



EMISI

GAS RUMAH KACA

SEKTOR PERTANIAN

DAN

POTENSI AKSI MITIGASINYA

Daniel Stefanus Imanuel Sondakh

**EMISI GAS RUMAH KACA
SEKTOR PERTANIAN DAN
POTENSI AKSI MITIGASINYA**

EMISI GAS RUMAH KACA SEKTOR PERTANIAN DAN POTENSI AKSI MITIGASINYA

Daniel Stefanus Imanuel Sondakh



EMISI GAS RUMAH KACA SEKTOR PERTANIAN DAN POTENSI AKSI MITIGASINYA

© Penerbit Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia (PRCI)

Penulis:

Daniel Stefanus Imanuel Sondakh

Editor:

Joyce Lopian

Cetakan Pertama: Februari 2024

Cover: Tim Kreatif PRCI

Tata Letak: Tim Kreatif PRCI

Hak Cipta 2024 , pada Penulis. Diterbitkan pertama kali oleh:

**Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia
ANGGOTA IKAPI JAWA BARAT**

Pondok Karisma Residence Jalan Raflesia VI D.151
Panglayungan, Cipedes Tasikmalaya – 085223186009

Website: www.rcipress.rcipublisher.org

E-mail: rumahcemerlangindonesia@gmail.com

Copyright © 2024 by Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia
All Right Reserved

- Cet. I -: Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia, 2024
Dimensi : 15,5 x 23 cm

ISBN 978-623-448-806-7

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak buku ini dalam bentuk dan dengan
cara apapun tanpa izin tertulis dari penulis dan penerbit

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang
Hak Cipta Pasal 72

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta
Pasal 72

Barang siapa dengan sengaja melanggar dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling sedikit 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp.1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).

Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta terkait sebagai dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur patutlah penulis panjatkan ke hadirat Maha Besar Tuhan, sumber segala hikmat dan ilmu pengetahuan. Berkat Kasih KaruniaNya dan kemurahanNya sajalah telah memperkenankan penulis dapat menyelesaikan penulisan buku referensi ini berjudul “Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Pertanian Dan Potensi Aksi Mitigasinya”

Perubahan iklim merupakan proses alami yang kecenderungannya bersifat terus-menerus. Tidak kurang satu dekade terakhir ini perubahan iklim dan pemanasan global telah menjadi topik yang banyak diperbincangkan karena semakin meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer. Meningkatnya emisi GRK secara pasti telah mengakibatkan bermacam bencana pada sistem iklim global, dan mempengaruhi semua aspek kehidupan masyarakat. Terdapat enam jenis gas yang termasuk dalam kategori GRK, yaitu: Karbon Dioksida (CO_2), Dinitro Oksida (N_2O), Metana (CH_4), Sulfurheksaflorida (SF_6), Perflorokarbon (PFCS) dan Hidroflorokarbon (HFCs). Penyebab peningkatan konsentrasi gas tersebut berasal dari aktifitas manusia, seperti penggunaan bahan bakar fosil, perubahan tata guna lahan dan hutan, serta kegiatan pertanian dan peternakan yang kesemuanya mengakibatkan peningkatan suhu, peningkatan muka air laut sampai bencana hidrometeorologi. Perubahan pola curah hujan, peningkatan frekuensi kejadian iklim ekstrem, serta kenaikan suhu udara dan permukaan air laut merupakan dampak serius dari perubahan iklim global. Di banyak tempat di dunia, frekuensi dan intensitas bencana cenderung meningkat seperti banjir dan badai mengakibatkan 70% dari total bencana, dan sisanya 30% disebabkan kekeringan,

longsor, kebakaran hutan, gelombang panas, dan lain-lain.

Sektor pertanian (termasuk sub sektor peternakan dan perkebunan) merupakan sektor yang menghasilkan emisi GRK. Pada tingkat global sektor pertanian menyumbang, sekitar 14% dari total emisi GRK pada tahun 2000, yang mana sumber emisi tertinggi berasal dari penggunaan pupuk, peternakan, lahan sawah, limbah ternak, dan pembakaran sisa-sisa (limbah) pertanian. Sedangkan di Indonesia, pertanian menyumbang 8% dari emisi GRK Nasional. GRK yang diproduksi dari sektor pertanian antara lain berasal dari penanaman padi, penggunaan pupuk, pengelolaan tanah, pengelolaan kotoran hewan, dan hasil fermentasi enterik dari proses pencernaan hewan. Karena itu diperlukan berbagai upaya sungguh sungguh dari semua pihak dalam mengatasi dan mengurangi emisi GRK dari semua sektor guna mengurangi dampak perubahan iklim, khususnya pada sektor pertanian.

