

BAB III

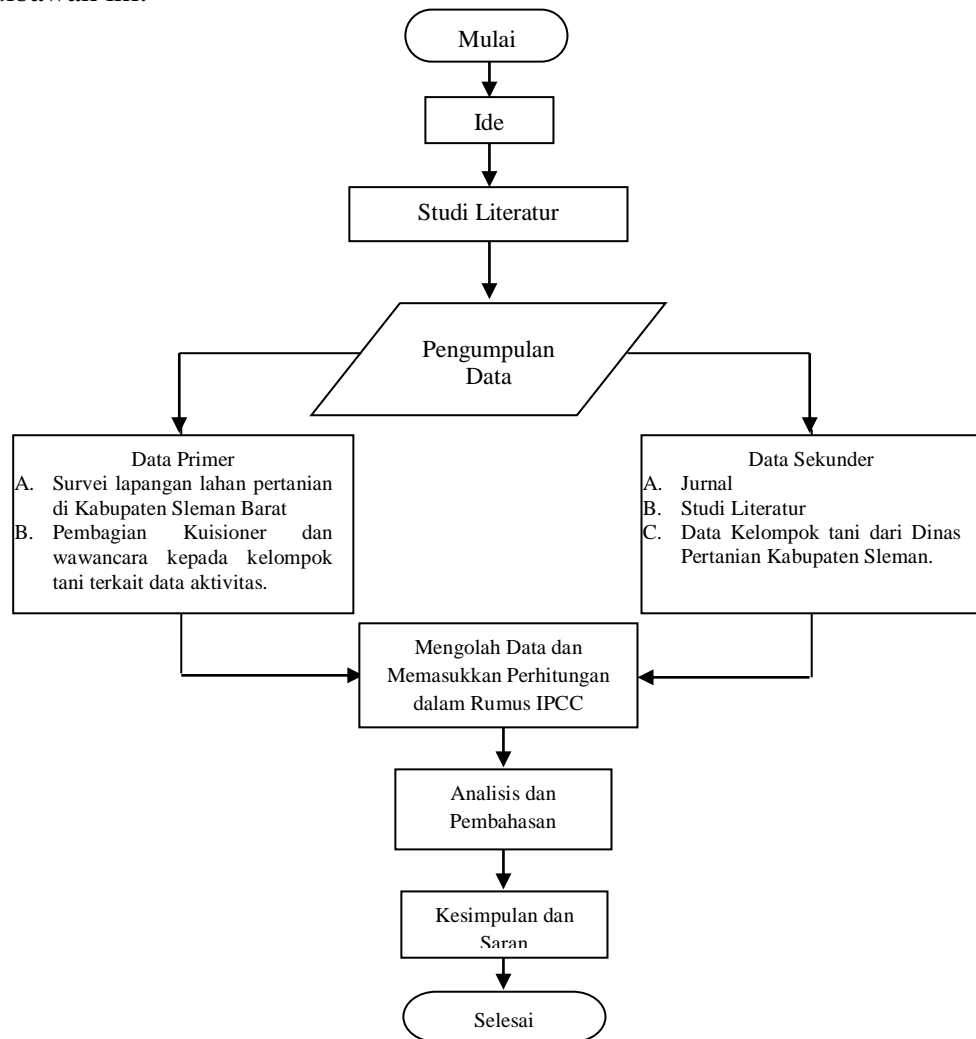
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian adalah Kecamatan Godean, Kecamatan Minggir, Kecamatan Seyegan, dan Kecamatan Moyudan di Kabupaten Sleman, Yogyakarta. Lokasi penelitian yang dipilih adalah kawasan persawahan yang menggunakan sistem sawah irigasi.

3.2 Tahapan Penelitian

Berikut ini diagram alir tahapan penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 3.2 dibawah ini:



Gambar 3.2 Diagram Alir Tahapan Penelitian

3.3 Ide Penelitian

Secara global, suhu bumi mengalami peningkatan 0,8°C sejak satu abad yang lalu. Peningkatan suhu tersebut disebabkan oleh bertambahnya konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer akibat kegiatan manusia yang salah satunya berkaitan dengan aktivitas pertanian. Sektor pertanian disinyalir sebagai salah satu sumber emisi gas rumah kaca, terutama CH₄. CH₄ merupakan salah satu gas rumah kaca dengan kontribusi di atmosfer sebesar 15%. CH₄ memiliki waktu tinggal (*lifetime*) di atmosfer sekitar 8-10 tahun. Secara global jumlah CH₄ di atmosfer sekitar 4700 Tg, dengan konsentrasi global rata-rata sekitar 1740 ppbv. Luas sawah di Indonesia yang lebih dari 10,9 juta hektar diduga memberi kontribusi sekitar 1% dari total global metana. Oleh karena itu, diperlukan data berapa banyak emisi gas metana (CH₄) yang dikeluarkan lahan sawah, selain itu juga untuk membantu pemerintah dalam menghitung investarisasi gas rumah kaca dari sektor pertanian

3.4 Metode Populasi dan Sampel

Dalam menentukan jumlah sampel kuisioner yang ada di Kecamatan Godean, Minggir, Moyudan dan Seyegan di Kabupaten Sleman Daerah Istimewa Yogyakarta yang akan menjadi bahan data primer yang berupa kuisioner dan wawancara, maka ukuran sampel ditentukan dengan menggunakan rumus penentuan jumlah sampel dari populasi yang dikembangkan dari Metode Slovin. Berikut merupakan rumus dari metode Slovin tersebut adalah

$$n = \frac{N}{N \cdot d^2 + 1}$$

Keterangan:

n = Ukuran sampel

N = Ukuran Populasi (dari Kelompok Tani)

d = Galat pendugaan 10 % = 0,1

Contoh :

$$n = \frac{67}{67 \cdot 0,1^2 + 1} = 40,1 \approx 40 \text{ sampel petani padi}$$

Kecamatan Moyudan di Kabupaten Sleman mempunyai populasi petani padi sebanyak 67 kelompok tani. Sehingga penentuan jumlah sampel dari populasi diperoleh jumlah sampel sebanyak 40 sampel petani padi, dimana sampel diwakilkan kepada ketua kelompok tani.

