w$ ).

Dalam IPCC Guidelines 2019 telah disediakan faktor skala untuk padi yang menggunakan jenis pengairan tertentu (Tabel 3.2). Sebagai contoh, negara A di kawasan Asia Tenggara menerapkan pengairan irigasi dengan penggenangan terus menerus maka faktor skala untuk perhitungan yang digunakan adalah 1,00.

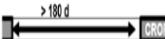
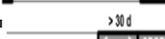
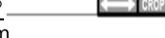
Tabel 3.2. Faktor skala emisi CH<sub>4</sub> untuk beberapa sistem pengelolaan air lahan sawah (dari Tabel 5.12, IPCC 2019)

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

3. Faktor skala CH<sub>4</sub> untuk rejim air sebelum tanam (SFp).

IPCC 2019 membagi faktor skala rejim air sebelum tanam berdasarkan jumlah hari dimana lahan sawah tidak tergenang air (Tabel 3.3). Sebagai contoh, suatu negara di kawasan Asia Tenggara memiliki lahan sawah dengan kondisi tidak tergenang sebelum tanam selama kurang dari 180 hari maka faktor skala nya dalah 1,00.

Tabel 3.3. Faktor kondisi air irigasi sebelum tanam (dari Tabel 5.13, IPCC 2019)

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) <sup>a,b</sup> 			2,41	2,13 – 2,73
tergenang sebelum tanam >365 hari <sup>c</sup> 			0,59	0,41 – 0,84

<sup>a</sup> tergenang kurang dari 30 hari sebelum tanam tidak termasuk dalam SFp  
<sup>b</sup> untuk kalkulasi emisi sebelum tanam (akan ada kelengkapan lanjutan)  
<sup>c</sup> mengacu pada "tanaman dataran tinggi – rotasi padi" atau diikuti tanpa penggenangan di tahun sebelumnya.

## 4. Faktor skala untuk penambahan bahan organik ke sawah (SFO)

Untuk semua bahan organik baik itu dari kotoran hewan maupun kompos yang ditambahkan ke sawah perlu dihitung sumbangan emisinya menggunakan IPCC Guidelines di Persamaan 5.3. Sebagai contoh, sebuah negara A dikawasan Asia

Tenggara menggunakan 1 ton/ha jerami padi diaplikasikan ke sawah kurang dari 30 hari sebelum tanam dan penambahan 2 ton/ha kotoran ternak akan diaplikasikan ke sawah. Maka nilai faktor konversinya adalah 1,00 dan 0,21.

Persamaan 5.3 (IPCC, 2019)

Faktor skala untuk emisi CH<sub>4</sub> dengan penambahan bahan organik

$$SFo = \left( 1 + \sum_i ROA_i \cdot CFOA_i \right)^{0,59}$$

(Persamaan 5.3 IPCC 2019)

Dimana:

SFo = Faktor skala untuk kedua tipe bahan organik yang ditambahkan ke sawah

ROAi = dosis bahan organik yang diaplikasikan ke sawah dalam bentuk berat kering untuk jerami dan berat basah untuk yang lainnya dengan satuan ton/hektar

CFOAi = faktor konversi terhadap bahan organik yang ditambahkan, menggunakan IPCC Guidelines 2019 dalam Table 3.4.

Tabel 3.4. Faktor konversi tipe bahan organik yang diaplikasikan ke sawah (dari Tabel 5.14, IPCC 2019)

Penambahan bahan organik	Faktor konversi (CFOA)	Kisaran
Jerami diaplikasikan <30 hari sebelum tanam	1,00	0,85 – 1,17
Jerami diaplikasikan >30 hari sebelum tanam	0,19	0,11 – 0,28
Kompos	0,17	0,09 – 0,29
Pupuk kandang	0,21	0,15 – 0,28
Pupuk hijau	0,45	0,36 – 0,57

5. Lama pertanaman padi per musim mulai dari tanam sampai panen (t).

Di dalam IPCC (2006) belum memasukkan faktor periode tanam padi, sedangkan untuk IPCC (2019) dalam Tabel 3.5 sudah memasukkan umur padi per periode tanam berdasarkan pembagian kawasan meliputi Afrika, Asia Timur, Asia Tenggara, Asia Utara, Eropa, Amerika Utara dan Amerika Selatan.

Tabel 3.5. Umur spesifik tanaman padi pada berbagai wilayah di dunia (dari table 5.11A, IPCC 2019)

Dunia		Spesifik kawasan		
Umur Tanaman (hari)	Rentang kesalahan (hari)	Wilayah	Umur Tanaman (hari)	Rentang kesalahan (hari)
113	74-152	Afrika <sup>1</sup>	113	74-152
		Asia Timur	112	73-147
		Asia Tenggara	102	78-150
		Asia Selatan	112	90-140
		Erropa	123	111-153
		America Utara	139	110-165
		America Selatan	124	110-146

### Tier 2

Dalam penggunaan tingkat ketelitian Tier 2 menggunakan metode pendekatan yang sama dengan persamaan Tier 1 namun sudah menggunakan faktor emisi lokal yang spesifik seperti penggunaan jenis tanah dan varietas padi. Untuk kegiatan inventarisasi metana dari lahan sawah di Indonesia menggunakan Tier 2 karena sudah menggunakan data spesifik varietas padi Indonesia.

Untuk perhitungannya menggunakan Persamaan 5.2 Tier 2 dari IPCC 2019 sebagai berikut:

$$FE_i = FE_c \times SF_w \times SF_p \times SF_o \times SF_s \times SF_r$$

(Persamaan 5.2 IPCC 2019)

$FE_i$  : Faktor emisi harian yang terkoreksi untuk luas panen tertentu (kg CH<sub>4</sub> per hektar per 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 budidaya

$SF_p$  : 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

$SF_s$  : Faktor skala untuk jenis tanah dan lain-lain, jika tersedia

$SF_r$  : Faktor skala untuk varietas padi sawah dan lain-lain, jika tersedia

## Keterangan:

1. Default baseline untuk emisi CH<sub>4</sub> dari lahan sawah (FEc)  
 Dalam perhitungan emisi CH<sub>4</sub> lahan sawah, default yang digunakan di Indonesia sebesar 1,61 kg CH<sub>4</sub>/ha/hari sedangkan menurut IPCC Guidelines 2019 Refinement ditampilkan dalam Table 5.11 digunakan apabila belum memiliki faktor emisi spesifik.
2. Lama pertanaman padi per musim mulai dari tanam sampai panen (t).  
 Untuk inventarisasi di Indonesia, data spesifik mengenai umur padi pada masing-masing varietas sudah digunakan (Tabel 3.6). Dalam sistem pertanian di Indonesia, produksi hasil tinggi merupakan faktor utama dalam pemilihan varietas yang ditanam petani. Dari beberapa varietas yang dipilih dan ditanam oleh petani, juga memiliki nilai emisi metana yang rendah jika dibandingkan dengan varietas IR64 yang sudah cukup lama dikenal oleh petani. Penanaman varietas padi yang tinggi produksi dan rendah emisi seperti Ciherang, Memberamo, Wayapoburu, Batang Anai, Hipa4, Inpari 13, Inpari 18 dan Inpari 33 akan mensinergikan antara peningkatan produksi dan mitigasi metana dari lahan sawah secara bersama.
3. Faktor skala untuk CH<sub>4</sub> dari berbagai tipe pengairan (SFw).  
 Dalam IPCC Guidelines 2019 telah disediakan faktor skala untuk padi yang menggunakan jenis pengairan tertentu (Tabel 3.2). Sedangkan di Indonesia untuk perhitungan emisi CH<sub>4</sub> dari lahan sawah dengan pengairan tergenang terus menerus menggunakan faktor skala 1; lahan sawah tadah hujan menggunakan faktor skala 0,49; pengairan macak macak menggunakan faktor skala 0,71; dan pengairan berselang menggunakan faktor skala 0,46.
4. Faktor skala CH<sub>4</sub> untuk rejim air sebelum tanam (SFp).  
 IPCC 2019 membagi faktor skala rejim air sebelum tanam berdasarkan jumlah hari dimana lahan sawah tidak tergenang air (Tabel 3.3). Perhitungan yang dilakukan di Indonesia masih mengacu pada IPCC Guidelines dengan menggunakan faktor skala 1 dimana ada kondisi tidak ada air di lahan sawah selama kurang dari 180 hari di antara dua musim tanam.
5. Faktor skala untuk penambahan bahan organik ke sawah (SFo)  
 Untuk semua bahan organik, baik dari kotoran hewan maupun kompos yang ditambahkan ke lahan sawah perlu dihitung sumbangan emisinya menggunakan IPCC Guidelines pada Persamaan 5.3 (untuk Tier 1). Dalam perhitungan untuk Indonesia, asumsi yang digunakan adalah 1 ton ha<sup>-1</sup> jerami padi dan 2 ton/ha kotoran ternak akan diaplikasikan ke sawah. Kemudian, faktor konversi untuk jerami yang digunakan adalah 0,29 sedangkan untuk kotoran ternak adalah 0,14 (IPCC 2006). Namun nilai faktor konversi untuk jerami dan kotoran ternak telah ada pembaruan pada IPCC (2019) seperti disajikan dalam Tabel 3.4.

6. Faktor skala untuk jenis tanah (SFs) dan varietas (SFr).

Untuk jenis tanah, faktor skala yang digunakan adalah 1. Sedangkan untuk varietas, faktor skala yang digunakan berbeda berdasarkan jenis varietas yang ditanam (Tabel 3.6). Untuk faktor skala dengan nilai 1 digunakan untuk varietas IR64 sebagai default karena asumsi bahwa varietas ini merupakan varietas yang sudah ditanam sejak lama dan disukai oleh petani dan konsumen.

Tabel 3.6. Umur tanam dari berbagai varietas padi di Indonesia, rata-rata hasil dan faktor skala besaran emisi relatif terhadap emisi varietas IR64 sebesar 202,3 kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> musim<sup>1</sup>

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

Sumber: Laporan akhir Balingtan dari tahun 1997 sampai tahun 2009

### Tier 3

Tier 3 melibatkan sistem permodelan dan juga harus ada monitoring yang kontinue dan diulang. Data yang digunakan juga harus merupakan data dengan resolusi tinggi seperti data yang berdasarkan pada satelit dan pengukuran langsung di lapangan. Kemudian data tersebut diagregat secara sub-nasional dan bukan merupakan data nasional.

Model yang digunakan harus merupakan suatu model yang empiris atau mekanis namun dapat divalidasi dengan observasi mandiri dari suatu negara atau wilayah tertentu. Tier 3 juga perlu melibatkan variabel banjir, kekeringan, bencana alam seperti angin topan dan lain-lain. Contoh negara yang telah menggunakan Tier 3 adalah China dengan CH<sub>4</sub>MOD, Jepang dengan DNDC-Rice models dan Amerika dengan DayCent.

### 3.4. DATA AKTIVITAS DAN METODE PENGUMPULANNYA

Data aktivitas pada dasarnya merupakan data panen lahan sawah yang diterbitkan oleh badan statistik nasional, kemudian dilengkapi dengan data periode tanam serta management pertanaman lahan sawah tersebut. Selain itu, data pemberian bahan organik di areal sawah juga perlu disediakan serta data iklim dan jenis tanah perlu disediakan. Data luasan panen sawah nasional yang disediakan oleh Badan Pusat Statistik juga dapat didukung oleh data luasan panen dari direktorat jenderal teknis terkait di Kementerian Pertanian di tingkat nasional atau dari dinas pertanian untuk daerah.

Tabel 3.7. Data aktivitas yang digunakan untuk menghitung emisi metana dari lahan sawah

Kategori	Data yang diperlukan	Sumber Data
Emisi CH <sub>4</sub> dari lahan sawah	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Luas panen padi sawah</li> <li>2. Dosis pemberian bahan organik</li> <li>3. Indeks pertanaman (IP)</li> <li>4. Umur tanaman selama satu periode tanam/satu musim tanam</li> <li>5. Luas sawah irigasi dan non irigasi</li> </ol>	Badan Pusat Statistik (BPS) atau Statistik Pertanian atau direktorat jenderal teknis terkait

### 3.5. CONTOH PERHITUNGAN

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

Asumsi yang digunakan dalam perhitungan:

1. Faktor emisi dari lahan sawah tergenang di Indonesia adalah 1,61 kg ha<sup>-1</sup> hari<sup>-1</sup> (default yang digunakan di Indonesia-Tier 2)
2. Faktor konversi CH<sub>4</sub> ke CO<sub>2</sub> adalah 28 (IPCC 2014)
3. Faktor koreksi pengairan adalah 1 untuk pengairan tergenang terus menerus; 0,46 untuk pengairan berselang. Untuk perhitungan Tier 2 emisi CH<sub>4</sub> dari lahan sawah

di Indonesia dengan pengairan tergenang terus menerus menggunakan faktor skala 1; lahan sawah tadah hujan menggunakan faktor skala 0,49; pengairan macak macak menggunakan faktor skala 0,71; dan pengairan berselang menggunakan faktor skala 0,46.

4. Asumsi penggunaan pupuk kandang 2 ton/ha (dengan faktor konversi 0,14) dan pencampuran jerami 1 ton/ha di lahan selama lebih dari 30 hari sebelum olah tanah (dengan faktor konversi 0,29) menghasilkan faktor skala penggunaan pupuk organik di lahan sawah sebesar 1,30 (Tabel 3.4 atau Tabel 5.14 dalam IPCC 2006)
5. Lama periode tanam padi IR64 adalah 110 dengan faktor skala 1, untuk periode tanam Ciherang adalah 115 dengan faktor skala 0,57 (Tabel 3.6)
6. *Water regime* sebelum waktu tanam, <180 hari = 1 (Tabel 3.3 atau dalam Tabel 5.13 IPCC Guidelines)
7. Faktor skala tanah = 1

**Langkah 1.** Menghitung emisi metana sebelum aksi mitigasi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$CH_4_{padi} = \sum_{i,j,k} (FE_{I,J,K} \times t_{i,j,k} \times A_{I,J,K} \times 10^{-6})$$

(Persamaan 5.1 IPCC 2019)

Dimana:

- $CH_4_{Padi}$  : emisi  $CH_4$  dari lahan sawah (Gg  $CH_4$  tahun<sup>-1</sup>)  
 $FE_{ijk}$  : faktor emisi dari pada kondisi tertentu (kg  $CH_4$  ha<sup>-1</sup> hari<sup>-1</sup>)  
 $T_{ijk}$  : periode tanam pada saat kondisi tertentu (hari)  
 $A_{ijk}$  : luas panen lahan sawah pada kondisi tertentu (ha tahun<sup>-1</sup>)  
 $i, j, \text{ dan } k$  : merepresentasikan kondisi lahan dengan ekosistem berbeda, kondisi pengaturan air, jenis dan tipe bahan organik dan kondisi lainnya yang mempengaruhi terbentuknya emisi  $CH_4$

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  $CH_4$  ke  $CO_2$  dan dari Gg ke ton

$$= 0,230 \times 28 \times 1000 \text{ ton } CO_2\text{-eq}$$

$$= 6.440 \text{ ton } CO_2\text{-eq}$$

**Langkah 2.** Emisi setelah adanya aksi mitigasi dari lahan sawah (a+b)

- a. Luasan tidak mengaplikasikan pengairan berselang dengan penggunaan varietas IR64

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

$$= 0,184 \text{ Gg CH}_4 \text{ tahun}^{-1}$$

Kemudian di konversi satuannya dari CH<sub>4</sub> ke CO<sub>2</sub> dan dari Gg ke ton

$$= 0,184 \times 28 \times 1000 \text{ ton CO}_2\text{-eq}$$

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

- b. Luasan mengaplikasikan pengairan berselang dengan penggunaan varietas Ciherang

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

$$= 0,013 \text{ Gg CH}_4 \text{ tahun}^{-1}$$

Kemudian di konversi satuannya dari CH<sub>4</sub> ke CO<sub>2</sub> dan dari Gg ke ton

$$= 0,013 \times 28 \times 1000 \text{ ton CO}_2\text{-eq}$$

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

**Langkah 3.** Menghitung penurunan emisi

$$= \text{Langkah 1} - \text{Langkah 2 (a + b)}$$

$$= 6.440 - (5.152 + 364) \text{ ton CO}_2\text{-eq}$$

$$= 924 \text{ ton CO}_2\text{-eq}$$

Jadi emisi lahan sawah seluas 1000 hektar tanpa penerapan pengairan berselang dan menggunakan varietas IR64 akan menyumbangkan emisi sebesar 6.440 ton CO<sub>2</sub>-eq. Kemudian capaian penurunan emisi lahan sawah dengan aksi mitigasi berupa penggunaan pengairan berselang seluas 200 hektar dengan penanaman varietas Ciherang adalah 924 ton CO<sub>2</sub>-eq tahun<sup>-1</sup>. Sehingga emisi aktual dari lahan sawah di provinsi A sebesar 5.516 ton CO<sub>2</sub>-eq

**3.6. CONTOH AKSI ADAPTASI DAN NILAI TAMBAH MITIGASI**

Sektor pertanian merupakan sektor yang rentan terhadap perubahan iklim dalam aspek lingkungan, ekonomi dan sosial. Kegiatan adaptasi dari sektor pertanian merupakan kunci keberhasilan dalam menghadapi perubahan iklim untuk menjaga ketahanan pangan. Di sisi lain, pertanian merupakan salah satu sektor yang berkontribusi dalam penghasil gas rumah kaca. Dalam rangka pemenuhan target swasembada pangan,

ekspansi lahan pertanian akan terus meningkat sampai tahun 2030 seiring dengan meningkatnya konsumsi dan meningkatnya jumlah penduduk serta berkurangnya luas lahan pertanian. Namun beberapa aksi adaptasi mempunyai nilai tambah berupa penurunan emisi gas rumah kaca. Menurut *Nationally Determined Contribution (NDC)* (KLHK 2016) sektor pertanian diperkirakan mampu berkontribusi dalam menurunkan emisi (sebagai salah satu bentuk nilai tambah dari adaptasi) sebesar 0,32% dari total emisi gas rumah kaca nasional atau setara dengan 9 juta ton CO<sub>2</sub>-eq per tahun.

Beberapa contoh aksi adaptasi pada lahan sawah adalah:

- Penanaman varietas dengan potensi hasil tinggi dan adaptif terhadap perubahan iklim

Dalam rangka pemenuhan kebutuhan akan beras, Kementerian Pertanian telah melepas berbagai varietas dengan potensi hasil lebih tinggi dan daya adaptasi tinggi terhadap kekeringan, genangan, dan salinitas. Disisi lain, aktivitas adaptasi berupa penanaman berbagai varietas unggul tersebut adakalanya memiliki nilai tambah berupa rendahnya emisi metana yang dihasilkan. Perbedaan nilai faktor skala metana untuk berbagai varietas padi disajikan dalam Tabel 3.6.

- Pengelolaan air macak-macam dan irigasi berselang

Aksi adaptasi dengan pengaturan air yang macak-macam dan irigasi berselang (*alternate wetting and drying, AWD*) ditujukan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air. Dengan efisiensi ini, areal sawah yang dapat diairi menjadi lebih luas.

Kondisi air irigasi yang tergenang terus menerus di lahan sawah menciptakan kondisi anaerob di tanah menyebabkan bakteri metanogen lebih aktif memproduksi gas metana. Padi memiliki karakteristik spesifik yaitu adanya cerobong *aerenchyma*. Cerobong *aerenchyma* ini berperan sebagai corong untuk lepasnya metana dari tanah sawah ke atmosfer. Pengelolaan air macak-macam dan irigasi berselang mampu menciptakan kondisi semi-aerobik lahan sawah yang selanjutnya dapat menurunkan emisi metana sebagai salah satu keuntungan tambahan dari pengairan macak macak dan berselang tersebut.

## DAFTAR BACAAN

- Aulakh MS, Wassmann R, Bueno C, Kreuzwieser J, H Rennenberg H. 2001. Characterization of root exudates at different growth stages of ten rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Plant Biol.* 3:139–148. doi:10.1055/s-2001-12905
- Bilek R, Tyler SC, Sass RL, Fisher FM. 1999. Differences in CH<sub>4</sub> oxidation and pathways of production between rice cultivars deduced from measurements of CH<sub>4</sub> flux and d<sup>13</sup>C of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub>. *Global Biogeochem. Cycles* 13:1029–1044. doi:10.1029/1999GB900040
- Colmer TD. 2003. Long-distance transport of gases in plants: A perspective on internal aeration and radial oxygen loss from roots. *Plant Cell Environ.* 26:17–36. doi:10.1046/j.1365-3040.2003.00846.x
- Conrad R. 2005. Quantification of methanogenic pathways using stable carbon isotopic signatures: A review and a proposal. *Org. Geochem.* 36:739–752. doi:10.1016/j.orggeochem.2004.09.006
- Eller G Frenzel P. 2001. Changes in activity and community structure of methane-oxidizing bacteria over the growth period of rice. *Appl. Environ. Microbiol.* 67:2395–2403. doi:10.1128/AEM.67.6.2395-2403.2001
- Gutierrez J, Kim SY, Kim PJ. 2013. Effect of rice cultivar on CH<sub>4</sub> emissions and productivity in Korean paddy soil. *Field Crops Research*, 146, 16-24.
- Holzappel-Pschorn A, Conrad R Seiler W. 1986. Effects of vegetation on the emission of methane from submerged paddy soil. *Plant Soil* 92:223– 233. doi:10.1007/BF02372636
- Holzappel-Pschorn A Seiler W. 1986. Methane emission during a cultivation period from an Italian rice paddy. *J. Geophys. Res.* 91:11803– 11814. doi:10.1029/JD091iD11p11803
- Huang Y, Sass RL Fisher JrFM. 1997. Methane emission from Texas rice paddy soil: 1. Quantitative multi-year dependence of CH<sub>4</sub> emission on soil, cultivar and grain yield. *Glob. Change Biol.* 3:479–489. doi:10.1046/j.1365-2486.1997.00083.x
- KLH. Kementrian Lingkungan Hidup. 2012. Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional. Buku II Volume 3 Metodologi Perhitungan Tingkat Emisi Dan Penyerapan Gas Rumah Kaca Kegiatan Pertanian, Kehutanan, Dan Penggunaan Lahan Lainnya. Kementrian Lingkungan Hidup Press.
- Krüger M, Frenzel P, Kemnitz D, Conrad R. 2005. Activity, structure and dynamics of the methanogenic archaeal community in a flooded Italian rice field. *FEMS Microbiology Ecology*, 51(3), 323-331. doi:10.1016/j.femsec.2004.09.004

- Lagomarsino A, Agnelli AE, Linqvist B, Adviento-Borbe MA, Agnelli A, Gavina G, Ravagila S, Ferrara RM. 2016. Alternate Wetting and Drying of Rice Reduce CH<sub>4</sub> Emissions but Triggered N<sub>2</sub>O Peaks in a Clayey Soil of Central Italy. *Pedosphere*, 26(4), 533-548. doi:10.1016/S1002-0160(15)60063-7.
- Linqvist 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.
- Lu Y, Wassmann R, Neue HU Huang C. 2000. Dynamics of dissolved organic carbon and methane emissions in a flooded rice soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:2011–2017. doi:10.2136/sssaj2000.6462011x
- Lu Y, Watanabe A Kimura M. 2002. Contribution of plant-derived carbon to soil microbial biomass dynamics in a paddy rice microcosm. *Biol. Fertil. Soils* 36:136–142. doi:10.1007/s00374-002-0504-2
- Naharia O, Saeni MS, Sabihan S, Burhan H. 2005. Teknologi Pengairan dan Pengolahan Tanah pada Budidaya Padi Sawah untuk Mitigasi Gas Metana (CH<sub>4</sub>). *BERITA BIOLOGI*, 7(4), 173-180. <http://dx.doi.org/10.14203/beritabiologi.v7i4.880>
- Sigren LK, Byrd GT, Fisher FM Sass RL. 1997. Comparison of soil acetate concentrations and methane production, transport, and emission in two rice cultivars. *Global Biogeochem. Cycles* 11:1–14. doi:10.1029/96GB03040
- Suralta RR Yamauchi A. 2008. Root growth, aerenchyma development, and oxygen transport in rice genotypes subjected to drought and waterlogging. *Environ. Exp. Bot.* 64:75–82. doi:10.1016/j.envexpbot.2008.01.004
- Tyler SC, Bilek RS, Sass RL Fisher FM. 1997. Methane oxidation and pathways of production in a Texas paddy field deduced from measurements of flux, d<sup>13</sup>C, and d D of CH<sub>4</sub>. *Global Biogeochem. Cycles* 11:323–348. doi:10.1029/97GB01624
- Yu KW, Wang ZP Chen GX. 1997. Nitrous oxide and methane transport through rice plants. *Biol. Fertil. Soils* 24:341–343. doi:10.1007/s003740050254
- Wassmann R, Aulakh MS. 2000. The role of rice plants in regulating mechanisms of methane emissions. *Biol. Fertil. Soils* 31:20–29. doi:10.1007/s003740050619

## 4. PEMUPUKAN DAN PENGAPURAN

***Ali Pramono, Helena Lina Susilawati, Anggri Hervani, Hesti Yulianingrum, dan Ika Ferry Yuniarti***

*Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Jakenan, Jawa Tengah*

### 4.1. EMISI N<sub>2</sub>O DARI TANAH YANG DIKELOLA

#### 4.1.1. Landasan Teori

Dinitrogen oksida (N<sub>2</sub>O) dihasilkan secara alami di dalam tanah melalui proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Nitrifikasi adalah oksidasi amonium menjadi nitrat oleh mikroorganisme secara aerobik, sedangkan denitrifikasi adalah reduksi nitrat menjadi gas N<sub>2</sub> oleh mikroorganisme secara anaerobik. N<sub>2</sub>O merupakan produk antara dari urutan reaksi denitrifikasi dan merupakan produk samping nitrifikasi yang lepas dari sel mikroorganisme ke dalam tanah dan akhirnya ke atmosfer (Gambar 4.1). Faktor yang berpengaruh dalam pelepasan N<sub>2</sub>O adalah ketersediaan nitrogen (N) anorganik di dalam tanah.

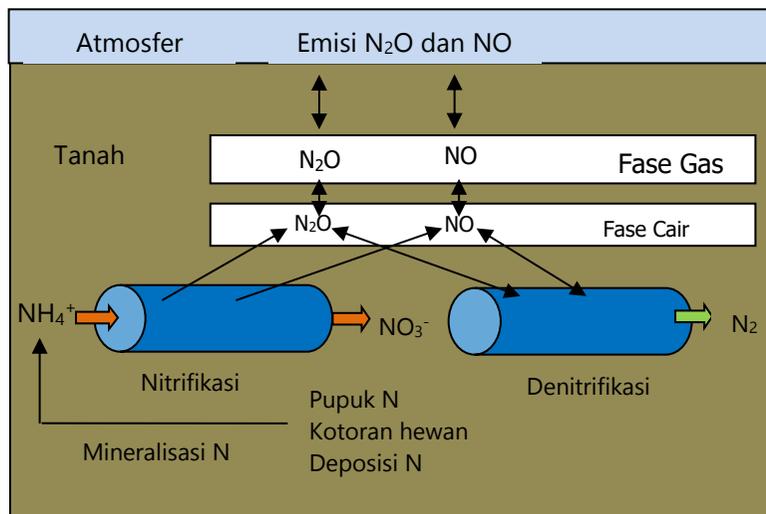
Emisi N<sub>2</sub>O dihasilkan karena adanya inefisiensi input N atau proses mineralisasi N yang dibentuk melalui 2 (dua) jalur, yaitu langsung/direct (N<sub>2</sub>O dilepaskan setelah pemberian pupuk N) dan tidak langsung/indirect (volatilisasi NH<sub>3</sub> dan NO<sub>x</sub>, pencucian), sehingga metodologi perhitungan emisi N<sub>2</sub>O dari pertanian mencakup emisi N<sub>2</sub>O secara langsung dan tidak langsung. Emisi N<sub>2</sub>O secara langsung dihitung terpisah dari emisi tidak langsung, menggunakan data aktivitas yang umum. Penghitungan emisi N<sub>2</sub>O menggunakan metode Tier 1 tidak membedakan tutupan lahan, jenis tanah, kondisi iklim atau praktek pengelolaan tanah (IPCC 2006; 2019).

#### 4.1.2 Emisi N<sub>2</sub>O Secara Langsung dari Tanah yang Dikelola

Peningkatan N-tersedia dalam tanah meningkatkan proses nitrifikasi dan denitrifikasi yang memproduksi N<sub>2</sub>O. Peningkatan N-tersedia dapat terjadi melalui penambahan pupuk yang mengandung N baik yang berasal dari pupuk buatan maupun dari bahan organik, atau perubahan penggunaan lahan dan atau praktek-praktek pengelolaan yang menyebabkan mineralisasi N organik tanah. Sumber-sumber N yang menyebabkan emisi langsung N<sub>2</sub>O dari tanah yang dikelola adalah sebagai berikut:

- N dari pupuk Urea, ZA, NPK, dan pupuk buatan lainnya (F<sub>SN</sub>)
- N dari pemberian bahan atau pupuk organik misalnya, pupuk kandang, kompos, limbah cair, dan padat (F<sub>ON</sub>)

- N dari urin dan kotoran ternak yang tersimpan di padang rumput atau padang penggembalaan ( $F_{PRP}$ )
- N dari sisa tanaman di atas dan di bawah permukaan tanah ( $F_{CR}$ )
- N dari mineralisasi yang berhubungan dengan hilangnya bahan organik tanah, akibat perubahan penggunaan lahan atau pengelolaan tanah mineral ( $F_{SOM}$ )
- N dari drainase atau pengelolaan tanah organik (Histosol) ( $F_{OS}$ )



Gambar 4.1. Proses terjadinya emisi N<sub>2</sub>O ke atmosfer (Grace 2017)

Pengukuran emisi N<sub>2</sub>O dari lapang dapat dilakukan dengan menggunakan metode sungkup tertutup. Peralatan yang diperlukan antara lain sungkup, septum, jarum suntik, vial, dan termometer (Gambar 4.2). Konsentrasi gas rumah kaca dianalisis di laboratorium dengan menggunakan kromatografi gas yang dilengkapi dengan *electron capture detector* (ECD).

#### 4.1.2.1 Perkiraan Emisi

Untuk menghitung emisi N<sub>2</sub>O secara langsung, dapat dipilih metode tier yang sesuai (Gambar 4.3).

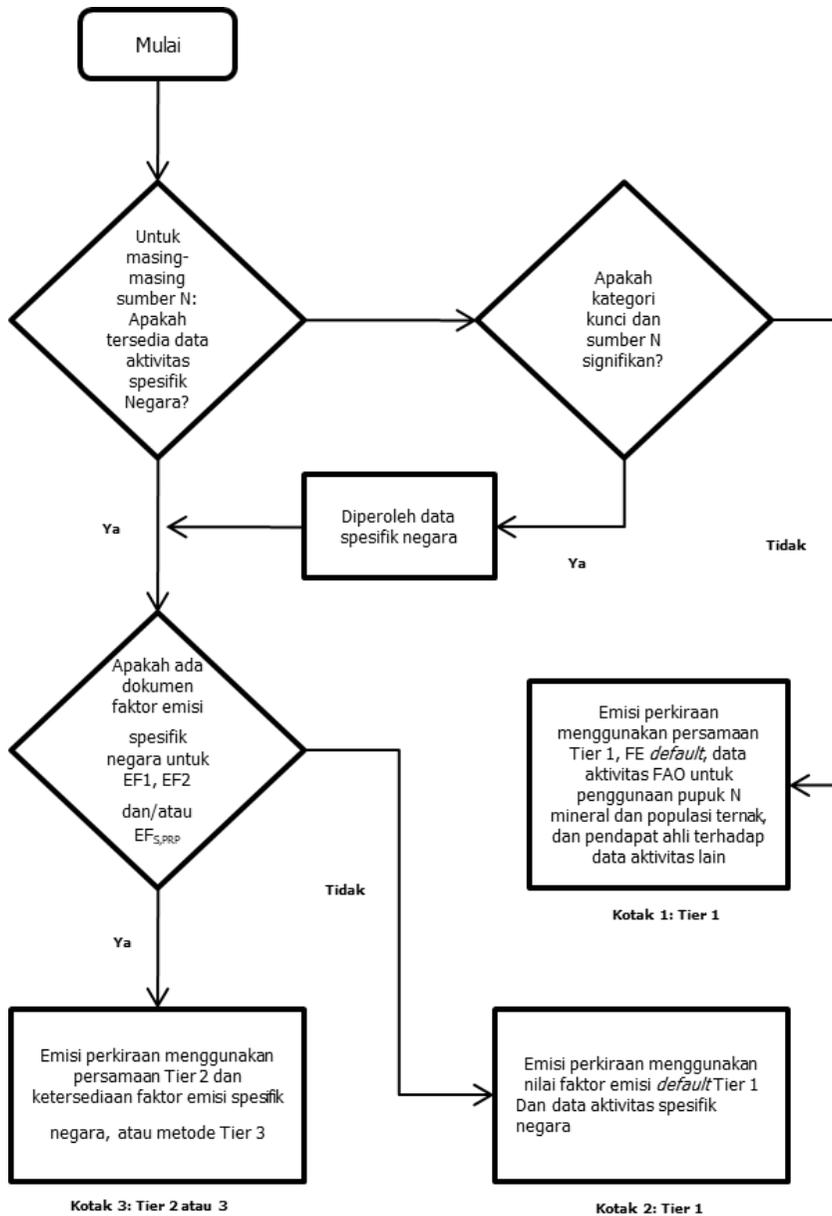
##### Tier 1 and 2

Tiga faktor emisi (EF) diperlukan untuk menghitung emisi N<sub>2</sub>O secara langsung dari tanah yang dikelola. Nilai acuan (*default*) yang digunakan untuk metode Tier 1 atau Tier 2 dikombinasikan dengan faktor emisi spesifik. Faktor emisi pertama (EF<sub>1</sub>) merupakan jumlah N<sub>2</sub>O yang diemisikan dari bermacam-macam pemberian pupuk N sintetik dan organik. Hal ini termasuk sisa tanaman dan mineralisasi karbon organik tanah pada tanah mineral karena perubahan atau pengelolaan lahan. Faktor emisi kedua (EF<sub>2</sub>) merupakan

jumlah  $N_2O$  yang diemisikan dari luasan tanah organik yang didrainase/dikelola, dan faktor emisi ketiga ( $EF_{3PRP}$ ) merupakan jumlah  $N_2O$  yang diemisikan dari N yang terdeposisi dalam urin dan kotoran ternak yang digembalakan.



Gambar 4.2. Pengukuran emisi gas  $N_2O$  dengan menggunakan sungkup tertutup



Gambar 4.3. Bagan Keputusan untuk penghitungan emisi N<sub>2</sub>O secara langsung dari tanah yang dikelola

#### 4.1.2.2 Faktor emisi

Faktor emisi *default* untuk metode Tier 1 disajikan pada Tabel 1 (Tabel 11.1, IPCC 2019)

Tabel 4.1. Faktor emisi *default* untuk menghitung emisi N<sub>2</sub>O secara langsung dari tanah yang dikelola (Tabel 11.1 IPCC 2019)

Faktor Emisi	Agregat		Disagregat		
	Nilai default	Rentang ketidakpastian	Disagregasi	Nilai default	Rentang ketidakpastian
EF <sub>1</sub> untuk tambahan N dari pupuk sintetis, pembenah organik dan sisa tanaman dan N yang termineralisasi dari tanah mineral akibat kehilangan karbon tanah [kg N <sub>2</sub> O-N (kg N)]	0,010	0,002-0,018	Input pupuk sintetis pada iklim basah	0,016	0,013-0,020
			Input N lain pada iklim basah	0,006	0,001-0,011
			Semua input N pada iklim kering	0,005	-0,001-0,012
EF <sub>1FR</sub> untuk lahan tergenang [kg N <sub>2</sub> O-N (kg N)]	0,004	0,000-0,029	Tergenang	0,003	0,000-0,010
			Single atau multiple drainage	0,005	0,000-0,016
EF <sub>3PRP, CPP</sub> untuk pupuk dari kotoran sapi (perah, pedaging dan kerbau), unggas dan babi [kg N <sub>2</sub> O-N (kg N)]	0,004	0,002-0,005	Iklim basah	0,005	0,005-0,006
			Iklim kering	0,002	0,001-0,003
EF <sub>3PRP, SO</sub> untuk pupuk dari kotoran kambing dan hewan lain [kg N <sub>2</sub> O-N (kg N)]	0,003	0,001-0,004	-	-	-

Emisi N<sub>2</sub>O secara langsung dari tanah yang dikelola dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 11.1. IPCC (2019) sebagai berikut:

$$N_2O_{Direct-N} = N_2O-N_{N\ inputs} + N_2O-N_{OS} + N_2O-N_{PRP}$$

$$N_2O-N_{N\ inputs} = [(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM}) \times EF_1] + [(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM})_{FR} \times EF_{1FR}]$$

$$N_2O-N_{OS} = [(F_{OS,CG,Temp} \times EF_{2CG,Temp}) + (F_{OS,CG,Trop} \times EF_{2CG,Trop}) + (F_{OS,F,Temp,NR} \times EF_{2F,Temp,NR}) + (F_{OS,F,Temp,NP} \times EF_{2F,Temp,NP}) + (F_{OS,F,Trop} \times EF_{2F,Trop})]$$

$$N_2O-N_{PRP} = [(F_{PRP, CPP} \times EF_{3PRP, CPP}) + F_{PRP, SO} \times EF_{3PRP, SO}]$$

Dimana:

$$N_2O-N_{Ninput} = [(F_{SN} + F_{ON}) \times EF_1] + [(F_{SN} + F_{ON})_{FR} \times EF_{FR}]$$

N<sub>2</sub>O<sub>direct-N</sub> = emisi N<sub>2</sub>O-N secara langsung dari tanah yang dikelola per tahun (kg N<sub>2</sub>O-N tahun<sup>-1</sup>)

$N_2O-N_{input}$	= emisi $N_2O-N$ secara langsung dari pemberian N per tahun (kg $N_2O-N$ tahun <sup>-1</sup> )
$N_2O-N_{OS}$	= emisi $N_2O-N$ secara langsung dari tanah organik yang dikelola per tahun (kg $N_2O-N$ tahun <sup>-1</sup> )
$N_2O-N_{PRP}$	= emisi $N_2O-N$ secara langsung dari tanah yang terdapat input urin dan kotoran ternak per tahun (kg $N_2O-N$ tahun <sup>-1</sup> )
$F_{ON}$	= jumlah pupuk organik per tahun yang diaplikasikan ke tanah (kg N tahun <sup>-1</sup> )
$F_{CR}$	= jumlah N dalam residu tanaman per tahun yang diaplikasikan ke tanah (kg N tahun <sup>-1</sup> )
$F_{SOM}$	= jumlah N dalam tanah mineral yang termineralisasi terkait jumlah karbon tanah yang hilang dari bahan organik tanah akibat pengelolaan lahan per tahun yang diaplikasikan ke tanah (kg N tahun <sup>-1</sup> )
$F_{OS}$	= jumlah luas tanah organik yang dikelola/didrainase per tahun (ha)
$F_{PRP}$	= jumlah deposit urin dan kotoran ternak yang digembalakan (kg N tahun <sup>-1</sup> )
$EF_1$	= faktor emisi $N_2O$ dari pemberian N; kg $N_2O-N$ (kg N input) <sup>-1</sup>
$EF_{1FR}$	= faktor emisi $N_2O$ dari pemberian N di lahan sawah; kg $N_2O-N$ (kg N input) <sup>-1</sup> (Tabel 4.1 atau Tabel 11.1 IPCC 2019)
$EF_2$	= faktor emisi $N_2O$ dari tanah organik yang dikelola/didrainase; kg $N_2O-N$ (kg N input) <sup>-1</sup>
$EF_{3PRP}$	= faktor emisi $N_2O$ dari deposit urin dan kotoran ternak yang digembalakan; kg $N_2O-N$ (kg N input) <sup>-1</sup>

Konversi emisi  $N_2O-N$  ke emisi  $N_2O$  adalah sebagai berikut:

$$N_2O = N_2O-N \times 44/28$$

## **Tier 2**

Metode perhitungan Tier 2 digunakan jika tersedia faktor emisi dan data aktivitas yang lebih detail, sehingga persamaan 11.1 dapat didisagregasi lebih lanjut. Sebagai contoh, jika faktor emisi dan data aktivitas lebih tersedia untuk pupuk N sintetis dan organik ( $F_{SN}$  dan  $F_{ON}$ ) maka persamaan 11.1 dapat diperluas menjadi persamaan 11.2 (IPCC 2019) sebagai berikut:

$$N_2O_{Direct-N} = \sum (F_{SN} + F_{ON})_i \times EF_{1i} + (F_{CR} + F_{SOM}) \times EF_1 + N_2O-N_{PRP}$$

Dimana:

$EF_{1i}$  = Faktor emisi yang dikembangkan dari emisi  $N_2O$  dari aplikasi pupuk N sintetis dan organik pada kondisi  $i$  ( $kg N_2O-N (kg N input)^{-1}$ );

$i = 1, \dots, n$ . Persamaan 11.2 dapat dimodifikasi dari berbagai cara untuk mengkombinasikan sumber N, tipe pertanian, pengelolaan, tata guna lahan, iklim, tanah atau kondisi spesifik lain untuk memperoleh masing-masing input N ( $F_{SN}$ ,  $F_{ON}$ ,  $F_{CR}$ ,  $F_{SOM}$ ,  $F_{OS}$ ,  $F_{PRP}$ ). Konversi emisi  $N_2O-N$  ke emisi  $N_2O$  adalah sebagai berikut:

$$N_2O = N_2O-N \times 44/28$$

Dalam Tier 2, dapat dikembangkan faktor emisi spesifik untuk opsi mitigasi seperti aplikasi penghambat nitrifikasi (Akiyama *et al.* 2010, Ruser & Schulz 2015, Gilsanz *et al.* 2016). Metode ini memerlukan data aktivitas spesifik seperti dosis pemupukan.

#### 4.1.2.3 Data aktivitas

Sub bagian ini menjelaskan tentang metode perhitungan jumlah N dari bermacam-macam sumber ke dalam tanah ( $F_{SN}$ ,  $F_{ON}$ ,  $F_{PRP}$ ,  $F_{CR}$ ,  $F_{SOM}$ ,  $F_{OS}$ ) yang diperlukan dalam metode Tier 1 dan Tier 2 (Persamaan 11.1 dan 11.2, IPCC 2019).

##### *Jumlah N dari pupuk anorganik ( $F_{SN}$ )*

$F_{SN}$  adalah jumlah pupuk N sintetis pertanian yang diaplikasikan ke dalam tanah.