Buku ini menyajikan berbagai data hasil penelitian tentang perubahan iklim yang diakibatkan oleh emisi GRK pada sektor pertanian, termasuk inventarisasi GRK pertanian pada periode waktu tertentu dan membahas potensi-potensi aksi adaptasi dan mitigasinya yang sekiranya dapat diterapkan bagi para petani.

Buku ini diharapkan dapat memberi manfaat bagi para akademisi, pemerintah daerah, petani dan masyarakat umum yang membutuhkan bahan referensi atau pengayaan informasi tentang emisi GRK pertanian dan dampaknya bagi perubahan iklim.

Diharapkan masukan dan kritik para pembaca yang bersifat konstruktif bagi perbaikan dan penyempurnaannya. Semoga bermanfaat.

Tomohon, Februari 2024

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
BAB 2 PEMANASAN GLOBAL DAN PERUBAHAN IKLIM	7
BAB 3 GAS RUMAH KACA	16
BAB 4 SEKTOR PERTANIAN DAN PERUBAHAN IKLIM	24
BAB 5 METODE HITUNG GAS RUMAH KACA.....	31
BAB 6 ESTIMASI GAS RUMAH KACA.....	43
BAB 7 POTENSI AKSI ADAPTASI DAN MITIGASI	59
BAB 8 PENUTUP.....	62
DAFTAR PUSTAKA.....	63
TENTANG PENULIS.....	77

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Usia GRK di atmosfer dan daya rusak pada pemanasan global	22
Tabel 2. Sumber dan Perolehan Data.....	32
Tabel 3. Data Luas Lahan dan Pemakain Pupuk Kabupaten Minahasa	45
Tabel 4. Emisi GRK Pertanian di Kabupaten Minahasa.....	47
Tabel 5. Populasi Hewan Ternak di Kabupaten Minahasa.....	51
Tabel 6. Emisi GRK Peternakan di Kabupaten Minahasa	53
Tabel 7. Emisi total GRK di Kabupaten Minahasa.....	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Perubahan suhu global	13
Gambar 2. Efek rumah kaca	19
Gambar 3. Peta Lokasi Studi	43
Gambar 4. Distribusi Emisi GRK Pertanian di Kabupaten Minahasa	47
Gambar 5. Distribusi Emisi GRK Peternakan di Kabupaten Minahasa	53
Gambar 6. Distribusi Emisi GRK di Kabupaten Minahasa	56

BAB 1

PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan teknologi, manusia telah banyak membuat perubahan dalam peradabannya yang secara bersamaan juga mengakibatkan perubahan pada kondisibumi. Kondisi bumi kini tidak lagi hanya dipengaruhi oleh rotasi, evolusi, siklus hidrologi, siklus biogeokimia, dan lain sebagainya melainkan juga dipengaruhi oleh dampak dari aktivitas manusia.

Perubahan iklim merupakan salah satu kondisi yang diakibatkan oleh perubahan kondisi bumi karena aktivitas manusia. Ada sebagian pihak yang masih salah mempersepsikan perubahan iklim adalah sama dengan perubahan musim sehingga kemudian menimbulkan respon yang keliru pula yakni ‘semua ini tidak perlu dicemaskan’. Padahal sesungguhnya perubahan iklim (*climate change*) yang dimaksud di sini adalah perubahan pola iklim dunia yang merupakan dampak dari pemanasan global (*global warming*), sementara pemanasan global merupakan akibat dari efek rumah-kaca (Sondakh et al., 2023).

Revolusi industri yang dimulai di Eropa sejak tahun 1840 ditandai oleh pemakaian bahan bakar fosil, terutama konsumsi bahan bakar batubara yang telah meningkatkan secara drastis gas rumah kaca di atmosfer. Gas rumah kaca yang utama yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil tersebut adalah karbondioksida (CO₂). Akibat adanya efek gas rumah kaca tersebut telah memicu peningkatan temperatur udara bumi secara global dari tahun ke tahun secara signifikan. Fenomena ini dikenal sebagai pemanasan global.

Pemanasan global yang disebabkan oleh gas-gas rumah kaca secara jelas telah dan akan terus mempengaruhi iklim dunia. WWF Indonesia dan IPCC (1999) telah melaporkan bahwa temperatur tahunan di Indonesia meningkat sebesar $0,3^{\circ}\text{C}$ sejak tahun 1990. Sebuah skenario perubahan iklim (WWF Indonesia dan IPCC, 1999) memperkirakan bahwa temperatur akan meningkat antara $1,3^{\circ}\text{C}$ sampai dengan $4,6^{\circ}\text{C}$ pada tahun 2100 dengan trend sebesar $0,1^{\circ}\text{C} - 0,4^{\circ}\text{C}$ per tahun. Selanjutnya Susandi (2006) memproyeksikan kenaikan temperatur Indonesia akan mencapai $3,5^{\circ}\text{C}$ pada tahun 2100, sementara temperatur global bumi akan mencapai maksimum $6,2^{\circ}\text{C}$ pada tahun tersebut. Implikasi dari kenaikan temperatur tersebut akan menaikkan muka air laut sebesar 100 cm pada tahun 2100. Akumulasi kejadian ini akan mempengaruhi infrastruktur, bangunan, dan kegiatan manusia saat ini dan mendatang, termasuk didalamnya sektor pertanian.