Selanjutnya pengambilan sampel dilakukan secara acak sederhana (Simple Random Sampling). Cara ini dilakukan karena populasinya homogen, dimana seluruh petani yang menjadi populasi adalah petani padi, sehingga semua petani mempunyai kesempatan yang sama untuk menjadi sampel.

3.5 Metode Analisis Data

Analisis data yang diperlukan dengan melakukan survey dengan menggunakan data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari aktivitas petani padi melalui observasi langsung di lapangan dan wawancara langsung dengan menggunakan daftar pertanyaan angket/kuisisioner (lampiran 1) yang telah disiapkan, sedangkan data sekunder yang dibutuhkan antara lain luas sawah dan luas tanam, faktor emisi urea, komposisi pupuk N (Urea, NPK, ZA), kandungan N pada tiap jenis pupuk, faktor emisi sawah irigasi, faktor emisi padi, faktor koreksi jenis tanah dan persen luas lahan sawah berdasarkan jenis tanah dan luas panen serta diperoleh dari referensi yang berhubungan dengan penelitian seperti literatur, jurnal dan buku-buku yang dapat berhubungan dengan penelitian ini serta lembaga atau instansi yang terkait dengan penelitian ini yaitu Dinas Pertanian Kabupaten Sleman.

Setelah data terkumpul, maka data selanjutnya akan dianalisis untuk mendapatkan nilai atau jumlah emisi gas metana (CH_4), emisi gas karbon dioksida (CO_2) dan emisi gas dinitrogen oksida (N_2O) dari lahan sawah di 4 Kecamatan Kabupaten Sleman Barat Daerah Istimewa Yogyakarta melalui perhitungan IPCC dengan menggunakan *Software Microsoft Excel*.

3.6 Metode Perhitungan IPCC 2006

Penelitian ini menggunakan metode IPCC Guidelines 2006 dengan pendekatan tier 1 dan 2. Tier 1 adalah penghitungan emisi GRK dengan menggunakan persamaan dasar (*basic equation*) dan default EF (*emission factor*) yang disediakan dalam IPCC Guidelines, sedangkan tier 2 merupakan metode yang lebih detail, persamaan yang sedikit kompleks, faktor emisi lebih spesifik lokasi berdasarkan hasil-hasil penelitian.

Perhitungan emisi GRK meliputi emisi CH₄ dari budidaya padi sawah, emisi N₂O dan CO₂ dari pemupukan urea, emisi N₂O dari pengelolaan tanah..

Metode perhitungan yang diikuti dalam Pedoman IPCC untuk menghitung emisi/serapan GRK adalah melalui perkalian antara informasi aktivitas manusia dalam jangka waktu tertentu (data aktivitas, DA) dengan emisi/serapan per unit aktivitas (faktor emisi/serapan, FE).

$$\text{Emisi/Serapan GRK} = \text{DA} \times \text{FE}$$

keterangan:

DA : Data aktivitas, yaitu informasi terhadap pelaksanaan suatu kegiatan yang melepaskan atau menyerap gas rumah kaca yang dipengaruhi oleh kegiatan manusia, sedangkan

FE : Faktor Emisi, yaitu besaran yang menunjukkan jumlah emisi gas rumah kaca yang akan dilepaskan atau diserap dari suatu aktivitas tertentu.

3.7 Emisi Metana dari Lahan Sawah

Lahan sawah di Indonesia umumnya dikelola dalam keadaan tergenang air. Petani menginginkan air menggenangi tanaman padi karena dapat mengurangi pertumbuhan gulma yang kerap menguras biaya dan tenaga petani dalam mengelola sawah. Metana adalah salah satu GRK yang dihasilkan melalui dekomposisi anaerobik bahan organik. Untuk mengurai bahan organik menjadi CH₄ dibutuhkan kondisi redoks potensial dibawah -100 mV dan pH berkisar antara 6-7. Lahan sawah tergenang adalah kondisi ideal untuk proses ini. Selain

dekomposisi bahan organik, sumber pelepasan CH₄ lainnya adalah fermentasi enterik dari pencernaan hewan ternak, proses pembakaran bahan organik yang tidak sempurna (*incomplete combustion*), serta akibat proses eksplorasi pertambangan minyak dan gas.

Gas metana mempunyai daya pemanas global (GWP) sekitar 21 kali gas CO₂, maksudnya satu ton CH₄ mempunyai efek pemanasan global setara dengan 23 ton CO₂. Untuk itu, dalam perhitungan emisi metana perlu dikonversi ke CO₂ ekuivalen (CO₂e) dengan menggunakan faktor pengali 23.