##### *Jumlah N dari bahan/pupuk organik ( $F_{ON}$ )*

$F_{ON}$  adalah jumlah input N organik yang diberikan ke dalam tanah termasuk dari ternak yang digembalakan, pupuk kandang (*animal manure*), limbah cair (*sewage sludge*), kompos (*compost*), dan bahan pembenah organik lain (*other organic amendments*).  $F_{ON}$  Tier 1 dihitung seperti pada persamaan 11.3 (IPCC 2019) sebagai berikut:

$$F_{ON} = F_{AM} + F_{SEW} + F_{COMP} + F_{OOA}$$

Dimana:

$F_{ON}$  = jumlah N dari bahan organik yang diberikan ke dalam tanah ( $kg N tahun^{-1}$ )

$F_{AM}$  = Jumlah N pupuk kandang yang diberikan ke dalam tanah ( $kg N tahun^{-1}$ )

$F_{SEW}$  = Jumlah N dari limbah cair yang diberikan ke dalam tanah ( $kg N tahun^{-1}$ )

$F_{COMP}$  = Jumlah N dari kompos per tahun ( $kg N tahun^{-1}$ )

$F_{OOA}$  = Jumlah N dari bahan pembenah tanah yang lain ( $kg N tahun^{-1}$ )

$F_{AM}$  ditentukan berdasarkan jumlah N dalam pupuk kandang yang digunakan untuk pakan ( $Frac_{FEED}$ ), bahan bakar ( $Frac_{FUEL}$ ), atau untuk konstruksi ( $Frac_{CNST}$ ) seperti pada persamaan 11.4 (IPCC 2019) sebagai berikut:

$$F_{AM} = N_{MMS\_Avb} \times [1 - (Frac_{FEED} + Frac_{FUEL} + Frac_{CNST})]$$

Dimana:

- $F_{AM}$  = jumlah N dalam kotoran ternak yang diberikan ke dalam tanah (kg N tahun<sup>-1</sup>)
- $N_{MMS\_Avb}$  = Jumlah N kotoran ternak yang diberikan ke dalam tanah, pakan, bahan bakar, atau konstruksi (kg N tahun<sup>-1</sup>)
- $Frac_{FEED}$  = fraksi kotoran ternak yang digunakan untuk pakan
- $Frac_{FUEL}$  = fraksi kotoran ternak yang digunakan untuk bahan bakar
- $Frac_{CNST}$  = fraksi kotoran ternak yang digunakan untuk konstruksi

*Jumlah N dari urin dan kotoran ternak dari hewan yang digembalakan ( $F_{PRP}$ )*

$F_{PRP}$  adalah jumlah N yang terdeposisi pada tanah yang digunakan untuk penggembalaan.  $F_{PRP}$  dihitung berdasarkan persamaan 11.5 (IPCC 2019) sebagai berikut:

$$F_{PRP} = \sum_T \{ (N(T) \times N_{ex(T)}) \times MS_{(T,PRP)} \}$$

Dimana:

- $F_{PRP}$  = Jumlah N urin dan kotoran ternak yang terdeposisi melalui penggembalaan ternak per tahun (kg N tahun<sup>-1</sup>)
- $N_{(T)}$  = Jumlah ternak masing-masing jenis/kategori
- $N_{ex(T)}$  = Rata-rata ekskresi N per jenis/kategori ternak (kg N ekor<sup>-1</sup> tahun<sup>-1</sup>)
- $MS_{(T,PRP)}$  = Fraksi jumlah ekskresi N per ekor masing-masing jenis/kategori ternak yang digembalakan

*Jumlah N dalam residu tanaman, termasuk tanaman pemfiksasi N dan hijauan pakan, yang dikembalikan ke dalam tanah ( $F_{CR}$ )*

$F_{CR}$  adalah jumlah N dalam residu tanaman (di atas dan bawah permukaan tanah), termasuk N tanaman pemfiksasi N, yang dikembalikan ke dalam tanah per tahun, termasuk N dalam bentuk N hijauan pakan yang termineralisasi selama penggembalaan ternak.  $F_{CR}$  dihitung berdasarkan persamaan 11.6 (IPCC 2019) sebagai berikut:

$$F_{CR} = \sum [ AGR_{(T)} \times N_{AG(T)} \times (1 - Frac_{Remove(T)} - (Frac_{Burnt(T)} \times C)) ] + [ BGR_{(T)} \times N_{BG(T)} ]$$

$$AGR_{(T)} = Crop_{(T)} \times R_{AG(T)} \times Area_{(T)} \times Frac_{Renew(T)}$$

$$BGR_T = Crop_T \times (1 + R_{AG(T)} \times RS_{(T)}) \times Area_{(T)} \times Frac_{Renew(T)}$$

Dimana:

- $F_{CR}$  = jumlah N dalam residu tanaman (di atas dan bawah permukaan tanah), termasuk N tanaman pemfiksasi N, yang dikembalikan ke dalam tanah per tahun (kg N tahun<sup>-1</sup>)

$AGR_{(T)}$	= jumlah sisa tanaman atas dan bawah permukaan per jenis tanaman ( $\text{kg d.m. ha}^{-1}$ ) (lebih detail faktor-faktor yang diperlukan terdapat pada Tabel 4.3)
$N_{AG(T)}$	= kandungan N sisa tanaman atas dan bawah permukaan per jenis tanaman $\text{kg N (kg d.m.)}^{-1}$ Detail faktor-faktor tersebut terdapat pada Tabel 4.2)
$Frac_{Remove(T)}$	= fraksi sisa tanaman atas permukaan per jenis tanaman yang digunakan untuk pakan, dll
$Frac_{Burnt(T)}$	= fraksi tanaman yang dibakar
$C_f$	= faktor pembakaran
$BGR_{(T)}$	= jumlah sisa tanaman bawah permukaan per jenis tanaman ( $\text{kg d.m. ha}^{-1}$ )
$N_{BG(T)}$	= kandungan N sisa tanaman bawah permukaan per jenis ( $\text{kg N (kg d.m.)}^{-1}$ ,
$Crop_{(T)}$	= berat kering hasil panen tanaman per tahun ( $\text{kg d.m. ha}^{-1}$ )
$R_{AG(T)}$	= rasio berat kering sisa tanaman atas-bawah ( $AG_{DM(T)}$ ) terhadap hasil panen ( $Crop_{(T)}$ )
$Area_{(T)}$	= Jumlah luas panen per jenis tanaman ( $\text{ha tahun}^{-1}$ )
$Frac_{Renew(T)}$	= fraksi luas per jenis tanaman yang diperbarui per tahun
$RS_{(T)}$	= rasio biomas akar terhadap tajuk per jenis tanaman
$T$	= jenis tanaman atau hijauan pakan

Data hasil tanaman (hasil dan luas panen masing-masing tanaman) dapat diperoleh dari sumber data nasional [BPS (<https://www.bps.go.id/>) dan Pusdatin ([https://aplikasi2.pertanian.go.id/konsumsi/home\\_awal.php](https://aplikasi2.pertanian.go.id/konsumsi/home_awal.php)). Apabila data nasional tidak tersedia, maka dapat menggunakan data yang dipublikasi oleh FAO (<http://fao.org/faostat/>). Dalam laporan statistik, data yang digunakan pada umumnya adalah data berat kering, sehingga faktor koreksi dapat dihitung dari berat kering ( $Crop_{(T)}$ ) seperti pada persamaan 11.7. Faktor koreksi tersebut dapat digunakan sebagai standar untuk pelaporan hasil yang berbeda di setiap negara. Sebagai alternatif, nilai *default* dapat digunakan untuk berat kering seperti yang disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.2. Nilai *default* untuk  $N_{AG(T)}$ ,  $N_{BG(T)}$ ,  $R_{AG(T)}$ ,  $RS_{(T)}$  dan DRY yang digunakan dalam persamaan 11.6 dan 11.7 (Tabel 11.1A, IPCC 2019)

Tanaman Pokok	Kadar N dari residu di atas tanah ( $N_{AG(t)}$ ) <sup>a</sup>	Kadar N dari residu di bawah tanah ( $N_{BG(t)}$ ) <sup>a</sup>	$R_{AG(T)}$ <sup>b</sup>	Rasio biomassa dibawah tanah-diatas tanah ( $RS_{(t)}$ ) <sup>a</sup>	Bahan kering dari produk panen (DRY) <sup>a</sup>
Tanaman Pokok					
Nilai umum untuk tanaman yang tidak ditunjukkan dibawah	0,008 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	0,009 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	1,0	0,22	0,85
Biji-Bijian	0,006 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	0,009 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	1,3	0,22 ( $\pm 16\%$ )	0,88
Gandum (Musim Dingin)	0,006 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	0,009 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	1,3	0,23 ( $\pm 41\%$ )	0,89
Gandum (Musim Semi)	0,006 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	0,009 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	1,3	0,28 ( $\pm 26\%$ )	0,89
Barley	0,007 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	0,014 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	1,2	0,22 ( $\pm 33\%$ )	0,89
Oat	0,007 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	0,008 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	1,3	0,25 ( $\pm 120\%$ )	0,89
Jagung	0,006 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	0,007 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	1,0	0,22 ( $\pm 26\%$ )	0,87
Gandum Hitam	0,005 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	0,011 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	1,6	-	0,88
Padi	0,007 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	-	1,4	0,16 ( $\pm 35\%$ )	0,89
Juwawut	0,007 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	-	1,4	-	0,90
Sorgum	0,007 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	0,006 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	1,4	-	0,89
Kacang-Kacangan	0,008 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	0,008 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	2,1	0,19 ( $\pm 45\%$ )	0,91
Kedelai	0,008 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	0,008 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	2,1	0,19 ( $\pm 45\%$ )	0,91
Kentang dan Umbi	0,019 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	0,014 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	0,4	0,20 ( $\pm 50\%$ ) <sup>f</sup>	0,22
Kacang	0,016 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	-	1,0	-	0,94
Rumput dan Hijauan					
Alfafa	0,027 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	0,019 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	-	0,40 ( $\pm 50\%$ ) <sup>g</sup>	0,9
Jerami Non Legum	0,015 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	0,012 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	-	0,54 ( $\pm 50\%$ ) <sup>g</sup>	0,9
Hijauan N Tinggi	0,027 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	0,022 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	0,3	0,40 ( $\pm 50\%$ )	0,9
Hijauan Tidak mengandung N	0,015 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	0,012 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	0,3	0,54 ( $\pm 50\%$ )	0,9
Rumput tahunan	0,015 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	0,012 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	0,3	0,80 ( $\pm 50\%$ ) <sup>h</sup>	0,9
Rumput Campuran	0,025 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	0,016 ( $\pm 75\%$ ) <sup>d</sup>	0,3	0,80 ( $\pm 50\%$ ) <sup>h</sup>	0,9

Sumber:

a Review literature oleh Stephen A. Williams, Natural Resource Ecology Laboratory, Colorado State University

b IPCC 2000, Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Bab 4 untuk:

r AG (T) kecuali pakan, rumput dan campuran rumput-tanaman penutup

c Asumsi bahwa rumput mendominasi legume dengan perbandingan 2 : 1.

d Ketidakpastian berdasarkan pendapat ahli.

Tabel 4.3. Metode dan data alternatif untuk perhitungan sisa tanaman atas dan bawah permukaan ( $AGR_{(T)}$ ) (Tabel 11.2, IPCC 2019)

Tanaman	Berat Kering sisa tanaman atas dan bawah permukaan ( $AGR_{(T)}$ ) (kg d.m. ha <sup>-1</sup> ). $AGR_{(T)} = \text{Slope} * X + \text{Intercept}$				
	Slope	$\pm 2$ sd % rata-rata	Intercept	$\pm 2$ sd % rata-rata	R <sup>2</sup> adj.
Jenis Tanaman Pokok					
Biji-bijian	1,09	$\pm 2\%$	0,88	$\pm 6\%$	0,65
Polong	1,13	$\pm 19\%$	0,85	$\pm 56\%$	0,28
Umbi	0,01	$\pm 69\%$	1,06	$\pm 70\%$	0,18
Akar	1,07	$\pm 19\%$	1,54	$\pm 41\%$	0,63
Pakan hijauan pemfiksasi N	0,3	$\pm 50\%$ default	0	-	-
Pakan hijauan non pemfiksasi N	0,3	$\pm 50\%$ default	0	-	-
Rumput tahunan	0,3	$\pm 50\%$ default	0	-	-
Rumput campuran	0,3	$\pm 50\%$ default	0	-	-
Tanaman individu					
Jagung	1,03	$\pm 3\%$	0,61	$\pm 19\%$	0,76
Gandum	1,51	$\pm 3\%$	0,52	$\pm 17\%$	0,68
Gandum musim dingin	1,61	$\pm 3\%$	0,40	$\pm 25\%$	0,67
Gandum musim semi	1,29	$\pm 5\%$	0,75	$\pm 26\%$	0,76
Padi	0,95	$\pm 19\%$	2,46	$\pm 41\%$	0,47
Barley	0,98	$\pm 8\%$	0,59	$\pm 41\%$	0,68
Oats	0,91	$\pm 5\%$	0,89	$\pm 8\%$	0,45
Juwawut	1,43	$\pm 18\%$	0,14	$\pm 308\%$	0,50
Sorghum	0,88	$\pm 13\%$	1,33	$\pm 27\%$	0,36
Rye	1,09	$\pm 50\%$ default	0,88	$\pm 50\%$ default	-
Kedelai	0,93	$\pm 31\%$	1,35	$\pm 49\%$	0,16
Kedelai kering	0,36	$\pm 100\%$	0,68	$\pm 47\%$	0,15
Kentang	0,10	$\pm 69\%$	1,06	$\pm 70\%$	0,18
Kacang	1,07	$\pm 19\%$	1,54	$\pm 41\%$	0,63
Alfalfa	0,29	$\pm 31\%$	0	-	-
Jerami non pakan	0,18	$\pm 50\%$ default	0	-	-

*Jumlah N yang termineralisasi dari cadangan karbon organik pada tanah mineral karena perubahan atau pengelolaan lahan ( $F_{SOM}$ )*

C dan N organik terikat erat dalam bahan organik tanah. Ketika C hilang melalui oksidasi karena perubahan atau pengelolaan lahan, kehilangan akan terjadi secara simultan dengan mineralisasi N yang menghasilkan  $N_2O$ ; sebagai contoh mineral N yang terlepas dari dekomposisi sisa biomassa .

Tahap perhitungan N dari mineralisasi

- 1) Hitung rata-rata kehilangan C tanah per tahun ( $\Delta C_{\text{Mineral, LU}}$ )
- 2) Hitung N yang termineralisasi dengan persamaan 11.8 (IPCC 2019) sebagai berikut:

$$F_{\text{SOM}} = \sum[(\Delta C_{\text{Mineral, LU}} \times 1/R) \times 1000]$$

Dimana:

$F_{\text{SOM}}$  = n yang termineralisasi dalam tanah mineral akibat hilangnya karbon tanah melalui perubahan dan pengelolaan lahan (kg N)

$\Delta C_{\text{Mineral, LU}}$  = rata-rata kehilangan C tanah setiap penggunaan lahan per tahun ton C (Tier 1, menggunakan nilai tunggal untuk semua tipe penggunaan lahan, sedangkan Tier 2 menggunakan nilai yang berbeda untuk setiap sistem penggunaan lahan).

R = rasio C:N bahan organik tanah.

LU = tipe sistem perubahan dan atau penggunaan lahan

- 3) Untuk Tier 1, nilai  $F_{\text{SOM}}$  dihitung untuk semua tipe perubahan dan atau penggunaan lahan. Untuk Tier 2,  $F_{\text{SOM}}$  dihitung dengan menjumlahkan semua tipe sistem perubahan dan atau penggunaan lahan (LU).

*Luasan tanah organik yang dikelola per tahun ( $F_{\text{OS}}$ )*

$F_{\text{OS}}$  merupakan jumlah luasan per tahun (ha) dari tanah organik yang dikelola/didrainase. Data aktivitas yang harus dikumpulkan untuk perhitungan emisi  $\text{N}_2\text{O}$  secara langsung dari tanah yang dikelola (Tier 1) (Sumber IPCC 2006) seperti pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Data yang diperlukan dan sumber data untuk perhitungan emisi N<sub>2</sub>O secara langsung dari tanah yang dikelola (IPCC 2006)

Kategori	Data yang diperlukan	Sumber Data
Emisi N <sub>2</sub> O secara langsung dari tanah yang dikelola	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Jumlah pupuk urea per tahun yang digunakan pada tanaman pangan di lahan sawah dan non sawah, hortikultura</li> <li>2. Jumlah pupuk NPK per tahun yang digunakan pada tanaman pangan di lahan sawah dan non sawah, hortikultura</li> <li>3. Jumlah pupuk ZA per tahun yang digunakan pada tanaman pangan di lahan sawah dan non sawah, hortikultura</li> <li>4. Luas panen tanaman perkebunan, hortikultura, padi sawah dan non sawah</li> <li>5. Produksi padi sawah</li> </ol>	Badan Pusat Statistik (BPS) atau Statistik Pertanian atau direktorat jenderal teknis terkait

Untuk menduga emisi N<sub>2</sub>O langsung dari tanah yang dikelola, dapat menggunakan faktor emisi *default* IPCC (2006) seperti disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Faktor emisi *default* untuk menghitung emisi N<sub>2</sub>O secara langsung dari tanah yang dikelola (Tier 1) (IPCC 2006).

No	Faktor emisi	Nilai	Kisaran
1	EF <sub>1</sub> untuk faktor emisi untuk emisi N <sub>2</sub> O dari input N untuk lahan kering, kg N <sub>2</sub> O-N per kg N input.	0,01	0,003 – 0,03
2	EF <sub>1FR</sub> untuk faktor emisi untuk emisi N <sub>2</sub> O dari input N untuk sawah irigasi, kg N <sub>2</sub> O-N per kg N input.	0,003	0,000 – 0,006
3	EF <sub>2CG,Temp</sub> untuk tanaman organik dan tanah padangrumput di daerah temperate, kg N <sub>2</sub> O-N per ha)	8,0	2 – 24
4	EF <sub>2CG,Trop</sub> untuk tanaman organik dan tanah padangrumput di daerah tropis, kg N <sub>2</sub> O-N per ha)	16,0	5 – 48
5	EF <sub>2F,Temp,Org,R</sub> untuk tanah hutan yang kaya hara tanah di daerah temperate dan boreal, kg N <sub>2</sub> O-N per ha	0,6	0,16 – 2,4
6	EF <sub>2F,Temp,Org,P</sub> untuk tanah hutan yang miskin haratanah di daerah temperate & boreal, kg N <sub>2</sub> O-N per ha	0,1	0,02 – 0,3
7	EF <sub>2F,Trop</sub> untuk tanah hutan organik di daerah tropis, kg N <sub>2</sub> O-N per ha	8,0	0 – 24
8	EF <sub>3PRP, CPP</sub> untuk sapi (sapi perah, sapi potong dan kerbau), unggas dan babi, kg N <sub>2</sub> O-N per ha	0,02	0,007 – 0,06
9	EF <sub>3PRP, SO</sub> untuk domba & ternak lain, kg N <sub>2</sub> O-N per ha	0,01	0,003 – 0,03

Data yang tersedia untuk perhitungan emisi  $N_2O$  langsung adalah  $N_2O-N_{N-input}$  dari penggunaan pupuk N sintetis (Urea, ZA, NPK), N organik, dan sisa tanaman. Kebutuhan pupuk N dapat dihitung sebagai berikut:

1. Jumlah N sintetis yang ditambahkan ke tanah dihitung dengan mengalikan konsumsi pupuk (Urea, ZA, NPK) dengan kandungan N. Kandungan N untuk Urea adalah 46%, ZA 21%, dan NPK 15%. Pupuk N sintetis digunakan pada tanaman pangan, perkebunan, dan hortikultura.
2. Pupuk organik yang umum digunakan petani untuk tanaman pangan dan tanaman hortikultura adalah pupuk kandang dan kompos. Penggunaan pupuk organik dihitung dari luas tanam x dosis pupuk organik. Asumsi yang digunakan adalah dosis pupuk kandang yang digunakan petani untuk tanaman padi berkisar 1-2 ton  $ha^{-1}$ , pada tanaman kentang 20 ton  $ha^{-1}$ , wortel, kubis, dan cabe 5 ton  $ha^{-1}$ , dan sawi serta terong 2 ton  $ha^{-1}$ . Kandungan N pada pupuk kandang adalah 6-15% (Hartatik, *et/ al*, 2015) % dan pada kompos N berkisar -0,7-2,8%.
3. Sisa tanaman umumnya digunakan pada padi sawah dengan asumsi persentasi tanaman yang dikembalikan ke lahan sekitar 30% dari sisa biomassa yaitu bagian akar dan pangkal batang. Jumlah biomas tanaman padi sebanding dengan produksi gabah. Kandungan N pada sisa jerami padi adalah sekitar 0,5%.

#### 4.1.3 Emisi $N_2O$ secara tidak langsung dari tanah yang dikelola

Emisi  $N_2O$  tidak langsung dari tanah yang dikelola merupakan  $N_2O$  yang dihasilkan karena perpindahan N sistem pertanian ke dalam tanah dan permukaan air melalui drainase dan aliran permukaan, yang teremis sebagai amonia atau oksida nitrogen yang terdeposisi dan menyebabkan produksi  $N_2O$ . Sumber-sumber N dari emisi  $N_2O$  tidak langsung dari tanah yang dikelola adalah sebagai berikut:

- Jumlah N dari pupuk Urea, ZA, NPK, dan pupuk buatan lainnya ( $F_{SN}$ )
- Jumlah N dari pemberian bahan atau pupuk organik misalnya, pupuk kandang, kompos, limbah cair, dan padat ( $F_{ON}$ )
- Jumlah N dari urin dan kotoran ternak yang tersimpan di padang rumput atau padang penggembalaan ( $F_{PRP}$ )
- Jumlah N dari sisa tanaman di atas dan di bawah permukaan tanah ( $F_{CR}$ )
- Jumlah Mineralisasi N yang berhubungan dengan hilangnya bahan organik tanah akibat perubahan penggunaan lahan atau pengelolaan tanah mineral ( $F_{SOM}$ )
- Jumlah N dari drainase atau pengelolaan tanah organik (Histosol) ( $F_{OS}$ )

##### 4.1.3.1 Perkiraan Emisi

Untuk menghitung emisi  $N_2O$  secara tidak langsung, dapat dipilih metode tier yang sesuai. (Gambar 4.4).

**Tier 1****Volatilisasi,  $N_2O_{(ATD)}$** 

Emisi  $N_2O$  secara tidak langsung akibat volatilisasi N yang terdeposisi atmosferik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 11.9 (IPCC 2019) sebagai berikut:

$$N_2O_{(ATD)}-N = [(F_{SN} \times Frac_{GASF}) + ((F_{ON} + F_{PRP}) \times Frac_{GASM})] \times EF_4$$

Dimana:

$N_2O_{(ATD)}-N$  = jumlah  $N_2O$  secara tidak langsung akibat volatilisasi N yang terdeposisi atmosferik yang berasal dari pengelolaan tanah (kg  $N_2O-N$  tahun<sup>-1</sup>)

$F_{SN}$  = jumlah pupuk N sintetis yang diberikan ke tanah (kg N tahun<sup>-1</sup>)

$Frac_{GASF}$  = fraksi dari pupuk N sintetis yang ter volatilisasi menjadi  $NH_3$  dan  $NO_x$  (kg N tahun<sup>-1</sup>)

$F_{ON}$  = jumlah N dari pupuk organik per tahun yang diaplikasikan ke tanah (kg N tahun<sup>-1</sup>)

$F_{PRP}$  = jumlah N dari deposisi urin dan kotoran ternak (kg N tahun<sup>-1</sup>)

$Frac_{GASM}$  = fraksi N dari pupuk organik yang diberikan ( $F_{ON}$ ) dan N dari deposisi urin dan kotoran ternak ( $F_{PRP}$ ) yang ter volatilisasi sebagai  $NH_3$  dan  $NO_x$

$EF_4$  = faktor emisi  $N_2O$  yang dihasilkan dari hilangnya N tanah dan permukaan air (kg  $N_2O-N$  (kg  $NH_3-N$  +  $NO_x-N$  ter volatilisasi)<sup>-1</sup>)

Konversi emisi  $N_2O_{(ATD)}-N$  ke emisi  $N_2O$  untuk keperluan pelaporan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$N_2O_{(ATD)} = N_2O_{(ATD)}-N \times 44/28$$

**Pelindian atau pencucian serta aliran permukaan,  $N_2O_{(L)}$** 

Emisi  $N_2O$  dari pelindian dan aliran permukaan (*leaching and run off*) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 11.10 (IPCC 2019) sebagai berikut:

$$N_2O_{(L)}-N = (F_{SN} + F_{ON} + F_{PRP} + F_{CR} + F_{SOM}) \times Frac_{LEACH-(H)} \times EF_5$$

Dimana:

$N_2O_{(L)}-N$  = jumlah  $N_2O$  dari N *leaching/run off* pada tanah yang dikelola per tahun (kg  $N_2O-N$  tahun<sup>-1</sup>)

$F_{SN}$  = jumlah N dari pupuk sintetis yang diberikan ke dalam tanah per tahun (kg N tahun<sup>-1</sup>)

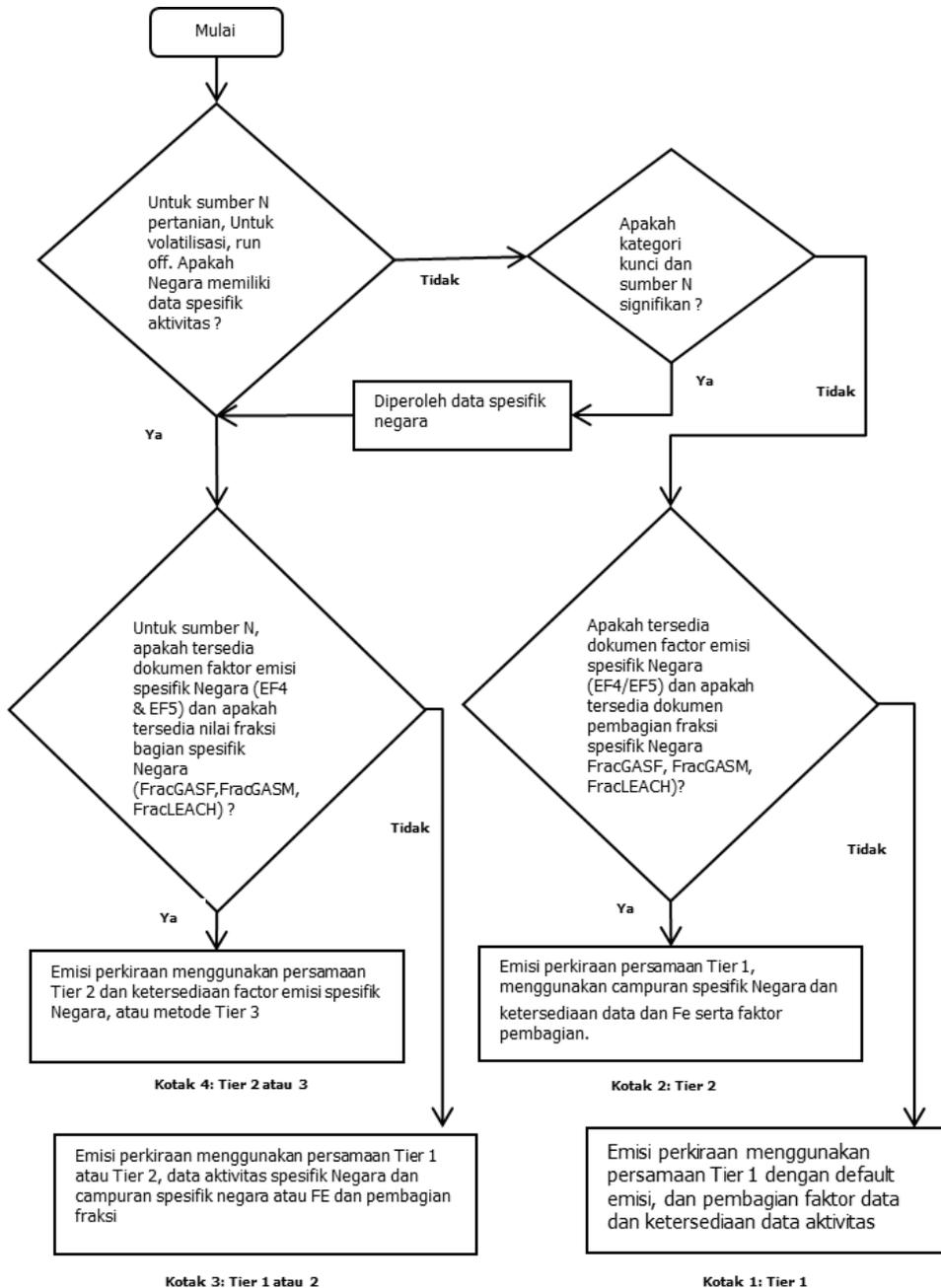
$F_{ON}$  = jumlah N dari pupuk organik yang diberikan ke dalam tanah per tahun (kg N tahun<sup>-1</sup>)

$F_{PRP}$  = jumlah N yang terdeposisi dari urin dan kotoran ternak yang digembalakan (kg N tahun<sup>-1</sup>)

- $F_{CR}$  = jumlah N dalam residu tanaman per tahun yang diaplikasikan ke tanah (kg N tahun<sup>-1</sup>)
- $F_{SOM}$  = jumlah N dalam tanah mineral yang termineralisasi terkait jumlah karbon tanah yang hilang dari bahan organik tanah akibat pengelolaan lahan per tahun yang diaplikasikan ke tanah (kg N tahun<sup>-1</sup>)
- $Fra_{LEACH-(H)}$  = fraksi semua jumlah N yang diberikan/termineralisasi pada tanah yang dikelola melalui *leaching dan run off*
- $EF_5$  = faktor emisi untuk N<sub>2</sub>O dari N yang *leaching dan run off* (Tabel 7 (Tabel.11.3 UPDATE, IPCC 2019))

Konversi emisi N<sub>2</sub>O<sub>(L)</sub>-N ke emisi N<sub>2</sub>O menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$N_2O_{(ATD)} = N_2O_{(ATD)-N} \times 44/28$$



Gambar 4.4. Bagan keputusan untuk menghitung emisi N<sub>2</sub>O secara tidak langsung dari tanah yang dikelola

### 4.1.3.2 Faktor emisi

Tabel 4.6. Faktor emisi *default* volatilisasi dan pencucian untuk perhitungan emisi N<sub>2</sub>O secara tidak langsung dari tanah yang dikelola (Tabel 11.3 *UPDATE*, IPCC 2019)

Faktor Emisi	Aggregat		Disaggregat		
	Nilai Default	Rentang Ketidakpastian	Disagregasi	Nilai Default	Rentang Ketidakpastian
EF <sub>4</sub> [N volatilisasi dan redeposisi] <sup>1</sup> , kg N <sub>2</sub> O-N (kg NH <sub>3</sub> -N + NO <sub>x</sub> -N volatilised) <sup>-1</sup>	0,010	0,002 – 0,018	Iklm Basah	0,014	0,011 – 0,017
			Iklm Kering	0,005	0,000 – 0,011
EF <sub>5</sub> [Pencucian/Aliran permukaan] <sup>2</sup> , kg N <sub>2</sub> O-N (kg N Pencucian/Aliran permukaan) <sup>-1</sup>	0,011	0,000 – 0,020	-	-	-
Frac <sub>GASF</sub> [Volatilisasi dari pupuk sintetis] <sup>3</sup> , (kg NH <sub>3</sub> -N + NO <sub>x</sub> -N) (kg N aplikasi) <sup>-1</sup>	0,11	0,02 – 0,33	Urea	0,15	0,03 – 0,43
			Amonium	0,08	0,02 – 0,30
			Nitrat	0,01	0,00 – 0,02
			Amonium Nitrat	0,05	0,00 – 0,20
Frac <sub>GASM</sub> [Volatilisasi dari semua N pupuk organik yang diaplikasikan, dan urin yang diendapkan dari hewan merumput] <sup>4</sup> , (kg NH <sub>3</sub> -N + NO <sub>x</sub> -N) (kg N Aplikasi atau diendapkan) <sup>-1</sup>	0,21	0,00 – 0,31	-	-	-
Frac <sub>LEACH-(H)</sub> [Kehilangan N dari pencucian/aliran permukaan pada musim dingin] <sup>5</sup> , kg N (kg N tambahan atau diendapkan dari hewan merumput) <sup>-1</sup>	0,24	0,01 – 0,73	-	-	-

#### Tier 2

Jika emisi lebih detail seperti tersedia faktor volatilisasi atau pelindian, maka persamaan untuk faktor yang lebih spesifik dapat diperluas seperti pada persamaan 11.11 (IPCC 2019) sebagai berikut:

$$N_2O_{(ATD)-N} = \{ \sum (F_{SNI} \times Frac_{GASFi}) + [(F_{ON} + F_{PRP}) \times Frac_{GASM}] \} \times EF_4$$

Dimana:

$N_2O_{(ATD)-N}$  = jumlah N<sub>2</sub>O-N yang dihasilkan dari deposisi atmosferik dari N yang tervolatilisasi pada tanah yang dikelola (kg N<sub>2</sub>O-N tahun<sup>-1</sup>)

$F_{SNI}$  = jumlah N dari pupuk sintetis yang diberikan pada tanah dalam kondisi i (kg N tahun<sup>-1</sup>)

$Frac_{GASFi}$	= fraksi N pupuk sintetik yang tervolatilisasi sebagai $NH_3$ dan $NO_x$ pada kondisi i ( $kg\ N$ tervolatilisasi ( $kg\ N$ yang diberikan) $^{-1}$ )
$F_{ON}$	= jumlah N dari pupuk organik yang diberikan ke dalam tanah per tahun ( $kg\ N\ tahun^{-1}$ )
$F_{PRP}$	= jumlah N yang terdeposisi dari urin dan kotoran ternak yang digembalakan ( $kg\ N\ tahun^{-1}$ )
$Frac_{GASM}$	= fraksi N dari pupuk organik ( $F_{ON}$ ) dan N yang terdeposisi dari urin dan kotoran ternak ( $F_{PRP}$ ) yang tervolatilisasi sebagai $NH_3$ dan $NO_x$ ( $kg\ N$ tervolatilisasi ( $kg\ N$ yang diberikan/terdeposisi) $^{-1}$ )
$EF_4$	= faktor emisi $N_2O$ dari N yang terdeposisi atmosferik pada tanah dan permukaan air [ $kg\ N-N_2O$ ( $kg\ NH_3-N + NO_x-N$ tervolatilisasi) $^{-1}$ ]

Catatan: N yang termineralisasi dari pengelolaan/*drainage* tanah organik yang terdiri dari input N ke dalam Tier 2 pada persamaan 11.10. Dapat juga dikembangkan faktor emisi untuk  $Frac_{GASFi}$  dan  $Frac_{GASM}$  yang spesifik untuk aksi mitigasi seperti aplikasi penghambat urease.

Konversi emisi  $N_2O_{(ATD)}-N$  ke emisi  $N_2O$  menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$N_2O_{(ATD)} = N_2O_{(ATD)}-N \times 44/28$$

### Tier 3

Menurut persamaan 11.1, 11.10 dan 11.11, emisi  $N_2O$  langsung dan tidak langsung dari tanah yang dikelola, dihitung dengan pendekatan Tier 1 berdasarkan jumlah N yang diberikan ke dalam tanah melalui pupuk sintetik dan organik dan/atau N mineralisasi tanah. Metode Tier 3 adalah pendekatan pengukuran dengan modeling.

### Faktor Emisi Volatilisasi dan Pelindian

Metode perhitungan emisi  $N_2O$  secara tidak langsung meliputi 2 faktor emisi: 1) terkait volatilisasi dan re-deposisi N ( $EF_4$ ), dan 2) terkait dengan N yang hilang melalui pelindian (*leaching*) dan aliran permukaan ( $EF_5$ ). Metode ini juga memerlukan nilai fraksi N yang hilang melalui volatilisasi ( $Frac_{GASFi}$  dan  $Frac_{GASM}$ ) atau pelindian/aliran permukaan ( $Frac_{LEACH-(H)}$ ). Nilai *default* dari semua faktor emisi ini disajikan pada Tabel 4.7.

Catatan bahwa dalam metode Tier 1, untuk iklim basah atau kering dimana irigasi (*drip irrigation*) digunakan, *default*  $Frac_{LEACH-(H)}$  adalah 0,24. Untuk iklim kering, *default*  $Frac_{LEACH-(H)}$  adalah 0.

### 4.1.3.3 Data aktivitas

$F_{SN}$ ,  $F_{ON}$ ,  $F_{PRP}$ ,  $F_{CR}$ ,  $F_{SOM}$  perlu dihitung.  $F_{SN}$  merupakan jumlah N dari pupuk sintetis yang diberikan ke dalam tanah per tahun.  $F_{ON}$  merupakan jumlah N dari pupuk organik,  $F_{PRP}$  merupakan jumlah N yang terdeposisi dalam tanah melalui ternak yang digembalakan.  $F_{CR}$  merupakan jumlah N dari biomassa tanaman (atas dan bawah permukaan tanah), termasuk N dari tanaman pemfiksasi N dan pakan hijauan yang dikembalikan ke tanah.

*Jumlah N yang termineralisasi akibat dari cadangan karbon organik tanah yang hilang pada tanah mineral ( $F_{SOM}$ )*

Sama dengan emisi  $N_2O$  secara langsung. Data aktivitas yang harus dikumpulkan untuk perhitungan emisi  $N_2O$  secara tidak langsung dari tanah yang dikelola disajikan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.7. Data aktivitas dan sumber data untuk perhitungan emisi  $N_2O$  secara tidak langsung dari tanah yang dikelola (IPCC 2006)

Kategori	Data yang diperlukan	Sumber Data
Emisi $N_2O$ tidak langsung dari tanah yang dikelola	<ol style="list-style-type: none"> <li>Jumlah pupuk urea per tahun yang digunakan di tanaman pangan di lahan sawah dan non sawah, hortikultura</li> <li>Jumlah pupuk NPK per tahun yang digunakan di tanaman pangan di lahan sawah dan non sawah, hortikultura</li> <li>Jumlah pupuk ZA per tahun yang digunakan di tanaman pangan di lahan sawah dan non sawah, hortikultura</li> <li>Luas panen tanaman perkebunan, hortikultura, padi sawah dan non sawah</li> <li>Produksi padi sawah</li> </ol>	Badan Pusat Statistik (BPS) atau Statistik Pertanian atau direktorat jenderal teknis terkait

Faktor-faktor emisi untuk menduga emisi  $N_2O$  tidak langsung dari tanah yang dikelola dapat menggunakan faktor emisi *default* IPCC (2006) seperti pada Tabel 4.9.

Tabel 4.8. Faktor emisi *default*, volatilisasi dan pencucian untuk emisi N<sub>2</sub>O tidak langsung dari tanah yang dikelola, IPCC (2006)

No	Faktor	Nilai	Kisaran
1	EF <sub>4</sub> [volatilisasi dan redeposit N], kg N <sub>2</sub> O–N per kgNH <sub>3</sub> –N + NO <sub>x</sub> –N tervolatilisasi	0,010	0,002 – 0,05
2	EF <sub>4</sub> [volatilisasi dan redeposit N], kg N <sub>2</sub> O–N per kgNH <sub>3</sub> –N + NO <sub>x</sub> –N tervolatilisasi	0,0075	0,0005 – 0,025
3	Frac <sub>GASF</sub> [volatilisasi dari pupuk sintetis], kg NH <sub>3</sub> –N+NO <sub>x</sub> –N per kg N yang digunakan	0,10	0,03 – 0,3
4	Frac <sub>GASM</sub> [Volatilisasi dari semua pupuk N organik, urin dan kotoran yang dideposit ternak], kg NH <sub>3</sub> –N+NO <sub>x</sub> –N per kg N yang digunakan atau dideposit	0,20	0,05 -0,5
5	Frac <sub>LEACH-(H)</sub> [N yang hilang karena pencucian/aliran permukaan untuk daerah dengan Σ CH pada musimhujan) - Σ evapotranspirasi potensial pada periode yang sama) > kapasitas tanah memegang air, ataudimana irigasi (kecuali irigasi tetes)], kgN per N yang ditambahkan atau dideposit oleh ternak	0,30	0,1 – 0,8

#### 4.1.3.4 Rencana Aksi Adaptasi (Nilai Tambah Adaptasi)

Upaya adaptasi yang dapat dilakukan oleh petani sehubungan dengan pemupukan N antara lain adalah peningkatan efisiensi pemupukan dan pemupukan berimbang. Penggunaan BWD dapat mengoptimalkan penggunaan N, dapat menduga status N daun secara sederhana, murah dan mudah digunakan, serta ramah lingkungan. Pemupukan berimbang dapat meningkatkan produksi dan meningkatkan ketahanan tanaman dari serangan organisme pengganggu, serta menurunkan biaya pemupukan. Kegiatan ini merupakan aksi adaptasi, namun sekaligus dapat memberikan nilai tambah berupa penurunan emisi gas N<sub>2</sub>O.

Selain efisiensi penggunaan pupuk N, untuk menekan laju emisi N<sub>2</sub>O dapat digunakan beberapa bahan penghambat nitrifikasi antara lain: 2-chloro-6 (trichloromethyl) pyridine, sulfathiazole, dicyandiamide, 2-amino-4-chloro-6-methyl pyrimidine, 2-mercaptobenzothiazole, thiourea, 5-ethoxy-3-trichloromethyl-1,2,4-thiadiazole (terrazole), dan karbofuran (2,3-dihidro-2,2-dimetil-7-benzofuranil metil

karbamat) (Kusmaraswamy *et al.* cit Sahrawat 2004, Unger *et al.* 2009). Beberapa bahan alami berpotensi sebagai penghambat nitrifikasi, antara lain biji mimba (*Azadirachta indica* A Juss) dan babandotan (*Ageratum conyzoides*). Ekstrak biji mimba dan babandotan dapat mengendalikan organisme pengganggu tanaman (OPT) serta memberikan nilai tambah berupa penurunan emisi N<sub>2</sub>O. Biji mimba efektif menurunkan emisi N<sub>2</sub>O sebesar 48% bila diberikan bersamaan dengan jerami padi yang telah melapuk (Wihardjaka 2010).

### a. Contoh Perhitungan:

Contoh perhitungan Emisi N<sub>2</sub>O secara langsung dan tidak langsung dari tanah dengan metode Tier 1 dan carap engisian Worksheet IPCC (2006) sebagaimana berikut ini.