Berbagai akibat telah dirasakan seperti musim tanam dan panen yang tidak menentu diselingi oleh kemarau panjang yang menyengsarakan. Banjir melanda sebagian besar jalan raya di berbagai kota besar di pesisir. Air laut menyusup ke delta sungai, menghancurkan sumber nafkah pengusaha ikan. Anak-anak menderita kurang gizi akut. Umumnya berita perubahan iklim di Indonesia berkisar pada soal penggundulan hutan secara besar-besaran, kebakaran hutan, kerusakan lahan rawa, serta hilangnya serapan karbondioksida sehingga menempatkan Indonesia sebagai penyumbang utama pemanasan global. Semua itu memang terjadi, tetapi itu baru merupakan separuh cerita. Seperti yang akan diungkap laporan ini, bangsa Indonesia juga akan menjadi korban utama perubahan iklim dan bila kita tidak segera belajar beradaptasi dengan lingkungan yang baru ini, jutaan rakyat akan menanggung akibat buruknya.

Indonesia adalah negara yang memiliki kekayaan atas sumber daya alam yang melimpah. Kekayaan sumber daya tersebut terdiri dari sumber daya air, sumber daya lahan, sumber daya hutan, sumber keanekaragaman laut, hayati maupun yang terkandung di dalamnya dan tersebar secara luas pada setiap pulau-pulau di Indonesia. Perekonomian dianggap mengalami pertumbuhan bila seluruh balas jasa rill terhadap penggunaan faktor produksi pada tahun tertentu akan turut meningkat dari sebelumnya. Kekayaan alam yang dimiliki tersebut dapat menjadi modal bagi pelaksanaan pembangunan ekonomi bagi Indonesia. Banyak penduduk Indonesia hidup dari hasil pertanian, sehingga di Indonesia sektor pertanian menjadi sektor yang berpengaruh dalam kesejahteraan masyarakat. Karena itu sektor pertanian mempunyai peranan yang sangat penting dalam membangun perekonomian nasional termasuk perekonomian daerah, karena sektor pertanian berfungsi sebagai penyedia bahan pangan untuk ketahanan pangan masyarakat, sebagai instrumen pengentasan kemiskinan, penyedia lapangan kerja, serta sumber pendapatan masyarakat.

Badan Pusat Statistik (2023) mencatat, kontribusi sektor pertanian mencapai 12,40% terhadap produk domestik bruto (PDB) tahun 2022. Sumbangan paling besar berasal dari tanaman perkebunan sebesar 3,76% terhadap PDB. Kemudian disusul perikanan dengan kontribusi 2,58%; tanaman pangan 2,32%; peternakan 1,52%; tanaman hortikultura 1,44%; kehutanan 0,60%; jasa pertanian dan perburuan 0,18%. Selain menyumbang PDB yang cukup besar, sektor ini juga bisa menyerap tenaga kerja dalam jumlah besar, yakni lebih dari 27%. Sektor pertanian kerap bertahan sebagai pendorong laju ekonomi Indonesia, sekali pun dalam kondisi krisis.

Namun demikian, sektor pertanian menghasilkan sejumlah emisi GRK dengan kontribusi sekitar 14% pada skala global dan subsektor peternakan menyumbang sekitar 18%-51%. GRK yang diproduksi dari sektor pertanian antara lain berasal dari penanaman padi, penggunaan pupuk, pengelolaan tanah, pengelolaan kotoran hewan, dan hasil fermentasi enterik dari proses pencernaan hewan skm bentuk gas CH_4 (Goodland et al., 2009; Schils et al., 2007). Berdasarkan laporan Direktorat Jendral Perubahan Iklim KLH, sektor pertanian memberikan kontribusi terhadap emisi gas rumah kaca sebesar 96,305 Gg $\text{CO}_2\text{-eq}$ atau 9,6% dari total emisi gas rumah kaca nasional tahun 2000 (KLHK, 2012). Pada tahun 2012, emisi gas rumah kaca sektor pertanian meningkat menjadi 112,727 Gg $\text{CO}_2\text{-eq}$ atau 7,8% dari total emisi gas rumah kaca nasional. Artinya, emisi gas rumah kaca di Indonesia mengalami peningkatan di semua sektor.