Rumus umum perhitungan beban emisi GRK itu sendiri adalah dengan mengalikan antara informasi aktivitas manusia dalam jangka waktu tertentu (data aktivitas, DA) dengan emisi/serapan per unit aktivitas (faktor emisi/serapan, FE) dan untuk emisi CH₄ dihitung dengan mengalikan faktor emisi harian dengan lama budidaya padi sawah dan luas panen dengan persamaan : $CH_4 \text{ Rice} = \sum_{ijk} (EF_{i,j,k} \times t_{i,j,k} \times A_{i,j,k} \times 10^{-6})$

3.7.1 Data Aktivitas

Data aktivitas yang terpenting dalam menentukan emisi CH₄ dari lahan sawah adalah luas lahan sawah atau luas panen lahan sawah. Perbedaan data luas sawah beririgasi teknis dan non teknis serta sawah tadah hujan akan dapat memberikan perkiraan jumlah musim tanam dan lama penggenangan lahan sawah dalam satu tahun. Selanjutnya sistem pengelolaan air, misalnya irigasi terus menerus dan irigasi terputus (*intermittent*) juga mempengaruhi lama penggenangan.

Setyanto et al. (2002) dan Wiharjaka et al. (1999) berpendapat bahwa berbagai varietas padi mempengaruhi jumlah CH₄ yang diemisikan. Dengan demikian penggunaan data aktivitas yang membedakan luas lahan sawah yang ditanami dengan berbagai varietas tersebut akan dapat meningkatkan ketepatan perhitungan. Jika data aktivitas yang tersedia adalah luas panen, maka dalam perhitungan emisi di lahan sawah, tidak perlu mengalikannya dengan jumlah musim tanam dalam satu tahun. Akan tetapi jika data aktivitas yang tersedia adalah luas baku lahan sawah, maka perhitungan harus dikalikan dengan jumlah

musim tanam dalam satu tahun, karena faktor emisi yang tersedia adalah emisi dalam 1 musim tanam.

3.7.2 Faktor Emisi

Angka acuan (*default*) emisi lahan sawah yang diberikan IPCC (2006) adalah 475 kg CH₄/ha/tahun atau sekitar = 0.475 ton CH₄ * 21 CO₂-e/CH₄ = 10 ton CO₂-e/ha/tahun dengan asumsi dua musim tanam dalam satu tahun. Untuk Indonesia diperkirakan emisi 160 kg CH₄/ha/musim atau sekitar = 6.72 ton CO₂-e/(ha . musim) (KLH, 2012). Berbagai sistem pengelolaan air, varietas padi dan jenis tanah mempunyai efek yang berbeda terhadap emisi dari lahan sawah. Untuk itu jika tersedia data sebaran lahan sawah dengan berbagai sistem pengelolaan air, berbagai varietas padi dan jenis tanah , maka faktor koreksi seperti pada Tabel 3.1, Tabel 3.2, Tabel 3.3 Tabel 3.4, dan Tabel 3.5 dapat digunakan dalam perhitungan emisi.

Tabel 3.1. Faktor Koreksi untuk Rejim Air selama Periode Budidaya

Kategori	Pengelolaan air		Faktor koreksi (IPCC,1996)	Faktor Koreksi (Prihasto, et al. 2000,2002,2011)	
Padi Ladang	Tidak ada		0		
Padi sawah	Irigasi	Tergenang terus menerus (Default Acuan)	1	1	
		Pengairan berselang	Single Aeration (pengeringan satu kali)	0,5 (0,2-0,7)	0,46 (0,38-0,53)
			Single Multiple (Pengeringan berkali kali)	0,2 (0,1-0,3)	0,49 (0,19-0,75)
	Tadah hujan	Rawan Banjir	0,8 (0,5-1,0)	0,49 (0,19-0,75)	
		Rawan Kekeringan	0.4 (0-0.5)		

Sumber : IPCC 2006

Tabel 3.2 Faktor Skala Emisi CH₄ untuk Rejim Air Sebelum Periode Penanaman

No.	Rejim air sebelum penanaman	Agregat		Disagregat	
		Faktor Skala	Kisaran Bias	Faktor Skala	Kisaran Bias
1	Tidak tergenang sebelum penanaman (< 180 hari)	1.22-1.07	1.40	1	0.88-1.44
2	Tidak tergenang sebelum penanaman (>180 hari)			0.68	0.58-0.80
3	Tergenang sebelum penanaman (>30 hari)			1.90	1.65-2.18

Sumber : IPCC 2006

Tabel 3.3 Faktor Emisi dan Faktor Koreksi Emisi Metana (CH₄) dari Lahan Sawah untuk Berbagai Varietas Padi

No	Varietas	Rata-rata emisi (kg CH ₄ /ha/musim)	Faktor koreksi terhadap Varietas IR64
1	Gilirang	496,9	2,46
2	Fatmawati	365,9	1,81
3	Aromatic	273,6	1,35
4	Tukad Unda	244,2	1,21
5	IR 72	223,2	1,1
6	Cisadane	204,6	1,01
7	IR 64 ¹⁾	202,3	1
8	Margasari	187,2	0,93
9	Cisantana	186,7	0,92
10	Tukad Petanu	157,8	0,78
11	Batang Anai	153,5	0,76
12	IR 36	147,5	0,73
13	Memberamo	146,2	0,72
14	Dodokan	145,6	0,72
15	Way Apoburu	145,5	0,72
16	Muncul	127	0,63
17	Tukad Balian	115,6	0,57
18	Cisanggarung	115,2	0,57
19	Ciherang	114,8	0,57
20	Limboto	99,2	0,49
21	Wayrareme	91,6	0,45
22	Maros	73,9	0,37
23	Mendawak	255	1,26