#### a. Data Aktivitas

1. Konsumsi pupuk Urea, ZA dan NPK masing masing 200.000 ton, 100.000 ton dan 125.000 ton tahun<sup>-1</sup> (lahan kering) dan 300.000 ton, 150.000 ton, dan 200.000 ton (lahan sawah).
2. Luas areal tanam padi = 150.000 ha, jagung = 100.000 ha, kedelai = 50.000 ha, dan sayuran = 100.000 ha
3. Dosis pupuk kandang pada jagung dan kedelai = 2 ton ha<sup>-1</sup> tahun<sup>-1</sup>
4. Dosis pupuk kandang tanaman padi sawah = 4 ton ha<sup>-1</sup> tahun<sup>-1</sup>
5. Dosis kompos pada tanaman sayuran = 10 ton ha<sup>-1</sup> tahun<sup>-1</sup>
6. Kandungan N pada Urea, ZA, dan NPK = 46%, 21%, dan 15%
7. Kandungan N pada pupuk kandang, kompos, crop residu 16%, 0,5%, dan 0,5%
8. Produksi padi = 800.000 ton tahun<sup>-1</sup> dan bagian biomas yang dikembalikan ke tanah 30%, dengan rasio biomas dan biji 1:1
9. EF<sub>1</sub> = 0,01 dan EF<sub>1FR</sub> = 0,03, EF<sub>4</sub> = 0,01
10. Fra<sub>CGASF</sub> = 0,1, Fra<sub>CGASM</sub> = 0,2

### b. Cara perhitungan

Kategori lahan dibagi atas 2 (dua) yaitu: (i) lahan yang diolah: lahan kering, tanaman jagung, kedelai, dan sayuran; dan (ii) lahan pertanian: lahan sawah, padi. Berdasarkan data di atas, terlebih dahulu harus dilakukan penghitungan jumlah penggunaan N.

#### (1) Menghitung konsumsi N dari pupuk sintesis

$$\begin{aligned}
 F_{SN} \text{ lahan kering} &= (200.000 \text{ ton urea} \times 0,46) + (100.000 \text{ ton ZA} \times 0,21) + (125.000 \\
 &\quad \text{ton NPK} \times 0,15) \\
 &= 92.000 \text{ ton} + 21.000 \text{ ton} + 18.750 \text{ ton} \\
 &= 131.750 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{SN} \text{ lahan sawah} &= (300.000 \text{ ton urea} \times 0,46) + (150.000 \text{ ton ZA} \times 0,21) + (200.000 \\
 &\quad \text{ton NPK} \times 0,15) \\
 &= 138.000 \text{ ton} + 31.500 \text{ ton} + 30.000 \text{ ton} \\
 &= 199.500 \text{ ton} \\
 F_{ON} \text{ pupuk kandang padi} &= (150.000 \text{ ha/tahun} \times 2 \text{ ton/ha} \times 0,16) \\
 &= 48.000 \text{ ton} \\
 F_{ON} \text{ pupuk kandang jagung, kedelai} &= (150.000 \text{ ton} \times 2 \text{ ton/ha} \times 0,16) \\
 &= 48.000 \text{ ton} \\
 F_{ON} \text{ kompos sayuran} &= (100.000 \text{ ha/tahun} \times 10 \text{ ton/ha/tahun} \times 0,005) \\
 &= 5.000 \text{ ton} \\
 F_{CR} \text{ padi} &= (800.000 \text{ ton} \times 0,30 \times 0,005) \\
 &= 1.200 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

### (2) Menghitung emisi $N_2O$ secara langsung

$$\begin{aligned}
 N_2O \text{ langsung} &= \{[(F_{SN} + F_{ON}) \times EF_1] + [(F_{SN} + F_{ON}) \times EF_{11FR}]\} \\
 &= \{[(131.750 + 48.000 + 5.000) \times 0,1] + [(199.500 + 48.000 + \\
 &\quad 1.200) \times 0,03]\} \\
 &= (18.475 \text{ ton} + 7.461 \text{ ton}) \\
 &= 25.936 \text{ ton } N_2O \\
 &= 6.873.040 \text{ ton } CO_2\text{-e}
 \end{aligned}$$

### (3) Menghitung emisi $N_2O$ secara tidak langsung

$$\begin{aligned}
 N_2O \text{ tidak langsung} &= [(F_{SN} \times Fra_{CGASF}) + ((F_{ON} + F_{PRP}) \times Fra_{CGASM})] \times EF_4 \\
 &= (131.750 + 199.500) \times 0,1 + (48.000 + 48.000 + 5.000 + 1.200) \\
 &\quad \times 0,2] \times 0,01 \\
 &= (33.125 + 20.200) \times 0,01 \\
 &= 536 \text{ ton } N_2O \\
 &= 142.040 \text{ ton } CO_2\text{-e}
 \end{aligned}$$

## 4.2. EMISI $CO_2$ DARI PENGAPURAN

### 4.2.1. Landasan Teori

Pengapuran telah lama menjadi pondasi pertanian di Indonesia karena sebagian besar tanah di Indonesia berada pada tingkat kemasaman di bawah pH 5,5 bahkan beberapa diantaranya masuk dalam kategori masam dan sangat masam. Kegiatan pengapuran telah meningkat sejalan dengan intensifikasi pertanian. Pemberian kapur ke

dalam tanah bertujuan untuk mengurangi kemasaman tanah dan meningkatkan ketersediaan unsur hara tanaman. Pada umumnya kapur yang sering digunakan di lahan pertanian yaitu dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) atau *limestone* (batu gamping) ( $\text{CaCO}_3$ ). Pemberian kapur pertanian sendiri dapat menjadi sumber emisi gas  $\text{CO}_2$  (Hamilton 2007). Penambahan karbonat *limestone* ( $\text{CaCO}_3$ ) atau dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) yang diberikan ke dalam tanah akan larut dan melepaskan bikarbonat yang selanjutnya menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  (IPCC 2006). Pemberian kapur pertanian secara berlebihan dapat menjadi sumber emisi  $\text{CO}_2$  ke atmosfer (Robertson *et al.* 2000). Efisiensi penggunaan kapur dapat menurunkan emisi  $\text{CO}_2$  yang berasal dari pengapuran.

#### 4.2.2. Perkiraan Emisi $\text{CO}_2$ dari Pengapuran

Inventarisasi emisi  $\text{CO}_2$  dari pengapuran dapat dikembangkan dari Tier 1, 2 dan 3. Pohon keputusan untuk memilih metode yang sesuai terdapat pada Gambar 5. Masing-masing Tier membutuhkan lebih banyak data aktivitas dan sumberdaya dari sebelumnya. Praktik ini bagus digunakan untuk lokasi yang menggunakan pengapuran sebagai *key category*.

##### **Tier 1**

Emisi  $\text{CO}_2$  dari penambahan kapur ke dalam tanah dapat diperkirakan dengan persamaan 11.12 (IPCC 2006) sebagai berikut:

$$\text{Emisi CO}_2\text{-C} = [(M_{\text{BatuGamping}} \times \text{EF}_{\text{BatuGamping}}) + (M_{\text{dolomit}} \times \text{EF}_{\text{dolomit}})]$$

dimana:

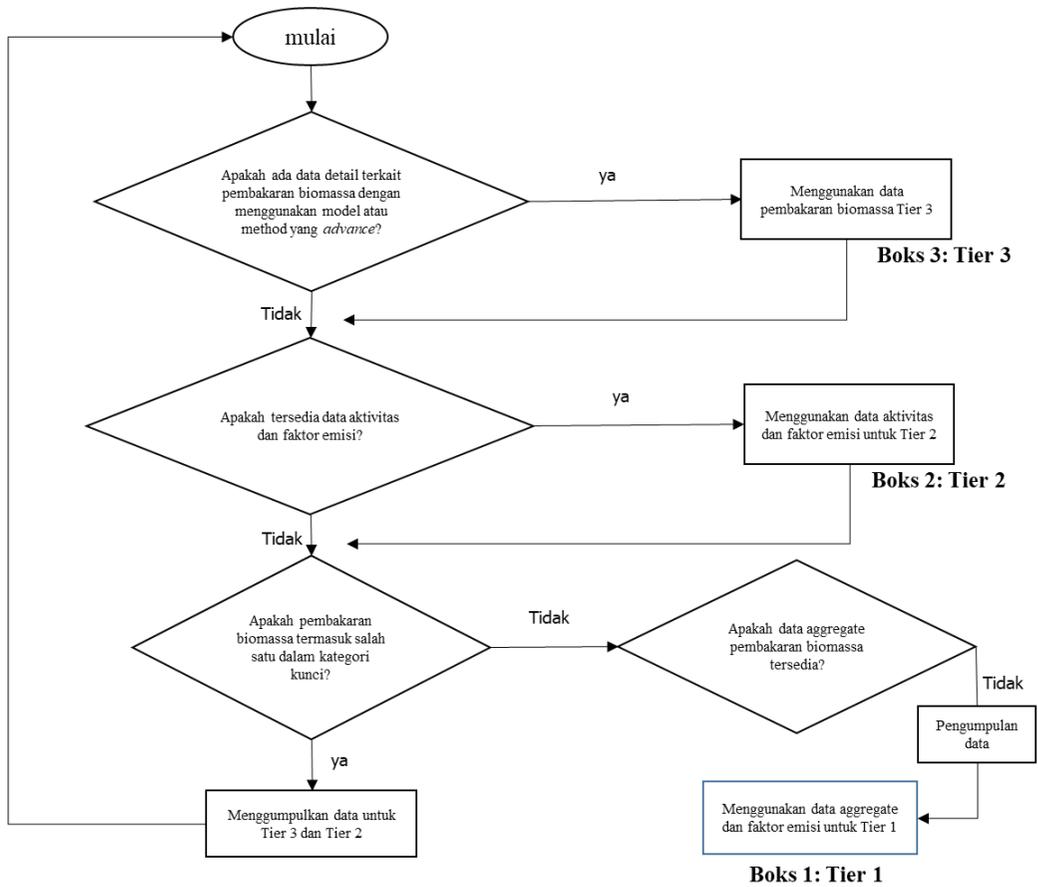
Emisi  $\text{CO}_2\text{-C}$  : emisi C tahunan dari aplikasi pengapuran ( $\text{ton tahun}^{-1}$ )

M : jumlah atau berat dari limestone atau dolomit yang diaplikasikan ( $\text{ton tahun}^{-1}$ )

EF : faktor emisi, ton C dari limestone atau dolomit (Tabel 4.11).

Tabel 4.9. Faktor emisi *default* berdasarkan kandungan bahan karbonat (IPCC 2006)

Jenis bahan	Faktor emisi
Batu Gamping	0,12
Dolomit	0,13



Gambar 4.5. Bagan Keputusan untuk menentukan emisi CO<sub>2</sub> dari pengapuran

**Tier 2**

Perhitungan emisi CO<sub>2</sub> yang berasal dari pengapuran sama seperti pada Tier 1. Namun faktor emisi yang digunakan berdasarkan spesifik negara. Pemahaman mengenai transformasi karbon organik dari Ca, Mg, dan anorganik C penting untuk digunakan dalam penentuan faktor emisi.

**Tier 3**

Estimasi emisi pada Tier 3 berdasarkan variasi karakteristik spesifik lokasi dan lingkungan dan tidak menggunakan faktor emisi secara langsung.

#### 4.2.1. Data Aktivitas dan Cara Pengumpulannya

##### **Tier 1**

Data aktivitas yang harus dikumpulkan untuk perhitungan emisi CO<sub>2</sub> dari pengapuran tersaji pada Tabel 4.12, sebagai berikut:

Tabel 4.10. Data aktivitas yang dikumpulkan dan sumber data untuk perhitungan emisi CO<sub>2</sub> dari pengapuran.

Kategori	Data yang diperlukan	Sumber Data
Emisi CO <sub>2</sub> dari pengapuran	1. Jumlah pemberian batu gamping (ton tahun <sup>-1</sup> ) 2. Jumlah pemberian dolomit (ton tahun <sup>-1</sup> )	Badan Pusat Statistik (BPS) atau Statistik Pertanian atau Direktorat Jenderal teknis terkait

##### **Tier 2**

Pada Tier 2, selain menggunakan data aktivitas pada Tier 1 juga menggunakan informasi mengenai kemurnian karbonat serta karakteristik lokasi dan hidrologi untuk memperkirakan proporsi karbonat C dari aplikasi kapur, yang dipancarkan ke atmosfer.

##### **Tier 3**

Pada Tier 3 menggunakan data aktivitas yang lebih rinci dibandingkan pada Tier 1 dan Tier 2. Data aktivitas sesuai dengan model/desain pengukuran yang digunakan.

#### 4.2.4. Contoh perhitungan menggunakan Tier-1

Pertanyaan:

Suatu lahan perkebunan dengan luas 100.000 ha yang menggunakan dolomit dengan dosis 2 ton ha<sup>-1</sup> tahun<sup>-1</sup>. -Berapakah emisi CO<sub>2</sub> dari penggunaan dolomit?

Jawaban:

Langkah:

- Menghitung konsumsi dolomit = 100.000 ha x 2 ton ha<sup>-1</sup> tahun<sup>-1</sup>  
= 200.000 ton tahun<sup>-1</sup>
- Menghitung emisi CO<sub>2</sub> dari penggunaan dolomit  
= 200.000 ton tahun<sup>-1</sup> x 0,13  
= 26.000 ton CO<sub>2</sub> tahun<sup>-1</sup>

### 4.3. EMISI CO<sub>2</sub> DARI PENGGUNAAN PUPUK UREA

#### 4.3.1. Landasan Teori

Pupuk urea yang diaplikasikan pada lahan pertanian berpotensi menghasilkan emisi CO<sub>2</sub>. Emisi CO<sub>2</sub> terjadi karena urea berubah menjadi ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), ion hidroksil (OH<sup>-</sup>), dan bikarbonat (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) apabila bertemu dengan air dan enzim urease. Proses ini hampir sama dengan penambahan kapur di tanah, dimana bikarbonat yang terbentuk berubah menjadi CO<sub>2</sub> dan air. Kategori sumber ini perlu dimasukkan, karena fiksasi CO<sub>2</sub> dari atmosfer selama pembuatan urea diperhitungkan dalam sektor industri (IPCC 2006). Menurut Wood and Cowie (2004), produksi urea biasanya berkaitan erat dengan pabrik ammonia, dimana CO<sub>2</sub> yang berasal dari sintesis ammonia digunakan sebagai input utama dalam produksi urea. Emisi CO<sub>2</sub> yang berasal dari aplikasi pupuk urea bervariasi tergantung pada praktek manajemen budidayanya (Iqbal *et al.* 2009). Pupuk urea semakin banyak diaplikasikan pada lahan pertanian di Indonesia. Pengaruh aplikasi pupuk urea sangat penting untuk memprediksi *trend* emisi CO<sub>2</sub> dari lahan pertanian di Indonesia pada masa mendatang dan kemungkinan dapat dijadikan pendekatan untuk mengurangi perubahan iklim melalui praktek pertanian.

#### 4.3.2. Perkiraan Emisi CO<sub>2</sub> dari Pemupukan Urea

Inventarisasi emisi CO<sub>2</sub> dari penggunaan urea dapat dikembangkan dari Tier 1, 2 dan 3. Pohon keputusan untuk memilih metode yang sesuai terdapat pada Gambar 6. Masing masing Tier membutuhkan lebih banyak data aktivitas dan sumberdaya dari sebelumnya. Praktik ini bagus digunakan untuk lokasi yang menggunakan pengapuran sebagai *key category*. Perhitungan emisi CO<sub>2</sub> antara lain:

##### **Tier 1**

Emisi CO<sub>2</sub> dari penggunaan pupuk urea dihitung dengan persamaan 11.13 (IPCC 2006) sebagai berikut:

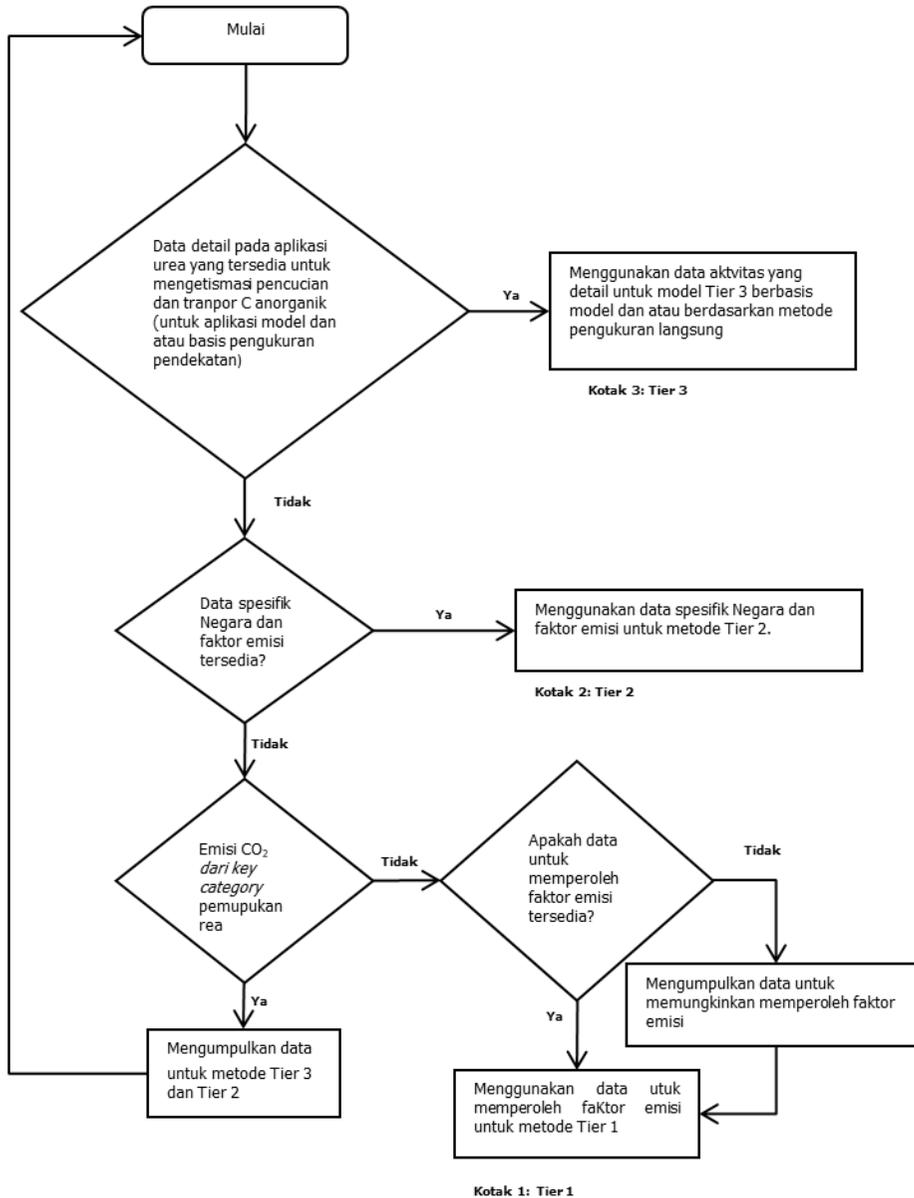
$$\text{CO}_2\text{-C emission} = M_{\text{urea}} \times \text{EF}_{\text{urea}}$$

dimana:

CO <sub>2</sub> -C emission	=	emisi C tahunan dari aplikasi urea (ton CO <sub>2</sub> tahun <sup>-1</sup> )
M <sub>urea</sub>	=	jumlah pupuk urea (ton tahun <sup>-1</sup> )
EF <sub>urea</sub>	=	faktor emisi ton C per urea (urea/ CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> : 0,2)

**Tier 2**

Estimasi emisi CO<sub>2</sub> sesuai dengan persamaan 11.13 (Tier 1). Faktor emisi yang digunakan berdasarkan faktor emisi spesifik dari suatu lokasi/negara. Faktor emisi dapat diperoleh dari pemahaman transformasi C anorganik yang tersedia.



Gambar 4.6. Bagan Keputusan untuk menentukan emisi CO<sub>2</sub> dari pemupukan urea

**Tier 3**

Emisi CO<sub>2</sub> dari aplikasi urea dapat diestimasi dengan lebih detail menggunakan model/pengukuran dengan mengabungkan pencucian bikarbonat ke air tanah, danau, dan atau lautan, sehingga tidak berkontribusi terhadap emisi CO<sub>2</sub>. Peningkatan C anorganik dalam tanah tidak mencerminkan penghapusan CO<sub>2</sub> dari atmosfer. Pada Tier 3 estimasi emisi bergantung pada variasi karakteristik spesifik lokasi dan lingkungan dan tidak menggunakan faktor emisi yang diperkirakan langsung.

**4.3.3. Data Aktivitas dan Cara Pengumpulan****Tier 1**

Pada Tier-1 data aktivitas yang harus dikumpulkan untuk perhitungan emisi CO<sub>2</sub> dari pupuk urea tersaji pada Tabel 4.14, sebagai berikut:

Tabel 4.11. Jenis data aktivitas dan sumber data untuk perhitungan emisi CO<sub>2</sub> dari penggunaan pupuk urea.

<b>Kategori</b>	<b>Data yang diperlukan</b>	<b>Sumber Data</b>
Emisi CO <sub>2</sub> dari pupuk urea	1. Jumlah pupuk urea per tahun (ton tahun <sup>-1</sup> )	Badan Pusat Statistik (BPS) atau Statistik Pertanian atau direktorat jenderal teknis terkait atau Asosiasi Pengusaha Pupuk Indonesia

**Tier 2**

Pada Tier 2, selain data aktivitas juga memasukkan informasi tambahan karakteristik lokasi dan hidrologi yang digunakan untuk mengestimasi proporsi emisi C dari urea ke atmosfer.

**Tier 3**

Pada Tier 3 yang menggunakan penerapan model dinamis dan/atau inventaris berbasis pengukuran langsung, memerlukan data aktivitas yang lebih terperinci dibandingkan Tier 1 dan Tier 2. Kebutuhan data yang lengkap dan tepat akan bergantung pada model atau desain pengukuran yang digunakan.

**4.3.4. Contoh perhitungan**

Pertanyaan:

Suatu daerah mempunyai luas lahan tanaman pangan (padi) 100.000 ha, lahan perkebunan (karet) 50.000 ha, dan lahan hortikultura (buah-buahan) 25.000 ha. Dosis penggunaan pupuk urea untuk tanaman pangan, perkebunan dan hortikultura masing-

masing sebanyak 200 kg ha<sup>-1</sup>, 300 kg ha<sup>-1</sup> dan 160 kg ha<sup>-1</sup>. Berapakah emisi CO<sub>2</sub> dari penggunaan urea di daerah tersebut?

Jawaban:

Langkah :

1. Menghitung konsumsi pupuk urea :
  - Tanaman pangan (padi) = 100.000 ha x 200 kg ha<sup>-1</sup> x 10<sup>-3</sup>  
= 10.000 ton
  - Tanaman perkebunan (karet) = 0,40 x 50.000 ha x 300 kg ha<sup>-1</sup> x 10<sup>-3</sup>  
= 2.000 ton
  - Tanaman hortikultura (buah-buahan)  
= 0,20 x 25.000 ha x 160 kg ha<sup>-1</sup> x 10<sup>-3</sup>  
= 800 ton
  - Jumlah konsumsi pupuk urea = 10.000 ton + 2.000 ton + 800 ton  
= 12.800 ton tahun<sup>-1</sup>
2. Menghitung emisi CO<sub>2</sub> dari penggunaan pupuk urea
  - = 12.800 ton tahun<sup>-1</sup> x 0,20  
= 2.560 ton CO<sub>2</sub> tahun<sup>-1</sup>

Asumsi yang digunakan dalam perhitungan:

1. Faktor koreksi untuk tanaman kelapa sawit adalah 0,80
2. Faktor koreksi untuk tanaman kopi, kakao dan karet adalah 0,40
3. Faktor koreksi untuk tanaman kelapa adalah 0,40
4. Faktor koreksi untuk tanaman kapas dan tembakau adalah 1
5. Faktor koreksi untuk tanaman sayur-sayuran adalah 0,80
6. Faktor koreksi untuk tanaman buah-buahan adalah 0,20

#### 4.4. CONTOH AKSI ADAPTASI DAN NILAI TAMBAH MITIGASI

Data global menunjukkan bahwa 18%-49% pupuk nitrogen yang diaplikasikan diserap oleh tanaman, sisanya hilang melalui run off, pelindian dan volatilisasi atau terimobilisasi dalam bahan organik tanah (Cassman et al. 2002). Beberapa strategi adaptasi dan nilai tambah mitigasi yang dapat dilakukan untuk mempertahankan bentuk N agar tidak mudah hilang dan lebih banyak N yang diserap tanaman, antara lain adalah pemupukan N yang tepat dosis, tepat formulasi, tepat waktu dan tepat tempat. Dosis aplikasi pupuk N harus tepat (optimum secara ekonomi), sumber pupuk N adalah dari pupuk organik dan anorganik (pemupukan berimbang). Pemberian N yang bersumber dari pupuk organik akan mensubstitusi jumlah N dari pupuk anorganik, yang akhirnya dapat mengurangi emisi CO<sub>2</sub>. Sumber pupuk N yang tepat termasuk urea, ammonium nitrat, pupuk N lambat urai, dan pupuk organik. Aplikasi pupuk N yang dibenam di bawah

permukaan tanah lebih efektif dibandingkan dengan cara disebar. Waktu pemupukan juga harus mendekati saat pupuk N diperlukan setiap fase pertumbuhan tanaman. Pengelolaan air juga merupakan optimalisasi pemupukan N, karena berpengaruh terhadap waktu, dosis dan cara pemupukan. Penanaman cover crop dapat mengurangi kehilangan N melalui run off dan pelindian. Aplikasi pupuk hayati yang mengandung mikroorganisme penambat N bebas dari udara sangat membantu menyediakan N bagi tanaman. Penerapan pertanian yang rendah input N namun tinggi output-nya merupakan startegi yang berkelanjutan.

Upaya mitigasi dapat dilakukan dengan pembuatan pupuk N yang lebih stabil (Stabilized Nitriogen Fertilizer) yaitu dengan penambahan selaput untuk memperlambat pelepasan N, pembuatan pupuk N yang lebih tersedia bagi tanaman (Hasler et al. 2017). Pemberian pupuk N dalam bentuk larutan bersamaan dengan pengairan (fertigasi) bertujuan agar nutrisi segera dapat diserap tanaman, selain itu juga menghemat pupuk dan air serta tepat waktu diperlukan tanaman. Pemberian zat penghambat enzim urease dan penghambat nitrifikasi akan memperlambat transformasi ammonium menjadi nitrat. Aplikasi N dalam bentuk ammonium sulfat yang dikombinasikan dengan penghambat nitrifikasi dapat mengurangi emisi CO<sub>2</sub> sebesar 7% dan N<sub>2</sub>O sebesar 37% (Weiske et al. 2001).

## DAFTAR BACAAN

- Akiyama H, Yan X, Yagi K. 2010. Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N<sub>2</sub>O and NO emissions from agricultural soils: meta-analysis. *Global Change Biology* 16(6): 1837-1846.
- Gilsanz C, Baez D, Misselbrook TH, Dhanoa MS, Cardenas LM. 2016 Development of emission factors and efficiency of two nitrification inhibitors, DCD and DMPP. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 216: 1-8.
- Grace, P. 2017. Information for Growers-Greenhouse gas emissions and farming practices. Institute for Future Environments. Queensland University of Technology. <http://www.n2o.net.au/information/for-growers/>, diakses tgl 30 Agustus 2019.
- Hamilton SK, Kurzman AL, Arango , Jin L, Robertson GP. 2007. Evidence for carbon sequestration by agricultural liming. *Global Biogeochemical Cycles* 21, GB2021, doi:10.1029/2006GB002738
- Hartatik W, Husnain, Widowati LR. 2015. Peranan pupuk organik dalam peningkatan produktivitas tanah dan tanaman. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 9(2)::107-120

- IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use, Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K (eds). IGES, Hayama, Japan.
- 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.
- Iqbal J, Hu , Lin S, Hatano R, Feng M, Lu L, Ahamadou B, Du L. 2009. CO<sub>2</sub> emission in a subtropical red paddy soil (Ultisol) as affected by straw and N-fertilizer applications: A case study in Southern China. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 131: 292-302.
- Kajitani S, Tay LH, Zhang S, Li ZC. 2013. Mechanisms and kinetic modelling of steam gasification of brown coal in the presence of volatile-char interactions. *Fuel* 103: 7–13.
- Lehmann J, Gaunt J, Rondon M. 2006. Biochar Sequestration In Terrestrial Ecosystems – A Review. *Mitigation And Adaptation Strategies For Global Change* 11:403–427. Doi: 10.1007/S11027-005-9006-5
- Lorenz K, Lal R. 2014. Biochar application to soil for climate change mitigation by soil organic carbon sequestration. - *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177, 5, p. 651-670. DOI: <http://doi.org/10.1002/jpln.201400058>
- Wood S, Cowie A. 2004. A review of greenhouse gas emission factors for fertilizer production. Research and Development Division, State Forests of New South Wales. Cooperative Research Centre for Greenhouse gas Accounting. For IEA Bioenergy Task 38.
- Robertson GP, Paul EA, Harwood RR. 2000. Greenhouse gases in intensive agriculture: Contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Science* 28: 1922-1925.
- Ruser R, Schulz R. 2015. The Effect of Nitrification Inhibitors on the Nitrous Oxide (N<sub>2</sub>O) Release from Agricultural Soils-A Review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 178: 171-188.
- Sahrawat KL. 2004. Nitrification inhibitors for controlling methane emission from submerged rice soils. *Current Science* 87: 1084-1087.
- UNEP. 2008. Kick the Habit, a UN Guide to Climate Neutrality. UNEMG. UNEP/GRID Arendal.
- Unger IM, Motavalli PP, Muzika RM. 2009. Changes in soil chemical properties with flooding: A field laboratory approach. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 131: 105-110.
- Wihardjaka A. 2010. Emisi gas dinitrogen oksida dari tanah sawah tadah hujan yang diberi jerami padi dan bahan penghambat nitrifikasi. *Jurnal biologi Indonesia*. 6(2): 211-224

- Cassman, K.G., A. Dobermann and D.T. Walters. 2002. Agroecosystems, nitrogen use efficiency and nitrogen management. *Ambio* 31:132-140
- Hasler K, S Bröring, Onno S.W.F.Omta, Hans-Werner OLFS. 2017. Eco-innovations in the German fertilizer supply chain: Impact on the carbon footprint of fertilizers. *Plant Soil Environ.* Vol. 63, 2017, No. 12: 531–544. doi: 10.17221/499/2017-PSE
- Weiske A., Benckiser G., Herbert T., Ottow J. 2001. Influence of the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) in comparison to dicyandiamide (DCD) on nitrous oxide emissions, carbon dioxide fluxes and methane oxidation during 3 years of repeated application in field experiments. *Biology and Fertility of Soils*, 34: 109–117.



## 5. PEMBAKARAN BIOMASSA

**Helena Lina Susilawati, Anggri Hervani, Ali Pramono, A. Wihardjaka,  
Mas Teddy Sutriadi**

*Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Jakenan, Jawa Tengah*

### 5.1. LANDASAN TEORI

Kebakaran lahan merupakan hal yang dapat merubah biomassa, yang utamanya biomassa yang terdapat di atas lahan dan juga bahan organik (seresah dan kayu yang telah mati). Pembakaran biomassa dari sisa-sisa tanaman merupakan salah satu sumber emisi gas rumah kaca (GRK) yang berasal dari pembakaran tidak sempurna seperti metana ( $\text{CH}_4$ ), *non-methane volatile organic compound* (NMVOC), nitrogen (seperti  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_x$ ), karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan partikel-partikel hasil pembakaran yang bersifat karsinogenik yang dapat terdistribusi secara luas (Li *et al.* 2016; Sun *et al.* 2016). Selain itu, pembakaran biomassa menghasilkan gas lain yaitu karbon-monoksida (CO). Rata-rata kebakaran lahan global setiap tahunnya adalah sekitar 350 Mha yang menghasilkan 2,2 Pg karbon ke atmosfer (Giglio *et al.* 2013; van der Werf *et al.* 2017). Gas dengan konsentrasi tinggi dari pembakaran biomassa secara langsung dan tidak langsung memberikan dampak terhadap terbentuknya lapisan kabut di sebagian besar daerah tropis dan di daerah subtropis, iklim lokal dan global, memburuknya kualitas udara dan kesehatan manusia (Eck *et al.* 2003 dan Zhang *et al.* 2016). Pada perhitungan emisi GRK dari pembakaran biomassa di *cropland* dan *grassland*, hanya non- $\text{CO}_2$  yang emisinya diperhitungkan, karena emisi  $\text{CO}_2$  merupakan pelepasan kembali dari  $\text{CO}_2$  yang diserap pada saat atau selama proses fotosintesis. Selain itu di *cropland* dan *grassland* mempunyai komposisi kayu yang relatif rendah dibandingkan yang lainnya karena biomassa merupakan sumber bahan yang dapat terbakar. Vegetasi berkayu, seperti perkebunan, dapat terbakar akan tetapi metode perhitungannya harus menggunakan Tier yang lebih tinggi.

Budaya membakar lahan untuk membersihkan lahan dari sisa-sisa panen tanaman sebelumnya telah berakar lama dalam negeri ini. Masih banyaknya pembakaran lahan yang dilakukan oleh petani karena pembakaran mempermudah dalam membersihkan lahan dan abu hasil pembakaran dipercaya mampu mengurangi tingkat keasaman tanah sehingga tanah menjadi lebih alkalis dan subur. Sebagai contoh adalah pembakaran lahan tebu setelah panen adalah untuk mempermudah pembersihan lahan dari sisa-sisa tanaman tebu yang tidak diangkut keluar lahan. Metode membuka atau membersihkan lahan dengan cara dibakar karena menyebabkan banyak kerugian baik dari sisi lingkungan, ekonomi dan manusia itu sendiri. Dari aspek lingkungan, pembakaran menyebabkan peningkatan polusi udara, GRK yang dihasilkan menyebabkan

peningkatan pemanasan global, dan menyebabkan komponen biotik menghilang pada areal yang dibakar. Dari aspek ekonomi, asap yang dihasilkan menyebabkan banyak aktivitas manusia terhambat karena terbatasnya ruang gerak. Dari aspek manusianya bahwa keputihan asap menyebabkan gangguan kesehatan manusia karena menimbulkan penyakit pernapasan (misalnya ISPA).



Gambar 5.1. Pembakaran jerami sisa panen di lahan padi sawah

## 5.2. PRAKIRAAN EMISI

Perhitungan emisi Non-CO<sub>2</sub> dari pembakaran biomassa yang dilakukan di Indonesia dibedakan menjadi 2 yaitu perhitungan biomassa dari pembakaran biomassa di lahan tanaman pangan (*cropland*) dan pembakaran biomassa dari padang rumput (*grassland*) dan perhitungannya dilakukan terpisah. Pembakaran biomassa dari lahan pertanian pada umumnya terkait dengan pembakaran sisa pertanian seperti jerami padi, tebu, jagung dan lain-lain, sedangkan pembakaran biomassa dari padang rumput diasumsikan berasal dari sistem ladang berpindah dimana membuka lahan dengan membakar lahan yang ditumbuhi rumput.

Berdasarkan IPCC 2006, estimasi perhitungan emisi GRK dari kebakaran biomassa secara umum adalah

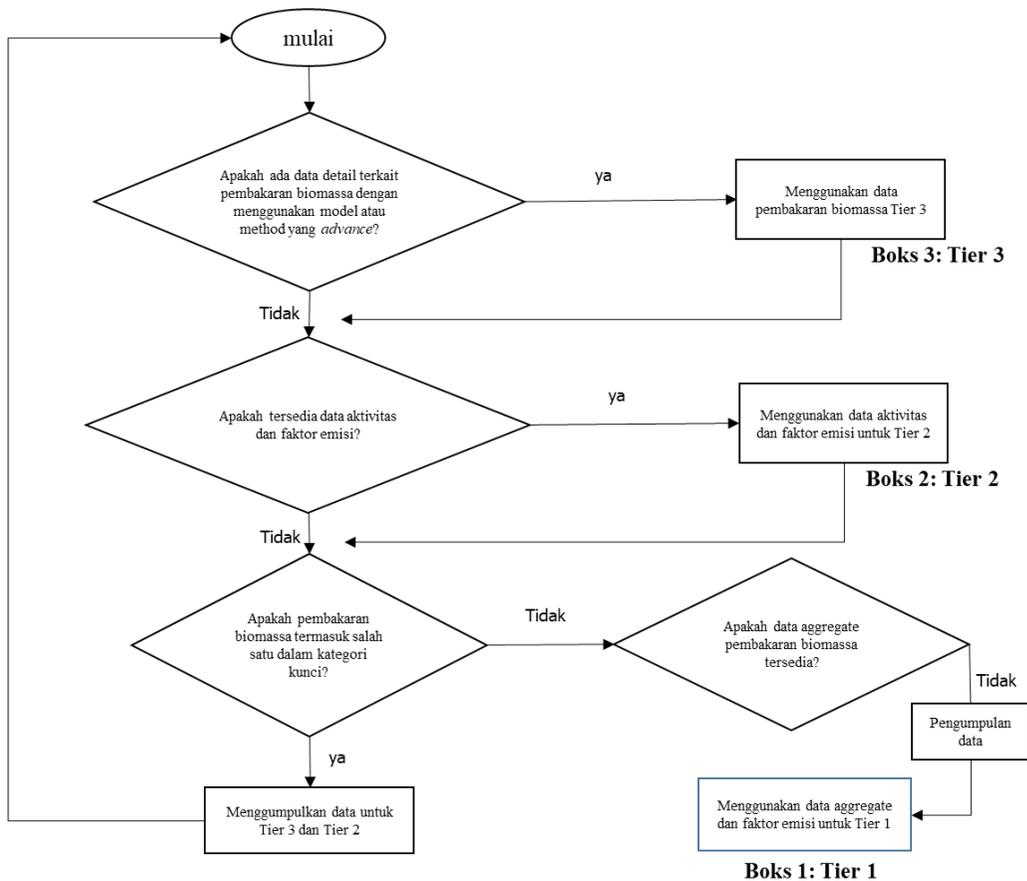
$$L_{fire} = A \times M_B \times C_f \times G_{ef} \times 10^{-3}$$

(rumus 2.27, IPCC 2006)

Dimana:

- $L_{fire}$  = emisi GRK dari pembakaran biomas (ton CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O dsb)
- A = luas area yang terbakar (ha)
- $M_B$  = Jumlah biomassa yang terbakar (ton ha<sup>-1</sup>). 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 ( $g\ kg^{-1}$ )



Gambar 5.2. Alur penggunaan metode dan data dalam perhitungan pembakaran biomassa (IPCC 2006)

### 5.3. FAKTOR EMISI

#### Tier 1

Pendekatan perhitungannya dalam metode ini dilakukan secara sederhana yaitu dengan mengasumsikan bahwa terbakarnya bahan organik di suatu lahan seluruhnya menghasilkan emisi gas rumah kaca karena sumber utamanya berasal dari bahan organik. Perhitungan dengan Tier 1 dilakukan apabila data  $M_B$  and  $C_f$  tidak tersedia sehingga nilai default dari jumlah bahan yang dibakar untuk beberapa sisa pertanian dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan menggunakan default faktor emisi pada Tabel 5.2, IPCC 2006. Pada metode ini, serasah tanaman dan bahan-bahan yang berasal dari kayu mati diasumsikan nol (tidak ada).

Tabel 5.1. Nilai berat biomass yang terbakar berdasarkan jenis tanaman yang dihitung sebagai  $M_B \times C_f$ 

Jenis vegetasi	Sub-kategori	Rata-rata (ton ha <sup>-1</sup> )
Pembakaran sisa panen di lahan pertanian	Sisa tanaman jagung	10,0
	Sisa tanaman padi	5,5
	Sisa tanaman tebu*	6,5

\*untuk tebu merupakan nilai sebelum tanaman dipanen

Sumber: ekstrak dari Tabel 2.4, IPCC 2006

Faktor emisi merupakan nilai yang menggambarkan besaran emisi GRK yang dilepaskan akibat dari terbakarnya suatu bahan dan nilainya akan berbeda tergantung dengan kandungan karbon dari biomassa dan tingkat kesempurnaan pembakaran. Jenis-jenis biomassa yang mengandung nitrogen tinggi menghasilkan emisi NO<sub>x</sub> dan N<sub>2</sub>O sesuai dengan kandungan N yang terdapat biomassa yang terbakar. Emisi CO<sub>2</sub> dari pembakaran biomassa tidak dihitung karena CO<sub>2</sub> yang dihasilkan diserap kembali pada saat atau selama proses fotosintesis

Tabel 5.2. Faktor emisi dari bahan kering yang berasal dari sisa panen yang dibakar di lahan pertanian yang digunakan sebagai  $G_{ef}$ 

	Emisi	Faktor emisi (g kg <sup>-1</sup> bahan kering yang terbakar)
	Sisa panen di lahan pertanian	CO <sub>2</sub>
CO		92 ± 84
CH <sub>4</sub>		2,7
N <sub>2</sub> O		0,07
NO <sub>x</sub>		2,5 ± 1,0

Sumber: ekstrak dari Tabel 2.5 (IPCC 2006)

Faktor pembakaran merupakan nilai yang digunakan untuk mengukur proporsi bahan yang terbakar dan nilainya berbeda tergantung dari ukuran dan bentuk dari sumber bahan yang terbakar (kayu dengan seresah nilainya berbeda), tingkat kelembaban bahan yang terbakar dan kondisi yang mempengaruhi terbakarnya seperti kondisi iklim dan wilayah. Faktor pembakaran dari tanaman jagung, padi dan tebu terdapat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3. Faktor pembakaran ( $C_f$ ) berdasarkan jenis vegetasi

Jenis vegetasi	Sub-kategori	Rata-rata
Pembakaran sisa panen di lahan pertanian	Sisa tanaman jagung	0,80
	Sisa tanaman padi	0,80
	Sisa tanaman tebu	0,89

Sumber: ekstrak dari Tabel 2.6, IPCC 2006

### **Tier 2**

Pendekatan yang dilakukan di Tier 2 pada umumnya sama dengan yang di Tier 1 hanya saja faktor emisi dan atau estimasi berat biomassa yang terbakar dan faktor pembakarannya disesuaikan dengan kondisi negara yang menghitung pembakaran biomassa. Tampilkan atau tambahkan faktor pembakaran untuk Tier 2 tersebut.

### **Tier 3**

Pendekatan yang dilakukan lebih komprehensif dan berdasarkan pada dinamika biomassa dan bahan organik.

## **5.4. DATA AKTIVITAS**

### **Tier 1**

Data yang digunakan adalah area lahan yang tanaman pertaniannya terbakar atau apabila tidak terdapat data tersebut maka yang dibutuhkan adalah luas panen tanaman pertahunnya dan rata-rata produksi per satuan hektar. Apabila data tersebut juga tidak tersedia maka dapat menggunakan data statistik dari institusi yang kredibel seperti FAO dan dicross-check dengan data nasional yang dimiliki.

