

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 1.1 Gas Rumah Kaca

Gas rumah kaca adalah gas yang terkandung dalam atmosfer, baik alami maupun dari kegiatan manusia (*antropogenik*), yang menyerap dan memancarkan kembali radiasi inframerah. Sebagian radiasi matahari dalam bentuk gelombang pendek yang diterima permukaan bumi dipancarkan kembali ke atmosfer dalam bentuk radiasi gelombang panjang (radiasi infra merah). Radiasi gelombang panjang yang dipancarkan ini oleh GRK yang ada pada lapisan atmosfer bawah, dekat dengan permukaan bumi akan diserap dan menimbulkan efek panas yang dikenal sebagai efek rumah kaca (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012).

Menurut UNFCCC, ada 6 jenis gas yang digolongkan menjadi GRK, yaitu karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), dinitro oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ), metana ( $\text{CH}_4$ ), sulfurheksaflorida ( $\text{SF}_6$ ), perflorokarbon (PFCs), dan hidroflorocarbon (HFCs). Dari semua jenis gas tersebut, GRK utama ialah  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , dan  $\text{N}_2\text{O}$ . Dari ketiga jenis gas ini, yang paling banyak kandungannya di atmosfer ialah  $\text{CO}_2$  sedangkan yang lainnya sedikit. Meskipun konsentrasi gas  $\text{CH}_4$  dan  $\text{N}_2\text{O}$  sedikit, tetapi kemampuan potensi pemanasan global gas tersebut lebih tinggi. Berikut ini adalah kemampuan potensi pemanasan global menurut IPCC.

Tabel 2.1 Jenis-jenis GRK dan Nilai Potensi Pemanasan Global

<b>Gas Rumah Kaca</b>	<b>Rumus Kimia</b>	<b>Nilai Potensi Pemanasan Global</b>	<b>Masa Hidup di Atmosfer</b>
Karbon dioksida	$\text{CO}_2$	1	variabel
Metana	$\text{CH}_4$	25	12,2 tahun
Dinitro oksida	$\text{N}_2\text{O}$	298	120 tahun

Sumber: IPCC dalam Kementerian Lingkungan Hidup, 2012  
Hardy, 2003

Berdasarkan podoman yang dikeluarkan oleh Panel antar Pemerintah untuk Perubahan Iklim, sumber emisi dan rosot (*sink*) yang masuk dalam inventarisasi GRK berasal dari 4 sektor, yaitu:

1. Pengadaan dan penggunaan energi
2. Proses industri dan penggunaan produk
3. Pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan lainnya (AFOLU)
4. Limbah.

Dari empat sektor tersebut, kegiatan yang merupakan sumber dan penyerap GRK adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2 Kategori Kegiatan dengan Sumber dan Penyerap GRK

No.	Kategori	Sub-Kategori Sumber/Rosot
1	Pengadaan dan Penggunaan Energi	Kategori ini mencakup seluruh emisi GRK yang dihasilkan dari penggunaan dan pengadaan energi: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kegiatan Pembakaran Bahan Bakar</li> <li>- Emisi Fugitive</li> <li>- Transportasi dan Penyimpanan Karbon dioksida</li> </ul>
2	Proses Industri dan Penggunaan Produk	Emisi dari Proses Industri Dan Penggunaan Produk: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Industri Mineral</li> <li>- Industri Kimia</li> <li>- Industri Logam</li> <li>- Produk-produk Non Energi dan Penggunaan Solvent/ Pelarut</li> <li>- Industri Elektronik</li> <li>- Penggunaan produk yang mengandung senyawa pengganti bahan perusak ozon</li> <li>- Produk Manufacture lain dan Penggunaannya</li> </ul>
3	Pertanian, Kehutanan, dan	Termasuk di dalamnya emisi dari: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Peternakan</li> </ul>