No	Varietas	Rata-rata emisi (kg CH ₄ /ha/musim)	Faktor koreksi terhadap Varietas IR64
24	Mekongga	234	1,16
25	Memberamo	286	1,41
26	IR42	269	1,33
27	Fatmawati	245	1,21
28	BP360	215	1,06
29	BP205	196	0,97
30	Hipa4	197	0,98
31	Hipa6	219	1,08
32	Rokan	308	1,52
33	Hipa 5 Ceva	323	1,6
34	Hipa 6 Jete	301	1,49
35	Inpari 1	271	1,34
36	Inpari 6 Jete	272	1,34
37	Inpari 9 Elo	359	1,77

1)IR64 dijadikan sebagai varietas patokan.

(Sumber: Setyanto et al. 2005)

Tabel 3.4 Faktor Koreksi untuk Jenis Tanah

No	Jenis Tanah	Faktor Koreksi Jenis Tanah
1	Alfisols	1.93
2	Andisols	1.02
3	Entisols	1.02
4	Histosols	2.39
5	Inceptisols	1.12
6	Oksisols	0.29
7	Ultisols	0.29
8	Vertisols	1.06

Sumber : IPCC 1996

Tabel 3.5 Faktor Konversi untuk Penggunaan Berbagai Jenis Bahan Organik

No.	Bahan Organik	Faktor Konversi (CFOA)	Kisaran Bias
1	Jerami di tambahkan dalam jangka waktu pendek (< 30 hari) sebelum penanaman	1.0	0.97 - 1.04
2	Jerami di tambahkan dalam jangka waktu lama (> 30 hari) sebelum penanaman	0.29	0.20 - 0.40
3	Kompos	0.05	0.01 - 0.08
4	Pupuk Kandang	0.14	0.07 - 0.20
5	Pupuk Hijau	0.50	0.30 - 0.60

Catatan:

- Aplikasi jerami adalah apabila jerami ditanamkan ke dalam tanah, tidak diletakkan dipermukaan tanah atau dibakar di lahan sawah
- Sumber : Yan et al., 2005 dalam IPCC (2006)

3.7.3 Perhitungan Emisi Gas Metana (CH₄)

Persamaan untuk menduga emisi CH₄ dari pengelolaan lahan sawah di suatu wilayah adalah sebagai berikut :

$$CH_4 \text{ Rice} = \sum_{ijk} (EF_{ijk} \times t_{ijk} \times A_{ijk} \times 10^{-6}) \dots\dots\dots 3.1$$

Dimana :

EF_{i,j,k} = Faktor emisi untuk kondisi I, j, dan k; kg CH₄ per hari (dari Tabel 3.1 s/d 3.5)

t_{i,j,k} = Lama budidaya padi sawah untuk kondisi I, j, dan k; hari (dari kuisisioner)

A_{i,j,k} = Luas panen padi sawah untuk kondisi I, j, dan k; ha per tahun (dari kuisisioner dan dinas pertanian)

i,j,k = Mewakili ekosistem berbeda: i: rezim air, j: jenis & jumlah pengembalian bahan organik tanah, dan k: kondisi lain di mana emisi CH₄ dari padi sawah dapat bervariasi.

Jenis sawah dapat dikelompokkan menjadi tiga rejim air yaitu sawah irigasi (teknis, setengah teknis dan sederhana), sawah tadah hujan, dan sawah dataran tinggi. Hal ini perlu dipertimbangkan karena kondisi (i, j, k, dst.)

mempengaruhi emisi CH₄. Emisi untuk masing-masing sub-unit (ekosistem) disesuaikan dengan mengalikan faktor emisi default (Tier 1) dengan berbagai faktor skala.

Tier 1 berlaku untuk negara-negara di mana emisi CH₄ dari budidaya padi bukan kategori kunci atau faktor emisi lokal tidak tersedia. Persamaan untuk mengoreksi faktor emisi baseline ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$EF_i = (EF_c \times SF_w \times SF_p \times SF_o \times SF_{s,r}) \dots\dots\dots 3.2$$

Dimana :

EF_i = Faktor emisi harian yang terkoreksi untuk luas panen tertentu, kg CH₄ / hari

EF_c = Faktor emisi baseline untuk padi sawah dengan irigasi terus-menerus dan tanpa pengembalian bahan organik. (dari tabel 3.1)

SF_w = Faktor skala yang menjelaskan perbedaan rejim air selama periode Budidaya (dari Tabel 3.1)

SF_p = Faktor skala yang menjelaskan perbedaan rejim air sebelum period budidaya (dari Tabel 3.2)

SF_o = Faktor skala yang menjelaskan jenis dan jumlah pengembalian bahan organik yang diterapkan pada periode budidaya padi sawah (dari Tabel 3.5)

SF_{s,r} = Faktor skala untuk jenis tanah, varietas padi sawah dan lain-lain, jika tersedia (dari Tabel 3.3 dan Tabel 3.4)

Faktor skala untuk penggunaan bahan organik dihitung berdasarkan jumlah bahan organik yang diberikan dalam periode budidaya dengan persamaan sebagaimana berikut ini:

$$SF_o = (1 + ROA_i * CFOA_i)^{0.59} \dots\dots\dots 3.3$$

Dimana :