Dalam perhitungan pembakaran biomassa yang dilakukan di Indonesia, data aktivitas yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 5.4. Data aktivitas yang diperlukan dalam perhitungan pembakaran biomassa

Kategori	Data yang diperlukan	Sumber Data
Pembakaran biomassa	<ol style="list-style-type: none"> <li>Luas panen sawah dan padi ladang masing-masing provinsi</li> <li>Proporsi area dan jumlah biomassa yang terbakar dari masing-masing propinsi</li> </ol>	Pusat Statistik (BPS) atau Statistik Pertanian. Apabila data proporsi area dan jumlah biomassa yang terbakar tidak ada, maka dapat menggunakan <i>expert judgement</i>

Tabel 5.5. Perkiraan proporsi area yang terbakar dan berat biomassa yang terbakar berdasarkan *expert judgement*

Provinsi	Proporsi area yang terbakar (%)	Berat biomass yg terbakar (ton ha <sup>-1</sup> )
Aceh	0,4	4,52
Sumatera Utara	0,1	4,87
Sumatera Barat	0,7	4,86
Riau	0,7	3,87
Jambi	0,7	4,32
Sumatera Selatan	0,7	4,41
Bengkulu	0,7	4,04
Lampung	0,15	4,97
Kep. Bangka Belitung	0,7	3,54
Kep. Riau	nd	nd
Dki Jakarta	nd	5,54
Jawa Barat	0,15	5,92
Jawa Tengah	0,15	5,68
Di Yogyakarta	0,15	6,05
Jawa Timur	0,15	6,04
Banten	0,15	5,21
Bali	0,4	5,74
Nusa Tenggara Barat	0,4	4,92
Nusa Tenggara Timur	0,25	3,77
Kalimantan Barat	0,4	3,47
Kalimantan Tengah	0,4	3,07
Kalimantan Selatan	0,1	4,03
Kalimantan Timur	0,4	4,69
Kalimantan Utara	nd	nd
Sulawesi Utara	0,7	5,15
Sulawesi Tengah	0,7	4,66
Sulawesi Selatan	0,5	4,95
Sulawesi Tenggara	0,7	4,30
Gorontalo	0,7	5,56
Sulawesi Barat	0,5	4,89
Maluku	0,8	4,36
Maluku Utara	nd	0,00
Papua Barat	0,8	3,67
Papua	0,8	3,89

nd = tidak ada data

Proporsi area yang terbakar dan berat biomassa yang terbakar pada perhitungan pembakaran biomassa di Indonesia menggunakan asumsi berdasarkan *expert judgement* (Tabel 5.5) karena biomassa yang ada di lahan tidak sepenuhnya dibakar. Hal ini terjadi

karena pada umumnya biomasa jerami selain dibakar oleh petani sekitar 45%, sisanya 55% digunakan untuk pakan ternak dan/atau dikembalikan ke lahan sebagai kompos.

### **Tier 2**

Apabila menggunakan Tier 2 maka data yang digunakan berdasarkan karakteristik wilayah seperti berdasarkan zona iklim dan laju akumulasi residu tanaman. Data ini dapat berasal dari data survei yang dilakukan secara periodik untuk menentukan karakteristik wilayah dan jenis tanaman.

### **Tier 3**

Data yang dibutuhkan di Tier 3 hampir sama dengan yang di Tier 2 hanya saja dengan menggunakan model dan agregasi data yang lebih detail seperti jenis tanaman berdasarkan dengan iklim, jenis tanah dan variable lain yang berpengaruh.

## **5.5. CONTOH PERHITUNGAN**

Pertanyaan:

Suatu daerah mempunyai luas lahan tanaman pangan (padi) 500.000 ha. Setelah waktu panen selesai, petani setempat terbiasa membakar sisa jerami di lahannya. Berapakah gas rumah kaca ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  dan  $\text{NO}_x$ ) yang diemisikan dari daerah tersebut?

Jawaban:

Luas panen padi = 500.000 ha

Fraksi biomas yang dibakar = 0.25

Faktor emisi sisa pertanian untuk  $\text{CH}_4 = 2,7$ ,  $\text{CO} = 92$ ,  $\text{NO}_2 = 0,07$  dan  $\text{NO}_x = 2,5$  (g GRK  $\text{kg}^{-1}$  biomassa kering).

Default untuk berat biomassa jerami padi ( $\text{Mb} \cdot \text{Cr}$ ) =  $5,5 \text{ ton ha}^{-1}$

Default Cf untuk jerami padi = 0.8

Tahapan Perhitungan:

(1) Menghitung luas lahan yang dibakar =  $500.000 \text{ ha} \times 0.25 = 125.000 \text{ ha}$

(2) Menghitung emisi dari lahan pertanian yang dibakar adalah

$$\text{LCH}_4 = (125.000 \text{ ha} \times 5,5 \text{ ton ha}^{-1} \times 0,8 \times 2,7 \text{ g GRK kg}^{-1} \text{ biomassa kering})/1000 = 1.485 \text{ ton CH}_4$$

$$\text{LCO} = (125.000 \text{ ha} \times 5,5 \text{ ton ha}^{-1} \times 0,8 \times 92 \text{ g GRK kg}^{-1} \text{ biomassa kering})/1000 = 50.600 \text{ ton CO}$$

$$\text{LN}_2\text{O} = (125.000 \text{ ha} \times 5,5 \text{ ton ha}^{-1} \times 0,8 \times 0,07 \text{ g GRK kg}^{-1} \text{ biomassa kering})/1000 = 38.500 \text{ ton N}_2\text{O}$$

$$\text{LNO}_x = (125.000 \text{ ha} \times 5,5 \text{ ton ha}^{-1} \times 0,8 \times 2,5 \text{ g GRK kg}^{-1} \text{ biomassa kering})/1000 = 1.375 \text{ ton NO}_x$$

## 5.6. CONTOH AKSI ADAPTASI DAN NILAI TAMBAH ADAPTASI

Pengelolaan lahan tanpa bakar dengan menggunakan dekomposer merupakan salah satu solusi untuk tidak membakar dalam penyiapan lahan. Dekomposer digunakan untuk mempercepat perombakan bahan organik sisa tanaman sehingga penyiapan lahan bisa dilakukan lebih cepat. Dekomposer dapat memecah sel-sel organisme menggunakan reaksi biokimia yang mengkonversi jaringan organisme mati menjadi senyawa kimia metabolik sehingga dapat mempercepat pengomposan dan meningkatkan mutu kompos. Sisa organik yang telah mati diurai dengan dekomposer menjadi unsur-unsur yang dikembalikan ke dalam tanah dan membentuk hara mineral N, P, K, Ca, Mg dan meningkatkan kandungan bahan organik dalam tanah. Dekomposer banyak digunakan untuk mempercepat proses dekomposisi sisa-sisa tanaman yang banyak mengandung lignin dan selulosa. Berbeda dengan pembakaran yang menyebabkan hilangnya sejumlah unsur hara seperti nitrogen, posfor dan sulfur, penggunaan dekomposer mengurangi kehilangan hara. Nilai tambah dari pengelolaan lahan tanpa bakar adalah berkurangnya emisi GRK.

Upaya lain untuk mengatasi praktek pembakaran lahan yang dilakukan petani dalam mempermudah pembersihan lahan dapat dilakukan dengan penerapan mekanisasi pertanian. Penerapan mekanisasi pertanian seperti traktor dapat mengurangi kerusakan produksi pertanian, meningkatkan efisiensi dan menjamin kenaikan kualitas lingkungan. Dengan alat mesin pertanian, petani dapat melakukan olah tanah secara mudah, efisien dan dapat meminimalisir dalam membakar lahan.

## DAFTAR BACAAN

- Eck TF, Holben BN, Reid JS, O'Neill NT, Schafer JS, Dubovik O, Smirnov A, Yamasoe MA, Artaxo P. 2003. High aerosol optical depth biomass burning events: A comparison of optical properties for different source regions. *Geophys. Res. Lett.*, 30, 2035. <https://doi:10.1029/2003GL017861>
- Giglio L, Randerson JT, van der Werf GR. 2013. Analysis of daily, monthly, and annual burned area using the fourth-generation global fire emissions database (GFED4). *J. Geophys. Res.: Biogeosciences* 118: 317–328. <https://doi.org/10.1002/jgrg.20042>
- IPCC 2006. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Agriculture, Forestry and Other Land Use Volume 4). The National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K. (eds). IGES, Japan.

- 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>
- 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 CO<sub>2</sub> 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 der Werf GR, Randerson JT, Giglio L, van Leeuwen TT, Chen Y, Rogers BM, Mu M, van Marle MJE, Morton DC, Collatz GJ, Yokelson RJ, Kasibhatla PS. 2017. Global fire emissions estimate during 1997–2016. *Earth Syst. Sci. Data.* 9: 697–720. <https://doi.org/10.5194/essd-9-697-2017>
- Zhang JK, Cheng MT, Ji DS, Liu ZR, Hu B, Sun Y, Wang YS. 2016. Characterization of submicron particles during biomass burning and coal combustion periods in Beijing, China. *Sci. Total Environ.* 812 – 82



## 6. PERUBAHAN STOK C PADA TANAH MINERAL

***Ai Dariah, Ratri Ariani, Maswar, dan Fahmuddin Agus***  
*Balai Penelitian Tanah, Bogor*

### 6.1. LANDASAN TEORI

Tanah menyimpan karbon (C) dalam jumlah besar (Mettay *et al.* 2006; Tarnochi *et al.* 2009), sehingga jika tidak dikelola dengan baik berpotensi menjadi sumber emisi C dalam jumlah besar pula. Sebagai penyimpan C dan sumber emisi, perhatian terhadap tanah mineral tidak sebesar ke tanah gambut, karena adanya anggapan bahwa C yang tersimpan dalam tanah mineral berada dalam kondisi yang stabil. Namun pada kenyataannya, kandungan C dalam tanah mineral yang sudah dikelola secara intensif umumnya terus mengalami penurunan, baik disebabkan oleh percepatan dekomposisi maupun terangkut melalui aliran permukaan serta erosi. Menurut Lal (1995) sebagian C yang terangkut oleh aliran permukaan dan erosi juga bisa hilang teremis.

Kapasitas tanah mineral dalam menyimpan C (kg C m<sup>-3</sup> tanah) lebih kecil dibanding tanah gambut. Hasil penelitian Agus *et al.* (2009; 2011) menunjukkan rata-rata kerapatan C pada tanah mineral berkisar antara 10-40 kg m<sup>-3</sup>, sedangkan pada tanah gambut berkisar antara 30-70 kg m<sup>-3</sup>. Meskipun kapasitas tanah mineral dalam menyimpan C relatif rendah dibanding tanah gambut, namun karena luas total tanah mineral relatif luas dibanding tanah gambut, maka total stok C tanah mineral tidak bisa diabaikan. Hasil estimasi yang dilakukan Sofiyati (2010) menunjukkan pada tingkat nasional stok C pada tanah mineral dengan luas 162 juta ha adalah 17,6 Gt (dengan catatan data pada lahan seluas 18,5 juta ha belum tersedia).

Stok C tanah, selain dipengaruhi oleh perubahan vegetasi dan tingkat pertumbuhannya, juga dipengaruhi oleh tingkat gangguan mekanis pada tanah (IPCC 2006). Pengolahan tanah merupakan aspek penggunaan lahan yang banyak menimbulkan gangguan mekanis terhadap tanah. Oleh karena itu penerapan sistem olah tanah konservasi (pengolahan tanah minimum atau tanpa olah tanah) bisa menghambat kehilangan C dari tanah mineral. Beberapa hasil penelitian menunjukkan efektivitas olah tanah konservasi dalam mengkonservasi dan meningkatkan penambatan (sekuestrasi) C dalam tanah (Mettay 2006; Dariah dan Maswar 2013).

Sistem pengairan juga sangat berpengaruh terhadap stok C dalam tanah mineral. Stok C dalam tanah sawah berpotensi meningkat dari tahun ke tahun disebabkan oleh

sistem penggenangan pada lahan sawah bisa menghambat proses dekomposisi bahan organik, sehingga laju sekuestrasi C yang bersumber dari sisa panen menjadi lebih tinggi dibanding tingkat kehilangan C akibat proses dekomposisi (IPCC (2016). Kehilangan C dari lahan sawah akibat terangkut erosi dan run off kemungkinan juga relatif kecil, akibat rendahnya tingkat erosi pada lahan sawah (Agus dan Irawan 2003).

Penggunaan pupuk pada tanah mineral berpeluang meningkatkan jumlah biomas yang dihasilkan, artinya bisa berpengaruh terhadap jumlah C yang disekuestrasi, dan bisa berdampak pada jumlah pengembalian C ke dalam tanah. Oleh karena itu meskipun pupuk utamanya pupuk kimia merupakan sumber emisi GRK, namun penggunaan pupuk juga merupakan usaha yang bisa meningkatkan sekuestrasi C. Penggunaan pupuk organik selain bisa meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman, juga sejalan dengan usaha peningkatan stok C dalam tanah. Usaha lainnya untuk meningkatkan stok C tanah adalah dengan mengaplikasikan bahan organik dalam bentuk biochar, utamanya untuk bahan organik yang sulit lapuk. Biochar dapat bertahan lama di dalam tanah (sulit terdekomposisi) karena sudah dalam bentuk yang lebih stabil. Biochar didapat dari hasil pembakaran bahan organik dalam kondisi rendah oksigen (phyrolisis). Selain merupakan usaha yang positif dalam meningkatkan stok C tanah, beberapa hasil penelitian juga menunjukkan efek positif biochar dalam memperbaiki kualitas tanah yang selanjutnya bisa berdampak terhadap peningkatan produktivitas tanaman, perbaikan kualitas tanah dan peningkatan daya adaptasi terhadap perubahan iklim (Nurida *et al.* 2009; 2012; Sutono dan Nurida 2012). Artinya di Sektor Pertanian peningkatan stok C tanah selain berdampak positif terhadap peningkatan daya adaptasi, juga mempunyai *co-benefit* terhadap peningkatan sekuestrasi karbon sehingga net emisi GRK bisa ditekan.

## 6.2. PERKIRAAN EMISI

Prinsip penghitungan untuk memperkirakan emisi dari tanah mineral sama dengan penghitungan emisi C pada umumnya, yaitu dengan menggunakan persamaan sebagai berikut, yaitu:

$$E = A * FE$$

dimana:

- A = data aktivitas, yaitu luas areal yang diinventarisasi
- FE = faktor emisi, yaitu perubahan stok C tanah (selisih antara rata-rata cadangan C tanah sebelum tahun atau awal inventarisasi dengan rata-rata cadangan C selama periode inventarisasi.

### 6.2.1. Penghitungan perubahan cadangan C tanah mineral akibat perubahan penggunaan lahan dan pengelolaan lahan

Prinsip penghitungan perubahan stok C tahunan tanah mineral adalah (IPCC 2019, Persamaan 2.25):

$$\Delta C_{\text{mineral}} = \frac{(SOC_0 - SOC_{0-T})}{D}$$

Dimana:

- $\Delta C_{\text{mineral}}$  = Perubahan stok C tanah mineral
- $SOC_0$  = Stok C tanah mineral pada periode inventarisasi
- $SOC_{0-T}$  = Stok C tanah mineral pada periode inventarisasi

Karena stok C dalam tanah dipengaruhi oleh faktor penggunaan lahan, manajemen, dan input usahatani, maka persamaan untuk menghitung stok C tanah mineral adalah sebagai berikut (IPCC 2019, Persamaan 2.25):

$$SOC = \sum_{c,s,i} (SOC_{REF\ c,s,i} \cdot F_{LU\ c,s,i} \cdot F_{MG\ c,s,i} \cdot F_{I\ c,s,i} \cdot A_{c,s,i})$$

Sehingga persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung perubahan stok C tanah mineral adalah sebagai berikut (IPCC 2019, Persamaan 2.25):

$$\Delta C_{\text{mineral}} = \frac{[\sum_{c,s,i} (SOC_{REF\ c,s,i} \cdot F_{LU\ c,s,i} \cdot F_{MG\ c,s,i} \cdot F_{I\ c,s,i} \cdot A_{c,s,i})]_0 - [\sum_{c,s,i} (SOC_{REF\ c,s,i} \cdot F_{LU\ c,s,i} \cdot F_{MG\ c,s,i} \cdot F_{I\ c,s,i} \cdot A_{c,s,i})]_{(0-T)}}{D}$$

(Catatan: T digunakan sebagai pengganti D dalam persamaan ini jika  $T \geq 20$  tahun).

Dimana:

- $\Delta C_{\text{mineral}}$  = perubahan tahunan stok C organik tanah mineral (ton C tahun<sup>-1</sup>)
- $SOC$  = stok C organik tanah pada tahun terakhir periode inventarisasi (ton C)
- $SOC_{(0-T)}$  = stok C organik tanah pada awal periode waktu inventarisasi (ton C)
- $T$  = jumlah tahun selama periode waktu inventaris tunggal (tahun)
- $D$  = tergantung faktor waktu (masa) perubahan stok yang merupakan periode waktu default untuk transisi di antara nilai-nilai kesetimbangan SOC (tahun). Biasanya 20 tahun, tetapi tergantung pada asumsi yang dibuat dalam menghitung faktor  $F_{LU}$ ,  $F_{MG}$ , dan  $F_I$ . Jika T melebihi D, gunakan nilai T untuk mendapatkan tingkat perubahan tahunan atas periode waktu persediaan (0-T tahun)
- $c,s,i$  = mewakili zona iklim, jenis tanah, dan sistem manajemen yang ada di suatu Negara

$SOC_{REFC,s,l}$  = stok C organik tanah untuk tanah mineral dalam kondisi referensi (ton C ha<sup>-1</sup>)

$FLU_{C,s,i}$  = faktor perubahan stok C untuk sistem penggunaan lahan atau sub-sistem penggunaan lahan tertentu.

$FMG_{C,s,l}$  = faktor perubahan stok C untuk rezim manajemen

$FI_{C,s,i}$  = faktor perubahan stok C untuk input bahan organik

$A_{C,s,i}$  = luas tanah strata yang diperkirakan (ha).

Periode inventarisasi yang digunakan pada umumnya selama 20 tahun, dan kedalaman tanah yang diperhitungkan mengalami perubahan umumnya diasumsikan sampai kedalaman 30 cm.

### 6.2.2. Penghitungan perubahan cadangan C tanah mineral akibat penggunaan biochar

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):

$$\Delta BC = \sum_{p=1}^n \left[ (BC_{TOTp} \cdot F_{Cp} \cdot F_{perm\ p}) - \left[ \frac{(BC_{TOTp} \cdot GWP - CH_4 \cdot 0.0110) + (BC_{TOTp} \cdot GWP - N_2O \cdot 0.000022)}{2} \right] \right]$$

Dimana,

$\Delta BC$  = perubahan tahunan stok karbon tanah yang terkait dengan penambahan biochar, ton sequestrasi C tahun<sup>-1</sup>

$BC_{TOTp}$  = jumlah total biochar yang dimasukkan ke dalam tanah mineral selama tahun inventarisasi untuk produksi jenis p, ton biochar bahan kering tahun<sup>-1</sup>

$F_{Cp}$  = kandungan karbon organik biochar dari tipe produksi p, ton C ton<sup>-1</sup> biochar bahan kering

$F_{perm\ p}$  = Fraksi dari karbon biochar dari tipe produksi p yang tidak termineralisasi setelah 1000 tahun (ton C biochar yang disekuestrasi ton<sup>-1</sup> C biochar

$n$  = jumlah jenis produksi biochar yang berbeda

$GWP - CH_4$  = potensi pemanasan global dari metana yang dihasilkan selama pyrolisis dalam satuan karbon dioksida, kg CO<sub>2-e</sub> kg<sup>-1</sup> CH<sub>4</sub>

$GWP - N_2O$  = potensi pemanasan global dari nitro oksida yang dihasilkan selama pyrolisis dalam satuan karbon dioksida, kg CO<sub>2-e</sub> kg<sup>-1</sup> N<sub>2</sub>O

### 6.3. PENENTUAN DATA AKTIVITAS DAN FAKTOR EMISI

Penghitungan perubahan stok C tanah mineral bisa dilakukan dengan pendekatan Tier 1, 2, atau 3. Pada Tier 1 metode estimasi didasarkan pada perubahan stok C pada periode tertentu akibat perubahan sistem manajemen yang berpengaruh terhadap C

organik tanah, artinya menggunakan persamaan dan default value IPCC (2019). Untuk Tier 2, persamaan dasar yang digunakan sama dengan Tier 1, namun informasi spesifik dimasukkan untuk mendapatkan faktor perubahan stok C yang lebih baik, dengan pemisahan kelas regim iklim, tipe tanah, dan atau aspek pengelolaan lahan yang lebih detil. Dalam Tier 2 dapat diperkirakan pula stok C akibat aplikasi biochar, didasarkan pada jumlah biochar yang dihasilkan dan ditambahkan ke dalam tanah. Pendekatan Tier 3 menggunakan model dinamis dan atau dengan menggunakan hasil pengukuran C tanah secara lebih terperinci untuk memperkirakan perubahan stok C.

Berdasarkan ketersediaan data aktivitas dan faktor emisi, perubahan stok C dari tanah mineral sudah bisa mengkombinasikan Tier 1 dan 2. Beberapa faktor seperti data cadangan C referensi bisa menggunakan data spesifik di negara Indonesia. Namun beberapa faktor emisi seperti faktor penggunaan lahan, manajemen, dan input masih menggunakan default IPCC (2019). Tantangan lainnya dalam penghitungan perubahan stok tanah mineral adalah dalam pengumpulan data aktivitas. Data luas penggunaan lahan bisa didapatkan dari data spasial, namun untuk data luasan penerapan manajemen dan input tertentu akan sulit didapatkan, atau akan membutuhkan biaya pengumpulan data yang relatif mahal.

IPCC (2019, Tabel 2.3) memberikan angka acuan (default) stok C organik tanah referensi (SOC ref) untuk tanah mineral termasuk untuk daerah tropis pada Tabel 6.1. Khusus untuk beberapa jenis tanah di wilayah Indonesia, SOC reff dapat menggunakan data rata-rata cadangan C pada berbagai tipe tanah yang umum ditemui di Indonesia (Tabel 6.2), kecuali jika data yang diperlukan tidak tersedia di Tabel 6.2, maka bisa digunakan data SOC referensi pada Tabel 6.1. IPCC (2019) juga memberikan default value untuk perubahan stok C standar berdasarkan faktor penggunaan lahan (FLU), faktor manajemen (FMG) dan faktor input (FI) (Tabel 6.3). Default Periode waktu untuk perubahan stok karbon (D) adalah 20 tahun, sedangkan faktor penggunaan lahan, manajemen dan input diasumsikan mempengaruhi stok C sampai kedalaman tanah 30 cm, yang juga merupakan kedalaman untuk menentukan stok C tanah referensi.

Tabel 6.1. Default referensi stok C organik tanah (SOC ref) untuk tanah mineral ( $\text{ton C ha}^{-1}$ ) dengan kedalaman 0-30 cm (Diekstrak dari IPCC 2019; Tabel 2.3)

Zona Iklim IPCC	Kelas Tanah IPCC		
	Tanah liat aktivitas tinggi	Tanah liat aktifitas rendah	Tanah berpasir
Tropis kering	21±5%(554) <sup>1)</sup>	19±10% (135)	9± 9% (164)
Tropis lembab	40±7%(226)	38±5% (326)	27±12%(76)
Tropis basah	60±8%(137)	52±6% (271)	46±20%(43)
Tropis pegunungan	51±10% (114)	44±11% (84)	52±34%(11)
	Tanah Spodik	Tanah Vulkan	Tanah di lahan basah
Tropis kering	NA <sup>2)</sup>	50±90% <sup>3)</sup>	22±17%(32)
Tropis lembab	NA	70±90%	68±17%(55)
Tropis basah	NA	77±27%(14)	49±19%(33)
Tropis pegunungan	NA	96±31%(10)	82±50%(12)

<sup>1)</sup>Nilai dalam kurung adalah jumlah data (n) untuk perhitungan nilai rata-rata, <sup>2)</sup>NA=tidak ada data, <sup>3)</sup> estimasi kesalahan nomina  $\pm 90\%$  dari rata-rata ditetapkan berdasarkan pedoman IPCC 2006

Tabel 6.2. Rata-rata kerapatan dan cadangan C organik tanah kedalaman 0-30 cm pada beberapa ordo tanah mineral di Pulau Sumatera

Ordo tanah	Kerapatan C organik tanah ( $\text{kg C m}^{-3}$ )*	Cadangan C organik tanah ( $\text{t C ha}^{-1}$ )**
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

<sup>\*)</sup>Dihitung dengan persamaan:  $\text{BD} \times \text{C}$ , dimana BD=bulk density ( $\text{g cm}^{-3}$ ), C = kadar C organik tanah (%), <sup>\*\*)</sup>Dihitung berdasarkan dengan menggunakan persamaan=  $\text{KC} \times \text{H}$  (dimana KC = kerapatan C dalam  $\text{t ha}^{-1}$ ), ketebalan = 0,3 m)

Sumber data: van Noorgwijk *et al.* (1997), Wright dan Harlon (2009), FAO (2001), Suprayogo *et al.* (2008), Seguel dan Horn (2006), LREF dalam Sofiyati *et al.* (2010).

Data aktivitas yang diperlukan untuk menghitung perubahan stok karbon tanah mineral akibat penambahan biochar adalah jumlah biochar yang ditambahkan ke dalam tanah selama tahun inventory. Untuk menentukan kandungan C yang terkandung dalam biochar IPCC (2019) memberikan default value kandungan C biochar berdasarkan bahan baku yang digunakan (Tabel 6.4). Data pada Tabel 6.5 menyajikan kandungan C dari beberapa jenis biochar yang bisa dikategorikan sebagai Tier 2, karena dihasilkan dari beberapa hasil penelitian yang dilakukan di Indonesia. Namun pada Tabel tersebut tidak ada penjelasan tentang proses produksi yang diterapkan untuk menghasilkan biochar. Nilai GWP CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O, berturut-turut 28 dan 265, didasarkan pada IPCC (2015).

Tabel 6.3. Faktor perubahan cadangan C relatif  $F_{LU}$ ,  $F_{MG}$ , dan  $F_i$  (>20 tahun) untuk aktivitas manajemen pada lahan pertanian di daerah tropis (Diekstrak dari IPCC 2019, Tabel 5.5)

Faktor	Level	Regime kelembaban	Acuan IPCC 2019	Error	Description
Penggunaan Lahan ( $F_{LU}$ )	Budi-daya Jangka Panjang	Kering	0,92	$\pm 13\%$	Merupakan daerah yang telah dikonversi dari kondisi asli dan terus dikelola untuk tanaman tahunan lebih dari 50 tahun. Faktor penggunaan lahan telah diestimasi berdasarkan kondisi awal, persiapan lahan penuh ( <i>full tillage</i> ), dan tingkat input karbon sedang ("menengah").
		Lembab/basah	0,83	$\pm 11\%$	
	Padi sawah	Kering dan lembab/Basah	1,35	$\pm 4\%$	Penanaman tanaman semusim lahan basah (padi sawah) dalam jangka panjang (> 20 tahun). Dapat mencakup penanaman ganda dengan tanaman tanpa genangan. Untuk padi, faktor persiapan lahan dan input tidak digunakan.
			1,01	$\pm 25\%$	Tanaman pohon jangka panjang seperti pohon buah-buahan, perkebunan (mis: kopi dan kakao), dan kacang-kacangan.
	< 20 tahun	Kering	0,93	$\pm 11\%$	Merupakan <i>temporary set aside</i> (dicadangkan) untuk lahan pertanian tahunan (mis., cadangan konservasi) atau lahan pertanian bera lainnya yang telah direvegetasi dengan rumput abadi.
		Lembab/Basah	0,82	$\pm 17\%$	
		n/a	0,88	$\pm 50\%$	
Olah lahan ( $F_{MG}$ )	Olah tanah sempurna	Kering/lembab/basah	1	n/a	
	Olah tanah minimum	Kering	0,99	$\pm 7\%$	Tanah pertanian primer dan / atau sekunder tetapi dengan gangguan tanah berkurang (biasanya dangkal dan tanpa pembalikan tanah penuh). Biasanya meninggalkan permukaan dengan cakupan > 30% oleh residu saat tanam.
		Lembab/Basah	1,04	$\pm 7\%$	
	Tanpa Olah Lahan	Kering	1,04	$\pm 7\%$	Penyemaian langsung tanpa pengolahan tanah primer, dengan hanya sedikit gangguan tanah di zona penyemaian. Herbisida biasanya digunakan untuk pengendalian gulma.
		Lembab/Basah	1,1	$\pm 5\%$	
Input ( $F_i$ )	Rendah	Tropis	0,95	$\pm 13\%$	Pengembalian residu rendah, terjadi ketika tidak ada pengembalian residu (dikumpulkan atau dibakar), sering terbuka, produksi tanaman menghasilkan residu rendah (mis. sayuran, tembakau, kapas), tanpa pupuk mineral atau tanaman yang mampu memperbaiki kada N.
			0,92	$\pm 14\%$	
		Tropis pegunungan	0,94	$\pm 50\%$	

Faktor	Level	Regime kelem-baban	Acuan IPCC 2019	Error	Description
	Sedang	Semua	1	n/a	Perwakilan untuk tanam tahunan dengan sereal, di mana semua sisa tanaman dikembalikan ke ladang. Jika residu tidak dikembalikan kemudian bahan organik tambahan (mis: pupuk kandang) ditambahkan. Juga membutuhkan pemupukan mineral atau N-fixing crop secara bergilir.
	Tinggi tanpa pakan	sedang/ Boreal and Tropis	1,04	± 13%	Merupakan input residu tanaman yang jauh lebih besar dari sistem tanam input C sedang karena praktik tambahan, seperti produksi residu hasil panen tinggi, penggunaan pupuk hijau, tanaman penutup, perbaikan vegetasi bera, irigasi, sering digunakan rumput abadi dalam rotasi tanaman tahunan, tetapi tanpa pupuk kandang
1,11			± 10%		
Tropis pegunungan		1,08	± 50%		
	Tinggi +pukan	sedang/ Boreal dan Tropis	1,37	± 12%	pewakil input C yang nyata lebih tinggi dari sistem pertanian dengan input C sedang, karena praktik penambahan rutin kotoran hewan.
1,44			± 13%		
Tropis pegunungan		1,41	± 50%		

Tabel 6.4. Nilai *default* untuk factor kandungan C biochar berdasarkan metode produksi (Fcp) (IPCC, 2019, Table 2.3A)

Bahan baku	Proses Produksi	Nilai acuan IPCC dari F <sub>Cp</sub> (%)*
Kotoran Hewan	Pirolisis	0.38 ± 49%
	gasifikasi	0.09 ± 53%
Kayu	Pirolisis	0.77 ± 42%
	Gasifikasi	0.52 ± 52%
Herba (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	Pirolisis	0.74 ± 39%
	Gasifikasi	0.40 ± 52%
Biosolids (sludge kertas, sludge limbah)	Pirolisis	0.35 ± 40%
	gasifikasi	0.07 ± 50%

\*) Semua nilai disajikan dalam format nilai rata-rata ± batas kepercayaan 95% yang dinyatakan sebagai persentase dari rata-rata.

Tabel 6.5. Kandungan C pada berbagai jenis biochar

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

Keterangan: Nurida *et al.* (2009), Nurida *et al.* (2009), Sukartono dan Utomo(2012), Nurida *et al.* (2009), Widowati *et al.* (2012), Dariah et al (2013), Santi dan Goenadi (2014) dalam Nurida (2014)

Tabel 6.6. Nilai default untuk  $F_{permp}$  atau Fraksi C biochar sisa setelah 1000 tahun (Sumber IPCC 2019, Tabel 2.3.b)

Produksi	Nilai acuan $F_{permp}$ <sup>1)</sup> (%)
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%

<sup>1)</sup> Semua nilai disajikan dalam format nilai rata-rata ± batas kepercayaan 95% yang dinyatakan sebagai persentase dari rata-rata

#### 6.4. TAHAPAN DAN CONTOH PENGHITUNGAN PERUBAHAN CADANGAN C TANAH (SUMBER: IPCC 2019, DENGAN MODIFIKASI)

##### Langkah 1:

Menyusun data aktivitas berdasarkan tahun data aktivitas pada periode inventarisasi

##### Langkah 2:

Menentukan luas lahan yang tetap menjadi lahan pertanian ("*Cropland Remaining Cropland*") berdasarkan jenis tanah dan iklim di Indonesia pada awal inventarisasi dilakukan. Tahun pertama periode waktu inventarisasi ditentukan awal pengumpulan data aktivitas (0-T, misalnya 5, 10 atau 20 tahun yang lalu).

*Langkah 3:*

Mengelompokkan setiap lahan pertanian berdasarkan sistem manajemen yang digunakan

*Langkah 4:*

Menentukan nilai stok C referensi (SOC Ref) berdasarkan tipe tanah dan iklim (Tabel 6.1 atau 6.2)

*Langkah 5:*

Menetapkan faktor penggunaan lahan (FLU), faktor manajemen (FMG), dan tingkat input C (FI) untuk setiap areal pertanian (Tabel 6.3)

*Langkah 6:*

Mengalikan faktor (FLU, FMG, FI) dengan stok tanah referensi (SOC Ref) untuk memperkirakan stok C organik pada periode awal inventarisasi (SOC<sub>0-T</sub>). Misalnya awal inventarisasi dilakukan tahun 2000, maka SOC<sub>0-T</sub> yang dihitung adalah SOC tahun sebelumnya, misalnya tahun 1999.

*Langkah 7:*

*Memperkirakan stok C organik tanah pada periode inventarisasi (SOC<sub>0</sub>) dengan mengulangi langkah 1-5 dengan menggunakan stok C reff yang sama, tetapi faktor penggunaan lahan, manajemen, dan input pada periode inventarisasi.*

*Langkah 8:*

Mengestimasi rata-rata perubahan stok C organik tanah pada lahan pertanian yang masih menjadi lahan pertanian ( $\Delta C$  mineral) dengan menghitung selisih C organik tanah pada 0-T (SOC<sub>0-T</sub>) dengan stok C pada waktu 0 (SOC<sub>0</sub>), kemudian membaginya dengan periode inventarisasi (20 tahun jika menggunakan faktor *default*), jika waktu lebih dari 20 tahun dibagi dengan selisih awal dan akhir tahun periode inventarisasi.

*Langkah 9:*

Menghitung emisi atau sekuestrasi dengan mengkonversi satuan C organik menjadi CO<sub>2</sub> ekuivalen.

*Langkah 10:*

Mengulang langkah 2-8 jika ada penambahan periode inventarisasi (misal 2000-2005, 2006-2010, dan seterusnya)

## 6.5. CONTOH PERHITUNGAN

Suatu areal A di Pulau Sumatera seluas 100.000 ha dengan jenis tanah Inceptisols digunakan secara permanen untuk lahan pertanian dengan tingkat penggunaan input rendah tanpa pemberian pupuk organik, pengolahan tanah intensif. Pemerintah melakukan program untuk meningkatkan produktivitas lahan pada areal tersebut. Enam puluh persen dari total areal akan dirubah menjadi lahan sawah dengan input tinggi dan diberikan masukan bahan organik berupa pupuk kandang, sedangkan 40 persen dari areal tersebut masih tetap digunakan untuk tanaman semusim lahan kering dengan input sedang, sistem pengolahan minimum dan penambahan pupuk kandang. Berapa perubahan stok C tahunan yang akan dihasilkan dari areal tersebut dan berapa emisi atau sekuestrasi GRK yang terjadi.

- Luas lahan: sebelum periode inventory ( $T_{0-1}$ ) = 100000 ha tanaman semusim lahan kering, pada tahun periode inventory ( $T_0$ ) = 60.000 ha padi sawah dan 40.000 lahan kering semusim
- Stock C Reff untuk tanah Inceptisols =  $81,42 \text{ t ha}^{-1}$  (Tabel 6.2)
- Faktor penggunaan lahan ( $F_{LU}$ ) untuk tanaman semusim lahan kering, faktor manajemen ( $F_{MG}$ ) untuk pengolahan tanah sempurna dan Faktor input ( $F_I$ ) tanpa input organik pada 0-T berdasarkan Tabel 6.3 adalah:  
 $F_{LU} = 0,85$ ,  $F_{MG} = 1$ ,  $F_I = 0,92$
- Faktor penggunaan lahan ( $F_{LU}$ ) untuk tanaman semusim lahan kering, faktor manajemen ( $F_{MG}$ ) untuk pengolahan tanah sempurna dan Faktor input ( $F_I$ ) tanpa input organik pada 0 berdasarkan Tabel 6.3.
  - a. Sawah, pengolahan minimum, input tinggi  
 $F_{LU} = 1,35$ ,  $F_{MG} = 1,04$ ,  $F_I = 1,44$
  - b. Tanaman semusim lahan kering, pengolahan tanah minimum, input bahan organik sedang  
 $F_{LU} = 0,85$ ,  $F_{MG} = 1,04$ ,  $F_I = 1,00$

Stok C sebelum periode inventory ( $SOC_{0-T}$ )

$$= 100.000 \text{ ha} * 81,42 \text{ t ha}^{-1} * 0,85 * 1 * 0,92$$

$$= 6.3767.044, \text{ ton}$$

Stok C pada periode inventarisasi ( $SOC_0$ )

$$= (60.000 * 81,42 \text{ t ha}^{-1} * 1,35 * 1,04 * 1,44) + (40.000 * 81,42 \text{ t ha}^{-1} * 0,85 * 1,04 * 1,00)$$

$$= 12.755.713 \text{ ton}$$

$\Delta C_{\text{mineral}} = (12.755.713 - 6.367.044) \text{ ton}/20 \text{ tahun}^{-1}$

$$= 319.433 \text{ t C tahun}^{-1}$$

Artinya telah terjadi serapan C sebesar

$$= 319,433 \text{ t C tahun}^{-1}$$

$$= 319,433 * 44/12 \text{ t CO}_2 \text{ eq tahun}^{-1}$$

$$= 1.171.256 \text{ t CO}_2 \text{ eq tahun}^{-1}$$

Jika selama periode inventori pada lahan kering seluas 40.000 ha tersebut di atas diberikan biochar sekam dengan dosis sebanyak 2 t ha<sup>-1</sup> pada setiap musim tanam (MT), rata-rata dua musim tanam pertahun. Menjadi berapa serapan C per tahun?

- Jumlah biochar yang diberikan = 20 tahun \* 2 MT/tahun \* 2 ton ha<sup>-1</sup> MT<sup>-1</sup> \* 40.000 ha = 320.000 ton
- Kandungan C pada biochar sekam (F<sub>cp</sub>) yang dibuat dengan sistem pyrolysis berdasarkan IPCC 2019 (Tabel 6.4) =49%
- Faktore F<sub>perm p</sub> (fraksi C biochar tersisa setelah 1000 tahun, sistem pembakaran suhu tinggi, berdasarkan IPCC 2019 (Tabel 6.5)=43%, karena waktu inventory 20 tahun maka diasumsikan belum ada penyusutan jadi masih 100%.
- GWP CH<sub>4</sub>=28
- GWP N<sub>2</sub>O=265

Jadi ΔBC (Perubahan cadangan C tanah terkait dengan penambahan biochar dalam t C tahun<sup>-1</sup>):

$$\begin{aligned} \Delta BC &= \sum_{p=1}^n \left[ (BC_{TOTp} \cdot F_{cp} \cdot F_{perm p}) - \right. \\ &\quad \left. \left[ (BC_{TOTp} \cdot GWP - CH_4 \cdot 0.0110) + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. (BC_{TOTp} \cdot GWP - N_2O \cdot 0.000022) \right] \right] \\ &= (320.000 \text{ t} \cdot 0,49 \cdot 1 - ((320.000 \cdot 28 \cdot 0,0110) + \\ &\quad (320.000 \cdot 265 \cdot 0,000022))) / 20 \\ &= (156.800 - (98.560 + 1865)) / 20 \\ &= 2.819 \text{ t C tahun}^{-1} \end{aligned}$$

Sekuestrasi C dari penambahan biochar = 10.345 t CO<sub>2</sub>eq

Total sekuestrasi = Sekuestrasi dari perubahan lanuse, manajemen dan input + sekuestrasi dari penambahan biochar  
(1.171.256 + 10.345) t CO<sub>2</sub> eq tahun<sup>-1</sup> = 1.181.601 t CO<sub>2</sub>eq tahun<sup>-1</sup>

## 6.6. RENCANA AKSI DAN KEUNTUNGAN TAMBAHAN

Rencana aksi untuk meningkatkan simpanan karbon tanah diantaranya adalah:

- Penggunaan bahan organik sebagai bagian dari paket rekomendasi pemupukan berimbang, termasuk di dalamnya daur-ulang sisa tanaman dan bahan organik lainnya sehingga sistem pertanian menjadi zero-waste. Ke depan perlu diintensifkan kebijakan untuk meningkatkan penggunaan pupuk organik termasuk memfasilitasi petani untuk menghasilkan dan mengolah pupuk organik pada lahan mereka masing-masing, misalnya dengan menanam tanaman legum penutup tanah dan/atau memelihara ternak sebagai penghasil pupuk kandang. Petani juga perlu ditingkatkan pengetahuannya untuk menghasilkan dan memanfaatkan pupuk

organik pada lahan mereka masing-masing (in-situ). Bahan organik memberikan berbagai efek yang menguntungkan dalam perbaikan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Penggunaan bahan organik juga berdampak positif terhadap peningkatan produktivitas tanaman dan bisa mensubstitusi sebagian pupuk anorganik termasuk pupuk N yang merupakan salah satu sumber emisi dari sektor pertanian. Bahan organik juga mampu menekan dampak negatif dari penggunaan bahan agrokimia, karena mampu mengikat unsur berbahaya seperti logam berat, sehingga tidak terserap tanaman. Manfaat tambahan dari penggunaan bahan organik dalam bentuk mitigasi adalah meningkatnya kandungan bahan organik tanah

- Penggunaan biochar dari sisa tanaman yang sulit melapuk. Biochar dapat memperbaiki berbagai sifat tanah (fisik, kimia dan biologi) sehingga meningkatkan daya adaptasi sistem pertanian terhadap perubahan iklim. Di sisi lain biochar bersifat awet (bisa bertahan di dalam tanah selama ratusan tahun) sehingga manfaat tambahan dari penggunaan biochar adalah tersimpannya karbon di dalam tanah. Penyimpanan karbon di dalam tanah pada waktu yang lama merupakan manfaat tambahan dari penggunaan biochar. Tanpa penggunaan biochar, sebagian besar karbon dalam bentuk senyawa organik akan terdekomposisi dan teremisi menjadi CO<sub>2</sub>.