No.	Kategori	Sub-Kategori Sumber/Rosot
	Penggunaan Lahan Lainnya	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lahan: Lahan Hutan, Lahan Pertanian, Padang Rumput, Lahan basah, Pemukiman</li> <li>- Emisi dari pembakaran biomassa</li> <li>- Pengapuran</li> <li>- Penggunaan Urea</li> <li>- Emisi N<sub>2</sub>O langsung dari pengelolaan tanah</li> <li>- Emisi N<sub>2</sub>O tidak langsung dari pengelolaan tanah dan pengelolaan pupuk</li> <li>- Pengelolaan sawah</li> </ul>
4	Limbah	Emisi berasal dari kegiatan pengelolaan limbah: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pembuangan Akhir Sampah Padat</li> <li>- Pengolahan Limbah Padat secara Biologi</li> <li>- Pembakaran Sampah melalui Insinerator dan Pembakaran Sampah secara Terbuka</li> <li>- Pengolahan</li> </ul>
5	Lainnya (emisi tidak langsung dari deposisi nitrogen dari sumber non-pertanian)	Semua dugaan emisi termasuk emisi N <sub>2</sub> O dari deposisi nitrogen (N) dari NO <sub>x</sub> /NH <sub>3</sub> dimana saja ada deposit dan dari sumber apa saja tetapi tidak dihitung di sektor tersebut di atas, termasuk N yang dideposit di lautan. Dugaan emisi ini diperlukan karena faktor emisi untuk deposit Nitrogen hampir sama besarnya dengan emisi nitrogen dari sumber-sumber emisi pertanian lainnya.

Sumber: IPCC, 2006

## 1.2 Emisi Gas Rumah Kaca dari Kegiatan Pertanian

Berdasarkan Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi GRK Nasional sektor pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan lainnya (AFOLU), emisi GRK dari sektor pertanian diduga dari emisi:

1. Metana ( $\text{CH}_4$ ) dari budidaya padi sawah,
2. Karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) karena penambahan bahan kapur dan pupuk urea,
3. Dinitrogen oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ) dari tanah, termasuk emisi  $\text{N}_2\text{O}$  tidak langsung dari penambahan N ke tanah karena penguapan/pengendapan dan pencucian, dan
4. Gas Non- $\text{CO}_2$  dari biomassa yang dibakar pada aktivitas pertanian.

### **1.2.1 Emisi Gas Metana ( $\text{CH}_4$ ) dari Budidaya Padi**

Gas metana adalah salah satu GRK yang dihasilkan melalui dekomposisi bahan organik secara anaerobik pada lahan sawah. Emisi gas  $\text{CH}_4$  dipengaruhi oleh beberapa faktor, baik itu faktor kondisi fisik lahan maupun kegiatan budidaya padi itu sendiri. Faktor-faktor yang mempengaruhi emisi gas  $\text{CH}_4$  dari sawah adalah sebagai berikut:

#### **1. Jenis Tanah**

Tanah merupakan salah satu faktor penting dalam produksi gas  $\text{CH}_4$ . Pada jenis tanah vertisol (grumusol) yang terolong liat berat menyebabkan tanah tersebut mampu menahan air dalam jumlah yang cukup besar. Keadaan ini menyebabkan drainase tanah sawah menjadi buruk, sehingga terjadi penggenangan air di sawah. Penggenangan menyebabkan keadaan sawah menjadi anaerobik yang selanjutnya mendukung terjadinya pembentukan gas  $\text{CH}_4$  pada tanah sawah (Bachelet dan Neue dalam Naharia, 2004)

#### **2. Suhu**

Suhu tanah memegang peranan penting dalam aktivitas mikroorganisme tanah. Sebagian besar bakteri metanogenik adalah mesofilik dengan suhu optimum antara  $30\text{-}40^\circ\text{C}$ . Penggenangan diam adalah lingkungan yang cocok untuk pembentukan  $\text{CH}_4$  terutama di daerah tropis karena penggenangan diam meningkatkan suhu tanah dan suhu air di lahan sawah pada siang hari dengan kisaran  $30^\circ\text{C}$  hingga  $40^\circ\text{C}$ . Meningkatnya suhu tanah dan air disebabkan oleh efek rumah kaca di lahan tersebut di mana genangan air akan meneruskan radiasi gelombang pendek (ultra ungu) matahari ke tanah dan mengurangi pancaran gelombang panjang (infra merah) ke atas. Suhu tanah dapat

meningkat hingga 40°C bila tidak ditanami. Suhu tinggi ini dapat diturunkan melalui penutupan oleh tanaman, aliran air dan hujan (Setyanto, 2004.)

### 3. Derajat Keasaman (pH) Tanah

Reaksi tanah yang penting adalah masam, netral dan alkalin. Hal ini didasarkan pada jumlah ion  $H_+$  dan  $OH^-$  dalam larutan tanah. Bila dalam larutan tanah ditemukan ion  $H_+$  lebih banyak dari  $OH^-$  maka tanah disebut masam, kondisi sebaliknya disebut alkalin. Bila konsentrasi ion  $H_+$  dan  $OH^-$  seimbang maka disebut netral. Untuk menyeragamkan pengertian, sifat reaksi tersebut dinilai berdasarkan konsentrasi ion  $H_+$  dan dinyatakan dengan sebutan pH.