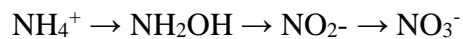
SF_o = Faktor skala untuk jenis bahan organik yang digunakan

ROA_i = Jumlah bahan organik yang digunakan, dalam berat kering atau berat segar, ton/ha (dari kuisisioner)

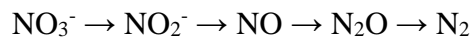
CFOA_i = Faktor konversi bahan organik (dari Tabel 2.10)

3.8 Emisi N₂O dari Pemupukan

Emisi N₂O terdiri dari emisi langsung dan emisi tidak langsung. Emisi langsung N₂O di dalam tanah terjadi karena proses nitrifikasi dan denitrifikasi serta denitrifikasi secara kimia yang tidak melibatkan mikroba. Nitrifikasi adalah proses oksidasi amonium (NH₄⁺) oleh mikroba secara aerobik menjadi nitrit dengan hasil antara berupa NH₂OH, dan kemudian berubah menjadi nitrat:



Bila jumlah oksigen terbatas (kadar air tanah mendekati jenuh), oksidator ammonium dapat memanfaatkan NO₂⁻ sebagai electron acceptor dan selanjutnya menghasilkan N₂O. N₂O juga terbentuk dalam proses denitrifikasi, yaitu proses reduksi nitrat oleh mikroba dalam keadaan anaerobik yang menghasilkan gas NO, N₂O dan N₂:



Pada umumnya, peningkatan konsentrasi N di dalam tanah akan meningkatkan nitrifikasi dan denitrifikasi yang kemudian meningkatkan produksi N₂O. Peningkatan N tersedia dapat terjadi karena pemupukan N, perubahan penggunaan lahan dan pengelolaan bahan organik yang menyebabkan terjadinya mineralisasi N organik tanah.

3.8.1 Data Aktivitas

Data aktivitas yang paling sederhana untuk menghitung emisi N₂O adalah jumlah pupuk N yang digunakan untuk lahan pertanian, baik yang berasal dari pupuk buatan, maupun pupuk organik. Estimasi jumlah penggunaan pupuk organik dan kandungan N-nya jauh lebih rumit dibandingkan dengan penggunaan pupuk buatan. Karena itu data aktivitas adalah jumlah penggunaan masing masing pupuk dikalikan dengan kandungan N-nya. Untuk tingkat provinsi data penggunaan pupuk N dapat diperoleh dari dinas pertanian provinsi dan kabupaten serta dari BPS. Secara nasional, data konsumsi pupuk diperoleh dari Asosiasi Produsen Pupuk Indonesia dan ditampilkan pada Tabel 3.6 (<http://www.appi.or.id/?statistic>, diunduh Oktober 2013).

Tabel 3.6 Konsumsi Pupuk N Lahan Pertanian Indonesia dari Tahun 2007 sampai Tahun 2011

Jenis Pupuk	Jumlah Penggunaan (ton/tahun) pada tahun				
	2007	2008	2009	2010	2011
Urea	5.028.818	5.133.220	5.411.462	5.131.287	5.225.137
ZA	746.062	773.668	935.828	731.044	956.596
NPK	732.599	1.175.027	1.666.517	1.804.413	2.124.474

3.8.2 Faktor Emisi

Sumber-sumber N yang menyebabkan emisi langsung N_2O dari tanah yang dikelola adalah sebagai berikut: Pupuk N sintetis misalnya, Urea, ZA, NPK (F_{SN}), N-organik yang digunakan sebagai pupuk misalnya, pupuk kandang, kompos, lumpur limbah, limbah (F_{ON}), Urin dan kotoran mengandung N yang disimpan di padang rumput, padang penggembalaan atau tempat hewan merumput (F_{PRP}), N dalam sisa tanaman (di atas tanah dan di bawah tanah), termasuk dari tanaman yang memfiksasi N dan dari pembaharuan hijauan atau padang rumput (F_{CR}), Mineralisasi N yang berhubungan dengan hilangnya bahan organik tanah akibat perubahan penggunaan lahan atau pengelolaan tanah mineral (F_{SOM}), Drainase atau pengelolaan tanah organik (histosol) (F_{OS}). Persamaan untuk menduga emisi N_2O langsung dari tanah yang dikelola adalah sebagai berikut :

$$N_2O\text{-Direct} = N_2O\text{-}N_{N\text{ input}} + N_2O\text{-}N_{OS} + N_2O\text{-}N_{PRP}$$

Faktor-faktor emisi untuk menduga emisi N_2O langsung dari tanah yang dikelola dapat menggunakan default faktor emisi IPCC (2006) seperti disajikan pada Tabel 3.7

Tabel 3.7 Default Faktor Emisi untuk Menghitung Emisi N_2O dari Tanah yang Dikelola

Faktor emisi (FE)	Angka acuan	Kisaran
EF1 untuk faktor emisi untuk emisi N_2O dari input N untuk lahan kering, kg $N_2O\text{-}N$ per kg N input.	0.01	0.003 - 0.03
EF _{IFR} untuk faktor emisi untuk emisi N_2O dari input N untuk sawah irigasi, kg $N_2O\text{-}N$ per kg N input.	0.003	0.000 - 0.006