## DAFTAR BACAAN

- Agus F, Irawan. 2003. Alih guna dan aspek lingkungan lahan sawah dalam Tanah Sawah dan Pengelolaannya. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Agus F, Runtunuwu E, June T, Susanti E, Komara H, Syahbuddin H, Las I, van Noordwijk M. 2009. Carbon dioxide emission in land use transitions to plantation. *Jurnal Litbang Pertanian* 28 (4): 119-126.
- Agus F, Hairiah K, dan Mulyani A. 2011. Panduan Metode Pengukuran Karbon Tersimpan di Lahan Gambut. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian dan World Agroforestry Center, SEA. Bogor. 58 hal.
- Dariah A dan Maswar. 2013. Dinamika cadangan karbon tanah akibat perubahan dan intensitas penggunaan lahan. Hlm. 31-52 dalam *Konservasi Tanah Menghadapi Perubahan Iklim*. Balai Penelitian Tanah. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.

- FAO. 2001. Lecture Note on The Major Soil of The World. World Soil Resources Report 94. FAO.
- IPCC. 2006. Agriculture, forestry and other landuse. Vol 4 in Eggleston S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. dan Tanabe (Eds.). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IGES. Japan.
- IPCC. 2015. Climate Change 2014. Synthesis Report. WMO. UNEP.
- IPCC. 2019. Adoption and Acceptance "2019 Refinement to The 2006 IPCC Guidelines For National Greenhouse Gas Inventories. IPCC-XLIX/Doc. 3b, Vol.4/Grey (8.IV.2019) Agenda Item: 4. IPCC Secretariat. WMO, UNEF.
- Lal R. 1995. Global soil erosion by water and carbon dynamic. p. 131-141 In Lal R., Kimble J.M., Levine E., Stewart B.A. (Eds.). Soil and Global Change. Florida. CRC. Lewis.
- Mettay A, Mareira J A A, Bernoux M, Boyer T, Douzet J M, Feigl B, Feller C, Maraux F, Oliver R, and Scopel E. 2006. Storage and form of organic carbon in no-tillage under cover cropsystem on clayey Oxisol in dryland rice production (Cerrados, Brazil). Soil Tillage Res. Doi:10.1016/j.still.2006.07.009.
- Nurida LN, Dariah A, dan Rachman A. 2009. Kualitas limbah pertanian sebagai bahan baku pembenah tanah berupa biochar untuk rehabilitasi lahan. Hlm. 209-216 dalam Prosiding Seminar Nasional dan Dialog Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor, 18-20 November 2008.
- Nurida LN, Dariah A, dan Rachman A. 2012. Peningkatan kualitas tanah dengan pembenah tanah biochar limbah pertanian. Jurnal Tanah dan Iklim. 37 (2):69-78.
- Seguel O, and Horn R. 2006. Strength regain in soil aggregate beds by swelling and shrinkage. Int. Agrophysics 20: 161-172.
- Shofiyati R, Las I, and Agus F. 2010. Indonesia soil data base and predicted stock of soil carbon. In Proc. Intenational Workshop on Evaluation and Sustainable Management of Soil Carbon Sequestration in Asian Country. Bogor, Indonesia. 28-29 September 2010.
- Suprayogo D, Widiyanto, Cadisch G, and Noordwijk M van. 2008. A Pedotransfer Resource Database (PTFRDB) for tropical soils: test with the water balance of WaNuLCAS. [www.worldagroforestrycentre.org/SEA/Publications/files/paper/PP0002-04](http://www.worldagroforestrycentre.org/SEA/Publications/files/paper/PP0002-04). Last retrieval 19 September 2010.
- Sutono S, Nurida N L. 2012. Kemampuan biochar memegang air pada tanah bertekstur pasir. J. Ilmu Kealaman. Univ. Tribuana Tunggadewi. Malang
- Tarnocai C, Canadell JG, Schuur EAG., Kuhry P, Mazhitopa G, dan Zimov S. 2009. Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region. Global Biogeochemical Cycles 23:9-11.

## 7. EMISI DARI SUBSEKTOR PETERNAKAN

***Yeni Widiawati, Agustin Herliatika, Zuratih, Ratna Ayu Saptati***  
*Pusat Penelitian dan Pengembangan Peternakan, Bogor*

### 7.1. LANDASAN TEORI

Kegiatan di bidang peternakan dapat berkontribusi langsung dan tidak langsung terhadap emisi gas rumah kaca (GRK). Kegiatan yang dapat menghasilkan GRK adalah pemeliharaan ternak, pengelolaan kotoran ternak, pengolahan produk peternakan, transportasi ternak, pabrik pembuatan pakan, perubahan penggunaan lahan yang dikhususkan untuk peternakan yang menyumbang 14,5% dari total emisi GRK antropogenik tahunan global, baik secara langsung maupun tidak langsung. Emisi GRK langsung berasal dari fermentasi enterik, respirasi, dan ekskresi kotoran ternak. Sedangkan emisi GRK tidak langsung bersumber dari proses pemberian pakan yang berasal dari tanaman, aplikasi pupuk kandang, budidaya tanaman hijauan pakan, pemrosesan produk ternak, transportasi produk ternak, dan alokasi penggunaan lahan untuk produksi ternak.

Penyumbang terbesar emisi GRK antropogenik dari peternakan adalah metana (CH<sub>4</sub>), dinitrogen oksida (N<sub>2</sub>O), dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dengan persentase masing-masing sebesar 44%, 29%, dan 27%. Proses pengolahan produk ternak, transportasi produk ternak, dan perubahan penggunaan lahan untuk produksi ternak memberikan sumbangan pada peningkatan emisi CO<sub>2</sub>. Sementara produksi ternak berkontribusi terhadap emisi CH<sub>4</sub> (Dlamini dan Dube 2014; Rojas-Downing et al. 2017).

Dua jenis GRK terpenting yang dihasilkan oleh ternak, yaitu gas CH<sub>4</sub> yang dikeluarkan dari proses pencernaan (fermentasi enterik) dan dari proses oksidasi anaerob kotoran ternak; dan gas N<sub>2</sub>O yang dikeluarkan dari proses pengolahan kotoran ternak. Ternak yang menghasilkan gas CH<sub>4</sub> dari proses pencernaan (fermentasi enterik) adalah dari kelompok ruminansia yang terdiri dari sapi, kerbau, domba dan kambing. Sedangkan kelompok ternak non ruminansia yang terdiri dari aneka unggas yaitu ayam, itik, puyuh, dan jenis ternak lainnya yaitu babi tidak mengeluarkan gas CH<sub>4</sub> dari fermentasi enterik. Gas CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O dihasilkan dari proses pengelolaan kotoran ternak baik kelompok ternak ruminansia maupun non ruminansia. Berdasarkan komposisinya, maka gas CH<sub>4</sub> lebih banyak dihasilkan dari fermentasi enterik yaitu sebesar 94% dan hanya 6% dihasilkan dari kotoran ternak dengan kondisi baru dieksresikan dan tanpa pengolahan.

Perbedaan utama dari kedua jenis kelompok ternak ini adalah ternak ruminansia mempunyai 4 (empat) bagian perut pencernaan yang dilengkapi dengan mikroba. Fungsi mikroba ini adalah untuk mencerna jenis pakan utama ternak ruminansia yaitu berupa

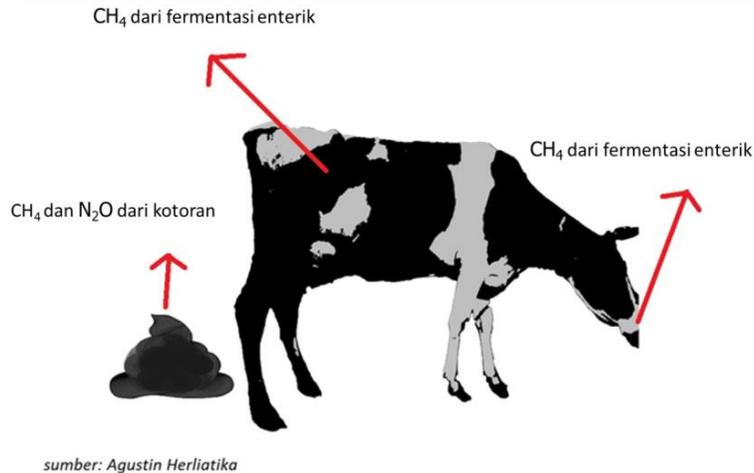
hijauan yang mengandung serat kasar tinggi. Pada proses pencernaan pakan berserat tinggi oleh mikroba yang ada di saluran pencernaan, yang biasanya dinamakan proses fermentasi mikroba rumen, akan dihasilkan gas CH<sub>4</sub>. Sedangkan pakan utama kelompok ternak non ruminansia adalah biji-bijian yang dicerna secara enzimatis di dalam saluran pencernaan, sehingga tidak terjadi proses fermentasi.

### **7.1.1. Emisi CH<sub>4</sub> dari fermentasi enterik**

Fermentasi enterik adalah bagian alami dari proses pencernaan pada ternak ruminansia seperti sapi, kambing, domba, dan kerbau. Mikroba rumen memegang peranan penting dalam proses tersebut. Rantai karbon dan hidrogen yang tersedia akibat serangkaian proses fermentasi di dalam rumen akan dimanfaatkan sebagai sumber energi oleh ternak tersebut. Keberadaan metanogen, yang merupakan salah satu bakteri di dalam rumen, akan memanfaatkan rantai karbon dan hidrogen tersebut dan menghasilkan gas metan (CH<sub>4</sub>).

Produksi gas CH<sub>4</sub> selama proses fermentasi pakan oleh mikroba dalam saluran pencernaan ternak ruminansia dipengaruhi oleh jenis dan kualitas pakan yang dikonsumsi ternak. Pakan yang mengandung serat kasar tinggi dengan tingkat kecernaan yang rendah akan menghasilkan gas CH<sub>4</sub> yang tinggi pula. Sebaliknya pakan yang mengandung serat kasar rendah dengan tingkat kecernaan yang tinggi akan menghasilkan gas CH<sub>4</sub> yang lebih rendah. Kondisi ini menunjukkan bahwa manipulasi jenis dan kualitas pakan yang diberikan kepada ternak dapat mempengaruhi produksi gas CH<sub>4</sub> dari fermentasi enterik (Gerber *et al.* 2013).

Ternak ruminansia yaitu sapi, kerbau, domba dan kambing merupakan sumber utama emisi GRK dari peternakan. Berdasarkan proporsi sumbangan terhadap emisi GRK peternakan di Indonesia, maka dari total emisi CH<sub>4</sub> 0,97 juta ton/tahun, ternak ruminansia menyumbang sebanyak 99,22% dari fermentasi enterik dan non-ruminansia menyumbang 0,78% dari kotoran ternak (Widiawati dan Tiesnamurti 2012). Oleh karena itu fermentasi enterik menjadi kategori kunci dalam perhitungan emisi GRK dari subsektor peternakan.



Gambar 7.1. Ilustrasi produksi gas rumah kaca (GRK) dari sapi

### 7.1.2. Emisi $\text{CH}_4$ dan $\text{N}_2\text{O}$ dari Pengelolaan Kotoran Ternak

Gas  $\text{CH}_4$  yang dihasilkan dari kotoran ternak yang baru saja diekskresikan sangat rendah. Gas  $\text{CH}_4$  baru akan dikeluarkan dari kotoran ternak apabila terjadi proses fermentasi kotoran ternak oleh mikroba secara anaerob. Proses fermentasi ini biasanya terjadi apabila kotoran ternak disimpan dalam kondisi basah dan ditumpuk. Kotoran ternak yang disimpan di ladang dan padang rumput terus melepaskan sejumlah besar  $\text{CH}_4$  karena dekomposisi anaerob bahan organik dalam pupuk kandang (Naqvi dan Sejian 2010; Tauseef *et al.* 2013). Kotoran sapi dan urine mengandung N dalam bentuk urea yang akan diupkan ke udara, diasamkan ke tanah, larut ke air tanah, dan mengalir ke air permukaan (Jonker *et al.* 1998; Meadows 2016).

Emisi  $\text{N}_2\text{O}$  dari kotoran ternak utamanya berasal dari kotoran ternak yang dikandangkan dan kotoran yang melalui sistem penyimpanan kotoran; dari ternak yang digembalakan di penggembalaan padang rumput; dan emisi dari tanah pertanian dimana pupuk kandang diaplikasikan (Hou *et al.* 2015).

### 7.1.3. Sistem Produksi Dan Jenis Ternak

Indonesia memiliki beragam sistem produksi ternak, berbagai jenis dan bangsa ternak, serta beragam sumber dan jenis pakan. Ketiga hal ini mempunyai pengaruh terhadap penentuan emisi GRK. Sapi potong di Indonesia sebagai kontributor utama emisi GRK dari fermentasi enterik mempunyai beragam bangsa dengan ukuran tubuh yang berbeda. Sapi potong lokal Indonesia yang dominan adalah sapi Bali, sapi PO dan Sapi Madura. Ketiganya memiliki ukuran tubuh kecil sampai sedang dibandingkan dengan bangsa sapi yang diimpor seperti Brahman cross dan Limousin. Perbedaan

ukuran tubuh ini berkorelasi dengan jumlah emisi GRK yang dihasilkan. Semakin besar ukuran tubuh ternak, maka semakin besar emisi GRK nya.

Jenis pakan yang diberikan sangat beragam sumbernya, diantaranya yang berasal dari rumput yang dibudidayakan, limbah dari tanaman pangan, limbah dari tanaman perkebunan, dan lain sebagainya. Jenis pakan yang diberikan juga berpengaruh terhadap emisi GRK dari peternakan. Pakan dengan kualitas yang rendah yang dicirikan dengan tinggi kandungan serat kasarnya berpotensi besar menghasilkan GRK yang tinggi (Purnomoadi *et al.* 2002).

Berdasarkan kondisi peternakan di Indonesia tersebut, maka penghitungan emisi GRK dari peternakan akan lebih akurat jika dilakukan dengan metode Tier-2, seperti yang disarankan juga oleh IPCC 2006. Pada metode ini digunakan nilai faktor emisi yang dihitung berdasarkan kualitas bahan pakan lokal Indonesia dan ukuran tubuh ternak lokal. Nilai faktor emisi untuk ternak lokal Indonesia telah dihasilkan dari beberapa penelitian, yaitu faktor emisi untuk CH<sub>4</sub> dari fermentasi enterik dan dari pengelolaan kotoran ternak (Widiawati *et al.* 2016; Puslitbangnak 2017).

## 7.2. PERKIRAAN EMISI CH<sub>4</sub> DAN N<sub>2</sub>O DARI SUBSEKTOR PETERNAKAN: FORMULA PERHITUNGAN

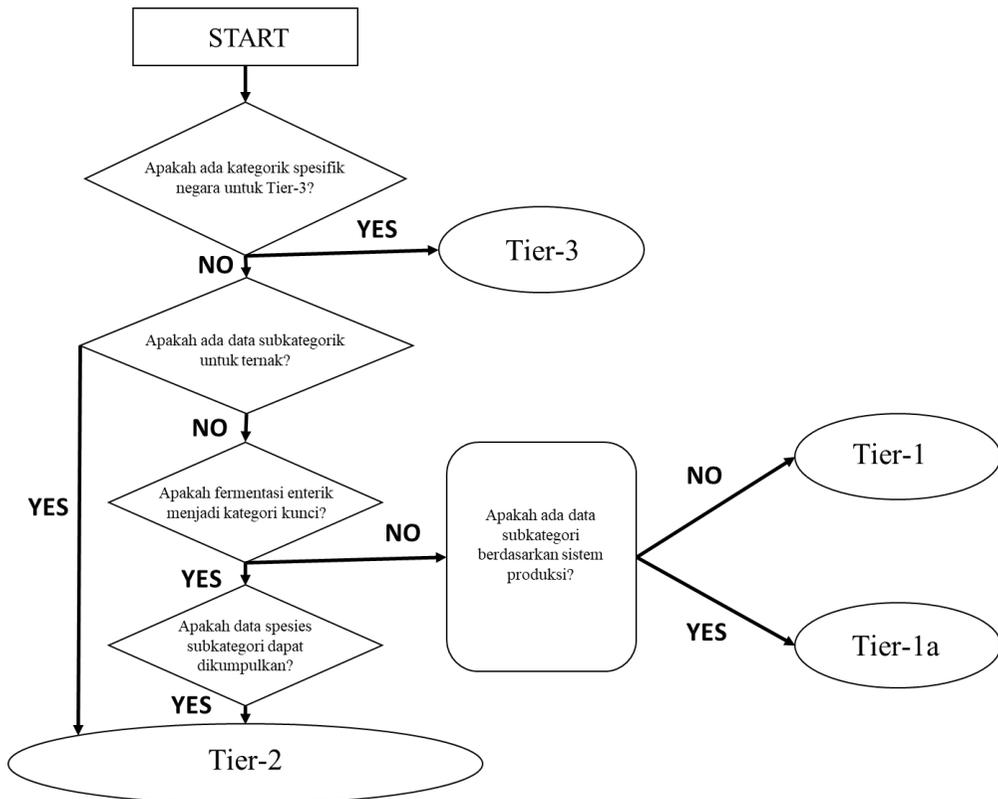
Emisi GRK dari peternakan yang dihitung terdiri dari emisi CH<sub>4</sub> dari fermentasi enterik serta CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O dari kotoran ternak. CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O dari kotoran ternak yang dimaksud pada tulisan ini adalah CH<sub>4</sub> yang dikeluarkan dari kotoran ternak yang belum mengalami proses pengolahan (feses segar) dan N<sub>2</sub>O yang dikeluarkan dari kotoran ternak segar dan yang mengalami penyimpanan sebelum disebar dan digunakan sebagai pupuk.

Estimasi emisi GRK yang dihasilkan dari subsektor peternakan dihitung mengikuti panduan dalam buku IPCC 2006 *refinement* (2019). Terdapat tiga metode penghitungan, yaitu Tier-1, Tier-2 dan Tier-3. Metode yang paling sederhana adalah Tier-1, dengan menggunakan nilai *default factor* untuk wilayah Asia yang telah ditetapkan dalam buku panduan IPCC (2006). Pada metode Tier-1 ini, estimasi emisi GRK diperoleh dengan cara mengalikan nilai *default factor* dengan jumlah populasi ternak yang ada di suatu negara. Metode Tier-2 menggunakan data yang lebih lengkap, dapat berupa pengelompokan ternak berdasarkan status produksinya (subkategori) atau menggunakan nilai faktor emisi lokal suatu negara. Metode Tier-3 mengadopsi data yang lebih detail lagi, diantaranya data hasil penelitian berupa pencernaan pakan, konsumsi energi metabolis, dan lain sebagainya.

Pada prinsipnya rumus dasar yang digunakan untuk ketiga metode ini adalah sama yaitu, populasi dikalikan dengan faktor emisi (FE). Perbedaan dari ketiga metode ini adalah dalam hal nilai FE (*default factor* vs faktor emisi lokal) dan populasi ternak (total

vs dibagi per subkategori). Pemilihan metode penghitungan dapat didasarkan pada data yang tersedia.

Alur yang dapat diikuti untuk pemilihan metode penghitungan disajikan pada Gambar 7.2.



Gambar 7.2. Bagan penentuan penggunaan metode dalam penghitungan GRK dari peternakan

Adapun rumus yang digunakan untuk perhitungan GRK peternakan adalah sebagai berikut.

- a. Perhitungan emisi CH<sub>4</sub> dari fermentasi enterik

Rumus yang digunakan untuk menghitung emisi gas CH<sub>4</sub> dari fermentasi enterik adalah:

$$\text{Emisi CH}_4 \text{ enterik} = \text{FE}_{(T)} \times \left( \frac{N_{(T)}}{10^6} \right)$$

(Persamaan 10.19 IPCC 2006)

## Keterangan:

- Emisi CH<sub>4</sub> enterik : Emisi CH<sub>4</sub> dari fermentasi enterik [Gg CH<sub>4</sub>/tahun]  
 FE<sub>(T)</sub> : Faktor emisi (bisa digunakan *default factor* (IPCC 2006) untuk Tier-1 atau faktor emisi nasional dan sub-nasional untuk setiap jenis ternak T untuk Tier-2 dan Tier-3) [kg CH<sub>4</sub>/ekor/tahun]  
 N<sub>(T)</sub> : Populasi berdasarkan jenis ternak T [ekor]

b. Emisi untuk gas CH<sub>4</sub> dari kotoran ternak

Rumus yang digunakan untuk menghitung emisi gas CH<sub>4</sub> dari kotoran ternak yaitu:

$$\text{Emisi CH}_4 \text{ kotoran} = \frac{\text{FE}_{(T)} \times \text{N}_{(T)}}{10^6}$$

(Persamaan 10.22 IPCC 2006)

## Keterangan:

- Emisi CH<sub>4</sub> kotoran : Emisi CH<sub>4</sub> dari kotoran ternak [Gg CH<sub>4</sub>/tahun]  
 FE<sub>(T)</sub> : Faktor emisi untuk jenis ternak T [kg CH<sub>4</sub>/ekor/tahun]. FE bisa menggunakan *Default factor* (Tabel 10.14, 10.15 IPCC 2006) atau FE spesifik Indonesia untuk Tier-2 atau Tier-3  
 N<sub>(T)</sub> : Populasi berdasarkan jenis ternak T [ekor]

Untuk mendapatkan nilai FE dari setiap jenis ternak, maka dilakukan penghitungan dengan menggunakan rumus, yaitu:

$$\text{FE}_{(T)} = (\text{VS}_{(T)} \times 365) \times \left[ \text{B}_{o(T)} \times 0,67 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0 \frac{\text{MCF}_{S,k}}{100} \times \text{MS}_{T,S,k} \right]$$

(Persamaan 10.23 IPCC 2006)

## Keterangan:

- FE<sub>(T)</sub> : Faktor emisi CH<sub>4</sub> untuk jenis ternak T [kg CH<sub>4</sub>/ekor/tahun]  
 VS<sub>(T)</sub> : Berat kotoran padat yang mudah menguap (*volatile solid*) yang diekskresikan setiap hari dari jenis ternak T [kg bahan kering/ekor/hari]  
 365 : Jumlah hari dalam setahun [hari/tahun]  
 B<sub>o(T)</sub> : Volume maksimum CH<sub>4</sub> untuk kotoran yang dihasilkan setiap jenis ternak T [m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg dari VS yang diekskresikan]  
 0,67 : Faktor konversi m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> ke kg CH<sub>4</sub>  
 MCF<sub>(S,k)</sub> : Faktor konversi CH<sub>4</sub> untuk setiap sistem pengelolaan kotoran ternak berdasarkan iklim k [%]

$MS_{(T,S,k)}$  : Jumlah ternak yang kotorannya diolah dengan sistem S pada area beriklim k

Sedangkan untuk mendapatkan nilai VS, maka digunakan rumus:

$$VS = [GE \times \left(1S = \frac{DE\%}{100}\right) + (UE \times GE)] \times \left[\frac{1 \times [}{18,45}\right]$$

(Persamaan 10.24 IPCC 2006)

Keterangan:

- VS : Ekskresi *Volatile Solid* (Bahan Organik Feses dan Urine) per hari berdasarkan kandungan bahan organik [kg VS/hari]
- GE : *Gross Energy Intake* [MJ/hari]
- DE% : Kecernaan pakan [%]
- (UE x GE) : Energi urine yang diekspresikan sebagai fraksi GE. Energi urine yang dieskresikan ternak ruminansia yaitu sebesar 0,04 GE.
- ASH : Kandungan abu kotoran yang dihitung sebagai fraksi dari bahan kering pakan yang dikonsumsi (0,08 untuk sapi)
- 18,45 : Faktor konversi dari GE pakan dari setiap kg bahan kering pakan [MJ/kg]

- Nilai bahan organik (Bo) yang digunakan berdasarkan IPCC 2006, yaitu 0,13 (sapi perah); 0,2 (sapi potong dan kerbau); 0,29 (babi); 0,13 (kambing dan domba); 0,26 (kuda); 0,39 (ayam petelur); dan 0,36 (ayam pedaging dan ayam lokal).
- Nilai MCF yang digunakan adalah 4% untuk musim hujan, yang diasumsikan selama 5 bulan dalam setahun dan 0,5% untuk musim kemarau yang diasumsikan selama 7 bulan dalam setahun.
- Nilai MS yang digunakan adalah 0,4 yang menunjukkan bahwa 40% dari peternakan telah mengaplikasikan sistem pengelolaan kotoran.
- Nilai emisi CH<sub>4</sub> dapat diubah dari (kg CH<sub>4</sub>/tahun) menjadi (kg CO<sub>2</sub>-eq/tahun) dengan cara mengalikan dengan 28 (IPCC 2014).

c. Jumlah emisi N<sub>2</sub>O dari kotoran ternak

Jumlah N<sub>2</sub>O yang diemisikan dari kotoran ternak dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$N_2O_{(kgN_2O/tahun)} = \left[ \sum_s \left[ \sum_T (N_{(T)} \times N_{ex(T)} \times MS_{(T,S)}) \right] \times FE_{3(S)} \right] \times \frac{44}{28}$$

(Persamaan 10.25 IPCC 2006)

Keterangan:

- N<sub>2</sub>O : Emisi N<sub>2</sub>O dari kotoran ternak [kg N<sub>2</sub>O/tahun]

- $N_{(T)}$  : Populasi ternak berdasarkan jenis ternak T [ekor]  
 $N_{ex(T)}$  : Rata-rata ekskresi N dalam setahun [kg N/ekor/tahun]  
 $MS_{(T,S)}$  : Fraksi total ekskresi nitrogen tahunan untuk setiap jenis ternak T berdasarkan sistem pengelolaan kotoran S  
 $FE$  : Faktor emisi  $N_2O$  dari kotoran ternak [kg  $N_2O$ -N/kg N]  
 $44/28$  : Bobot molekul  $N_2O$ /Bobot molekul  $N_2$

Modifikasi Persamaan 10.25 IPCC 2006 perlu dilakukan karena bobot badan ternak lokal Indonesia lebih kecil dibandingkan bobot badan ternak yang tercantum dalam IPCC, sehingga nilai ekskresi N perlu menyesuaikan dengan kondisi tersebut (Tabel 12.). Modifikasi persamaan 10.25 tersebut adalah sebagai berikut (Modifikasi Persamaan 10.25 IPCC 2006 oleh Puslitbangnak 2016):

$$N_2O_{D(mm)} = \left[ \sum_s \left[ \sum_T (N_{(T)} \times F_{ex(h)} \times BB_{(t)}) \right] \times FE_{t(s)} \right] \times \frac{44}{28} \times 365$$

Keterangan:

- $N_2O_{D(mm)}$  Emisi  $N_2O$  dari kotoran ternak [kg  $N_2O$ /tahun]  
 $N_{(T)}$  Populasi ternak berdasarkan jenis ternak T dalam 1 tahun [ekor]  
 $F_{ex(h)}$  Faktor ekskresi N tiap 1000 kg bobot badan (BB) ternak  $t$  dalam sehari [kg N/1000 kg BB/hari]  
 $BB_{(t)}$  Rata-rata BB ternak [kg/ekor]  
 $FE_{t(s)}$  Faktor emisi  $N_2O$  dari kotoran ternak  $t$  dengan pengelolaan kotoran dengan sistem S [kg  $N_2O$ -N/kg N]  
 $365$  Jumlah hari dalam setahun (hari/tahun)  
 $44/28$  Bobot molekul  $N_2O$ /bobot molekul  $N_2$

Nilai emisi  $N_2O_{D(mm)}$  dapat diubah dari (kg  $N_2O$ /tahun) menjadi (kg  $CO_2\text{-eq}$ /tahun) dengan cara mengalikan dengan 265 (IPCC 2014).

### 7.3. FAKTOR EMISI DEFAULT UNTUK TIER-1

#### 7.3.1. Faktor Emisi $CH_4$ dari Fermentasi Enterik

Metode perhitungan emisi  $CH_4$  dengan Tier-1 menggunakan faktor emisi yang mengacu kepada panduan IPCC 2006 untuk wilayah Asia sebagaimana disajikan pada Tabel 7.1.

Tabel 7.1. Faktor emisi CH<sub>4</sub> dari proses pencernaan (fermentasi enterik) berbagai jenis ternak (IPCC 2006)

Jenis Ternak	Faktor Emisi (kg CH <sub>4</sub> /ekor/tahun)
Sapi Potong	47**
Sapi Perah	61**
Domba	5*
Kambing	5*
Kerbau	55*
Kuda	18*
Unggas	NA
Babi	1*

Sumber: \* Tabel 10.10 IPCC (2006); \*\* Tabel 10.11 IPCC (2006)  
NA= data tidak tersedia

Terdapat perubahan nilai faktor emisi *default* untuk metode Tier-1 berdasarkan panduan IPCC 2006 *Refinement* (2019). Faktor emisi CH<sub>4</sub> dari fermentasi enterik untuk setiap jenis ternak disajikan pada Tabel 7.2.

Tabel 7.2. Faktor emisi gas metana (CH<sub>4</sub>) fermentasi enterik berbagai jenis ternak, IPCC 2006 *Refinement* (2019)

Jenis Ternak	Faktor Emisi [kg CH <sub>4</sub> /ekor/tahun]		
	Sistem intensif	Sistem Ekstensif	Sistem Semi intensif
Sapi Perah**	96	71	78
Sapi	43	56	54
Pedaging**			
Kerbau**	-	-	76
Domba*	9	5	-
Babi*	1,5	1	-
Kambing*	9	5	-
Kuda*	-	-	18
Unggas	-	-	-

Sumber: \* Tabel 10.10 IPCC 2006 *Refinement* (2019); \*\*Tabel 10.11 IPCC 2006 *Refinement* (2019)

Untuk mendapatkan perhitungan nilai emisi yang akurat di wilayah Indonesia disarankan menggunakan faktor emisi *default* pada Tabel 2 karena sudah mengklasifikasikan sistem pemeliharaan ternak menjadi sistem intensif, sistem ekstensif, dan sistem semi intensif. Sistem intensif adalah pemeliharaan ternak dengan

dikandangan sepanjang hari dan pemberian pakan hijauan dilakukan secara *cut and carry*. Pada pemeliharaan sistem intensif juga telah menerapkan manajemen pakan yang baik (pemberian suplementasi berupa konsentrat dan leguminosa, hijauan rumput unggul, dll). Sistem ekstensif adalah pemeliharaan ternak secara digembalakan di padang penggembalaan atau tanah kosong, tanpa adanya penambahan pemberian pakan tambahan maupun perbaikan kualitas pakan. Sedangkan sistem pemeliharaan semi intensif adalah pemeliharaan ternak dimana sebagian waktu ternak digembalakan dan sebagian waktu ternak dikandangan dan diberi pakan tambahan.

### 7.3.2. Faktor Emisi CH<sub>4</sub> dari Kotoran Ternak

Faktor emisi dari kotoran ternak berdasarkan IPCC 2006 disajikan pada Tabel 3.

Tabel 7.3. Faktor emisi CH<sub>4</sub> dari kotoran ternak dengan berbagai metode pengelolaan, IPCC 2006

<b>Ternak</b>	<b>Cara Pengelolaan Kotoran</b>	<b>Faktor Emisi (kg CH<sub>4</sub>/ ekor/tahun)</b>
Sapi Potong	Sekitar setengah dari kotoran sapi digunakan untuk biogas dan sisanya dikelola dalam keadaan kering	1*
Sapi Perah		31*
Kerbau	Kotoran dikelola dalam keadaan kering dan disebar di padang rumput	2*
Babi	Sekitar 40% kotoran dikelola dalam keadaan basah	7*
Domba	50% kering; 50% di sebar ke lahan	0,15**
Kambing		0,17**
Kuda		1,64**
Pedaging		0,02**
Petelur		0,03**
Itik		0,03**

Sumber: \* Tabel 10.14 IPCC (2006), \*\* Tabel 10.15 IPCC (2006)

Sedangkan faktor emisi CH<sub>4</sub> dari kotoran ternak berdasarkan IPCC 2006 *Refinement* (2019) disajikan pada Tabel 7.4.

Tabel 7.4. Faktor emisi CH<sub>4</sub> dari kotoran ternak dengan berbagai metode pengelolaan (g CH<sub>4</sub> kg/VS), IPCC 2006 *Refinement* (2019)

Ternak	Kelompok Produktifitas	Manajemen Pengelolaan Kotoran Ternak								Padang Penggembalaan
		Laguna anaerob yang terbuka	Cair/slurry, penyimpanan dalam lubang >1 bulan	Penyimpanan padat	Penyimpanan Kering	Ditaburkan ke lahan	Biogas	Dibakar untuk bahan bakar	Cair/slurry, penyimpanan dalam lubang <1 bulan	
Sapi Perah	Tinggi	128,6	122,2	8	3,2	1,6	3,7	16,1	-	0,6
	Rendah	69,7	66,2	4,4	1,7	0,9	9,5	8,7	-	
Sapi Pedaging	Tinggi	96,5	91,7	6	2,4	1,2	2,8	12,1	-	
	Rendah	69,7	66,2	4,4	1,7	0,9	9,5	8,7	-	
Babi Penggemukan dan Breeding	Tinggi	241,2	229,1	15,1	6	3	7	30,2	114,6	
	Rendah	155,4	147,7	9,7	3,9	1,9	21,2	19,4	73,8	
Unggas	Tinggi	209	198,6	13,1	5,2	-	13,1	2,6	-	
	Rendah	2,4	2,4	2,4	2,4	-	2,4	2,4	-	
Domba	Tinggi			6,4	2,5					
	Rendah			4,4	1,7					
Kambing	Tinggi			6	2,4					
	Rendah			4,4	1,7					
Kuda	Tinggi			10,1	4					
	Rendah			8,7	3,5					
Mules/Asses	Tinggi			11,1	4,4					
	Rendah			8,7	3,5					

Sumber: Tabel 10.14 IPCC 2006 *Refinement* (2019)

Untuk mendapatkan perhitungan nilai emisi yang akurat di wilayah Indonesia disarankan menggunakan faktor emisi *default* pada Tabel 4. karena sistem pengelolaan kotoran ternak di Indonesia sangat beragam. Adapun nilai *Volatile Solid* berdasarkan IPCC (2019) disajikan pada Tabel 7.5.

Tabel 7.5. *Default* nilai ekskresi *Volatile Solid* (VS) dalam (kg VS/1000 kg berat badan/hari)

<b>Ternak</b>	<b>Rataan</b>	<b>Produktifitas Tinggi</b>	<b>Produktifitas Rendah</b>
Sapi Perah	9,0	8,1	9,2
Sapi Pedaging	9,8	6,8	10,8
Kerbau	13,5	-	-
Babi	5,8	4,3	7,1
Penggemukan	6,8	5,1	8,1
Breeding	3,4	2,3	4,3
Unggas	11,2	10,6	14,3
Betina ±1 tahun	9,3	8,5	12,8
Pullet	7,5	5,4	17,7
Broiler	15,7	15,6	17,1
Kalkun	10,3	10,3	10,3
Itik/Bebek	7,4	7,4	7,4
Domba	11,4	11,4	11,4
Kambing	13,3	13,3	13,3
Kuda	7,2	7,2	7,2
Mules/Asses	7,2	7,2	7,2

Sumber: Tabel 10.13A IPCC 2006 *Refinement* (2019)

### 7.3.3. Faktor Emisi N<sub>2</sub>O dari Kotoran Ternak

Faktor emisi (rasio pembentukan N<sub>2</sub>O) dari N yang terkandung di dalam kotoran ternak pada berbagai sistem pengelolaan kotoran disajikan pada Tabel 7.6.

Tabel 7.6. Faktor emisi N<sub>2</sub>O dari kotoran ternak pada berbagai sistem pengelolaan

<b>Sistem Pengelolaan Kotoran Ternak</b>	<b>Faktor Emisi: Rasio N yang Berubah menjadi N<sub>2</sub>O</b>
Ditumpuk kering	0,02
Disimpan padat ( <i>solid storage</i> )	0,005
Disebar ke lahan	0

Sumber: Tabel 10.21 IPCC (2006)

## 7.4. FAKTOR EMISI CH<sub>4</sub> DAN N<sub>2</sub>O DARI SUBSEKTOR PETERNAKAN DI INDONESIA UNTUK TIER-2

Hingga tahun 2015 perhitungan emisi GRK dari peternakan di Indonesia masih menggunakan metode perhitungan Tier-1. Namun mulai tahun 2016 perhitungan emisi dari fermentasi enterik dan pengelolaan kotoran ternak sudah menggunakan metode perhitungan Tier-2.

### 7.5.1. Faktor Emisi CH<sub>4</sub> dari Fermentasi Enterik

Faktor emisi yang digunakan untuk perhitungan CH<sub>4</sub> dari fermentasi enterik dengan menggunakan metode Tier-2 disajikan pada Tabel 7.7.

Tabel 7.7. Faktor emisi (FE) gas CH<sub>4</sub> dari fermentasi enterik dari berbagai jenis ternak

Jenis ternak	Sub-kategori	FE untuk CH <sub>4</sub> fermentasi enterik (kg CH <sub>4</sub> /ekor/tahun)
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
Babi	Anak	0,43
	pedaging	1,03
	breeding	1,28

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

Unggas seperti ayam dan itik tidak menghasilkan CH<sub>4</sub> dalam proses pencernaannya, sehingga tidak mempunyai faktor emisi untuk fermentasi enterik.

### 7.5.2. Faktor Emisi CH<sub>4</sub> dari Kotoran Ternak

Adapun faktor emisi yang digunakan untuk penghitungan emisi CH<sub>4</sub> dari kotoran ternak dengan metode Tier 2 disajikan pada Tabel 7.8.

Tabel 7.8. Faktor emisi CH<sub>4</sub> dari kotoran ternak

Jenis ternak	Sub-kategori	FE (kg CH <sub>4</sub> /ekor/tahun)
Sapi potong <sup>1</sup>	Anak (0-1 th)	0,78
	Pertumbuhan (1-2 th)	1,62
	Muda (2-4 th)	3,47
	Dewasa (> 4 th)	3,64
	Import (fattening)	7,96
Sapi Perah	Anak (0-1 th)	0,52
	Pertumbuhan (1-2 th)	2,51
	Muda (2-4 th)	5,52
	Dewasa (> 4 th)	12,18
Kerbau	Anak (0-1 th)	0,75
	Pertumbuhan (1-2 th)	3,98
	Muda (2-4 th)	8,97
	Dewasa (> 4 th)	15,95
Domba	Anak	0,01
	Muda	0,05
	Dewasa	0,08
Kambing	Anak	0,02
	Muda	0,02
	Dewasa	0,03
Babi	Anak	0,00
	pedaging	0,01
	breeding	0,01
Ayam	Lokal	0,00
	Petelur	0,00
	Pedaging	0,00
Itik		0,00

Sumber: <sup>1</sup>Widiawati *et al.* 2017; IPCC (2006) modifikasi Pulitbangnak 2016 *unpublished*

## 7.5. DATA AKTIVITAS DAN METODE PENGUMPULANNYA

Data aktivitas yang dapat digunakan untuk menghitung emisi dari subsektor peternakan dengan menggunakan metoda dari IPCC tahun 1996 yang telah direvisi, IPCC

tahun 2006, dan selanjutnya panduan yang baru ditambah, IPCC 2006 *Refinement* (2019); yaitu diperlukan nilai faktor emisi dan data populasi ternak. Nilai faktor emisi yang digunakan mengacu kepada panduan IPCC untuk wilayah Asia. Data aktivitas populasi ternak seluruh Indonesia diperoleh dari data statistik BPS atau Ditjen PKH. Digunakan data populasi dari tahun 2006-2018, serta proyeksi *linearnya* pada tahun 2019-2025.

Populasi ternak meningkat dari tahun ke tahun dengan laju pertumbuhan yang bervariasi secara temporal dan antar jenis ternak (Ditjen Peternakan 2012). Laju pertumbuhan rata-rata ternak ruminansia ditargetkan 7%/tahun dan unggas 12,5%/tahun. Mulai dari tahun 2012, diproyeksikan akan terjadi percepatan peningkatan populasi ternak, khususnya untuk sapi potong, domba dan kambing. Hal ini akan terjadi sebagai dampak dari kebijakan pemerintah dalam upaya swasembada daging nasional.

Untuk tingkat provinsi, faktor emisi nasional dapat digunakan sebelum tersedia faktor emisi spesifik lokasi. Data aktivitas disesuaikan dengan populasi ternak masing-masing provinsi. Penghitungan dengan hanya menggunakan populasi ternak, merupakan metode yang termudah dan dapat diterapkan di semua wilayah. Data populasi sebagai data aktivitas telah dimiliki oleh setiap dinas peternakan provinsi dan data populasi ternak nasional tersedia di Direktorat Jenderal Peternakan, Kementerian Pertanian.

Pada tahun 2008 telah dilakukan kegiatan untuk memverifikasi laju emisi gas rumah kaca (GRK) pada peternakan Indonesia. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk a) validasi hasil perhitungan emisi GRK pada komoditas peternakan, b) inventarisasi faktor-faktor yang mempengaruhi emisi GRK pada komoditas peternakan, dan c) inventarisasi teknologi dan manajemen mitigasi emisi GRK pada budidaya peternakan. Penghitungan mengikuti petunjuk dari IPCC tahun 2006 (Thalib *et al.* 2008). Selanjutnya pada tahun 2011 dilakukan pula estimasi emisi CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O dari fermentasi enterik dan dari pengelolaan kotoran ternak dengan mengacu kepada Worksheet dari IPCC 2006 (Widiawati 2013).

#### **7.5.1. Data Aktivitas Penghitungan Emisi CH<sub>4</sub> dari Fermentasi Enterik**

Data aktivitas yang digunakan untuk penghitungan emisi CH<sub>4</sub> dari proses pencernaan dengan metode Tier-1 adalah populasi ternak seluruh Indonesia tahun 2006 – 2018 (Tabel 7.9) serta proyeksi linearnya pada tahun 2019 – 2025 (Tabel 7.10; Gambar 7.3). Untuk proyeksi populasi mengacu pada rata-rata laju pertumbuhan ternak yaitu untuk ternak ruminansia ditargetkan 7%/tahun dan unggas 12,5%/tahun (Ditjen PKH 2012).