Sebagian besar bakteri metanogenik adalah neutrofilik, yaitu hidup pada kisaran pH antara 6-8. Wang *et al.* (1993) dalam Setyanto (2004), menemukan bahwa pembentukan  $CH_4$  maksimum terjadi pada pH 6,9 hingga 7,1. Perubahan kecil pada pH akan menyebabkan menurunnya pembentukan  $CH_4$ . Pada pH di bawah 5,75 atau di atas 8,75 menyebabkan pembentukan  $CH_4$  terhambat.

### 4. Varietas Padi

Tanaman padi memegang peranan penting dalam emisi gas  $CH_4$  dari lahan sawah. Diduga 90%  $CH_4$  yang dilepas dari lahan sawah ke atmosfer dipancarkan melalui tanaman dan sisanya melalui gelembung air (*ebullition*). Ruang udara pada pembuluh aerenkima daun, batang dan akar yang berkembang dengan baik menyebabkan pertukaran gas pada tanah tergenang berlangsung cepat. Pembuluh tersebut bertindak sebagai cerobong (*chimney*) bagi pelepasan  $CH_4$  ke atmosfer. Suplai  $O_2$  untuk respirasi pada akar melalui pembuluh aerenkima dan demikian pula gas-gas yang dihasilkan dari dalam tanah, seperti  $CH_4$  akan dilepaskan ke atmosfer juga melalui pembuluh yang sama untuk menjaga keseimbangan termodinamika (Raimbault *et al.*, 1977; Wagatsuma *et al.*, 1990 dalam Setyanto, 2004). Mekanisme ini terjadi akibat perbedaan gradien konsentrasi antara air di sekitar akar dan ruang antar sel lisigenus pada akar dan menyebabkan  $CH_4$  terlarut di sekitar perakaran

terdifusi ke permukaan cairan akar menuju dinding sel korteks akar. Pada dinding korteks akar, CH<sub>4</sub> terlarut akan berubah menjadi gas dan disalurkan ke batang melalui pembuluh aerenkima dan ruang antar sel lisigenus. Selanjutnya CH<sub>4</sub> akan dilepas melalui pori-pori mikro pada pelepah daun bagian bawah. (Setyanto, 2004)

Biomassa akar dan tanaman juga berpengaruh terhadap emisi CH<sub>4</sub> terutama pada stadium awal pertumbuhan tanaman padi karena pada fase awal pertumbuhan banyak eksudat akar yang dilepas ke rizosfir sebagai hasil samping metabolisme karbon oleh tanaman. Selain itu Jumlah anakan dapat meningkatkan kerapatan dan jumlah pembuluh aerenkima sehingga kapasitas angkut CH<sub>4</sub> menjadi besar (Aulakh *et al.* 2000 dalam Setyanto, 2004). Varietas-varietas padi yang memiliki biomassa dan anakan rendah dapat menekan pembentukan dan pelepasan CH<sub>4</sub> dari dalam tanah.

#### 5. Umur Tanaman

Umur tanaman juga merupakan salah satu faktor penentu tingkat emisi CH<sub>4</sub> dari lahan sawah. Semakin lama periode tumbuh tanaman, semakin banyak eksudat dan biomassa akar yang terbentuk sehingga emisi CH<sub>4</sub> menjadi tinggi. Eksudat dan pembusukan akar merupakan sumber karbon bagi bakteri metanogenik. Pembentukan eksudat ini erat kaitannya dengan biomassa akar, dalam arti semakin banyak biomassa akar, semakin banyak pula CH<sub>4</sub> terbentuk (Setyanto, 2004).

#### 6. Rejim Air Sebelum dan Selama Periode Budidaya

Tanah tergenang merupakan kondisi ideal bagi bakteri metanogen dalam pembentukan gas CH<sub>4</sub>. Emisi gas CH<sub>4</sub> tertinggi dicapai pada kondisi tanah sawah yang digenangi secara terus-menerus, baik dengan sistem tanam pindah maupun tanam benih langsung. Sistem irigasi berselang terputus (*intermitten*) dapat menekan emisi gas CH<sub>4</sub>. 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 rejim air mempengaruhi emisi CH<sub>4</sub> (Setyanto, 2004)

## 7. Penggunaan Bahan Organik dan Anorganik

Bahan organik tanah merupakan bahan amelioran penting dalam menunjang kesuburan tanah baik secara fisik, kimia maupun biologi. Menurut Soepardi (1983), setengah dari kapasitas tukar kation tanah berasal dari bahan organik. Bahan organik juga merupakan salah satu sumber hara mikro tanaman, selain sebagai sumber energi dari sebagian mikroorganisme tanah. Dalam memainkan peran tersebut, bahan organik sangat tergantung dari sumber bahan penyusunnya. Bahan organik yang mudah terdekomposisi merupakan bahan baku utama bagi bakteri metanogenik dalam membentuk  $\text{CH}_4$  di lahan sawah.