Faktor emisi (FE)	Angka acuan	Kisaran
EF _{2CG,Temp} untuk tanaman organik dan tanah padang rumput di daerah temperatur , kg N ₂ O–N per ha)	8.0	2-24
EF _{2CG,Trop} untuk tanaman organik dan tanah padang rumput di daerah tropis , kg N ₂ O–N / ha)	16.0	5-48
EF _{2F,Temp,Org,R} untuk tanah hutan yang kaya hara tanah di daerah temperate dan boreal, kg N ₂ O–N per ha	0.6	0.16 - 2.4
EF _{2F,Temp,Org,P} untuk tanah hutan yang miskin hara tanah di daerah temperate & boreal, kg N ₂ O–N per ha	0.1	0.02 - 0.3
EF _{2F,Trop} untuk tanah hutan organik di daerah tropis, kg N ₂ O–N per ha	8.0	0 – 24
EF _{3PRP, CPP} untuk sapi (sapi perah, sapi potong dan kerbau), unggas dan babi, kg N ₂ O–N per ha	0.02	0.007 - 0.06
EF _{3PRP, SO} untuk domba & ternak lain, kg N ₂ O–N per ha	0.01	0.003 - 0.03

Sumber : IPCC

Sumber-sumber N dari emisi N₂O tidak langsung dari tanah yang dikelola adalah 2006 sebagai berikut: Pupuk N sintetis misalnya, Urea, ZA, NPK (F_{SN}), Norganik yang digunakan sebagai pupuk misalnya, pupuk kandang, kompos, lumpur limbah, limbah (F_{ON}), Urin dan kotoran mengandung N yang disimpan di padang rumput, padang penggembalaan atau tempat hewan merumput (F_{PRP}), N dalam sisa tanaman (di atas tanah dan di bawah tanah) termasuk dari tanaman yang memfiksasi N dan dari pembaharuan hijauan atau padang rumput (F_{CR}), Mineralisasi N yang berhubungan dengan hilangnya bahan organik tanah akibat perubahan penggunaan lahan atau pengelolaan tanah mineral (F_{SOM}). Persamaan untuk menduga emisi N₂O tidak langsung dari tanah yang dikelola adalah dengan rumus sebagai berikut: $N_2O\text{-Indirect} = (N_2O_{(ATD)\text{-N}} + N_2O_{(L)\text{-N}})$

Faktor-faktor emisi menduga emisi N₂O tidak langsung dari tanah yang dikelola dapat menggunakan default faktor emisi IPCC (2006) seperti pada Tabel 3.8

Tabel 3.8 Default Emisi, Faktor Volatisasi dan Pencucian untuk Emisi N₂O Tidak Langsung dari Tanah

Faktor emisi (FE)	Angka acuan	Kisaran
EF ₄ [volatisasi dan redeposit N], kg N ₂ O-N per kg NH ₃ -N + NO _x -N tervolatisasi	0.010	0.002 -0.05
EF ₄ [volatisasi dan redeposit N], kg N ₂ O-N per kg NH ₃ -N + NO _x -N tervolatisasi	0.0075	0.0005-0.025
Frac _{GASF} [volatisasi dari pupuk sintetis], kg NH ₃ -N + NO _x -N per kg N yang digunakan	0.10	0.03 -0.3
Frac _{GASM} [Volatilisasi dari semua pupuk N organik, urin dan kotoran yang dideposit ternak], kg NH ₃ -N +NO _x -N per kg N yang digunakan atau dideposit	0.20	0.05 -0.5
Frac _{LEACH-(H)} [N yang hilang karena pencucian/aliran permukaan untuk daerah dengan Σ CH pada musim hujan) - Σ evapotranspirasi potensial pada periode yang sama) > kapasitas tanah memegang air, OR dengan menggunakan irigasi (kecuali irigasi tetes)], kg N per N yang ditambahkan atau dideposit oleh ternak	0.30	0.1 - 0.8

Sumber : IPCC (2006)

3.8.3 Perhitungan Emisi N₂O dari Pemupukan

Persamaan untuk menduga emisi N₂O langsung dari tanah yang dikelola adalah sebagaimana berikut ini:

$$\text{Emisi N}_2\text{O-Direct} = \text{N}_2\text{O-N}_{\text{N input}} + \text{N}_2\text{O-N}_{\text{OS}} + \text{N}_2\text{O-N}_{\text{PRP}} \dots \dots \dots 3.4$$

Untuk menghitung emisi tahunan N₂O langsung dari input N ke tanah yang dikelola, kg N₂O-N per tahun dengan persamaan berikut:

$$\text{N}_2\text{O-N}_{\text{N input}} = \{[(\text{F}_{\text{SN}} + \text{F}_{\text{ON}} + \text{F}_{\text{CR}} + \text{F}_{\text{SOM}}) \times \text{EF}_1] + [(\text{F}_{\text{SN}} + \text{F}_{\text{ON}} + \text{F}_{\text{CR}} + \text{F}_{\text{SOM}}) \times \text{EF}_{1\text{IFR}}]\} \dots \dots \dots 3.5$$

Untuk menghitung emisi tahunan N₂O langsung dari pengelolaan tanah organik, kg N₂O -N per tahun adalah dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} \mathbf{N_2O-N_{OS}} = & \{(\mathbf{F_{OS,CG,Temp}} \times \mathbf{EF_{2CG,Temp}}) + (\mathbf{F_{OS,CG,Trop}} \times \mathbf{EF_{2CG,Trop}}) + \\ & (\mathbf{F_{OS,F,Temp,NR}} \times \mathbf{EF_{2F,Temp,NR}}) + (\mathbf{F_{OS,CG,Temp,NP}} \times \mathbf{EF_{2F,Temp,NP}}) + \\ & (\mathbf{F_{OS,F,Trop}} \times \mathbf{EF_{2F,Trop}})\} \dots \dots \dots \mathbf{3.6} \end{aligned}$$