Tabel 7.9. Populasi ternak Indonesia dari tahun 2006 sampai tahun 2018 (ribu ekor)

Jenis ternak	Tahun												
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Sapi Potong	10.875	11.515	12.257	12.760	13.582	14.824	16.034	12.686	14.727	15.420	15.997	16.429	17.050
Sapi Perah	369	374	458	475	488	597	622	444	503	519	534	540	550
Domba	8.980	9.514	9.606	10.199	10.725	11.791	12.768	14.926	16.092	17.025	15.717	17.142	17.398
Kambing	13.790	14.470	15.147	15.815	16.620	16.946	17.862	18.500	18.640	19.013	17.862	18.208	18.721
Kerbau	2.167	2.086	1.931	1.933	2.000	1.305	1.378	1.110	1.335	1.347	1.355	1.322	1.356
Kuda	0	401	393	399	419	424	430	434	428	430	424	409	421
Babi	6.218	6.711	6.838	6.975	7.477	7.525	7.831	7.599	7.694	7.808	7.904	8.261	8.542
Unggas (juta)	1.221	1.311	1.293	1.428	1.394	1.575	1.730	1.819	1.918	2.022	2.144	2.383	2.444

Sumber: Ditjen Peternakan dan Kesehatan Hewan (PKH) (2012, 2016, 2018)

Tabel 7.10. Estimasi populasi ternak dari tahun 2019 sampai tahun 2025 (ribu ekor)

Jenis Ternak	Tahun						
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Sapi Potong	18.244	19.521	20.887	22.349	23.914	25.587	27.379
Sapi Perah	589	630	674	721	771	825	883
Domba	18.616	19.919	21.313	22.805	24.402	26.110	27.937
Kambing	20.031	21.434	22.934	24.539	26.257	28.095	30.062
Kerbau	1.451	1.552	1.661	1.777	1.902	2.035	2.177
Kuda	450	482	516	552	590	632	676
Babi	9.140	9.780	10.464	11.197	11.981	12.819	13.717
Unggas (juta)	2.750	3.093	3.480	3.915	4.404	4.955	5.574

Sumber: Proyeksi dari data populasi ternak tahun 2006 – 2018 yang tercantum pada Tabel 7.9

Data aktivitas yang digunakan untuk penghitungan emisi CH<sub>4</sub> dari proses pencernaan dengan metode Tier-2 adalah data populasi ternak yang sudah berdasarkan pada komposisi level fisiologis ternak (anak, muda, dewasa) syang bersumber dari Ditjen PKH (2011) sebagaimana disajikan pada Tabel 7.11.

Tabel 7.11. Persentase sub kategori ternak berdasarkan level fisiologis ternak 2011

Ternak	Level fisiologi/ umur (sub-kategori)	Kelamin	Persentase
Sapi potong	anak (0-1 th)	Jantan/betina	19,30
	pertumbuhan (1-2 th)	Jantan/betina	25,85
	muda (2-4 th)	Jantan/betina	18,15
	dewasa (>4 th)	Jantan/betina	26,89
	Imported (Penggemukan)	Jantan	9,81
Sapi perah	anak (0-1 th)	Jantan/betina	21,73
	pertumbuhan (1-2 th)	Jantan/betina	24,03
	muda (2-4th)	Jantan/betina	21,70
	dewasa (>4 th)	Jantan/betina	32,54
Kerbau	anak (0-1 th)	Jantan/betina	16,32
	Pertumbuhan (1-2 th)	Jantan/betina	20,67
	muda (2-4 th)	Jantan/betina	20,74
	dewasa (> 4 th)	Jantan/betina	42,27
Kambing	Anak	Jantan/betina	27,12
	Pertumbuhan	Jantan/betina	26,90
	Dewasa	Jantan/betina	45,98
Domba	Anak	Jantan/betina	27,66
	pertumbuhan	Jantan/betina	25,90
	Dewasa	Jantan/betina	46,44
Babi	Anak	Jantan/betina	32,30
	Pedaging	Jantan/betina	32,74
	Breeding	Jantan/betina	34,96

<b>Ternak</b>	<b>Level fisiologi/ umur (sub-kategori)</b>	<b>Kelamin</b>	<b>Persentase</b>
Kuda	Anak	Jantan/betina	18,82
	Muda	Jantan/betina	22,62
	Dewasa	Jantan/betina	58,56

Sumber: Ditjen PKH (2011)

### 7.5.2. Data Aktivitas Penghitungan CH<sub>4</sub> dari Pengelolaan Kotoran Ternak

Data aktivitas emisi dari kotoran ternak untuk penghitungan menggunakan metode Tier-1 adalah populasi ternak (Tabel 7.9 untuk emisi historis dan Tabel 7.10 untuk estimasi ke depan). Sedangkan data aktivitas yang digunakan untuk menghitung emisi CH<sub>4</sub> menggunakan metode Tier-2 adalah populasi ternak berdasarkan komposisi level fisiologis (Tabel 7.11).

### 7.5.3. Data Aktivitas Penghitungan N<sub>2</sub>O dari Pengelolaan Kotoran Ternak

Jumlah N yang diekskresi (dikeluarkan melalui kotoran) ternak ditentukan oleh populasi ternak dan berat badan rata-rata ternak (Tabel 7.12). Jumlah N<sub>2</sub>O teremisi ditentukan oleh jumlah N yang diekskresikan dan sistem pengolahan kotoran ternak. Semakin lama dan semakin banyak kotoran ditumpuk akan menyebabkan jumlah oksigen di dalam tumpukan makin terbatas dan akan membentuk N<sub>2</sub>O. Bila kotoran tidak ditumpuk dan langsung disebar ke lahan, maka hampir seluruh N tersebut berubah menjadi NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (nitrat) yang merupakan zat hara tanaman. Rasio pembentukan N<sub>2</sub>O dari N yang terkandung di dalam kotoran hewan pada berbagai sistem pengelolaan kotoran disajikan pada Tabel 7.12.

Tabel 7.12. Angka acuan (*default*) untuk kandungan N pada kotoran ternak di Asia dan perkiraan berat badan (BB) rata-rata

<b>Ternak</b>	<b>Ekskresi N (kg N/1000kg BB)*</b>	<b>Asumsi rata-rata BB ternak (kg/ekor)**</b>
Sapi Potong	0,34	250
Sapi Perah	0,47	300
Domba	1,17	45
Kambing	1,37	40
Kerbau	0,32	300
Kuda	0,46	550
Unggas		
Pedaging	1,10	2
Petelur	0,82	2
Itik	0,83	2
Babi	0,50	100

Sumber: \* Tabel 10.19 IPCC (2006), \*\* Thalib *et al.* (2008)

## 7.6. CONTOH PERHITUNGAN

### 7.6.1. Contoh Perhitungan Tier-1

Pertanyaan:

Hitung emisi dari fermentasi enterik dan kotoran ternak dari subsektor peternakan di Indonesia dalam periode 1 tahun.

Petunjuk: Gunakan data statistik peternakan Ditjen PKH untuk mendapatkan data populasi ternak (Tabel 7.9).

Jawaban:

Populasi beberapa jenis ternak di Indonesia berdasarkan angka statistik Ditjen PKH Kementerian Pertanian. Gunakan *template* isian pada Tabel 7.13 untuk membantu perhitungan tersebut.

Tabel 7.13. *Template* isian emisi CH<sub>4</sub> dari ternak/tahun menggunakan Tier-1

Jenis ternak	Populasi	Faktor emisi [kg CH <sub>4</sub> /ekor/tahun]		Emisi [kg CH <sub>4</sub> /tahun]		Emisi [kg CO <sub>2</sub> -eq /tahun]		Emisi CH <sub>4</sub> Total [kg CO <sub>2</sub> -eq /tahun]
		Enterik	Kotoran	Enterik	Kotoran	Enterik	Kotoran	
	a	b	c	d	e	F	g	h
Sapi potong								
Sapi perah								
Kerbau								
Unggas								
Kambing								
Domba								
Babi								
Total								

<sup>a</sup>Diisi dengan data populasi statistik Ditjen PKH

<sup>b</sup>Diisi dengan nilai faktor Emisi pada Tabel 7.1 apabila belum ada klasifikasi sistem pemeliharaan ternak atau nilai faktor emisi pada Tabel 7.2 apabila akan digunakan sistem pemeliharaan ternak sesuai klasifikasi (intensif, semi intensif, dan ekstensif)

<sup>c</sup>Diisi dengan nilai faktor Emisi pada Tabel 7.3 apabila belum ada klasifikasi sistem pengolahan kotoran ternak atau nilai faktor emisi pada Tabel 7.4 apabila sudah ada klasifikasi sistem pengolahan kotoran ternak

<sup>d,e</sup>Diisi dengan hasil perhitungan dari formula persamaan yang telah ada

<sup>f,g</sup>Diisi dengan emisi [kg CH<sub>4</sub> /tahun] yang telah dikonversikan ke [kg CO<sub>2</sub>-eq/tahun] dengan mengkalikan nilai di kolom d dan e menggunakan nilai konversi 28

<sup>h</sup>Diisi dengan penjumlahan nilai di kolom f dan g

**Tahapan Perhitungan Emisi CH<sub>4</sub> dengan Tier-1:**

Digunakan sebagai contoh adalah ternak domba dengan populasi sebanyak 8.980.000 ekor (sumber: statistik Ditjen PKH). Nilai faktor emisi fermentasi enterik (FE) adalah 5 kg CH<sub>4</sub>/ekor/tahun (Tabel 1).

- a. Emisi CH<sub>4</sub> enterik = FE<sub>(T)</sub> x (N<sub>(T)</sub> / 10<sup>6</sup>)  
(Persamaan 10.19 IPCC 2006)
- |      |                                    |
|------|------------------------------------|
| FE   | = 5 kg CH <sub>4</sub> /ekor/tahun |
| N(T) | = 8.980.000 ekor                   |
- b. Emisi CH<sub>4</sub> Enterik = 5 kg CH<sub>4</sub>/ekor/tahun x 8.980.000 ekor  
= 44.900.000 kg CH<sub>4</sub>/tahun  
= 0,0449 Juta ton CH<sub>4</sub>/tahun

Konversi emisi CH<sub>4</sub> menjadi CO<sub>2-eq</sub> adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Emisi CH}_4 \text{ Enteric (CO}_{2\text{-eq}}) &= \text{Emisi CH}_4 \text{ Enteric} \times 28 \\ &= 0,0449 \text{ Juta ton CH}_4\text{/tahun} \times 28 \\ &= 1,2572 \text{ Juta ton CO}_{2\text{-eq}}\text{/tahun} \end{aligned}$$

Apabila akan digunakan pengklasifikasikan sistem pemeliharaan (intensif, semi intensif, dan ekstensif, maka: i) nilai faktor emisi yang digunakan merujuk pada Tabel 7.2; dan ii) populasi ternak harus dibagi berdasarkan sistem pemeliharaan.

Nilai faktor emisi CH<sub>4</sub> kotoran (FE) adalah 0 kg CH<sub>4</sub>/ekor/tahun untuk domba (Tabel 3)

- a. Emisi CH<sub>4</sub> Kotoran = EF<sub>(T)</sub> x (N<sub>(T)</sub> / 10<sup>6</sup>) (Persamaan 10.22 IPCC 2006)
- |      |                                    |
|------|------------------------------------|
| EF   | = 0 kg CH <sub>4</sub> /ekor/tahun |
| N(T) | = 8.980.000 ekor                   |
- Emisi CH<sub>4</sub> Kotoran = 0 kg CH<sub>4</sub>/ekor/tahun x 8.980.000 ekor  
= 0 Juta ton CH<sub>4</sub>/tahun
- Emisi CH<sub>4</sub> Kotoran (CO<sub>2-eq</sub>)
- |  |
|--|
| = Emisi CH <sub>4</sub> Kotoran x 28     |
| = 0 Juta ton CH <sub>4</sub> /tahun x 28 |
| = 0 Juta ton CO <sub>2-eq</sub> /tahun   |

Apabila akan digunakan pengklasifikasikan sistem pengelolaan kotoran, maka: i) nilai faktor emisi yang digunakan merujuk pada Tabel 7.4; dan ii) populasi ternak harus dibagi berdasarkan sistem pengelolaan kotoran.

**Tahapan Perhitungan Emisi N<sub>2</sub>O dengan Tier-1:**

Digunakan sebagai contoh adalah ternak Domba dengan populasi sebanyak 8.980.000 ekor (Sumber statistik Ditjen PKH). Faktor Ekskresi N adalah 1,17 kg N/1000kg BB/hari

dan estimasi BB ternak sebesar 45 kg (Tabel 12) serta faktor N menjadi N<sub>2</sub>O dapat dilihat pada Tabel 6.

$$c. N_2O_{D(mm)} = \left[ \sum_s \left[ \sum_T (N_{(T)} \times F_{ex(h)} \times BB_{(t)}) \right] \times EF_{t(s)} \right] \times \frac{44}{28} \times 365$$

(Modifikasi Persamaan 10.25 IPCC 2006 oleh Puslitbangnak 2016)

Persamaan ini dapat dijabarkan menjadi:

Emisi N<sub>2</sub>O/tahun = Ekskresi N menjadi N<sub>2</sub>O x 44/28 x 365

Ekskresi N menjadi N<sub>2</sub>O = Ekskresi N x Faktor N menjadi N<sub>2</sub>O

Ekskresi N = Populasi ternak (ekor) x Faktor Ekskresi N x BB/1000

Populasi ternak = 8.980.000 ekor

Faktor Ekskresi N = 1,17 kg N/1000kg BB/hari

Faktor N menjadi N<sub>2</sub>O = Nilai variabel ini berbeda sesuai dengan jenis pengelolaan kotoran. diasumsikan pengolahan kotoran domba adalah 50% kering dan 50% disebar ke lahan, maka nilai faktor N menjadi N<sub>2</sub>O untuk pengolahan kering adalah 0,02 dan untuk disebar ke lahan adalah 0

Berat badan (BB) = 45 kg

44/28 = Bobot Molekul N<sub>2</sub>O/Bobot molekul N<sub>2</sub>

(Konstanta)

365 = Jumlah hari dalam 1 tahun

Ekskresi N (N/hari) = Faktor Ekskresi N x Populasi ternak x BB/1000

= 1,17 x 8.980.000 x 45/1000

= 472.797 kg N/hari

Ekskresi N jadi N<sub>2</sub>O = (Faktor N menjadi N<sub>2</sub>O kering x Ekskresi x 50%)+(Faktor N menjadi N<sub>2</sub>O di sebar di lahan x Ekskresi N x 50%)

= (0,02 x 472.797 kg N/hari x 0,5)+ (0 x 472.797 kg N/hari x 0,5)

= 4.727,97 kg N/hari

N<sub>2</sub>O teremisi selama 1 tahun = Ekskresi N = N<sub>2</sub>O x 44/28 x 365

= 2.711.8285,50 kg N<sub>2</sub>O teremisi/tahun

Konversi emisi N<sub>2</sub>O menjadi CO<sub>2-eq</sub> adalah sebagai berikut:

N<sub>2</sub>O teremisi selama 1 tahun (CO<sub>2-eq</sub>) = N<sub>2</sub>O teremisi selama 1 tahun x 265

= 2.711.8285,50 kg N<sub>2</sub>O teremisi/tahun x 265

= 718.634.554,355 kg CO<sub>2-eq</sub> teremisi/tahun

= 0,719 juta ton CO<sub>2-eq</sub> teremisi/tahun

Total Emisi peternakan diperoleh dari penjumlahan emisi CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O

### 7.6.2. Contoh perhitungan Tier-2

Pada prinsipnya persamaan untuk menghitung emisi CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O dari peternakan dengan menggunakan Tier-2 adalah sama dengan Tier-1. Perbedaannya terletak pada jenis ternak yang sudah dikelompokkan berdasarkan subkategori ternak dan nilai faktor

emisi sesuai dengan subkategorinya, seperti yang dijelaskan pada Tabel 7.7 dan Tabel 7.8. Gunakan *template* isian pada Tabel 7.14 untuk membantu menyelesaikan perhitungan dengan Tier-2.

Tabel 7.14. Emisi CH<sub>4</sub> dari ternak/tahun menggunakan Tier-2

Jenis ternak	Sub kategori	Populasi	Faktor emisi [kg CH <sub>4</sub> /ekor/tahun]		Emisi [kg CH <sub>4</sub> /tahun]		Emisi [kg CO <sub>2</sub> -eq /tahun]		Emisi CH <sub>4</sub> Total [kg CO <sub>2</sub> -eq /tahun]
			Enterik	Kotoran	Enterik	Kotoran	Enterik	Kotoran	
	0	a	b	c	d	e	f	g	h
Sapi potong									
Sapi perah									
Kerbau									
Unggas									
Kambing									
Domba									
Babi									
	Total								

<sup>0</sup>Subkategori diisi dengan subkategori ternak seperti pada Tabel 7.7 dan Tabel 7.8

<sup>a</sup>Diisi dengan data populasi statistik Ditjen PKH (Populasi total x presentase per subkategori (Tabel 7.11))

<sup>b</sup>Diisi dengan nilai faktor Emisi pada Tabel 7.1 apabila belum ada klasifikasi sistem pemeliharaan ternak atau digunakan nilai faktor emisi pada Tabel 7.2 apabila akan digunakan sistem pemeliharaan ternak sesuai klasifikasi (intensif, semi intensif, dan ekstensif)

<sup>c</sup>Diisi dengan nilai faktor Emisi pada Tabel 7.3 apabila belum ada klasifikasi sistem pengolahan kotoran ternak atau digunakan nilai faktor emisi pada Tabel 7.4 apabila sudah ada klasifikasi sistem pengolahan kotoran ternak

<sup>de</sup>Diisi dengan hasil perhitungan dengan formula yang sudah ada

<sup>fg</sup>Diisi dengan Emisi [kg CH<sub>4</sub>/tahun] yang telah dikonversikan ke [kg CO<sub>2</sub>-eq/tahun] dengan mengkalikan nilai di kolom d dan e menggunakan nilai konversi 28

<sup>h</sup>Diisi dengan penjumlahan nilai di kolom f dan g

#### Tahapan Perhitungan Emisi CH<sub>4</sub> dengan Tier-2:

Digunakan sebagai contoh adalah ternak domba dengan populasi sebanyak 8.980.000 ekor (Sumber statistik Ditjen PKH). Berdasarkan subkategori domba dibagi menjadi 3 kelompok, yakni anak, pertumbuhan, dan dewasa (Tabel 7.11). Nilai faktor emisi fermentasi enterik (FE) berbeda untuk setiap subkategori (Tabel 7.7), sedangkan faktor emisi CH<sub>4</sub> kotoran dapat dilihat pada Tabel 7.8.

### 7.6.2.1. Anak Domba

$$\begin{aligned} \text{a. Emisi CH}_4 \text{ enteric} &= FE_{(T)} \times (N_{(T)} / 10^6) \text{ (Persamaan 10.19 IPCC 2006)} \\ FE &= 1,3052 \text{ kg CH}_4/\text{ekor}/\text{tahun} \\ N_{(T)} &= 2.484.000 \text{ ekor (Proporsi anak domba 27,66\% dari 8.980.000} \\ &\text{ekor)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Emisi CH}_4 \text{ Enteric} &= 1,3052 \text{ kg CH}_4/\text{ekor}/\text{tahun} \times 2.484.000 \text{ ekor} \\ &= 3.241.945 \text{ kg CH}_4/\text{tahun} \\ &= 0,00324 \text{ juta ton CH}_4/\text{tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Emisi CH}_4 \text{ Enteric (CO}_{2\text{-eq}}) & \\ &= \text{Emisi CH}_4 \text{ Enteric} \times 28 \\ &= 0,00324 \text{ Juta ton CH}_4/\text{tahun} \times 28 \\ &= 0,091 \text{ Juta ton CO}_{2\text{-eq}}/\text{tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. Emisi CH}_4 \text{ Kotoran} &= EF_{(T)} \times (N_{(T)} / 10^6) \text{ (Persamaan 10.22 IPCC 2006)} \\ EF &= 0,0079 \text{ kg CH}_4/\text{ekor}/\text{tahun} \\ N_{(T)} &= 2.484.000 \text{ ekor} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Emisi CH}_4 \text{ Kotoran} &= 0,0079 \text{ kg CH}_4/\text{ekor}/\text{tahun} \times 2.484.000 \text{ ekor} \\ &= 0,00 \text{ Juta ton CH}_4/\text{tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Emisi CH}_4 \text{ Kotoran (CO}_{2\text{-eq}}) & \\ &= \text{Emisi CH}_4 \text{ Kotoran} \times 28 \\ &= 0,00 \text{ Juta ton CH}_4/\text{tahun} \times 28 \\ &= 0,00 \text{ Juta ton CO}_{2\text{-eq}}/\text{tahun} \end{aligned}$$

$$N_2O_{D(mm)} = \left[ \sum_s \left[ \sum_T (N_{(T)} \times F_{ex(h)} \times BB_{(t)}) \right] \times EF_{t(s)} \right] \times \frac{44}{28} \times 365$$

(Modifikasi Persamaan 10.25 IPCC 2006 oleh Puslitbangnak 2016)

Persamaan ini dapat dijabarkan menjadi:

$$\text{Emisi N}_2\text{O}/\text{tahun} = \text{Ekskresi N menjadi N}_2\text{O} \times 44/28 \times 365$$

$$\text{Ekskresi N menjadi N}_2\text{O} = \text{Ekskresi N} \times \text{Faktor N menjadi N}_2\text{O}$$

$$\text{Ekskresi N} = \text{Populasi ternak (ekor)} \times \text{Faktor Eksresi N} \times \text{BB}/1000$$

$$\text{Populasi ternak} = 2.484.000 \text{ekor}$$

$$\text{Faktor Ekskresi N} = 1,17 \text{ kg N}/1000 \text{kg BB}/\text{hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor N menjadi N}_2\text{O} &= \text{jika dilihat pengolahan kotoran domba adalah 50\% kering;} \\ &\text{50\% disebar ke lahan, maka Faktor N menjadi N}_2\text{O} \text{ untuk} \\ &\text{pengolahan kering adalah 0,02 dan untuk disebar ke lahan} \\ &\text{adalah 0} \end{aligned}$$

$$\text{BB} = 8 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
44/28 &= \text{Bobot Molekul N}_2\text{O}/\text{Bobot molekul N}_2 \text{ (Konstanta)} \\
\text{Ekskresi N (N/hari)} &= \text{Faktor Ekskresi N} \times \text{Populasi ternak} \times \text{BB}/1000 \\
&= 1,17 \times 2.484.000 \times 8/1000 \\
&= 23.250,24 \text{ kg N/hari} \\
\text{Ekskresi N jadi N}_2\text{O} &= (\text{Faktor N menjadi N}_2\text{O kering} \times \text{Ekskresi N} \times 50\%) + (\text{Faktor N} \\
&\quad \text{menjadi N}_2\text{O di sebar di lahan} \times \text{Ekskresi N} \times 50\%) \\
&= (0,02 \times 23.250,24 \text{ kg N/hari} \times 0,5) + \\
&\quad (0 \times 23.250,24 \text{ kg N/hari} \times 0,5) \\
&= 232,5024 \text{ kg N/hari} \\
\text{N}_2\text{O teremisi selama 1 tahun} &= \text{Ekskresi N jadi N}_2\text{O} \times 365 \times 44/28 \\
&= 133.356,7337 \text{ kg N}_2\text{O teremisi/tahun} \\
\text{N}_2\text{O teremisi selama 1 tahun (CO}_2\text{-eq)} &= \text{N}_2\text{O teremisi selama 1 tahun} \times 265 \\
&= 133.356,7337 \text{ kg N}_2\text{O teremisi/tahun} \times 265 \\
&= 35.339.534,431 \text{ kg CO}_2\text{-eq teremisi/tahun} \\
&= 0,0353 \text{ juta ton CO}_2\text{-eq teremisi/tahun}
\end{aligned}$$

### 7.6.2.2. Domba pertumbuhan

$$\begin{aligned}
\text{a. Emisi CH}_4 \text{ enterik} &= \text{FE}_{(T)} \times (\text{N}_{(T)} / 10^6) \\
&\quad \text{(Persamaan 10.19 IPCC 2006)} \\
\text{FE} &= 4,3304 \text{ kg CH}_4/\text{ekor/tahun} \\
\text{N}_{(T)} &= 2.326.000 \text{ ekor (25,90\% dari 9.980.000 ekor)} \\
\text{Emisi CH}_4 \text{ Enterik} &= 4,3304 \text{ kg CH}_4/\text{ekor/tahun} \times 2326000 \text{ ekor} \\
&= 10.071.731 \text{ kg CH}_4/\text{tahun} \\
&= 0,0101 \text{ Juta ton CH}_4/\text{tahun} \\
\text{Emisi CH}_4 \text{ Enteric (CO}_2\text{-eq)} &= \text{Emisi CH}_4 \text{ Enteric} \times 28 \\
&= 0,0101 \text{ Juta ton CH}_4/\text{tahun} \times 28 \\
&= 0,2828 \text{ Juta ton CO}_2\text{-eq /tahun} \\
\text{b. Emisi CH}_4 \text{ Kotoran} &= \text{EF}_{(T)} \times (\text{N}_{(T)} / 10^6) \\
&\quad \text{(Persamaan 10.22 IPCC 2006)} \\
\text{EF} &= 0,0465 \text{ kg CH}_4/\text{ekor/tahun} \\
\text{N}_{(T)} &= 2.326.000 \text{ ekor} \\
\text{Emisi CH}_4 \text{ Kotoran} &= 0,0465 \text{ kg CH}_4/\text{ekor/tahun} \times 2326000 \text{ ekor} \\
&= 0,00 \text{ Juta ton CH}_4/\text{tahun} \\
\text{Emisi CH}_4 \text{ Kotoran (CO}_2\text{-eq)} &= \text{Emisi CH}_4 \text{ Kotoran} \times 28 \\
&= 0,00 \text{ Juta ton CH}_4/\text{tahun} \times 28 \\
&= 0,00 \text{ Juta ton CO}_2\text{-eq/tahun}
\end{aligned}$$

$$c. \quad N_2O_{D(mm)} = \left[ \sum_s \left[ \sum_T (N_{(T)} \times F_{ex(h)} \times BB_{(t)}) \right] \times EF_{t(s)} \right] \times \frac{44}{28} \times 365$$

(Modifikasi Persamaan 10.25 IPCC 2006 oleh Puslitbangnak 2016)

Persamaan ini dapat dijabarkan menjadi:

Emisi  $N_2O$ /tahun = Ekskresi N menjadi  $N_2O$  x 44/28 x 365

Ekskresi N menjadi  $N_2O$  = Ekskresi N x Faktor N menjadi  $N_2O$

Ekskresi N = Populasi ternak (ekor) x Faktor Ekskresi N x BB/1000

Populasi ternak	=	2.326.000 ekor
Faktor Ekskresi N	=	1,17 kg N/1000kg BB/hari
Faktor N menjadi $N_2O$	=	jika dilihat pengolahan kotoran domba adalah 50% kering; 50% di sebar ke lahan, maka Faktor N menjadi $N_2O$ untuk pengolahan kering adalah 0,02 dan untuk disebar ke lahan adalah 0
BB	=	20 kg
Ekskresi N (N/hari)	=	Faktor Ekskresi N x Populasi ternak x BB/1000
	=	1,17 x 2.326.000 x 20/1000
	=	54.428,4 kg N/hari
Ekskresi N jadi $N_2$	=	(Faktor N menjadi $N_2O$ kering x Ekskresi N x 50%) + (Faktor N menjadi $N_2O$ di sebar di lahan x Ekskresi N x 50%)
	=	(0,02 x 54.428,4kg N/hari x 0,5) + (0 x 54.428,4kg N/ hari x 0,5)
	=	544,28 kg N/hari
$N_2O$ teremisi selama 1 tahun	=	Ekskresi N jadi $N_2O$ x 365 x 44/28
	=	312.185,75 kg $N_2O$ teremisi/tahun
$N_2O$ teremisi selama 1 tahun ( $CO_{2-eq}$ )	=	$N_2O$ teremisi selama 1 tahun x 265
	=	312.185,75 kg $N_2O$ teremisi/tahun x 265
	=	82.729.224,12 kg $CO_{2-eq}$ teremisi/tahun
	=	0,0827 juta ton $CO_{2-eq}$ teremisi/tahun

**7.6.2.3. Domba dewasa**

- a. Emisi CH<sub>4</sub> enterik =  $FE_{(T)} \times (N_{(T)} / 10^6)$   
(Persamaan 10.19 IPCC 2006)
- FE = 5,2502 kg CH<sub>4</sub>/ekor/tahun
- N<sub>(T)</sub> = 4.170.000 ekor (Proporsi Domba dewasa 46,44% x 9.980.000 ekor)
- Emisi CH<sub>4</sub> Enterik = 5,2502 kg CH<sub>4</sub>/ekor/tahun x 4.170.000 ekor  
= 21.894.972 kg CH<sub>4</sub>/tahun  
= 0,0219 juta ton CH<sub>4</sub>/tahun
- Emisi CH<sub>4</sub> Enteric (CO<sub>2</sub>-eq) = Emisi CH<sub>4</sub> enterik x 28  
= 0,0219 juta ton CH<sub>4</sub>/tahun x 28  
= 0,6132 juta ton CO<sub>2</sub>-eq/tahun
- b. Emisi CH<sub>4</sub> Kotoran =  $EF_{(T)} \times (N_{(T)} / 10^6)$  (Persamaan 10.22 IPCC 2006)
- EF = 0,0752 kg CH<sub>4</sub>/ekor/tahun
- N<sub>(T)</sub> = 4.170.000 ekor
- Emisi CH<sub>4</sub> Kotoran = 0,0752 kg CH<sub>4</sub>/ekor/tahun x 4.170.000 ekor  
= 0,0003 Juta ton CH<sub>4</sub>/tahun
- Emisi CH<sub>4</sub> Kotoran (CO<sub>2</sub>-eq) = Emisi CH<sub>4</sub> Kotoran x 28  
= 0,0003 Juta ton CH<sub>4</sub>/tahun x 28  
= 0,0084 Juta ton CO<sub>2</sub>-eq/tahun  
= 0,01 Juta ton CO<sub>2</sub>-eq/tahun
- c.  $N_2O_{D(mm)} = \left[ \sum_s \left[ \sum_T (N_{(T)} \times F_{ex(h)} \times BB_{(t)}) \right] \times EF_{t(s)} \right] \times \frac{44}{28} \times 365$   
(Modifikasi Persamaan 10.25 IPCC 2006 oleh Puslitbangnak 2016)
- Persamaan ini dapat dijabarkan menjadi:
- Emisi N<sub>2</sub>O/tahun = Ekskresi N menjadi N<sub>2</sub>O x 44/28 x 365
- Ekskresi N menjadi N<sub>2</sub>O = Ekskresi N x Faktor N menjadi N<sub>2</sub>O
- Ekskresi N = Populasi ternak (ekor) x Faktor Eksresi N x BB/1000
- Populasi ternak = 4.170.000ekor
- Faktor Ekskresi N = 1,17 kg N/1000kg BB/hari
- Faktor N menjadi N<sub>2</sub>O = jika dilihat pengolahan kotoran domba adalah 50% kering; 50% di sebar ke lahan, maka Faktor N menjadi N<sub>2</sub>O untuk pengolahan kering adalah 0,02 dan untuk disebar ke lahan adalah 0
- BB = 25 kg
- Ekskresi N (N/hari) = Faktor Ekskresi N x Populasi ternak x BB/1000  
= 1,17 x 4.170.000 x 25/1000  
= 121.972,5 kg N/hari

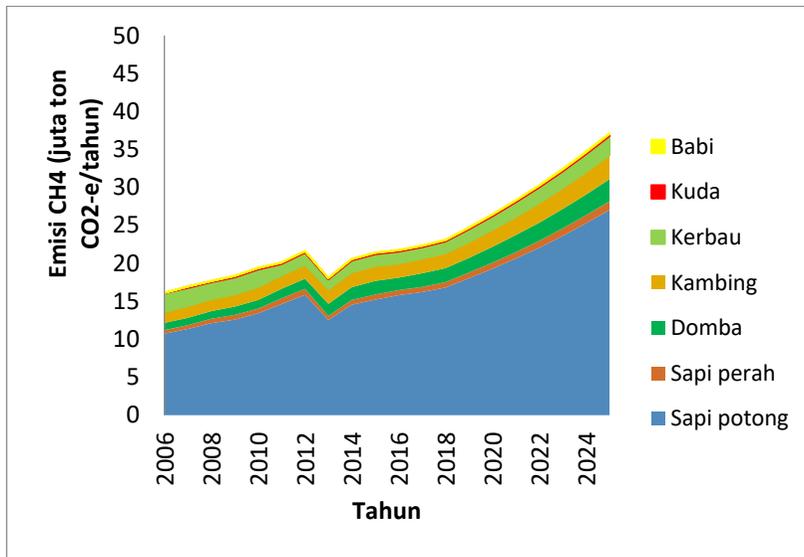
$$\begin{aligned}
 \text{Ekskresi N jadi N}_2\text{O} &= (\text{Faktor N menjadi N}_2\text{O kering x Ekskresi N x 50\%}) + (\text{Faktor N menjadi N}_2\text{O di sebar di Lahan x Ekskresi N x 50\%}) \\
 &= (0,02 \times 121.972,5 \text{ kg N/hari} \times 0,5) + (0 \times 121.972,5 \text{ kg N/hari} \times 0,5) \\
 &= 1.219,72 \text{ kg N/hari} \\
 \text{N}_2\text{O teremisi selama 1 tahun} &= \text{Ekskresi N jadi N}_2\text{O} \times 365 \times 44/28 \\
 &= 699.599,41 \text{ kg N}_2\text{O teremisi/tahun} \\
 \text{N}_2\text{O teremisi selama 1 tahun (CO}_2\text{-eq)} &= \text{N}_2\text{O teremisi selama 1 tahun} \times 265 \\
 &= 699.599,41 \text{ kg N}_2\text{O teremisi/tahun} \times 265 \\
 &= 185.393.843,836 \text{ kg CO}_2\text{-eq teremisi/tahun} \\
 &= 0,185 \text{ juta ton CO}_2\text{-eq teremisi/tahun}
 \end{aligned}$$

d. Total Emisi GRK diprediksi pada Domba tahun 2006 dengan Tier-2

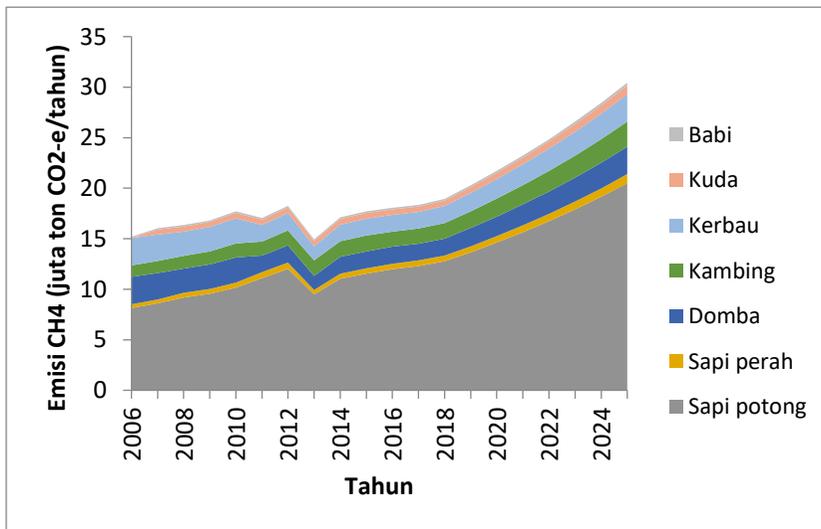
$$\begin{aligned}
 \text{Total Emisi CH}_4 \text{ enterik} &= \text{Emisi CH}_4 \text{ enterik Anak} + \text{Emisi CH}_4 \text{ enterik Pertumbuhan} + \text{Emisi CH}_4 \text{ enterik Dewasa} \\
 &= (0,091 + 0,2828 + 0,6132) \text{ juta ton CO}_2\text{-eq /tahun} \\
 &= 0,987 \text{ Juta ton CO}_2\text{-eq/tahun} \\
 \text{Total Emisi CH}_4 \text{ Kotoran} &= \text{Emisi CH}_4 \text{ kotoran Anak} + \text{Emisi CH}_4 \text{ kotoran Pertumbuhan} + \text{Emisi CH}_4 \text{ kotoran Dewasa} \\
 &= (0,00 + 0,00 + 0,01) \text{ juta ton CO}_2\text{-eq/tahun} \\
 &= 0,01 \text{ juta ton CO}_2\text{-eq /tahun} \\
 \text{Total Emisi N}_2\text{O} &= \text{Emisi N}_2\text{O Anak} + \text{Emisi N}_2\text{O Pertumbuhan} + \text{Emisi N}_2\text{O Dewasa} \\
 &= (0,0353 + 0,0827 + 0,185) \text{ juta ton CO}_2\text{-eq/tahun} \\
 &= 0,303 \text{ juta ton CO}_2\text{-eq/tahun}
 \end{aligned}$$

### 7.6.3. Hasil Perhitungan Prediksi Emisi GRK

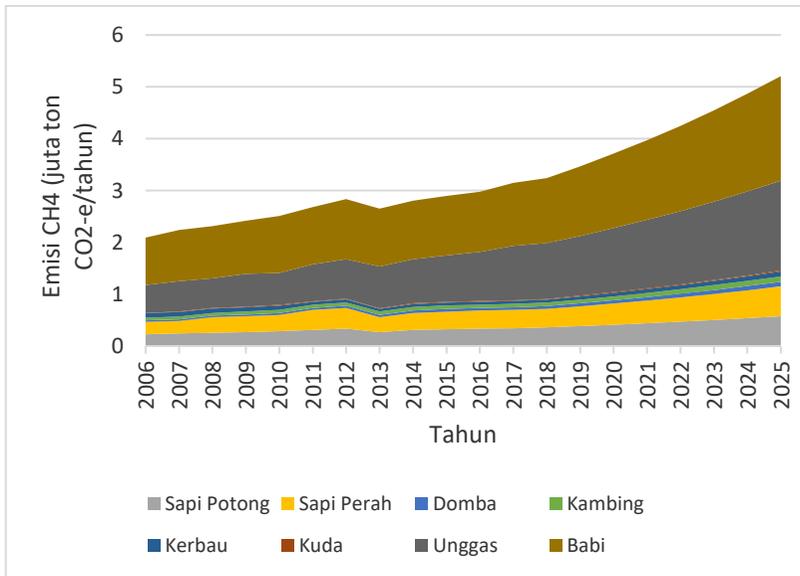
Hasil perhitungan prediksi emisi GRK dengan menggunakan metode Tier-1 dan Tier-2 dari subsektor peternakan dari tahun 2006 sampai 2018 dan proyeksinya dari tahun 2019 sampai 2025 dapat dilihat pada Gambar 7.1, 7.2, 7.3, 7.4, 7.5, dan 7.6.