### 1.2.2 Emisi Gas Karbon Dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dari Penggunaan Pupuk Urea

Emisi gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dari sektor pertanian berasal dari penambahan kapur pertanian (pengapuran) dan penggunaan pupuk urea. Pengapuran bertujuan untuk mengurangi kemasaman tanah dan meningkatkan pertumbuhan tanaman khususnya pada lahan pertanian. Penambahan karbonat ke tanah dalam bentuk kapur, misalnya batu kapur ( $\text{CaCO}_3$ ) atau dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), menyebabkan emisi  $\text{CO}_2$  karena kapur karbonat larut dan melepaskan bikarbonat ( $2\text{HCO}_3^-$ ), yang selanjutnya menjadi  $\text{CO}_2$  dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

Penggunaan pupuk urea pada budidaya pertanian menyebabkan lepasnya  $\text{CO}_2$  yang diikat selama proses pembuatan pupuk. Urea ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) diubah menjadi amonium ( $\text{NH}_4^+$ ), ion hidroksil ( $\text{OH}^-$ ), dan bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) dengan adanya air dan enzim urease. Mirip dengan reaksi tanah pada penambahan kapur, bikarbonat yang terbentuk selanjutnya berkembang menjadi  $\text{CO}_2$  dan air (kementerian Lingkungan Hidup, 2012)

### 1.2.3 Emisi Gas Dinitrogen Oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ) dari Pengelolaan Lahan

Dinitrogen oksida diproduksi secara alami dalam tanah melalui proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Nitrifikasi adalah oksidasi amonium oleh mikroba aerobik menjadi nitrat, dan denitrifikasi adalah reduksi nitrat oleh mikroba anaerob menjadi gas nitrogen ( $\text{N}_2$ ). Dinitrogen oksida ini adalah gas antara dalam

urutan reaksi denitrifikasi dan hasil dari reaksi nitrifikasi yang lepas dari sel-sel mikroba ke dalam tanah dan akhirnya ke atmosfer. Salah satu faktor pengendali utama dalam reaksi ini adalah ketersediaan N anorganik dalam tanah. Perkiraan emisi N<sub>2</sub>O karena penambahan N kedalam tanah (misalnya, pupuk sintetis atau organik, deposit kotoran ternak, sisa tanaman, limbah lumpur), atau mineralisasi N dalam bahan organik tanah melalui drainase/pengelolaan tanah, atau budidaya/perubahan penggunaan lahan pada tanah mineral (misalnya, *forest land/grass land/settlement* dikonversi menjadi lahan pertanian).

Emisi gas N<sub>2</sub>O sebesar 94% bersumber dari lahan pertanian tanaman pangan, dimana sumber utama emisi adalah pembakaran sisa tanaman 41% dan aplikasi N anorganik 18%. Pertanaman padi di lahan kering menghasilkan 86% emisi N<sub>2</sub>O. Emisi dan produksi dinitrogen oksida lahan sawah ditentukan oleh kondisi ekologis yaitu interaksi antara faktor abiotik dan faktor biotik serta interaksi biofisik air, tanah, tanaman, dan praktek budidaya (Wardhana, 2011).

Menurut pedoman penyelenggaraan inventarisasi GRK nasional Kementerian Lingkungan Hidup (2012), emisi dari N<sub>2</sub>O yang dihasilkan dari penambahan N antropogenik atau mineralisasi N dapat terjadi secara langsung dan tidak langsung.

a. Secara langsung

Emisi N<sub>2</sub>O secara langsung, yaitu langsung dari tanah dimana N ditambahkan/dilepaskan. 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 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:

- Pupuk N sintetis (misalnya, Urea, ZA, NPK)
- N-organik yang digunakan sebagai pupuk (misalnya, pupuk kandang, kompos, lumpur limbah, limbah).