Untuk menghitung emisi tahunan N₂O langsung dari input urin atau kotoran ternak ke padang rumput atau penggembalaan, kg N₂O-N per tahun adalah dengan persamaan berikut ini :

$$\mathbf{N_2O-N_{PRP}} = [(\mathbf{F_{PRP, CPP}} \times \mathbf{EF_{3PRP, CPP}}) + (\mathbf{F_{PRP, SO}} \times \mathbf{EF_{3PRP, SO}})] \dots \dots \dots \mathbf{3.7}$$

Keterangan :

N₂O-_{Direct} = Emisi tahunan N₂O langsung dari tanah yang dikelola, kg N₂O-N per tahun.

N₂O-N_{Ninput} = Emisi tahunan N₂O langsung dari input N ke tanah yang dikelola, kg N₂O-N per tahun.

N₂O-N_{OS} = Emisi tahunan N₂O langsung dari pengelolaan tanah organik, kg N₂O-N per tahun.

N₂O-N_{PRP} = Emisi tahunan N₂O langsung dari input urin atau kotoran ternak ke padang rumput atau penggembalaan, kg N₂O-N /th.

F_{SN} = Jumlah tahunan pupuk sintetik N yang diaplikasikan ke tanah, kg N per tahun. (dari Kuisisioner)

F_{ON} = Jumlah tahunan dari pupuk kandang, kompos, urin, kotoran ternak, dan N organik lainnya yang diaplikasikan ke tanah, kg N per tahun. (dari Kuisisioner)

F_{CR} = Jumlah tahunan dari sisa tanaman (di atas tanah dan di bawah tanah), termasuk tanaman yang memfiksasi N dan dari pembaharuan hijauan atau padang rumput, kg N per tahun. (dari Kuisisioner)

F_{SOM} = Jumlah tahunan dari N pada tanah yang dimineralisasi, yang berhubungan dengan hilangnya bahan organik tanah akibat

perubahan penggunaan lahan atau pengelolaan tanah mineral, kg N per tahun. (dari Kuisisioner)

F_{PRP} = Jumlah tahunan dari input urin dan kotoran N yang dideposit di padang rumput atau padang penggembalaan, kg N per tahun (CPP: Sapi, Unggas, dan Babi, dan SO: domba, dll). (dari Kuisisioner)

F_{OS} = Luas dari tanah organik yang dikelola/didrainase, ha (CG, F, Temp, Trop, NR dan NO adalah kependekakan dari Cropland dan Grassland, Forest Land, Temperate, Tropical, Kaya Hara [Nutrient Rich], dan Miskin Hara [Nutrient Poor]). (dari Kuisisioner)

EF_1 = Faktor emisi untuk emisi N_2O input N untuk lahan kering, kg N_2O-N per (kg N input). (dari Tabel 3.7)

EF_{1FR} = Faktor emisi untuk emisi N_2O input N untuk sawah irigasi, kg N_2O-N per (kg N input). (dari Tabel 3.7)

$EF_{2CG,F,Temp, Trop,R,P}$ = Faktor emisi untuk emisi N_2O dari tanah organik yang dikelola/didrainase input N untuk sawah irigasi, kg N_2O-N per (ha tahun). (dari Tabel 3.7)

EF_{3PRP} = Faktor emisi untuk emisi N_2O dari urin dan kotoran N yang dideposit di padang rumput atau padang penggembalaan, kg N_2O-N per (kg N input). (dari Tabel 3.7)

Persamaan yang digunakan untuk menduga emisi N_2O tidak langsung dari tanah yang dikelola adalah sebagai berikut ini :

$$N_2O\text{-Indirect} = (N_2O_{(ATD)}-N + N_2O_{(L)}-N) \dots \dots \dots 3.8$$

dimana:

$N_2O\text{-Indirect}$ = Emisi tahunan N_2O langsung dari tanah yang dikelola, kg N_2O-N per tahun.

Untuk menghitung jumlah tahunan N_2O-N yang dihasilkan volatilisasi N ke atmosfer dari tanah yang dikelola, kg N_2O-N per tahun adalah sebagai berikut :

$$N_2O_{(ATD)}-N = [(F_{SN} \times F_{racGASF}) + ((F_{ON} + F_{PRP}) \times F_{racGASM})] \times EF_4 \dots \dots \dots 3.9$$

$$\mathbf{N_2O(L)-N = (F_{SN} + F_{ON} + F_{PRP} + F_{CR} + F_{SOM}) \times F_{racLEACH-(H)} \times EF_5.3.10}$$

Keterangan :

$N_2O_{(ATD)}-N$ = Jumlah tahunan N_2O-N yang dihasilkan volatisasi N ke atmosfer dari tanah yang dikelola, kg N_2O-N per tahun.