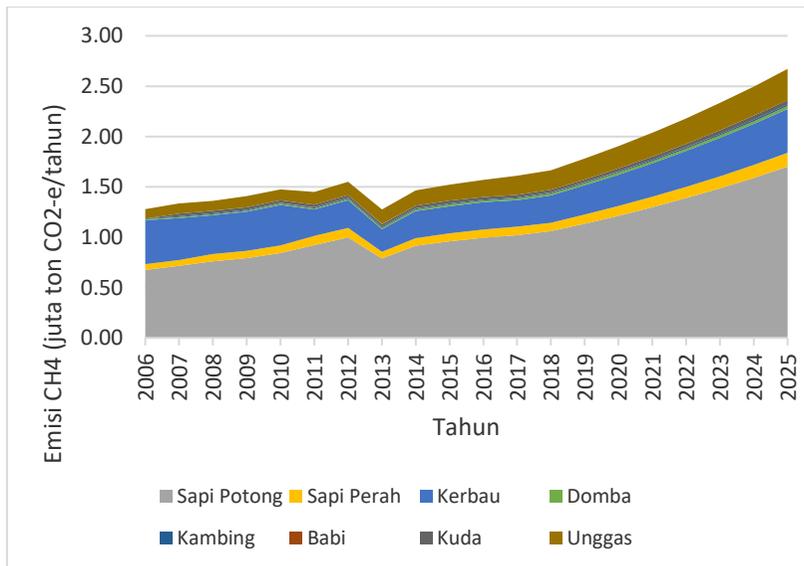
Gambar 7.3. Emisi CH<sub>4</sub> fermentasi enterik ternak di Indonesia dari tahun 2006 sampai 2018 dan proyeksinya dari tahun 2019 sampai 2025 menggunakan Tier-1



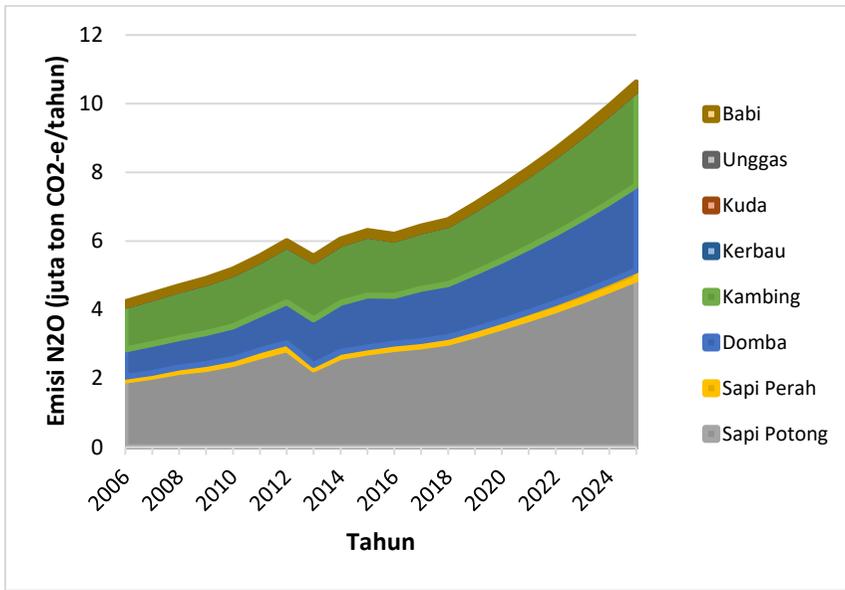
Gambar 7.4 Emisi CH<sub>4</sub> fermentasi enterik di Indonesia dari tahun 2006 sampai 2018 dan proyeksinya dari tahun 2019 sampai 2025 menggunakan Tier-2



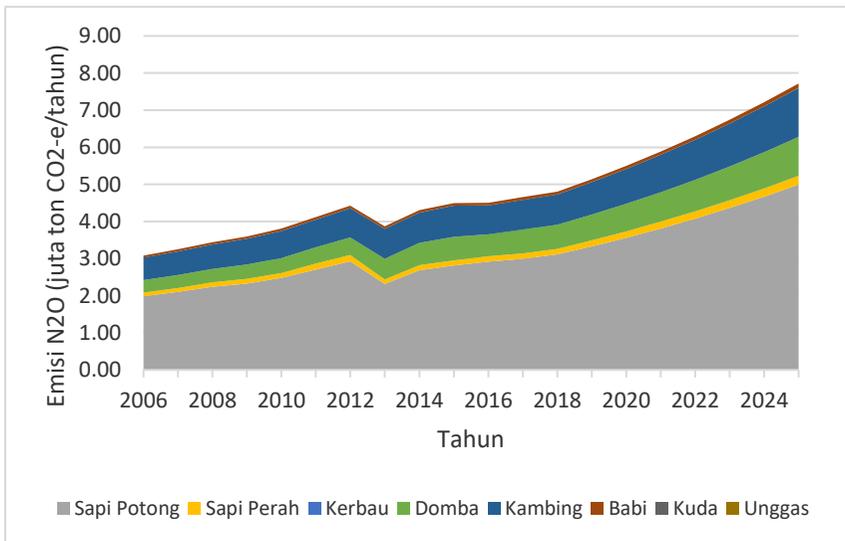
Gambar 7.5. Emisi CH<sub>4</sub> dari kotoran ternak di Indonesia dari tahun 2006 sampai 2018 dan proyeksinya dari tahun 2019 sampai 2025 menggunakan Tier-1



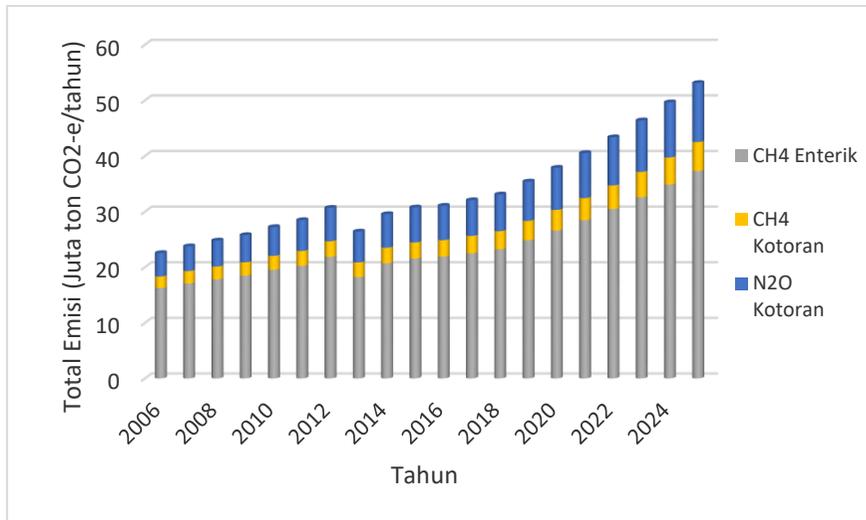
Gambar 7.6. Emisi CH<sub>4</sub> dari kotoran ternak di Indonesia dari tahun 2006 sampai 2018 dan proyeksinya dari tahun 2019 sampai 2025 menggunakan Tier-2



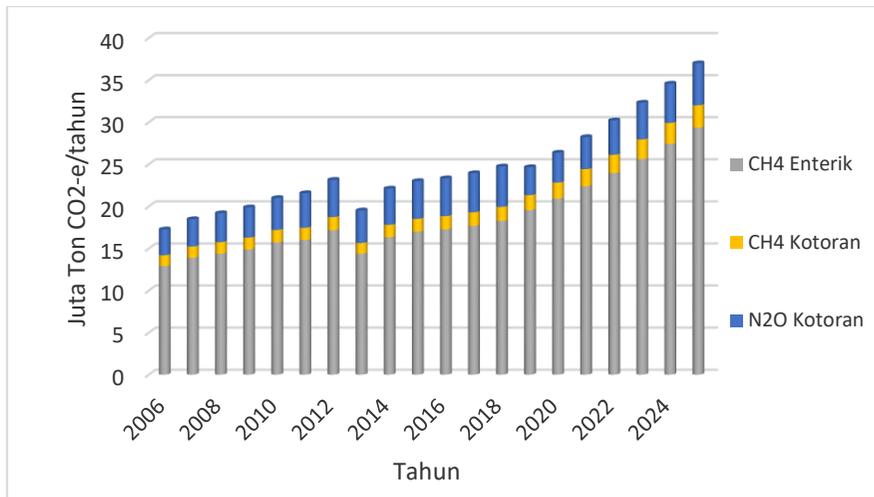
Gambar 7.7. Emisi N<sub>2</sub>O dari kotoran ternak di Indonesia dari tahun 2006 sampai 2018 dan proyeksinya dari tahun 2019 sampai 2025 menggunakan Tier-1



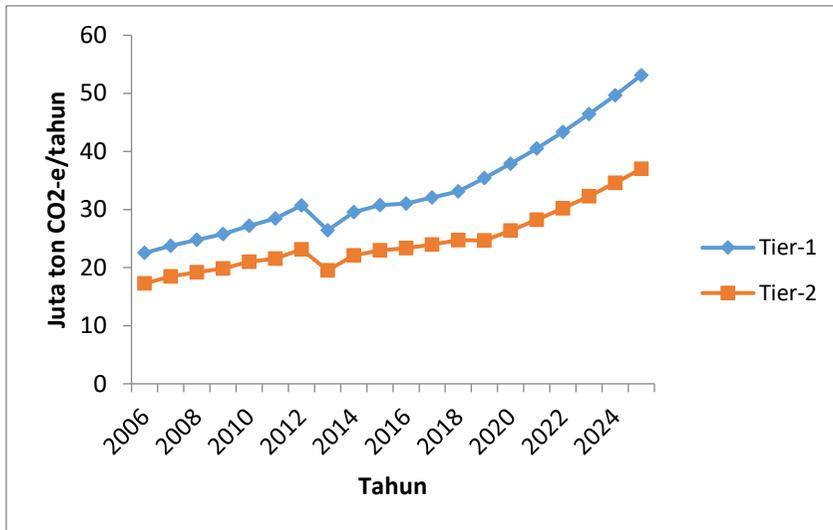
Gambar 7.8. Emisi N<sub>2</sub>O dari kotoran ternak di Indonesia dari tahun 2006 sampai 2018 dan proyeksinya dari tahun 2019 sampai 2025 menggunakan Tier-2



Gambar 7.9. Total emisi GRK dari subsektor peternakan di Indonesia dari tahun 2006 sampai 2018 dan proyeksinya dari tahun 2019 sampai 2025 menggunakan Tier-1



Gambar 7.10. Total emisi GRK dari subsektor peternakan di Indonesia dari tahun 2006 sampai 2018 dan proyeksinya dari tahun 2019 sampai 2025 menggunakan Tier-2



Gambar 7.11. Perbandingan total emisi menggunakan Tier-1 dan Tier-2

Tahun 2012 hingga tahun 2013, terjadi penurunan emisi GRK secara drastis (Gambar 7.11). Hal ini disebabkan pada periode tersebut terjadi penurunan populasi sapi potong akibat dari adanya pembatasan impor daging sehingga terjadi pengurangan terhadap populasi sapi potong nasional. Sebagaimana diketahui bahwa sapi potong merupakan ternak dengan sumbangan GRK tertinggi sehingga penurunan populasi sapi potong berdampak signifikan terhadap emisi GRK.

Hasil perhitungan memperlihatkan adanya perbedaan nilai emisi antara metode Tier-1 dan Tier-2. Tahun 2018, terdapat selisih total emisi GRK sebanyak 8,35 juta ton CO<sub>2</sub>-eq. lebih tinggi pada perhitungan menggunakan metode Tier-1 dibandingkan dengan metode Tier-2. Hal ini disebabkan pada metode Tier-2 telah digunakan faktor emisi spesifik lokasi Indonesia, bobot badan ternak Indonesia, dimana nilai-nilai ini lebih rendah dibandingkan dengan *default factor* IPCC 2006 yang digunakan untuk perhitungan dengan menggunakan metode Tier-1 (Tabel 7.1, Tabel 7.3, Tabel 7.7, dan Tabel 7.8).

Berdasarkan pada kondisi tersebut, maka untuk memperoleh data yang lebih representatif untuk kondisi di Indonesia, disarankan perhitungan GRK menggunakan metode Tier-2.

## 7.7. CONTOH AKSI ADAPTASI DAN NILAI TAMBAH MITIGASI

Pada subsektor peternakan hanya ada program yang mengarah kepada peningkatan produksi dan peningkatan kesehatan hewan yang kesemuanya berhubungan dengan peningkatan adaptasi terhadap perubahan iklim. Namun untuk konsisten dengan istilah yang digunakan secara nasional, maka istilah mitigasi masih sering digunakan tetapi harus dimaknai bahwa mitigasi tersebut merupakan *co-benefit* dari adaptasi.

Rencana Aksi Mitigasi subsektor peternakan dituangkan dalam bentuk Rencana Aksi Nasional (RAN) dan diterjemahkan oleh setiap daerah dalam Rencana Aksi Daerah (RAD). Dari beberapa sumber emisi GRK subsektor Peternakan emisi N<sub>2</sub>O dari kotoran ternak paling banyak jumlahnya dan diikuti oleh emisi CH<sub>4</sub> dari proses pencernaan. Emisi CH<sub>4</sub> dari kotoran ternak relatif sedikit (Gambar 7.12. dan Gambar 7.13.). Dengan demikian usaha mitigasi difokuskan pada pengelolaan kotoran ternak untuk menurunkan emisi N<sub>2</sub>O dan pengelolaan pakan ternak untuk menurunkan emisi CH<sub>4</sub> dari proses pencernaan. Beberapa pendekatan yang dapat ditempuh untuk menurunkan emisi dari subsektor Peternakan adalah:

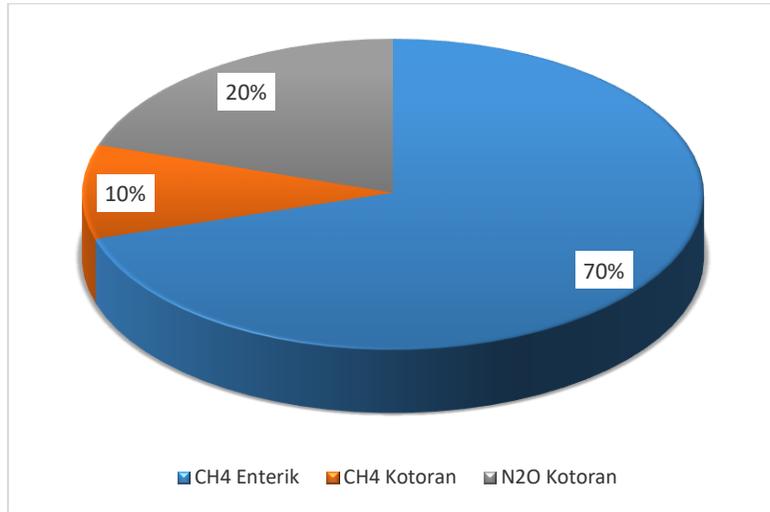
- Penerapan teknologi pengolahan bahan pakan berserat kasar tinggi seperti jerami padi, limbah pertanian, dan perkebunan melalui fermentasi dan ammoniasi. Teknologi ini ditujukan untuk mengawetkan bahan pakan yang dapat digunakan sebagai cadangan pakan di musim kemarau. Selain itu, proses pengolahan juga dapat meningkatkan kualitas pakan yang mengandung serat kasar tinggi (He et al. 2019). Kondisi ini dapat menjamin ketersediaan pakan dengan kualitas bagus dan jumlah yang cukup, yang selanjutnya dapat dianggap sebagai salah satu aksi adaptasi pada subsektor peternakan. Disamping itu, peningkatan kualitas pakan juga memberikan nilai tambah berupa menurunnya emisi CH<sub>4</sub> dari fermentasi enterik dan ketersediaan pakan pada musim kemarau.
- Penerapan teknik suplementasi bahan pakan berkualitas baik terhadap bahan pakan berkualitas rendah. Tanaman leguminosa seperti kaliandra, lamtoro dan gliricidia serta daun singkong dapat digunakan sebagai pakan suplemen. Teknik suplementasi dapat meningkatkan produktivitas ternak, karena berpengaruh pada perbaikan reproduksi dan produksi ternak. Selain itu, penggunaan suplementasi pakan dapat meningkatkan daya cerna pakan berkualitas rendah seperti jerami maupun hasil samping tanaman. Kecernaan pakan yang tinggi akan berdampak pada efisiensi penggunaan pakan, yang pada akhirnya akan dapat meningkatkan produksi ternak.

Teknik suplementasi ini juga berdampak pada pengurangan produksi gas CH<sub>4</sub> dari proses fermentasi enterik di dalam rumen sebagai nilai tambah dari aksi adaptasi.

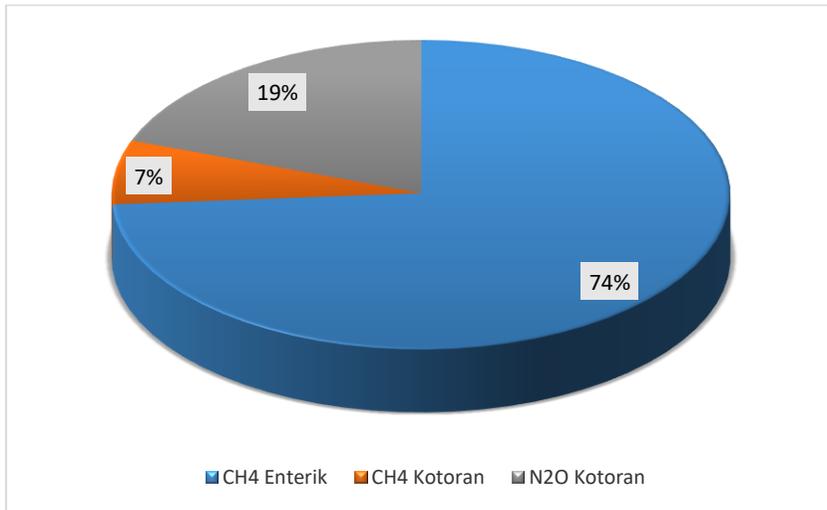
Penurunan emisi gas CH<sub>4</sub> yang dihasilkan dari ternak memberikan nilai positif bagi ternak, karena gas CH<sub>4</sub> yang dihasilkan merupakan energi pakan yang terbuang ketika dikonsumsi oleh ternak. Dengan demikian penurunan produksi gas CH<sub>4</sub> dari setiap ternak mengandung arti adanya penyelamatan energi yang terbuang untuk kemudian digunakan sebagai tambahan energi untuk produksi ternak. Hal ini menyebabkan terjadinya peningkatan produktivitas ternak.

- Penyusunan ransum komplit yang terdiri dari limbah pertanian dan perkebunan sebagai sumber serat dengan konsentrat yang berasal dari biji-bijian maupun limbah industri pertanian/perkebunan dapat meningkatkan pencernaan pakan yang akan mempengaruhi efisiensi pakan. Peningkatan efisiensi pakan berkualitas diharapkan mampu meningkatkan produksi ternak. Peningkatan pencernaan dan efisiensi penggunaan pakan selanjutnya akan dapat menurunkan produksi gas CH<sub>4</sub> fermentasi enterik di dalam rumen. Manajemen pemberian pakan dengan menggunakan bahan baku lokal dapat menurunkan emisi gas CH<sub>4</sub> fermentasi enterik khususnya dari proses pencernaan. Diperoleh penurunan yang bervariasi, mulai dari 8% sampai 20%, tergantung kepada teknik mitigasi yang digunakan (Purnomoadi et al. 2005; Widiawati dan Thalib 2006).
- Sistem integrasi tanaman-ternak di wilayah perkebunan kelapa sawit (sawit-sapi), perkebunan kakao (kakao-kambing), pertanian/padi (padi-sapi) merupakan penyediaan pakan secara berkesinambungan untuk ternak di sekitar lokasi perkebunan melalui pemanfaatan produk samping dari tanaman perkebunan maupun olahannya sebagai pakan. Integrasi yang dimaksud dapat diartikan bahwa ternak berada langsung di dalam areal perkebunan atau pertanian secara umum. Arti lainnya adalah bahwa ternak dan tanaman berada pada areal yang berbeda, tetapi pakan yang diberikan merupakan produk dari tanaman tersebut. Ketersediaan pakan yang cukup secara terus menerus akan berpengaruh terhadap peningkatan produksi ternak. Sistem integrasi tanaman ternak tersebut juga merupakan bentuk *carbon cycling* dan upaya mitigasi CH<sub>4</sub> dari sub-sektor peternakan.
- Pemanfaatan kotoran ternak untuk menghasilkan energi melalui proses biogas. Pembangunan unit biogas skala kecil untuk peternakan rakyat dengan kepemilikan 4-5 ekor per kepala keluarga (KK) dapat dilakukan dengan sistem penggunaan bersama beberapa KK. Energi yang dihasilkan dapat dimanfaatkan untuk penerangan maupun memasak.
- Proses pembuatan kompos yang menghasilkan pupuk organik merupakan aksi adaptasi untuk tanaman yang memanfaatkannya. Proses pembuatan kompos yang sederhana dari kotoran ternak dengan sistem tertutup juga dapat mengurangi emisi gas CH<sub>4</sub> selama proses pengomposan. Penambahan starter/mikroba untuk

mempercepat proses pengomposan juga merupakan upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi emisi gas CH<sub>4</sub> dari kotoran ternak.



Gambar 7.12. Presentase produksi GRK berdasarkan sumber emisi tahun 2018 menggunakan Tier-1



Gambar 7.13. Presentase produksi GRK berdasarkan sumber emisi tahun 2018 menggunakan Tier-2

## DAFTAR BACAAN

- Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan. 2011. Statistik Peternakan dan Kesehatan Hewan. Jakarta (Indonesia). Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan. Kementerian Pertanian. <http://ditjenpkh.pertanian.go.id>
- Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan. 2012. Statistik Peternakan dan Kesehatan Hewan. Jakarta (Indonesia). Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan. Kementerian Pertanian. <http://ditjenpkh.pertanian.go.id>
- Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan. 2016. Statistik Peternakan dan Kesehatan Hewan. Jakarta (Indonesia). Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan. Kementerian Pertanian. <http://ditjenpkh.pertanian.go.id>
- Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan. 2018. Statistik Peternakan dan Kesehatan Hewan. Jakarta (Indonesia). Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan. Kementerian Pertanian. <http://ditjenpkh.pertanian.go.id>
- Dlamini AM, Dube MA. 2014. Contribution of animal agriculture to greenhouse gases production in Swaziland. *American Journal of Climate Change* 3:253-260.
- 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.
- He L, Zhou W, Wang C, Yang F, Chen X, Zhang Q. 2019. Effect of cellulase and *Lactobacillus casei* on ensiling characteristics, chemical composition, antioxidant activity, and digestibility of mulberry leaf silage. *Journal of dairy Science* 102(11):9919-9931.
- Hou Y, Velthof GL, Oenema O. 2015. Mitigation of ammonia, nitrous oxide and methane emissions from kotoran management chains: A meta-analysis and integrated assessment. *Global Change Biology* 21:1293-1312.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K, editors. Kanakawa (Jpn): Institute for Global Environmental Strategies. 2006.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. IPCC Fifth Assessment Report. [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch).
- Jonker JN, Kohn RA, Erdman RA. 1998. Using milk urea nitrogen to predict nitrogen excretion and utilization efficiency in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 81:2681-2692.
- Meadows R. 2016. Curbing livestock emissions: ammonia, greenhouse gases, and odors. *CSA News Magazine* 61 (9): 8-11.

- Naqvi SMK, Sejian V. 2011. Global climate change: role of livestock. *Asian J. Agric. Sci.* 3 (1): 19-25.
- Purnomoadi A, Rianto E, Terada F. 2002. Methane emission from buffalo fed rice straw in Indonesia. Proc. The 3rd International Seminar on Tropical Animal Production, Part 2. Supporting Papers. Faculty of Animal Science, Gadjah Mada University, Yogyakarta, Indonesia. 190-194.
- Puslitbangnak 2016. *Unpublished*.
- Puslitbangnak. 2017. Indonesian National Green House Gas Inventory From Livestock 2016 Calculated Using An IPCC Tier 2 Approach. Report. Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Rojas-Downing MM, Nejadhashemi AP, Harrigan T, Woznicki SA. 2017. Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Climate Risk Management Journal.* 16 (2017) p. 145–163. Elsevier.
- Tauseef SM, Premalatha M, Abbasi T, Abbasi SA. 2013. Methane capture from livestock kotoran: Review. *Journal of Environmental Management* 117:187-207.
- Widiawati Y. 2013. Estimation of Methane Emission from Enteric Fermentation and Manure Management of Domestic Livestock in Indonesia. Proceedings of the 5<sup>th</sup> Greenhouse Gasses and Animal Agriculture Conference (GGAA 2013). Dublin (Irel). p. 443.
- Widiawati Y, Rofiq MN, Tiesnamurti B. 2016. Methane Emission Factors for Enteric Fermentation in Beef Cattle using IPCC Tier-2 Method in Indonesia. *JITV* 21(2): 101-111. DOI: <http://dx.doi.org/10.14334/jitv.v21i2.1358>
- Widiawati Y, Thalib A. 2006. Comparison of fermentation kinetics (in vitro) of grass and shrub legume leaves: The pattern of gas production, organic matter degradation, pH and NH<sub>3</sub> production. *JITV* 11(4): 266-272. DOI: <http://dx.doi.org/10.14334/jitv.v11i4.536>
- Widiawati Y, Tiesnamurti B. 2012. Pakan lokal, derajat konversi metana (methane conversion rate) dan produktivitas ternak potong di Indonesia. Potensi Bahan Pakan Lokal untuk Menurunkan Gas Metana Ternak Ruminansia. Badan Penelitian dan pengembangan Pertanian, IAARD Press: Jakarta. Halaman 1-21.



## 8. PENDUGAAN EMISI GAS RUMAH KACA DARI LAHAN GAMBUT

**Maswar, Ai Dariah, Setiari M, dan F. Agus**

*Balai Penelitian Tanah, Bogor*

### 8.1. LANDASAN TEORI

Lahan gambut menyimpan cadangan karbon pada berbagai pools yaitu: pada biomasa tanaman, serasah di bawah tegakan hutan gambut, dan lapisan tanah/material gambut itu sendiri. Dari berbagai pool karbon tersebut, lapisan tanah gambut menyimpan karbon dalam jumlah paling banyak. Lahan gambut dunia menyimpan karbon yang sangat banyak yakni diperkirakan sebanyak 550 Giga ton, atau setara dengan 75% dari seluruh karbon di atmosfer (Alex dan Joosten 2008; Joosten 2009). Khusus di Indonesia yang mewakili daerah gambut tropika, menyimpan cadangan karbon peringkat tiga terbesar di dunia (setelah Kanada dan Rusia) yakni sekitar 54 Giga ton (Joosten 2009).

Luas lahan gambut Indonesia sekitar 14,9 juta hektar (Ritung et al. 2011). Dari luasan tersebut yang masih tersisa sebagai hutan sekitar 47,50%, perkebunan 12,37%, Hutan Tanaman Industri (HTI) 4,03%, lahan pertanian 4,85%, sawah 1,48%, Semak belukar 20,26%, sisanya pertambangan, pemukiman, rwa, lahan terbuka (Wahyunto *et al.* 2017). Konsekwensi logis dari pemanfaatan lahan gambut untuk budidaya tersebut adalah adanya pembuatan drainase, hal ini menyebabkan terjadinya peningkatan kehilangan karbon terutama dalam bentuk: emisi CO<sub>2</sub> ke atmosfer, dan hanyutnya karbon terlarut (*disolved organik carbon*) bersama aliran air drainase yang keluar dari lahan gambut. Menurut Agus dan Subikse (2008) lahan gambut yang terganggu dan terpengaruh drainase, emisinya akan meningkat tajam, hal ini disebabkan karena meningkatnya aktivitas mikroba dan banyaknya bahan organik yang mudah terdekomposisi.

Untuk meminimumkan dampak negatif dari aktivitas pengelolaan lahan gambut tropika, khususnya Indonesia, maka perlu adanya upaya atau tindakan nyata yang dapat mendorong penurunan laju emisi karbon dari lahan gambut yang telah terlanjur dikonversi dan/atau didrainase untuk aktivitas budidaya pertanian atau perkebunan tersebut.

### 8.2. LAHAN GAMBUT

Gambut merupakan tanah hasil akumulasi timbunan bahan organik dengan komposisi lebih dari 65% yang terbentuk secara alami dalam jangka waktu lama (ribuan

tahun) dari material vegetasi yang tumbuh di atasnya yang terhambat proses dekomposisinya karena suasana anaerob dan/atau basah. Setiap lahan gambut mempunyai karakteristik yang berbeda tergantung dari sifat-sifat bahan alami penyusunnya yang terdiri dari sifat fisika, kimia, dan biologi serta macam sedimen di bawahnya. Sifat-sifat tersebut akan menentukan daya dukung wilayah gambut, menyangkut kapasitasnya sebagai media tumbuh, habitat biota, keanekaragaman hayati, dan hidrotopografi (Peraturan Nomor 14/Permentan/PL.110/2/ 2009).

Berdasarkan ilmu taksonomi tanah, gambut dikenal dengan istilah '*Histosols*', atau yang populer dalam bahasa Inggris disebut sebagai *peat*. Sesuai kaidah umum klasifikasi, tanah disebut sebagai tanah organik (*Histosols*) adalah apabila lebih dari separuh lapisan tanah teratas 80 cm merupakan bahan tanah organik atau apabila bahan tanah organik dengan ketebalan berapa saja terletak di atas batuan atau material fragmen dengan lubang diantaranya terisi oleh bahan organik (Soil Survey Staff 2010). Bahan tanah organik sendiri adalah tanah dengan kandungan C organik sebesar 12–18% atau lebih tergantung dari kandungan liat dalam tanah. Istilah 'gambut' sendiri diserap dari bahasa daerah Banjar, yaitu salah satu nama kecamatan di Provinsi Kalimantan Selatan.

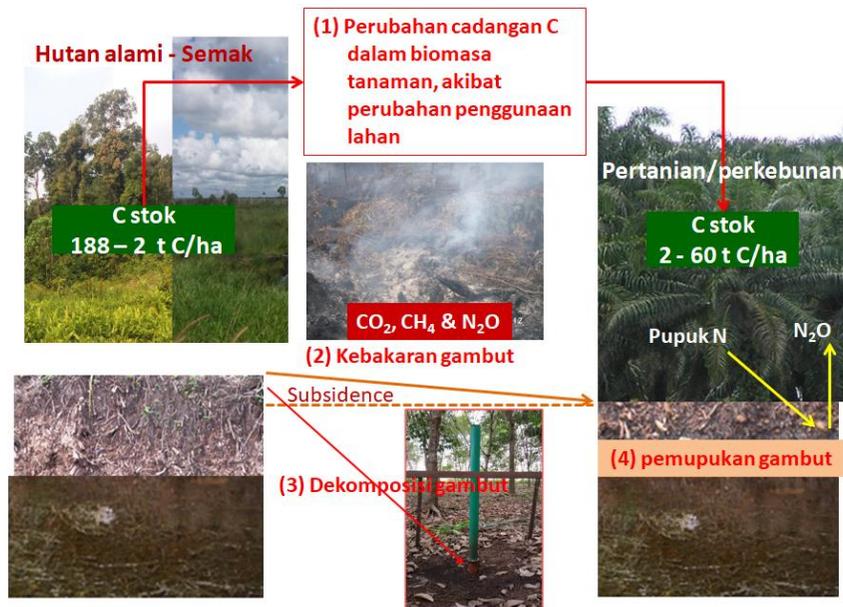
Pada kondisi alami, lahan gambut terbentuk karena laju akumulasi bahan organik lebih cepat dari laju dekomposisinya sehingga terjadi penumpukan bahan organik. Diantara ekosistem yang ada di bumi ini, ekosistem lahan basah, yang salah satunya termasuk lahan gambut adalah sistim yang paling produktif dalam menyerap karbon dari atmosfer yakni sekitar  $1.300 \text{ g C m}^{-2} \text{ th}^{-1}$  dibandingkan hutan tropika sekitar  $800 \text{ g C m}^{-2} \text{ th}^{-1}$  (Keddy 2000). Karbon yang diserap oleh vegetasi dari atmosfer tersebut sebagian jatuh dan diakumulasikan dalam bentuk bahan pembentuk tanah gambut. Faktor-faktor yang menyebabkan lambatnya laju dekomposisi sehingga terjadi akumulasi bahan organik pada lahan gambut alami diantaranya adalah: jenis bahan organik yang tidak mudah lapuk, konsentrasi oksigen rendah karena dalam kondisi tergenang air (*waterlogged*), temperatur rendah (khususnya pada daerah iklim *temperate*), tingkat kemasaman rendah, dan terbatasnya unsur hara. Pada kondisi suhu dingin dan/atau kekurangan oksigen (anaerob), aktivitas mikroorganisme perombak bahan organik terhambat, sehingga proses dekomposisi bahan organik berjalan dengan lambat. Dua kondisi inilah (suhu dingin dan anerob) yang membedakan proses pembentukan gambut antara daerah temperate dengan daerah tropika. Pembentukan atau akumulasi gambut di daerah temperate terjadi akibat suhu dingin ( $<8^{\circ}\text{C}$ ), sedangkan pembentukan gambut di daerah tropika terjadi karena suasana anaerob akibat jenuh atau tergenang air (*waterlogged*). Bukti-bukti yang mengindikasikan lambatnya proses dekomposisi bahan organik pada lahan gambut adalah masih ditemukannya bahan organik dalam bentuk jaringan aslinya seperti batang, cabang dan akar-akar besar di lahan gambut.

Lahan gambut pada kondisi alami (hutan alam), pada umumnya jenuh air, bahan organik terakumulasi lebih banyak di daerah cekungan (depresi) yang secara bertahap membentuk lapisan gambut dan seterusnya membentuk kubah jika keadaan jenuh air dapat dipertahankan. Dalam keadaan alami penambatan (sekuestrasi) C berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan dekomposisi, namun, pada lahan gambut yang telah didrainase, C akan mudah terdekomposisi dan terlepas ke atmosfer (emisi) dalam bentuk gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ). Kecepatan emisi C pada lahan gambut yang didrainase pada umumnya jauh lebih tinggi dibandingkan kecepatan penambatannya. Pada sisi lain, kebakaran hutan gambut dapat menyebabkan lahan gambut berubah menjadi sumber emisi C dalam jumlah besar dalam waktu yang singkat.

### 8.3. SUMBER DAN PROSES EMISI DARI LAHAN GAMBUT

Lahan gambut merupakan penyimpan C terestrial terbesar per satuan luasnya. Selain menyimpan C di atas permukaan tanah berupa biomas tanaman dan tanaman yang mati (nekromas), lahan gambut juga menyimpan C dalam jumlah yang lebih besar di bawah permukaan tanah. Secara umum, bentuk siklus C pada ekosistem lahan gambut adalah:  $\text{CO}_2$  di atmosfer diserap oleh tanaman melalui proses fotosintesis, sebagian dilepaskan kembali ke atmosfer dalam bentuk  $\text{CO}_2$  hasil dari proses respirasi tanaman, dan sebagian lainnya ditransformasi menjadi bagian dari jaringan tanaman (akar, batang, daun, dan buah), dan terakhir disimpan sebagai bagian tanaman yang mati yaitu sebagai serasah di atas atau dalam profil gambut. C tersimpan pada lahan gambut dapat hilang dari lahan gambut dalam bentuk gas dan dalam bentuk terlarut (dissolved organic carbon). Kehilangan karbon gambut dalam bentuk gas sebagian besar dalam bentuk karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan metan ( $\text{CH}_4$ ). Pertukaran C pada lahan gambut ditentukan oleh keseimbangan antara fiksasi C melalui fotosintesis dan pelepasan C melalui respirasi tanaman dan mineralisasi gambut. Mineralisasi C pada lahan gambut sangat dipengaruhi oleh kelembaban tanah dan suhu.

Pemanfaatan lahan gambut untuk berbagai budidaya tanaman didahului dengan pengatusan (drainase) sampai kedalaman tertentu untuk meningkatkan ketersediaan oksigen bagi akar, supaya tanaman bisa tumbuh dan berkembang dengan baik. Pengatusan melalui saluran drainase atau kanal ini menyebabkan terjadinya penurunan muka air tanah dan diikuti oleh perubahan kondisi lingkungan pada lapisan dekat permukaan gambut. Oksigen akan mengisi pori-pori gambut yang telah ditinggalkan oleh air, sehingga menyebabkan proses oksidasi atau dekomposisi gambut meningkat. Dalam kondisi seperti ini, jelas bahwa konsekuensi logis dari pembuatan saluran drainase adalah terjadinya peningkatan kehilangan C terutama dalam bentuk emisi  $\text{CO}_2$  dan C terlarut (dissolved organic carbon). Bentuk-bentuk kehilangan karbon dan/atau emisi GRK dari lahan gambut dijelaskan pada ilustrasi Gambar 8.1.



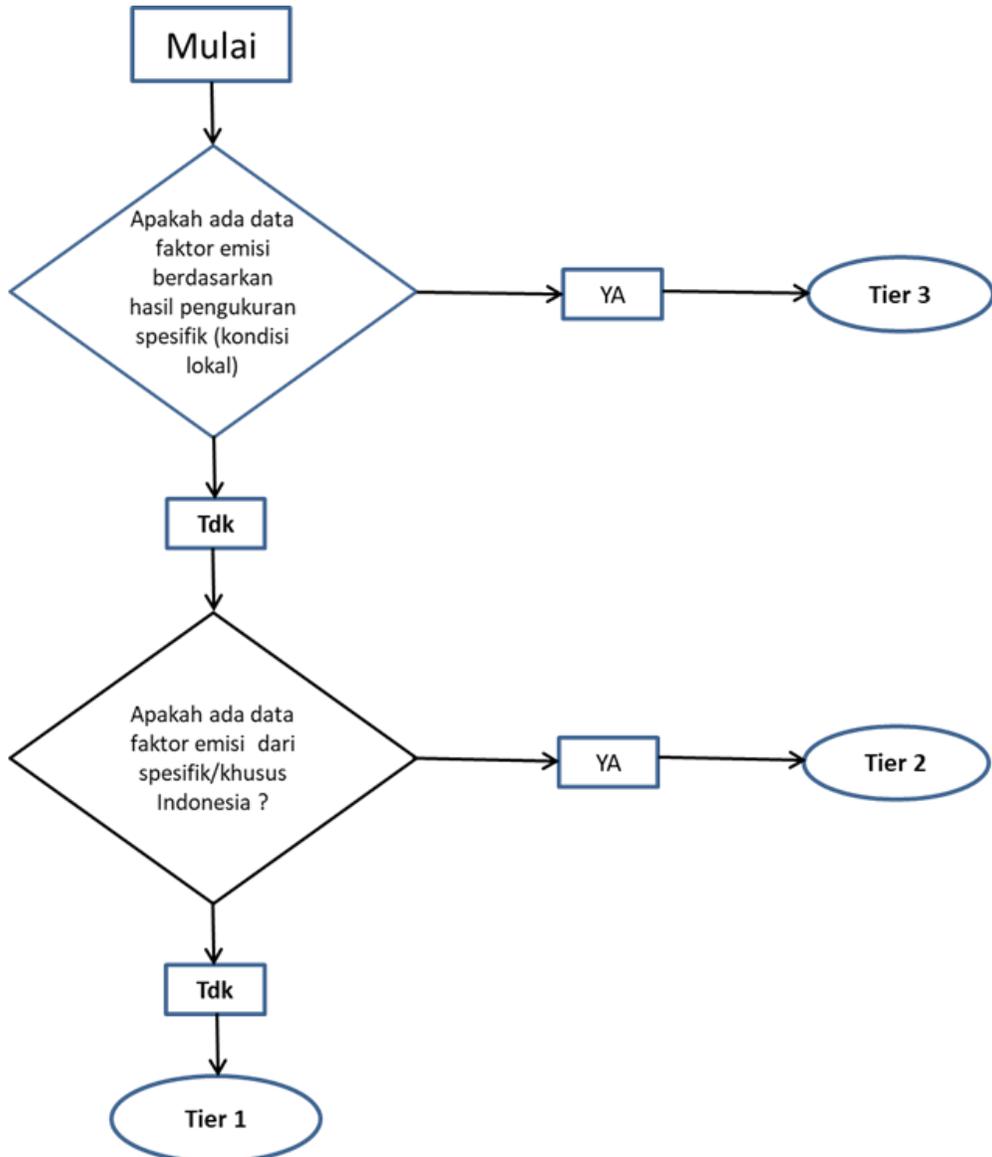
Gambar 8.1. Ilustrasi sumber dan bentuk-bentuk emisi GRK dari lahan gambut

Gambar 8.1 menjelaskan beberapa proses yang mempengaruhi laju emisi CO<sub>2</sub> dari lahan gambut, yaitu: 1) Terjadinya perubahan penggunaan lahan (*land use change*) yang menyebabkan pengurangan cadangan C yang berasal dari biomasa, 2) Kebakaran lahan, 3) Pembuatan saluran drainase yang menyebabkan peningkatan dekomposisi gambut akibat perubahan kondisi lingkungan dari anaerob menjadi aerob, dan 4) Pengelolaan lahan gambut seperti pemupukan.

#### 8.4. PERKIRAAN EMISI

Data emisi GRK dari suatu aktivitas tertentu di suatu tempat pada kurun waktu tertentu sangat penting untuk menentukan kebijakan pengendalian emisi. Terdapat tiga tingkatan penghitungan, yaitu Tier-1, Tier-2 dan Tier-3. Tingkatan metode yang paling umum adalah Tier-1 yaitu dengan menggunakan nilai faktor emisi yang telah ditetapkan secara global, seperti yang ada dalam buku panduan IPCC (2006). Pada Tier-1 ini, emisi GRK diperoleh dengan cara mengalikan nilai faktor emisi dengan data aktivitas yang ada di suatu negara. Metode Tier-2 menggunakan data yang lebih spesifik, atau menggunakan nilai faktor emisi lokal suatu negara. Metode Tier-3 menggunakan faktor emisi yang lebih spesifik lagi berupa faktor emisi dari hasil pengukuran emisi yang lebih lengkap atau dari suatu pemodelan.

Pemilihan metode penghitungan dapat didasarkan pada data faktor emisi yang tersedia. Untuk sumber emisi utama, seperti emisi CO<sub>2</sub> dari dekomposisi gambut, disarankan untuk melakukan perhitungan dengan Tier 3 atau Tier 2 bila faktor emisi spesifik lokasi tersedia (IPCC 2019). Alur yang dapat diikuti untuk pemilihan metode penghitungan adalah seperti pada Gambar 8.2.



Gambar 8.2. Bagan penentuan penggunaan tingkat spesifik metode dalam penghitungan GRK dari lahan gambut

### 8.4.1. Emisi karena dekomposisi gambut

Laju emisi dari proses dekomposisi tanah gambut tergantung pada berbagai faktor, antara lain: tutupan lahan, kedalaman drainase, kematangan gambut (juga terkait dengan umur lahan gambut digunakan sebagai lahan budidaya), dan suhu tanah. Pada Tier 1 IPCC (2014) menyajikan angka acuan faktor emisi berdasarkan tutupan lahan.

Kedalaman drainase (atau kedalaman muka air tanah) merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap laju dekomposisi gambut. Menurut (Hooijer *et al.* 2010; Couwenberg *et al.* 2010) laju emisi meningkat sekitar 0,9 t CO<sub>2</sub> ha th<sup>-1</sup> pada setiap penurunan muka air tanah sedalam 1 cm. Agus *et al.* (2010) dan Handayani (2009), menyarankan faktor emisi 0,9 t CO<sub>2</sub> ha th<sup>-1</sup> tersebut dikoreksi dengan nilai 0,7. Koreksi tersebut diperlukan karena faktor emisi kebanyakan diturunkan berdasarkan pengukuran fluks CO<sub>2</sub> dari sungkup tertutup (*closed chamber*) dimana gas hasil pengukuran tersebut masih merupakan campuran antara aliran gas CO<sub>2</sub> dari pernafasan akar tanaman dan dari dekomposisi gambut. Dalam hal ini, kontribusi respirasi akar tanaman (seperti kelapa sawit) diperkirakan 30% dari total emisi yang terukur di dalam sungkup tertutup (Agus *et al.* 2010; Handayani 2009).

Perkiraan emisi CO<sub>2</sub> dari proses dekomposisi gambut menurut persamaan 2.3. IPCC (2014) yaitu:

$$CO_2-C_{on-site} = \sum_{c,n,d} (A \bullet EF)_{c,n,d}$$

*Keterangan:*

- $O_2-C_{on-site}$**  = emisi CO<sub>2</sub>-C *on-site* dari lahan gambut yang didrainase pada suatu kategori penggunaan lahan, ton C th<sup>-1</sup>
- $A$**  = luas lahan gambut yang didrainase dengan tipe iklim *c*, status hara *n*, dan kelas drainase *d*, ha. *A* disebut juga data aktivitas.
- $EF$**  = faktor emisi lahan gambut didrainase dengan tipe iklim *c*, status hara *n*, dan kelas drainase *d*, ton C ha th<sup>-1</sup>.

Definisi ini berlaku juga untuk emisi CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O dari tanah gambut yang didrainase.

*Catatan* : CO<sub>2</sub>-C adalah jumlah emisi CO<sub>2</sub> dalam ekivalen C. Konversi C menjadi CO<sub>2</sub> = 44/12 x C.

Faktor Emisi untuk Tier-1/Tier-2 (IPCC 2014) yang disesuaikan dengan kelas penutupan lahan yaitu 23 kelas seperti yang disajikan pada Tabel 8.1.

Tabel 8.1. Faktor emisi dari dekomposisi gambut pada berbagai jenis penggunaan lahan gambut

No.	Penggunaan lahan	Emisi (t CO <sub>2</sub> ha th <sup>-1</sup> )	Keterangan
1	Hutan Rawa Primer	0	IPCC (2006)
2	Hutan Rawa Sekunder	19	IPCC (2014)
3	Hutan Tanaman	73	IPCC (2014)
4	Perkebunan (Kelapa Sawit)	40	IPCC (2014)
5	Pertanian Lahan Gambut/Tegalan	51	IPCC (2014)
6	Pertanian Lahan Gambut Campuran (Agroforestri)	51	IPCC (2014)
7	Semak Belukar	19	IPCC (2014)
8	Belukar Rawa	19	IPCC (2014)
9	Padang Rumput (Savanna)	35	IPCC (2014)
10	Sawah	34	IPCC (2014)
11	Rawa	0	Tergenang, diasumsi emisi nol
12	Tambak	0	Tergenang, diasumsi emisi nol
13	Transmigrasi	51	Diasumsi serupa dengan tegalan dan pertanian campuran
14	Permukiman	35	Diasumsi serupa dengan padang rumput
15	Bandara/Pelabuhan	0	Sebagian besar permukaan tertutup beton
16	Pertambangan	51	Diasumsi serupa dengan lahan bera
17	Tanah Terbuka	51	IPCC (2014)
18	Badan Air	0	Dalam keadaan reduksi, diasumsi emisi nol

Khusus untuk menghitung besaran emisi dari dekomposisi gambut selama proses perubahan penggunaan lahan, dilakukan dengan cara: data aktivitas yang digunakan diambil dari luas tutupan lahan yang mengalami perubahan selama periode waktu tertentu (periode waktu yang digunakan untuk menentukan perubahan penggunaan lahan, seperti periode 2000 s/d 2015 (contoh pada Tabel 8.2). Sedangkan nilai faktor emisi yang digunakan untuk areal yang mengalami perubahan tutupan tersebut adalah seperti yang tersaji pada Tabel 8.1, namun nilai yang digunakan hanya setengah dari nilai gabungan nilai faktor emisi tutupan lahan awal + nilai faktor emisi tutupan lahan akhir (setelah mengalami perubahan). Sebagai contoh hutan alami berubah menjadi semak

belukar, maka faktor emisi yang digunakan adalah: (separoh dari nilai faktor emisi hutan yaitu  $0 \text{ t ha}^{-1}$  + faktor emisi semak belukar  $19 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ ) yaitu  $9,5 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1}$  (lihat Tabel 8.3 baris ke-1 kolom ke-6). Hal ini diasumsikan karena perubahan penggunaan lahan selama periode tersebut terjadi secara bertahap (tidak langsung seluruhnya mengalami perubahan dalam periode 1 tahun). Sedangkan pada areal yang tidak mengalami perubahan tutupan lahan, (pada matrik perubahan penggunaan lahan, arealnya berada pada sel diagonal dari matrik tersebut) seperti sel baris ke-1 kolom ke-1, baris ke-2 kolom ke-2, baris ke-3 kolom ke-3 dst . Faktor emisi yang digunakan adalah seperti yang tercantum pada Tabel 8.1.