- Urin dan kotoran mengandung N yang disimpan di padang rumput, padang penggembalaan atau tempat hewan merumput.
- N dalam sisa tanaman (di atas tanah dan di bawah tanah), termasuk dari tanaman yang memfiksasi N dan dari pembaharuan hijauan atau padang rumput.
- Mineralisasi N yang berhubungan dengan hilangnya bahan organik tanah akibat perubahan penggunaan lahan atau pengelolaan tanah mineral.
- Drainase atau pengelolaan tanah organik (histosol).

b. Secara tidak langsung

Emisi N<sub>2</sub>O secara tidak langsung melalui:

- Volatilisasi NH<sub>3</sub> dan NO<sub>x</sub> dari tanah yang dikelola dan dari pembakaran bahan bakar fosil serta biomassa, yang kemudian gas-gas ini berserta produknya NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dan NO<sub>3</sub><sup>-</sup> diendapkan kembali ke tanah dan air; dan
- Pencucian dan *run off* dari N terutama sebagai NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dari tanah yang dikelola.

Sumber-sumber N dari emisi N<sub>2</sub>O tidak langsung dari tanah yang dikelola adalah sebagai berikut:

- Pupuk N sintetis (misalnya, Urea, ZA, NPK).
- N-organik yang digunakan sebagai pupuk (misalnya, pupuk kandang, kompos, lumpur limbah, limbah).
- Urin dan kotoran mengandung N yang disimpan di padang rumput, padang penggembalaan atau tempat hewan merumput.
- N dalam sisa tanaman (di atas tanah dan di bawah tanah), termasuk dari tanaman yang memfiksasi N dan dari pembaharuan hijauan atau padang rumput.
- Mineralisasi N yang berhubungan dengan hilangnya bahan organik tanah akibat perubahan penggunaan lahan atau pengelolaan tanah mineral.

#### 1.2.4 Emisi Gas Non-CO<sub>2</sub> dari Pembakaran Biomassa

Emisi gas Non-CO<sub>2</sub> dari kegiatan budidaya padi berasal dari pembakaran biomassa pada lahan pertanian (*cropland*). Emisi Non-CO<sub>2</sub> dari biomassa yang

dibakar (terutama CH<sub>4</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, dan N<sub>2</sub>O) umumnya berkaitan dengan sisa pertanian (jerami padi) yang dibakar. Emisi CO<sub>2</sub> dari biomassa yang dibakar tidak dihitung karena karbon yang dilepaskan selama proses pembakaran diasumsikan akan diserap kembali oleh tanaman pada musim berikutnya.

### **1.3 Sistem Budidaya Tanaman Padi**

Sistem budidaya tanaman padi di Indonesia pada umumnya masih menggunakan sistem pertanian konvensional, dimana kegiatan ini menerapkan program intensifikasi padi. Program intensifikasi padi atau yang dikenal dengan Panca Usaha Tani adalah suatu upaya dalam meningkatkan sebuah produktivitas lahan yang meliputi pemilihan bibit unggul, pengolahan tanah yang baik, pemupukan yang tepat, pengendalian hama dan penyakit, dan pengairan atau irigasi yang baik.

Pada sistem pertanian konvensional, dilakukan olah tanah setiap akan ditanami padi. Hal ini dilakukan untuk membantu tanah dalam menyediakan unsur hara, air, dan udara yang dibutuhkan oleh tanaman. Pengelolaan tanah dilakukan dengan pembajakan sedalam 30 cm secara merata. Pembajakan dilakukan hingga benar-benar rata, sehingga saat penanaman tidak ada permukaan tanah yang tergenang air. Pembajakan dilakukan melalui dua cara, yaitu pembajakan secara tradisional dengan menggunakan sapi/kerbau dan pembajakan menggunakan alat dan mesin pengolah tanah (traktor). Selain dilakukan pengolahan tanah, untuk mencapai hasil produksi yang optimal maka petani akan cenderung menggunakan bibit unggul dengan kualitas baik. Pemilihan bibit secara selektif sangat dibutuhkan, sebab bibit tanaman merupakan cikal bakal untuk menjadikan unggul atau tidaknya sebuah tanaman. Perbedaan cara pengolahan lahan dan pemilihan bibit ini akan berpengaruh pada besarnya emisi GRK yang dihasilkan.