F_{SN} = Jumlah tahunan pupuk N sintetis yang diberikan ke tanah , N per tahun. (dari Kuisisioner)

$F_{racGASF}$ = Fraksi pupuk N sintetis yang bervolatisasi sebagai NH_3 dan NO_x , kg N tervolatisasi per kg N yang digunakan. (dari Tabel 3.8)

F_{ON} = Jumlah tahunan pupuk kandang, kompos, urin dan kotoran , dan bahan organik lain yang diaplikasikan ke tanah, kg N/th.(dari Kuisisioner)

F_{PRP} = Jumlah tahunan urin dan kotoran ternak yang dideposit di padang rumput atau padang penggembalaan, kg N per tahun. (dari Kuisisioner)

$F_{racGASM}$ = Fraksi pupuk organik N (F_{ON}) dan urin dan korotan ternak yang dideposit ternak (F_{PRP}) yang tervolatisasi sebagai NH_3 & NO_x , kg N tervolatisasi per kg of N yang diaplikasikan.(dari Tabel 3.8)

EF_4 = Faktor emisi N_2O dari deposit N pada tanah dan permukaan air , [kg $N-N_2O$ per (kg NH_3-N + NO_x-N volatilised)] (dari Tabel 3.8)

F_{CR} = Jumlah tahunan dari sisa tanaman (di atas tanah dan di bawah tanah), termasuk tanaman yang memfiksasi N dan dari pembaharuan hijauan atau padang rumput, kg N per tahun. (dari Kuisisioner)

F_{SOM} = Jumlah tahunan dari N pada tanah yang dimineralisasi, yang berhubungan dengan hilangnya bahan organik tanah akibat perubahan penggunaan lahan atau pengelolaan tanah mineral, kg N per tahun. (dari Kuisisioner)

$F_{racLEACH-(H)}$ = Fraksi dari semua N yang ditambahkan/dimineralisasi pada tanah yang dikelola di wilayah yang mengalami pencucian / aliran permukaan yang melauai pencucian dan aliran permukaan, kg N per kg of N yang ditambahkan (dari Tabel 3.8)

EF_5 = Faktor emisi untuk emisi N_2O dari deposit N atmosfer akibat pencucian dan aliran permukaan N, kg N_2O-N . (Tabel 3.8)

3.9 Emisi Karbondioksida (CO₂) dari Penggunaan Pupuk Urea

Penggunaan pupuk urea pada budidaya pertanian menyebabkan lepasnya CO₂ yang diikat selama proses pembuatan pupuk. Urea (CO(NH₂)₂) diubah menjadi amonium (NH₄⁺), ion hidroksil (OH⁻), dan bikarbonat (HCO₃⁻) dengan adanya air dan enzim urease. Mirip dengan reaksi tanah pada penambahan kapur, bikarbonat yang terbentuk selanjutnya berkembang menjadi CO₂ dan air.

Kategori sumber ini perlu dimasukkan karena pengambilan (fiksasi) CO₂ dari atmosfer selama pembuatan urea diperhitungkan dalam sektor industri. Emisi CO₂ dari penggunaan pupuk urea dihitung dengan persamaan berikut:

$$CO_2\text{-Emission} = (M_{Urea} \times EF_{Urea})$$

3.9.1 Data Aktivitas

Inventarisasi GRK memerlukan ketersediaan data aktivitas yang kompleks. Pengumpulan data dilakukan dengan cara survey ke dinas-dinas terkait, BPS dan juga wawancara langsung dengan petani. Untuk mendapatkan data mengenai penggunaan pupuk di lahan basah maupun kering. Lahan basah adalah lahan padi sawah dan lahan kering adalah lahan pertanaman hortikultura, perkebunan maupun palawija (IPCC 2006). Dosis anjuran penggunaan pupuk urea untuk jenis tanaman pangan disajikan pada Tabel 3.9

Tabel 3.9 Dosis Anjuran Pupuk Urea Beberapa Komoditas Pertanian

Jenis Tanaman	Dosis N (kg/ha)	Urea (kg/ha)
Padi	113	250
Jagung	158	350
Kedelai	25	56
Kacang Tanah	25	56
Kacang Hijau	25	56
Ubikayu	68	150
Ubijalar	68	150

Sumber : Pawitan et al, (2009)

3.9.2 Faktor Emisi

Faktor emisi adalah Jumlah GRK yang dikeluarkan oleh satu unit luas lahan, satu ekor ternak atau satu satuan berat pupuk N per satuan waktu. Faktor emisi, ton C per urea ($E_{f_{Urea}}$) sendiri menggunakan Default IPCC (Tier 1) untuk faktor emisi urea sebesar 0.20 atau setara dengan kandungan karbon pada pupuk urea berdasarkan berat atom (20% dari $CO(NH_2)_2$) (IPCC, 2006).

3.9.3 Perhitungan Emisi Karbon Dioksida (CO_2) dari Penggunaan Pupuk Urea

Untuk menghitung emisi gas karbon dioksida (CO_2) dari lahan sawah yang menggunakan pupuk urea adalah dengan rumus berikut:

$$CO_2 \text{ Emission} = (M_{urea} \times EF_{Urea})$$

Dimana :

CO_2 Emission = Emisi C tahunan dari aplikasi Urea, ton CO_2 /tahun

M_{urea} = Jumlah pupuk Urea yang diaplikasikan, ton/tahun (dari Kuisioner)

EF_{urea} = Faktor emisi, ton C per (Urea). Default IPCC Tier 1 untuk faktor emisi urea adalah 0,20 atau setara dengan kandungan karbon pada pupuk urea berdasarkan berat atom (20% dari $CO(NH_2)_2$).