Tabel 8.2. Contoh data aktivitas berupa matrik penutupan (angka pada diagonal) dan perubahan penutupan (angka di luar diagonal) lahan gambut Indonesia tahun 2000-2015 (dalam ribu hektar) (diolah dari data spasial KLHK, tahun 2000 dan 2015)

Penggunaan lahan	Kode	HP	HS	HMP	HRP	HTI	SB	Kebun	Mukim	TT	Awan	Rumput	BA	HMS	HRS	SBR	Tegalan	Agrofor	Sawah	Tambak	Bandara	Trans	Tambang	Rawa	Total	
Hutan Primer	HP	363	122	0	0	-	2	0	0	0	-	0	0	0	1	1	0	1	-	-	-	-	0	0	491	
Hutan Sekunder	HS	0	173	0	0	7	12	22	0	11	-	0	0	0	12	13	3	24	0	0	-	1	0	-	278	
Hutan Mangrove Primer	HMP	0	0	232	0	-	0	0	0	0	-	-	0	10	0	1	-	0	-	0	0	-	-	-	244	
Hutan Rawa Primer	HRP	0	0	0	2,057	18	1	12	-	53	-	0	0	1	152	35	-	1	-	-	-	-	0	0	2,331	
Hutan Tanaman	HTI	-	0	-	0	25	0	2	-	7	-	-	-	0	0	4	0	7	-	-	-	-	-	-	45	
Semak belukar	SB	-	0	-	-	22	139	36	0	19	-	0	0	0	0	23	12	75	0	-	-	0	1	0	329	
Perkebunan (kepala sawit)	Kebun	-	0	-	1	17	7	1,026	1	27	-	-	0	0	1	16	11	19	4	-	-	-	0	0	1,131	
Permukiman	Mukim	-	-	-	-	0	0	1	50	0	-	-	0	-	0	1	10	3	0	0	0	-	-	0	67	
Tanah Terbuka	TT	-	0	-	0	20	4	64	0	96	-	0	0	0	2	32	5	13	0	0	-	-	0	1	239	
Awan	Awan	-	0	0	1	-	1	2	0	0	0	-	0	0	0	0	1	0	-	-	-	-	0	-	6	
Padang rumput (savanna)	Rumput	-	-	-	-	10	0	20	0	18	-	85	0	0	-	16	5	0	4	0	-	-	-	-	9	167
Badan air	BA	0	0	0	13	0	0	0	0	0	-	0	69	0	0	1	0	0	0	-	-	-	-	0	83	
Hutan Mangrove Sekunder	HMS	-	0	0	-	0	0	3	-	1	-	-	0	82	1	7	0	0	0	0	-	-	0	-	95	
Hutan Rawa Sekunder	HRS	0	0	-	31	407	7	587	0	590	-	0	0	1	3,129	775	26	69	2	0	-	-	1	7	5,635	
Semak Belukar Rawa	SBR	0	1	0	6	141	33	288	1	343	-	0	0	1	30	1,369	50	32	4	1	-	-	1	34	2,334	
Tanaman semusim	Tegalan	-	-	0	-	1	1	24	1	2	-	-	0	0	0	3	123	28	15	0	0	-	0	2	201	
Agroforestry	Agrofor	0	0	-	0	3	2	74	2	6	-	-	0	0	0	9	16	306	5	0	-	0	0	0	424	
Sawah	Sawah	-	-	0	-	-	0	68	4	0	-	-	0	0	0	1	21	8	283	1	0	-	-	0	387	
Tambak	Tambak	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	0	0	-	-	-	0	-	0	6	-	-	-	-	8	
Bandara	Bandara	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	0	
Transmigrasi	Trans	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	0	2	0	-	-	-	2	0	-	4	
Pertambangan	Tambang	-	-	-	-	0	0	1	-	0	-	-	0	-	0	-	0	-	0	0	-	-	6	-	7	
Rawa	Rawa	0	0	-	0	5	0	31	0	23	-	0	0	-	1	107	3	3	0	-	-	-	0	236	409	
<b>Total</b>		<b>363</b>	<b>296</b>	<b>232</b>	<b>2,111</b>	<b>676</b>	<b>212</b>	<b>2,263</b>	<b>61</b>	<b>1,196</b>	<b>-</b>	<b>86</b>	<b>70</b>	<b>96</b>	<b>3,330</b>	<b>2,415</b>	<b>289</b>	<b>590</b>	<b>319</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>10</b>	<b>290</b>	<b>14,916</b>	

Cara membaca matrik perubahan penggunaan lahan (Tabel 8.2.):

- Data periode awal luas lahan dari masing-masing jenis tutupan/penggunaan lahan adalah data yang disajikan di kolom terakhir (vertikal dari atas ke bawah). Misalnya, luas perkebunan pada lahan gambut pada tahun 2000 adalah 1,13 juta ha.
- Data periode akhir luas dari masing-masing jenis tutupan lahan adalah yang disajikan secara horizontal (baris) terakhir (horizontal dari kiri ke kanan). Misalnya, luas perkebunan pada lahan gambut pada tahun 2005 adalah 2,26 juta ha.
- Data yang disajikan pada diagonal (sel warna hijau dari matrik), adalah data tutupan lahan yang tidak mengalami perubahan selama periode pengamatan dari tahun 2000 sampai 2005. Contoh, luas perkebunan pada lahan gambut pada tahun 2000 dan tetap menjadi perkebunan pada tahun 2005 adalah 1,026 juta ha.

- Data yang disajikan di luar diagonal adalah luas lahan yang mengalami perubahan, misalnya, di bawah kolom kebun, 587 ribu ha lahan rawa gambut sekunder dan 288 ribu ha lahan belukar rawa berubah menjadi perkebunan kelapa sawit pada periode 2000-2005 ini.

Tabel 8.3. Faktor emisi berbagai penutupan lahan gambut yang didrainase (ton CO<sub>2</sub>/(hektar.tahun) (Sumber: diolah dari IPCC 2014)

Penggunaan lahan	Kode	HP	HS	HMP	HRP	HTI	SB	Kebun	Mukim	TT	Awan	Rumput	BA	HMS	HRS	SBR	Tegalan	Agrofor	Sawah	Tambak	Bandara	Trans	Tambang	Rawa
Hutan Primer	HP	-	9.5	-	-	36.5	9.5	20.0	17.5	25.5	-	17.5	-	-	9.5	9.5	25.5	25.5	17.0	-	-	25.5	25.5	-
Hutan Sekunder	HS	9.5	19.0	9.5	9.5	46.0	19.0	29.5	27.0	35.0	9.5	27.0	9.5	9.5	19.0	19.0	35.0	35.0	26.5	9.5	9.5	35.0	35.0	9.5
Hutan Mangrove Primer	HMP	-	9.5	-	-	36.5	9.5	20.0	17.5	25.5	-	17.5	-	-	9.5	9.5	25.5	25.5	17.0	-	-	25.5	25.5	-
Hutan Rawa Primer	HRP	-	9.5	-	-	36.5	9.5	20.0	17.5	25.5	-	17.5	-	-	9.5	9.5	25.5	25.5	17.0	-	-	25.5	25.5	-
Hutan Tanaman	HTI	36.5	-	36.5	36.5	73.0	46.0	56.5	54.0	62.0	73.0	54.0	36.5	36.5	46.0	46.0	62.0	62.0	53.5	36.5	36.5	62.0	62.0	36.5
Semak belukar	SB	9.5	19.0	9.5	9.5	46.0	19.0	29.5	27.0	35.0	19.0	27.0	9.5	9.5	19.0	19.0	35.0	35.0	26.5	9.5	9.5	35.0	35.0	9.5
Perkebunan (sawit)	Kebun	20.0	29.5	20.0	20.0	56.5	29.5	40.0	37.5	45.5	40.0	37.5	20.0	20.0	29.5	29.5	45.5	45.5	37.0	20.0	20.0	45.5	45.5	20.0
Permukiman	Mukim	17.5	27.0	17.5	17.5	54.0	27.0	37.5	35.0	43.0	35.0	35.0	17.5	17.5	27.0	27.0	43.0	43.0	34.5	17.5	17.5	43.0	43.0	17.5
Tanah Terbuka	TT	25.5	35.0	25.5	25.5	62.0	35.0	45.5	43.0	51.0	51.0	43.0	25.5	25.5	35.0	35.0	51.0	51.0	42.5	25.5	25.5	51.0	51.0	25.5
Awan	Awan	-	9.5	-	-	73.0	19.0	40.0	35.0	51.0	-	35.0	-	-	19.0	19.0	51.0	51.0	34.0	-	-	51.0	51.0	-
Padang rumput	Rumput	17.5	27.0	17.5	17.5	54.0	27.0	37.5	35.0	43.0	35.0	35.0	17.5	17.5	27.0	27.0	43.0	43.0	34.5	17.5	17.5	43.0	43.0	17.5
Badan air	BA	-	9.5	-	-	36.5	9.5	20.0	17.5	25.5	-	17.5	-	-	9.5	9.5	25.5	25.5	17.0	-	-	25.5	25.5	-
Hutan Mangrove Sekunder	HMS	-	9.5	-	-	36.5	9.5	20.0	17.5	25.5	-	17.5	-	-	9.5	9.5	25.5	25.5	17.0	-	-	25.5	25.5	-
Hutan Rawa Sekunder	HRS	9.5	19.0	9.5	9.5	46.0	19.0	29.5	27.0	35.0	19.0	27.0	9.5	9.5	19.0	19.0	35.0	35.0	26.5	9.5	9.5	35.0	35.0	9.5
Semak Belukar Rawa	SBR	9.5	19.0	9.5	9.5	46.0	19.0	29.5	27.0	35.0	19.0	27.0	9.5	9.5	19.0	19.0	35.0	35.0	26.5	9.5	9.5	35.0	35.0	9.5
Tanaman semusim	Tegalan	25.5	35.0	25.5	25.5	62.0	35.0	45.5	43.0	51.0	51.0	43.0	25.5	25.5	35.0	35.0	51.0	51.0	42.5	25.5	25.5	51.0	51.0	25.5
Agroforestry	Agrofor	25.5	35.0	25.5	25.5	62.0	35.0	45.5	43.0	51.0	51.0	43.0	25.5	25.5	35.0	35.0	51.0	51.0	42.5	25.5	25.5	51.0	51.0	25.5
Sawah	Sawah	17.0	26.5	17.0	17.0	53.5	26.5	37.0	34.5	42.5	34.0	34.5	17.0	17.0	26.5	26.5	42.5	42.5	34.0	17.0	17.0	42.5	42.5	17.0
Tambak	Tambak	-	9.5	-	-	36.5	9.5	20.0	17.5	25.5	-	17.5	-	-	9.5	9.5	25.5	25.5	17.0	-	-	25.5	25.5	-
Bandara	Bandara	-	9.5	-	-	36.5	9.5	20.0	17.5	25.5	-	17.5	-	-	9.5	9.5	25.5	25.5	17.0	-	-	25.5	25.5	-
Transmigrasi	Trans	25.5	35.0	25.5	25.5	62.0	35.0	45.5	43.0	51.0	51.0	43.0	25.5	25.5	35.0	35.0	51.0	51.0	42.5	25.5	25.5	51.0	51.0	25.5
Pertambangan	Tambang	25.5	35.0	25.5	25.5	62.0	35.0	45.5	43.0	51.0	51.0	43.0	25.5	25.5	35.0	35.0	51.0	51.0	42.5	25.5	25.5	51.0	51.0	25.5
Rawa	Rawa	-	9.5	-	-	36.5	9.5	20.0	17.5	25.5	-	17.5	-	-	9.5	9.5	25.5	25.5	17.0	-	-	25.5	25.5	-

Cara membaca matriks faktor emisi (Tabel 8.3.):

- Angka pada diagonal adalah factor emisi dari suatu kelas penutupan lahan yang tidak berubah menjadi penutupan lahan lainnya. Misalnya pada lahan gambut di bawah perkebunan sawit emisi CO<sub>2</sub>-nya adalah 40 ton/(hektar.tahun), di bawah hutan sekunder adalah 19 ton/(hektar.tahun)

- Angka di luar diagonal adalah dari suatu kelas penutupan lahan yang berubah menjadi kelas penutupan lainnya. Angkanya diasumsi rata-rata dari penutupan lahan awal dan penutupan lahan sesudahnya. Misalnya emisi CO<sub>2</sub> dari lahan hutan sekunder yang berubah menjadi perkebunan adalah 29,5 ton /(hektar.tahun). Angka ini = (emisi hutan gambut sekunder (19 ton) + emisi dari perkebunan (40 ton))/2

Tabel 8.4. Matriks jumlah emisi dari penutupan (angka dalam diagonal) dan perubahan penutupan (angka di luar diagonal) lahan gambut Indonesia tahun 2000-2015 (ton CO<sub>2</sub>/tahun). Jumlah emisi ini merupakan perkalian dari matriks pada Tabel 8.2 dan Tabel 8.3

Penggunaan lahan	Kode	HP	HS	HMP	HRP	HTI	SB	Kebun	Mukim	TT	Awan	Rumput	BA	HMS	HRS	SBR	Tegalan	Agrofor	Sawah	Tambak	Bandara	Trans	Tambang	Rawa	Total
Hutan Primer	HP	-	1,161	-	-	-	21	5	0	13	-	0	-	-	6	6	3	33	-	-	-	-	2	-	1,249
Hutan Sekunder	HS	0	3,282	0	0	329	221	649	11	380	-	6	3	0	225	243	98	848	0	0	-	27	6	-	6,329
Hutan Mangrove Primer	HMP	-	0	-	-	-	2	0	0	4	-	-	-	-	0	6	-	1	-	-	-	-	-	-	13
Hutan Rawa Primer	HRP	-	0	-	-	658	9	243	-	1,343	-	0	-	-	1,448	333	-	22	-	-	-	-	2	-	4,059
Hutan Tanaman	HTI	-	-	-	0	1,810	18	108	-	407	-	-	-	0	15	179	3	420	-	-	-	-	-	-	2,962
Semak belukar	SB	-	1	-	-	1,022	2,646	1,062	7	666	-	0	0	0	5	444	415	2,638	5	-	-	3	25	0	8,938
Perkebunan (kepala sawit)	Kebun	-	1	-	18	970	220	41,047	26	1,235	-	-	0	1	22	480	486	887	159	-	-	-	7	1	45,560
Permukiman	Mukim	-	-	-	-	1	7	43	1,764	6	-	-	0	-	0	25	446	123	15	0	1	-	-	0	2,433
Tanah Terbuka	TT	-	0	-	4	1,260	144	2,925	20	4,875	-	6	1	0	74	1,135	275	643	7	0	-	-	7	31	11,408
Awan	Awan	-	1	-	-	-	24	69	2	5	-	-	-	-	4	7	38	5	-	-	-	-	0	-	156
Padang rumput (savanna)	Rumput	-	-	-	-	531	0	755	7	786	-	2,963	0	1	-	442	208	2	143	2	-	-	-	154	5,995
Badan air	BA	-	0	-	-	0	0	0	0	1	-	0	-	-	1	5	0	1	0	-	-	-	0	-	8
Hutan Mangrove Sekunder	HMS	-	0	-	-	6	3	60	-	16	-	-	-	-	10	69	4	8	1	-	-	-	1	-	178
Hutan Rawa Sekunder	HRS	0	1	-	299	18,726	140	17,315	6	20,637	-	4	4	12	59,456	14,730	909	2,411	66	0	-	-	42	70	134,829
Semak Belukar Rawa	SBR	0	12	0	8,485	6,467	635	8,485	15	12,021	-	3	1	10	567	26,002	1,761	1,134	98	10	-	-	20	320	57,620
Tanaman semusim	Tegalan	-	-	0	-	38	52	1,099	51	120	-	-	0	3	1	120	6,253	1,439	626	1	0	-	4	53	9,859
Agroforestry	Agrofor	0	9	-	2	172	63	3,375	85	309	-	0	0	0	9	306	833	15,596	208	0	-	0	23	7	20,999
Sawah	Sawah	-	-	0	-	-	0	2,513	147	16	-	-	0	0	1	36	909	320	9,637	12	0	-	1	1	13,594
Tambak	Tambak	-	-	-	-	-	-	38	-	-	-	4	-	-	-	-	0	-	3	-	-	-	-	-	46
Bandara	Bandara	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Transmigrasi	Trans	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	0	99	12	-	-	-	96	4	-	212
Pertambangan	Tambang	-	-	-	-	5	3	24	-	8	-	-	0	-	-	12	-	4	-	1	-	-	304	-	361
Rawa	Rawa	-	0	-	-	180	2	612	1	574	-	0	-	-	5	1,016	85	84	4	-	-	-	3	-	2,566
<b>Total</b>		<b>0</b>	<b>4,468</b>	<b>0</b>	<b>381</b>	<b>32,176</b>	<b>4,211</b>	<b>80,431</b>	<b>2,141</b>	<b>43,423</b>	<b>-</b>	<b>2,987</b>	<b>9</b>	<b>28</b>	<b>61,849</b>	<b>45,595</b>	<b>12,826</b>	<b>26,628</b>	<b>10,974</b>	<b>28</b>	<b>1</b>	<b>127</b>	<b>451</b>	<b>638</b>	<b>329,372</b>

Cara menginterpretasi data Tabel 8.4 adalah:

- Data pada diagonal (berwarna hijau) adalah nilai emisi dari dekomposisi gambut pada jenis tutupan lahan yang tidak mengalami perubahan tutupan lahan selama periode waktu pengamatan, misal: hutan tetap hutan seluas 363.330 ha (Tabel 8.2), nilai emisinya 0 t CO<sub>2</sub> th<sup>-1</sup> (Tabel 8.4); perkebunan tetap sebagai perkebunan seluas 1.026.181 ha, nilai emisinya 41.047 (x 1000) t CO<sub>2</sub> th<sup>-1</sup>; dan semak belukar tetap sebagai semak belukar seluas 95.591 ha (Tabel 8.2), nilai emisi 4.875 (x 1000) t CO<sub>2</sub> th<sup>-1</sup> (Tabel 8.4).

- Data yang disajikan di luar diagonal adalah nilai emisi dari dekomposisi gambut yang terjadi akibat perubahan penggunaan lahan pada jenis tutupan lahan tertentu yang mengalami penambahan atau pengurangan luas lahan. Sebagai contoh, selama periode tahun 2000 s/d 2015 jenis tutupan lahan perkebunan mendapat tambahan luas dari perubahan: hutan gambut primer 269 ha, hutan rawa primer 12.151 ha, dan tanah terbuka 64.286 ha (Tabel 8.2), dan perubahan ini menyebabkan terjadinya emisi secara berurutan sebanyak 5 (t CO<sub>2</sub> th<sup>-1</sup> x 1000), 243 (t CO<sub>2</sub> th<sup>-1</sup> x 1000), dan 2.925 (t CO<sub>2</sub> th<sup>-1</sup> x 1000) (Tabel 8.4).

## Contoh perhitungan emisi dari dekomposisi gambut (Tier 1)

### Pertanyaan

Suatu kawasan memiliki lahan gambut seluas 1000 ha. Rincian jenis penggunaan lahannya adalah: hutan rawa gambut primer 150 ha, hutan rawa gambut sekunder 125 ha, perkebunan 250 ha, agroforestry 100, semak/belukar 175 ha, tanah terbuka 75 ha, sawah 125 ha. Berapakah emisi tahunan dari dekomposisi gambut pada kawasan tersebut.

### Jawaban

Perhitungan emisi CO<sub>2</sub>:

Emisi dari hutan rawa gambut primer = 150 ha x 0 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> th<sup>-1</sup> = 0 t CO<sub>2</sub> th<sup>-1</sup>

Emisi dari hutan rawa gambut sekunder = 125 ha x 19 t CO<sub>2</sub>ha<sup>-1</sup> th<sup>-1</sup> = 2.375 t CO<sub>2</sub> th<sup>-1</sup>.

Emisi dari perkebunan = 250 ha x 40 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> th<sup>-1</sup> = 10.000 t CO<sub>2</sub> th<sup>-1</sup>.

Emisi dari agroforestry = 100 ha x 51 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> th<sup>-1</sup> = 5100 t CO<sub>2</sub> th<sup>-1</sup>

Emisi dari semak/belukar = 175 ha x 19 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> th<sup>-1</sup> = 3.325 t CO<sub>2</sub> th<sup>-1</sup>.

Emisi dari tanah terbuka = 75 ha x 51 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> th<sup>-1</sup> = 3.825 t CO<sub>2</sub> th<sup>-1</sup>.

Emisi dari sawah = 125 ha x 34 t CO<sub>2</sub> ha th<sup>-1</sup> = 4.250 t CO<sub>2</sub> th<sup>-1</sup>.

Total emisi CO<sub>2</sub> dari dekomposisi tanah gambut pada kawasan 1000 ha tersebut adalah : 0 t CO<sub>2</sub> th<sup>-1</sup>+ 2.375 t CO<sub>2</sub> th<sup>-1</sup>+ 10.000 t CO<sub>2</sub> th<sup>-1</sup>+ 5100 t CO<sub>2</sub> th<sup>-1</sup>+ 3.325 t CO<sub>2</sub> th<sup>-1</sup>+ 3.825 t CO<sub>2</sub> th<sup>-1</sup>+ 4.250 t CO<sub>2</sub> th<sup>-1</sup> = 28.875 t CO<sub>2</sub> th<sup>-1</sup>.

### 8.4.2. Emisi dari lahan gambut yang digenangi kembali (Rewetting)

Pembasahan kembali (*rewetting*) lahan gambut yang sudah didrainase merupakan salah satu dari upaya pemulihan atau restorasi ekosistem lahan gambut terdegradasi. Rewetting lahan gambut pada prinsipnya adalah untuk mencegah terus berlanjutnya degradasi gambut dan untuk mitigasi GRK khususnya emisi CO<sub>2</sub>. Prinsip perhitungan emisi dari lahan gambut yang dibasahi kembali pada dasarnya adalah sama dengan perhitungan emisi dari dekomposisi, yaitu:

Emisi = Data aktivitas x Faktor emisi

Data aktivitas = luas lahan gambut di mana terjadi aktivitas yang menyebabkan emisi

Emisi = Besar/total emisi dari luas lahan gambut yang di *rewetting* (t th<sup>-1</sup>)

Faktor emisi = Emisi dari masing-masing gas, dari lahan gambut yang di *rewetting* per satuan luas (ton ha<sup>-1</sup>)

Faktor emisi dari masing-masing gas yang teremisi pada lahan gambut yang di *rewetting*, disajikan pada Tabel 8.5.

Tabel 8.5. Nilai faktor emisi dari lahan gambut yang *direwetting* (dari Tabel 3.1; 3.2; dan 3.3, IPCC 2014)

Gas (satuan)	Nilai	Selang kepercayaan 95%
CO <sub>2</sub> (ton CO <sub>2</sub> -C ha <sup>-1</sup> th <sup>-1</sup> )	0	n.a.
DOC (ton CO <sub>2</sub> -C ha <sup>-1</sup> th <sup>-1</sup> )	0,51	0,40-0,64
CH <sub>4</sub> (kg CH <sub>4</sub> -C ha <sup>-1</sup> th <sup>-1</sup> )	41	7-134

**Keterangan:** Informasi (Data Aktivitas) dari luas areal yang di rewetting, dapat diketahui dari Badan Restorasi Gambut.

#### Contoh perhitungan:

Kasus : Pada suatu areal telah dilakukan restorasi lahan gambut dengan sistem pembasahan kembali (*rewetting*) seluas 1000 ha.

Pertanyaan : Berapa emisi GRK (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, dan DOC) dari lahan tersebut ?

Jawaban:

Emisi CO<sub>2</sub> dari lahan tersebut untuk setiap tahunnya adalah 0 t ha<sup>-1</sup> th<sup>-1</sup>

Emisi metana dari lahan gambut yang di rewetting seluas 1000 ha = 41 kg CH<sub>4</sub>-C/ha th<sup>-1</sup> x 1000 (ha) = 41.000 kg CH<sub>4</sub>-C = 41 t CH<sub>4</sub>-C atau ekuivalen dengan: 41 t CH<sub>4</sub>-C x 1,33 = 54,53 t CH<sub>4</sub>, atau setara CO<sub>2</sub> = 54,53 t CH<sub>4</sub> x 28 = 1.526,84 t CO<sub>2</sub>-eq.

Emisi atau kehilangan karbon yang terlarut (DOC) dalam air = 1000 ha x 0,51 t CO<sub>2</sub>-C ha<sup>-1</sup> th<sup>-1</sup> = 510 t CO<sub>2</sub>-C th<sup>-1</sup>

Atau setara dengan: 3,67 x 510 t CO<sub>2</sub>-C th<sup>-1</sup> = 1872t CO<sub>2</sub>-eq th<sup>-1</sup>

Jumlah emisi = 0 + 1.526,84 + 1.872 = 3.398,84 t CO<sub>2</sub>-eq th<sup>-1</sup>

#### 8.4.3. Emisi dari kebakaran gambut

Dalam keadaan sangat kering, misalnya karena kemarau panjang dan karena saluran drainase yang dalam, maka gambut akan mudah terbakar. Pada kejadian kebakaran gambut, api bisanya menyusup beberapa sentimeter ke dalam lapisan (profil) gambut. Kebakaran gambut merupakan proses oksidasi yang dengan cepat merubah bahan organik tanah gambut dan menghasilkan CO<sub>2</sub>. Jumlah emisi dari kebakaran gambut sulit diprediksi karena sangat tergantung pada keadaan musim, kedalaman drainase dan sistem pembukaan lahan.

Tidak semua peristiwa kebakaran lahan gambut berakibat pada hangusnya lapisan tanah gambut. Kebakaran lahan gambut bisa menghanguskan sebagian atau semua biomas tanaman di atas permukaan tanah tanpa mempengaruhi lapisan tanah gambut. Dalam keadaan ekstrim, seperti yang terjadi pada tahun El Niño 1997, kebakaran di

Kalimantan Tengah menghancurkan gambut sampai mendekati ketebalan 1 m (Page *et al.* 2002).



Gambar 8.3. Kebakaran lahan gambut (terkendali) api tidak masuk ke dalam profil gambut (kiri), dan kebakaran lahan gambut (tidak terkendali) api membakar/masuk ke dalam profil gambut (kanan).

Untuk menghitung emisi dari kebakaran lahan gambut dapat digunakan persamaan 2.8 (IPCC 2014):

$$L_{\text{fire}} = A * M_B * C_f * G_{\text{ef}} * 10^{-3}$$

Dimana

- $L_{\text{fire}}$  : Emisi dari kebakaran gambut
- A : Luas area kebakaran gambut
- $M_B$  : Massa gambut yang terbakar
- $C_f$  : Faktor pembakaran (angka acuan di Tabel 3)
- $G_{\text{ef}}$  : Faktor emisi setiap gas (angka acuan di Tabel 3)

Faktor Emisi (Tier-1) dari kebakaran gambut dari IPCC 2015 adalah seperti yang disajikan pada Tabel 8.6.

Untuk perhitungan emisi GRK dari kebakaran lahan gambut Tier-2 dan/atau Tier-3, dapat menggunakan faktor emisi (khususnya untuk variabel  $M_b$ ) dari persamaan 2.8 IPCC (2014). Dalam hal ini,  $M_b$  dihitung berdasarkan nilai rata-rata bulk density (BD) dan kandungan/kadar karbon (%C) gambut tropika Indonesia berdasarkan tingkat kematangan gambut (Tabel 8.7).

Tabel 8.6. Faktor emisi (Tier-1) untuk menghitung emisi GRK dari kebakaran lahan gambut (dari Tabel 2.6 dan 2.7, IPCC 2014)

Kategori	$M_b$ (t d.m. ha <sup>-1</sup> )			$G_{ef}$ (g kg <sup>-1</sup> bahan kering yang terbakar )		
	Rata-rata	Selang kepercayaan 95%		CO <sub>2</sub> -C	CH <sub>4</sub>	CO
Kebakaran tidak terkendali	353	170	536	464	21	210
Kebakaran terkendali	155	82	228			

Catatan: Konversi C menjadi CO<sub>2</sub> = C x 3,67  
 Konversi C menjadi CO = C x 2,33  
 Konversi CO menjadi CO<sub>2</sub> = CO x 1,57  
 Konversi C menjadi CH<sub>4</sub> = C x 1,33  
 Konversi gas metan menjadi CO<sub>2</sub>-eq. atau GWP metan = CH<sub>4</sub> x 28

Tabel 8.7. Nilai bulk density dan kandungan karbon berdasarkan tingkat kematangan (Sumber: Agus *et al.* 2011).

Karateristik gambut	Tingkat kematangan gambut		
	Fibrik	Hemik	Saprik
Bulk density (t m <sup>-3</sup> )	0,089 ± 0,058	0,117 ± 0,073	0,174 ± 0,082
Kandungan karbon (% C)	53,56 ± 6,48	52,27 ± 8,52	48,90 ± 8,91
Kerapatan karbon (t C m <sup>-3</sup> )	0,046 ± 0,025	0,057 ± 0,026	0,082 ± 0,035

Secara umum pada jenis tutupan lahan "hutan gambut alami" tingkat kematangan gambut adalah fibrik. Pada tutupan lahan budidaya dan perkebunan yang masih baru (<10 tahun) tingkat kematangannya adalah hemik. Pada jenis tutupan lahan yang sudah lama dibuka dan dibudidayakan (> 10 tahun) tingkat kematangan gambutnya adalah hemik, dan jika dikelola lebih lama akan berubah menjadi saprik pada lapisan permukaan .

Berdasarkan nilai kerapatan karbon secara umum gambut Indonesia (Tabel 8.7), maka nilai masa bahan bakar gambut ( $M_b$ ) dari persamaan 2.8 (IPCC, 2014) pada berbagai tingkat kematangan gambut dan kategori kebakaran (terkendali atau tidak terkendali) maka ketebalan gambut yang terbakar adalah sekitar 16 cm, dan kebakaran tidak terkendali ketebalan gambut yang terbakar adalah 36 cm, disajikan pada Tabel 8.8. Kenyataan di lapangan ketebalan gambut yang terbakar sangat bervariasi, mulai dari nol

sampai beberapa puluh cm. Dengan demikian bila ada data spesifik lokasi, penting digunakan untuk meningkatkan tingkat keyakinan dalam perhitungan.

Tabel 8.8. Nilai masa bahan bakar gambut ( $M_B$ ) (dari persamaan 2.8 IPCC 2014) untuk masing-masing tingkat kematangan gambut yang mengalami kebakaran (TIER 2)

Kategori	$M_B$ untuk persamaan 2.8 (IPCC, 2014) ( $t\ ha^{-1}$ )		
	Fabrik	Hemik	Saprik
Kebakaran terkendali	74	91	131
Kebakaran tidak terkendali	167	205	295

Untuk perhitungan emisi GRK (Tier-3) dari kejadian kebakaran gambut, dapat dilakukan dengan cara melengkapi variabel bahan bakar gambut ( $M_B$ ) dengan variabel (data) ketebalan kebakaran, menggunakan persamaan :

$$M_B = BD \times \%C \times T$$

$M_B$  = Faktor emisi masa gambut yang terbakar berdasarkan kondisi kebakaran (terkendali atau tidak terkendali.

BD = Bulk Density( $kg\ m^{-3}$ ) gambut sesuai tingkat kematangan

T = Tebal gambut yang terbakar (m)

#### Data aktivitas:

Sumber data aktivitas dari kebakaran lahan gambut (luas lahan gambut yang terbakar) dapat diperoleh atau dikeluarkan, dan di update oleh KLHK setiap bulan (ada di Web site KLHK).

#### Contoh perhitungan (Tier-1):

Pada suatu kejadian kebakaran lahan gambut, lahan gambut yang terbakar adalah seluas 10 hektar, maka emisi GRK dapat dihitung dengan persamaan 2.8, (IPCC, 2014).

##### A. Emisi $CO_2$

1. Jika kebakaran terkendali, maka besarnya emisi  $CO_2$  adalah:

$$L_{fire} = 10 \times 155 (t\ ha^{-1}) \times 1 \times 464 (g\ kg^{-1}) \times 10^{-3} = 720\ t\ C$$

$$\text{Atau setara dengan: } 3,67\ CO_2/C \times 720\ t\ C = 2.640\ t\ CO_{2-eq}$$

2. Sedangkan apabila kebakaran tidak terkendali maka besarnya emisi  $CO_2$  adalah:

$$L_{fire} = 10 \times 353 (t\ ha^{-1}) \times 1 \times 464 (g\ kg^{-1}) \times 10^{-3} = 1.638\ t\ C$$

$$\text{Atau setara dengan } 3.67\ CO_2/C \times 1.637,9\ t\ C = 6.011\ t\ CO_{2-eq}$$

Ingat...!!, nilai  $G_{ef}$  pada Tabel 2.7 adalah dalam bentuk  $CO_2-C$ . maka untuk menjadikan dalam bentuk  $CO_2 = CO_2-C \times 3,67$ .

##### B. Emisi metan ( $CH_4$ )

1. Jika kebakaran terkendali, maka besarnya emisi  $CH_4$  adalah:

$$L_{\text{fire}} = 10 \text{ ha} \times 155 \text{ t ha}^{-1} \times 1 \times 21 \text{ g kg}^{-1} \times 10^{-3} = 32,55 \text{ t C}$$

$$\text{Setara dengan: } 1,33 \times 32,55 = 43,29 \text{ t CH}_4$$

$$\text{Atau setara dengan: } 28 \times 43,29 \text{ t CH}_4 = 1.212 \text{ t CO}_2\text{-eq.}$$

2. Jika kebakaran terkendali, maka besarnya emisi CH<sub>4</sub> adalah:

$$L_{\text{fire}} = 10 \text{ ha} \times 353 \text{ t ha}^{-1} \times 1 \times 21 \text{ g kg}^{-1} \times 10^{-3} = 74,13 \text{ t C}$$

$$\text{Atau setara dengan: } 1,33 \times 74,13 \text{ t C} = 98,59 \text{ t CH}_4$$

$$\text{Atau setara dengan: } 28 \times 98,59 \text{ t CH}_4 = 2.760,5 \text{ t CO}_2\text{-eq.}$$

### C. Emisi karbon monoksida (CO)

1. Jika kebakaran terkendali, maka besarnya emisi CH<sub>4</sub> adalah:

$$L_{\text{fire}} = 10 \text{ ha} \times 155 \text{ t ha}^{-1} \times 1 \times 210 \text{ g kg}^{-1} \times 10^{-3} = 325,5 \text{ t C}$$

$$\text{Setara dengan: } 2,33 \times 325,5 \text{ t C} = 758,42 \text{ t CO}$$

$$\text{Atau setara dengan: } 1,57 \times 758,42 \text{ t CO} = 1.190,72 \text{ t CO}_2\text{-eq.}$$

2. Jika kebakaran terkendali, maka besarnya emisi CH<sub>4</sub> adalah:

$$L_{\text{fire}} = 10 \text{ ha} \times 353 \text{ t ha}^{-1} \times 1 \times 210 \text{ g kg}^{-1} \times 10^{-3} = 741,3 \text{ t C}$$

$$\text{setara dengan: } 2,33 \times 741,3 \text{ t C} = 1.727,23 \text{ t CO}$$

$$\text{Atau setara dengan: } 1,57 \times 1.727,23 \text{ t CO} = 2.712 \text{ t CO}_2\text{-eq.}$$

### Contoh perhitungan (Tier-2):

#### A. Emisi CO<sub>2</sub>

1. Jika kebakaran terkendali pada lahan dengan kematangan fibrik, besarnya emisi CO<sub>2</sub> adalah:

$$L_{\text{fire}} = 10 \times 74 \text{ (t ha}^{-1}) \times 1 \times 464 \text{ (g kg}^{-1}) \times 10^{-3} = 343 \text{ t C}$$

$$\text{Atau setara dengan: } 3,67 \text{ CO}_2/\text{C} \times 343 \text{ t C} = 1.259 \text{ t CO}_2\text{-eq}$$

## 8.5. CONTOH AKSI ADAPTASI DAN NILAI TAMBAH

Pada kondisi alami, lahan gambut umumnya berada pada kondisi jenuh air (*anaerob*), pada sisi lain sebagian besar tanaman dalam pertumbuhannya memerlukan kondisi yang aerob. Oleh karena itu, reklamasi lahan gambut untuk aktivitas pertanian memerlukan adanya pembuatan saluran drainase yang berfungsi untuk menurunkan permukaan air tanah, untuk menciptakan kondisi aerob di zona perakaran tanaman. Namun demikian, gambut tidak boleh terlalu kering karena jika terlalu kering akan mengalami kerusakan berupa tingginya laju penurunan permukaan (*subsidence*), mudahnya gambut terbakar, dan tingginya emisi gas rumah kaca.

Untuk mengurangi dampak negatif tersebut maka aksi adaptasi yang diperlukan adalah pengurangan dengan menggunakan *canal blocking* (sekat saluran) atau membuat saluran drainase lebih dangkal. Pengurangan kedalaman muka air tanah, selain dapat

menurunkan laju subsidensi dan mengurangi risiko kebakaran, juga mempunyai keuntungan tambahan berupa penurunan emisi CO<sub>2</sub>.

## DAFTAR BACAAN

- Agus F, Subiksa IGM. 2008. Lahan Gambut : Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan. Balai Penelitian Tanah. World Agroforestry Centre. Bogor.
- Agus F, Hairiah K, Mulyani A. 2011. Measuring carbon stock in peat soils: practical guidelines. Bogor, Indonesia: World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia Regional Program, Indonesian Centre for Agricultural Land Resources Research and Development. 60p.
- Alex K, Joosten H. 2008. Global peatland assesment. Factbook for UNFCCC policies on peat carbon emission.
- Carlson KM, LKGoodman, and CCMay-Tobin. 2015. Modeling relationships between water table depth and peat soil carbon loss in Southeast Asian plantations. *Environ.Res.Lett.*10: 074006. doi:10.1088/1748-9326/10/7/074006.
- Comeau LP, Hergoualc'h K, Smith J, Verchot LV 2013: Conversion of intact peatswamp forest to oil palm plantation: effects on soil CO<sub>2</sub> fluxes in Jambi, Sumatra. Working Paper 110. Indonesia, CIFOR, Bogor.
- Couwenberg J, Dommain R, Joosten H. 2009. Greenhouse gas fluxes from tropical peatswamps in Southeast Asia. *Global Change Biology*.
- Dariah A, Marwanto S, Agus F 2014: Root- and peat-based CO<sub>2</sub> emissions from oil palmplantations. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.*, 19, 831–843. doi:10.1007/s11027-013-9515-6.
- Etik PH. 2009. Emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan metan (CH<sub>4</sub>) pada perkebunan kelapa sawit di lahan gambut yang memiliki keragaman dalam ketebalan gambut dan umur tanaman. Disertasi S.3. Program Studi Ilmu Tanah, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. 158 hal.
- Hooijer *et al.* 2010. Current and future CO<sub>2</sub> emissions from drained peatlands in Southeast Asia. *Biogeosciences*, 7: 1505–1514.
- Husnain H, Wigena IGP, Dariah A, Marwanto S, Setyanto P, Agus F 2014: CO<sub>2</sub> emissions from tropical drained peat in Sumatra, Indonesia. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.*,19, 845–862. doi: 10.1007/s11027-014-9550-y.
- IPCC. 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. Edited by T. Hiraishi, T. Krug, K. Tanabe, N. Srivastava, J. Baasansuren, M. Fukuda, and T.G. Troxler. IPCC: Switzerland.
- Keddy PA. 2000. Wetland Ecology: principles and conservation. Cambridge University Press. Cambridge, U.K.
- Joosten H. 2009. Peatland status and drainage related emissions in all countries of the world. The Global Peatland CO<sub>2</sub> Picture. Wetlands International. [www.wetlands.org](http://www.wetlands.org). 35p.
- Marwanto S, Agus F. 2014. Is CO<sub>2</sub> flux from oil palm plantations on peatland controlled by soil moisture and/or soil and air temperatures? *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.*, 19, 809–819. doi: 10.1007/s11027-013-9518-3.
- Marwanto S, Sabiham S, Funakawa S. 2019. Importance of CO<sub>2</sub> production in subsoil layers of drained tropical peatland under aged-oil palm plantation. *Soil & Tillage Research* 186:206-213. doi:10.1016/j.still.2018.10.021.
- Melling L, Hatano R., Goh KJ. 2005. Soil CO<sub>2</sub> flux from three ecosystems in tropical peatland of Sarawak, Malaysia, *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 57:1, 1–11. doi: 10.3402/tellusb.v57i1.16772.
- Menteri Pertanian RI. 2009. Peraturan Menteri Pertanian, Nomor: 14/Permentan/PL.110 /2/2009.
- Page S *et al.* 2002. The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. *NATURE*. 420:61-65.
- Ritung S., Wahyunto, Nugroho K, Sukarman, Hikmatullah, Suparto, Tafakresnanto C. 2011. Peta Lahan Gambut Indonesia Skala 1:250.000. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.
- Soil Survey Staff. 2010. Key to soil taxonomy 11<sup>th</sup> United States Departement of Agriculture Natural Resources Conservation Service.
- Wahyunto, K Nugroho, Y Sulaeman, M T Sutriadi, D Kuntjoro, D Nursyamsi. 2017. Peta Lahan Gambut Indonesia Skala 1 : 250.000. Edisi 2017. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Kementerian Pertanian, Jakarta.

ISBN 978-602-459-505-0 (pdf)



9 786024 595050