Untuk mendukung hasil produksi padi yang maksimal, maka diperlukan pemupukan dan pengendalian hama penyakit. Proses pemupukan bertujuan untuk mengganti unsur hara yang hilang dari tanah dikarenakan proses pemanenan,

volatilisasi, pencucian, fiksasi, dan sebagainya. Pemupukan yang baik dilakukan secara berimbang dan dalam kurun waktu yang tepat. Agar efektif dan efisien, penggunaan pupuk disesuaikan dengan kebutuhan tanaman dan ketersediaan hara dalam tanah. Teknologi pertanian konvensional yang pada dasarnya merupakan sistem monokultur telah mengubah secara drastis ekosistem alami yang seimbang menjadi sistem binaan yang tidak seimbang. Karena tidak ada ketidakseimbangan, maka diterapkan suatu cara menjaga ekosistem binaan tersebut agar dapat berlangsung. Intervensi akhirnya dilakukan dengan memberikan berbagai senyawa kimia baik berupa pupuk (Urea, NPK, KCL, dan sebagainya) dan pestisida. Tanpa intervensi ini sistem pertanian monokultur tidak dapat berlangsung dan menghasilkan panen sesuai yang di harapkan.

Pada akhirnya praktek pertanian konvensional akan berakibat pada berkurangnya materi organik, tanah menjadi keras, kurangnya porositas tanah, rendahnya nilai tukar ion tanah, rendahnya daya ikat air, rendahnya populasi dan aktifitas mikroba, dan secara keseluruhan berakibat rendahnya tingkat kesuburan tanah. Kondisi ini akan mengakibatkan terhambatnya proses serapan akar terhadap air dan hara yang terlarut sehingga keberadaan hara dalam jumlah rendah tidak dapat diambil oleh akar secara optimal. Dengan demikian perlu dosis pupuk yang lebih tinggi untuk memungkinkan akar dapat menyerap hara dalam jumlah yang cukup dari ketersediaan hara yang terdapat dalam tanah (Nasrullah, 2009).

Hal yang tidak kalah penting dalam sistem pertanian adalah pengairan. Pengairan dilakukan untuk memenuhi kebutuhan air bagi tanaman padi. Di Indonesia, sawah sering dikategorikan menjadi tiga yaitu sawah beririgasi, sawah tadah hujan, dan sawah rawa (lebak dan pasang surut). Sistem pengelolaan air pada ketiga macam sawah tersebut sangat berbeda karena perbedaan kondisi hidrologi dan kebutuhan air.

Menurut Greenland (1997), IRRI mengklasifikasikan ekosistem tanah sawah kedalam empat kelompok, yaitu:

1. Tanah sawah beririgasi (*irrigated rice ecosystem*), dicirikan oleh permukaan lahan yang datar, dibatasi oleh pematang dengan tata air terkontrol, lahan

tergenang dangkal dengan kondisi tanah dominan anaerobik selama pertumbuhan tanaman dan penanaman padi dilakukan dengan pemindahan bibit pada tanah yang telah dilumpurkan.

2. Tanah sawah dataran tinggi (*upland rice ecosystem*), dicirikan oleh lahan datar hingga agak berombak, jarang digenangi, tanah bersifat aerobik dan penanaman padi dilakukan dengan penyebaran benih pada lahan kering atau tanpa penggenangan yang telah dibajak atau dalam keadaan lembab tanpa pelumpuran.
3. Tanah sawah air dalam peka banjir (*flood-prone rice ecosystem*), dicirikan oleh permukaan lahan yang datar hingga agak berombak atau cekungan, tergenang banjir akibat air pasang selama lebih dari 10 hari berturut turut sedalam 50-300 cm selama pertumbuhan tanaman, tanah bersifat aerobik sampai anaerobik dan penanaman padi dilakukan dengan pemindahan bibit pada tanah yang dilumpurkan atau sebar benih pada tanah kering yang telah di bajak.
4. Tanah sawah tadah hujan dataran rendah (*rainfed lowland rice ecosystem*), dicirikan oleh permukaan lahan datar hingga agak berombak, dibatasi pematang, penggenangan akibat air pasang tidak kontinyu dengan kedalaman dan periode bervariasi, umumnya tidak lebih dari 50 cm selama lebih dari 10 hari berturut-turut, tanah bersifat aerobik-anaerobik berselang seling dengan frekuensi dan periode yang bervariasi, serta penanaman padi dilakukan dengan pemindahan bibit pada tanah yang telah dilumpurkan atau sebar benih pada tanah kering yang telah dibajak atau dilumpurkan.

Untuk mengetahui jumlah air yang harus disediakan untuk irigasi lahan pertanian, informasi atau data kebutuhan air tanaman sangat diperlukan. Kebutuhan air tanaman tergantung jenis dan umur tanaman, waktu atau periode pertanaman, sifat fisik tanah, teknik pemberian air, jarak dari sumber air sampai lahan pertanian, dan luas areal pertanian yang akan diairi. Oleh sebab itu, agar penggunaan air irigasi lebih efisien dan efektif, maka sangat penting mengetahui pemakaiannya air konsumtif tanaman (Subagyono *et al.*, 2004).

Proses pemanenan yang sering dilakukan petani adalah dengan cara pemotongan padi menggunakan sabit kemudian dilanjutkan dengan merontokkan gabah menggunakan pedal *thresher* atau *power thresher*. Selain itu beberapa petani juga melakukan panen dengan menggunakan alat berupa *combine harvester*. Penggunaan *power thresher* dan *combine harvester* tentunya akan menghasilkan emisi GRK dari penggunaan bahan bakar. Saat pasca panen, aktivitas yang sering dilakukan petani adalah membakar limbah pertanian (jerami). Lebih dari 40% limbah pertanian di negara berkembang dibakar oleh petani (Nasrullah, 2009)

#### **1.4 Rencana Aksi Daerah Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca Provinsi Jawa Tengah (Pergub Jateng No. 43 Tahun 2012)**

Menindaklanjuti Peraturan Presiden Nomor 61 Tahun 2011, Pemerintah Provinsi Jawa Tengah juga mempunyai komitmen yang sama untuk upaya menurunkan emisi GRK, yaitu dengan diterbitkan Peraturan Gubernur Provinsi Jawa Tengah Nomor 43 tahun 2012 tentang Rencana Aksi Daerah Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAD-GRK) Provinsi Jawa Tengah Tahun 2010-2020.

Timbulnya emisi GRK di sektor pertanian terutama disebabkan oleh tahap pemupukan dan pengolahan lahan. Pemupukan dan pengolahan pada lahan pertanian yang tergenang air menyebabkan timbulnya proses anaerob. Proses anaerob menyebabkan timbulnya gas metana. Penggunaan pupuk, baik kimia maupun organik, pada lahan-lahan yang terendam akan meningkatkan produksi gas metana yang memiliki potensi pemanasan global cukup tinggi. Tingginya produksi metana ini dipengaruhi oleh luas lahan yang tergenang dan lamanya genangan. Selain itu, penyebab lain timbulnya emisi GRK adalah aplikasi kapur. Namun demikian kontribusinya di Jawa Tengah sangat kecil karena penggunaannya hanya untuk tambak. Pada pertanian, penggunaan kapur untuk menetralkan pH tidak banyak digunakan karena luasan lahan dengan masalah keasaman sangat kecil.

Dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang mempengaruhinya, maka kebijakan-kebijakan pengendalian emisi GRK sektor pertanian meliputi:

1. Pengendalian alih fungsi lahan pertanian
2. Pengendalian dan optimalisasi pemakaian pupuk dan pestisida
3. Pemanfaatan kembali limbah pertanian dan peternakan sebagai masukan kegiatan pertanian
4. Pengenalan dan penerapan sistem pengolahan tanah yang meminimalkan emisi GRK
5. Pengembangan pengolahan limbah ternak dan pemanfaatan biogas yang ditimbulkan.

Untuk mewujudkan kebijakan mitigasi emisi GRK sektor pertanian, alternatif-alternatif mitigasi diusulkan sebagai berikut:

1. Pelatihan dan penerapan Metode *System of Rice Intensification* (SRI)
2. Pengendalian penggunaan pupuk kimia
3. Peningkatan penggunaan pupuk organik dan biomassa
4. Pengaturan pola dan Teknik pengairan
5. Pengembangan varietas padi rendah emisi
6. Penggunaan pupuk anorganik alternatif dan herbisida
7. Pembangunan biogas limbah ternak sapi
8. Penggunaan limbah pertanian dan makanan ternak lokal
9. Penggunaan probiotik dan suplemen lokal
10. Pemuliaan ternak jangka panjang

### **1.5 Proses Hirarki Analitik/*Analytical Hierarchy Process* (AHP)**

Salah satu alat analisis yang digunakan untuk membantu menyusun suatu prioritas pengambilan keputusan dari berbagai pilihan adalah dengan menggunakan Proses Hirarki Analitik atau *Analytical Hierarchy Process* (AHP). AHP adalah teori pengukuran melalui perbandingan berpasangan dan bergantung pada penilaian ahli untuk mendapatkan prioritas skala dalam pengambilan keputusan.

AHP dikembangkan pertama kali oleh Thomas L. Saaty. Menurut Saaty (1993), hirarki didefinisikan sebagai suatu representasi dari sebuah permasalahan yang kompleks dalam suatu struktur multi level dimana level pertama adalah tujuan, yang diikuti level faktor, kriteria, sub kriteria, dan seterusnya ke bawah hingga level terakhir dari alternatif. AHP didesain untuk menangkap persepsi orang secara rasional yang berhubungan dengan permasalahan tertentu melalui sebuah tahapan yang dirancang sampai pada suatu skala preferensi diantara berbagai alternatif. Pemilihan atau penyusunan prioritas dilakukan dengan suatu prosedur yang logis dan terstruktur. Penyusunan strategi tersebut dilakukan oleh ahli-ahli yang kompeten dan mewakili yang berkaitan dengan alternatif yang akan disusun prioritasnya. Analisis AHP ini digunakan untuk memecahkan permasalahan yang terukur (kuantitatif), yang memerlukan pendapat (*judgement*) maupun pada situasi yang kompleks.

Teknik AHP merupakan salah satu teknik pengambilan keputusan yang baik dan fleksibel dengan menetapkan suatu prioritas dalam pengambilan keputusan dimana mencakup penilaian secara kualitatif dan kuantitatif sekaligus. Langkah-langkah dalam metode AHP meliputi:

1. Identifikasi masalah dan menentukan solusi yang diinginkan. Identifikasi masalah dilakukan dengan berdiskusi dengan pakar yang mengetahui permasalahan serta dari kajian referensi sehingga diperoleh konsep yang relevan dengan permasalahan yang ada.
2. Menentukan struktur hirarki dimulai dari tujuan umum, sub-tujuan, kriteria sampai kepada penentuan sejumlah alternatif. Penentuan tujuan dilakukan berdasarkan permasalahan yang dihadapi, sedangkan penentuan kriteria dan alternatif diperoleh dari hasil observasi dan diskusi dengan pakar.
3. Menyebarkan kuesioner kepada pakar untuk menentukan pengaruh masing-masing elemen terhadap masing-masing aspek atau kriteria dengan membuat seperangkat matriks perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*). Pengisian matriks perbandingan berpasangan dengan menggunakan bilangan/skala yang menggambarkan kepentingan suatu elemen dibanding elemen yang lain.

4. Menyusun matrik pendapat individu dan gabungan dari hasil rata-rata yang diperoleh responden kemudian diolah dengan bantuan *expert choice 11.0* untuk mengetahui inkonsistensi serta kriteria dan alternatif yang prioritas. Jika nilai konsistensinya  $> 0,1$  maka hasil jawaban responden tersebut tidak konsisten, jika nilai konsistensinya  $< 0,1$  maka hasil jawaban responden tersebut konsisten.
5. Selanjutnya prioritas kriteria dan alternatif yang telah didapatkan tersebut digunakan untuk menyusun strategi pengurangan emisi GRK yang ingin dicapai.

Tabel 2.3 Skala Kepentingan Saaty

<b>Intensitas kepentingan</b>	<b>Definisi</b>	<b>Keterangan</b>
1	Kedua faktor sama penting	Dua aktivitas memberikan kontribusi yang sama terhadap tujuan
3	Faktor yang satu sedikit lebih penting daripada faktor yang lainnya	Pengalaman dan penilaian sedikit mendukung kegiatan yang satu daripada yang lain
5	Faktor yang satu sifat lebih pentingnya kuat daripada faktor yang lainnya	Pengalaman dan penilaian sangat mendukung kegiatan yang satu daripada yang lain
7	Faktor yang satu sangat penting daripada faktor yang lainnya	Aktivitas yang satu sangat disukai dibandingkan dengan yang lain, dominasinya nampak dalam kenyataan
9	Ekstrem penting	Bukti bahwa antara yang satu lebih disukai daripada yang lain menunjukkan kepastian tingkat tertinggi yang dapat dicapai.
2,4,6,8	Nilai tengah diantara 2 nilai pertimbangan yang berdekatan	Diperlukan alasan yang masuk akal/kompromi
Nilai kebalikan	Jika aktivitas i mendapat angka 2 jika dibandingkan dengan aktivitas j, maka j mempunyai nilai $\frac{1}{2}$ dibanding nilai i.	

Sumber: Saaty, 2008