Untuk meningkatkan pemahaman apa itu pemanasan global dan apa itu perubahan iklim kepada masyarakat diperlukan suatu informasi komprehensif berupa bahan bacaan yang mudah dicerna, lugas dan memberikan pengertian sederhana. Saat ini masih seringkali terjadi kesalahan pemahaman mengenai hubungan pemanasan global dan perubahan iklim dan bagaimana proses terjadinya. Selain itu masyarakat juga perlu diberikan pemahaman bahwa isu perubahan iklim bukanlah sebuah dongeng negara maju melainkan sudah benar terjadi di bumi Indonesia dengan segala bukti nyata didepan mata. Kita patut bersyukur bahwa saat ini Indonesia memiliki seluruh bukti utama terjadinya pemanasan global yaitu peningkatansuhu muka bumi yang diwakili oleh suhu laut, peningkatan konsentrasi gas rumah kaca dan penurunan lapisan es daratan. Indonesia adalah satu dari 3 wilayah tropis yang

masih memiliki salju abadi dan terus meleleh. Pada kasus perubahan iklim, berbagai bukti yang telah terjadi dapat kita lihat di bumi Indonesia seperti kasus tahun tanpa kemarau 2010 yang memberikan kekacauan ekologis dan dampak ekonomis di masyarakat.

Isu perubahan iklim dewasa ini telah mengalami transformasi dimensi isu dari yang bersifat global menjadi isu strategis nasional. Transformasi seperti itu selayaknya memperoleh perhatian yang proporsional, mengingat perubahan iklim, telah berdampak kepada kepentingan nasional suatu negara. Karena itulah maka Indonesia telah berkomitmen dalam pertemuan G-20 di Pittsburg untuk menurunkan emisi gas rumah kaca sebesar 26% dengan usaha sendiri dan mencapai 41% jika mendapat bantuan internasional pada tahun 2020 dari kondisi *bussines as usual/BAU*). Hal ini juga merupakan tindak lanjut dari kesepakatan *Bali Action Plan pada The Conferences of Parties (COP) ke-13 United Nations Frameworks Convention on Climate Change (UNFCCC)* dan hasil COP-15 di Copenhagen dan COP-16 di Cancun.

Berbagai komitmen tersebut disikapi oleh Pemerintah Republik Indonesia dengan telah dibuatnya Peraturan Presiden No 61 tahun 2011, tentang Kewajiban bagi seluruh Pemerintah Daerah di Indonesia membuat Rencana Aksi Daerah tentang penurunan emisi gas rumah kaca (Mustikaningrum et al., 2021; Sari et al., 2018; Sasmita et al., 2021). Konsekuensinya dari peraturan presiden ini adalah terjadi peningkatan kebutuhan akan berbagai studi dan penilaian yang lebih dalam tentang emisi gas rumah kaca dan upaya-upaya mitigasinya.

Namun demikian dari keragaman penelitian di bidang ini yang sudah dilakukan, jumlah atau kuantitas penelitian komprehensif terkait emisi GRK di sektor pertanian dan

dinamikanya serta faktor-faktor pemicu atau penyebabnya dirasa masih sangat sedikit dibandingkan kebutuhannya. Khususnya apa yang terjadi di Kabupaten Minahasa, ketersediaan informasi hasil studi yang berkaitan inventori GRK dan Mitigasinya di sektor Pertanian masih sedikit. Laporan studi yang dapat ditelusuri hanya terdapat dua studi saja, yaitu tahun 2022 tentang Adaptasi dan Mitigasi perubahan iklim di Sulawesi Utara (Alifian et al., 2022) dan tahun 2012 tentang Pendugaan emisi Metana pada tanaman padi di Kabupaten Minahasa (Mambu, 2012). Karena itu studi ini penting untuk dilakukan untuk menjembatani atau mengisi gap-gap pengetahuan/informasi yang terjadi tersebut.

Pada akhirnya masyarakat perlu diberi pemahaman bahwa perubahan iklim bukanlah momok yang perlu ditakuti tetapi memberikan peluang untuk dapat berkembang kemuka dan dapat meningkatkan kapasitas adaptasi bersama dalam menghadapinya. Tentu saja peningkatan kapasitas tersebut harus sesuai dengan karakter permasalahan yang dihadapi bersama dan bukannya cocok untuk kasus di wilayah lain. Selain itu peningkatan peran masyarakat diperlukan untuk melakukan berbagai program mitigasi perubahan iklim baik secara individu maupun komunal.

Oleh karena itu studi ini bermaksud untuk mengetahui nilai emisi GRK dari sektor pertanian dan peternakan yang ada di Kabupaten Minahasa dan bertujuan menginventarisasi potensi aksi mitigasinya yang layak diimplementasikan di lapangan berdasarkan rekomendasi dari petani. serta dapat digunakan untuk membuat RAD-GRK Kabupaten Minahasa.

BAB 2

PEMANASAN GLOBAL DAN PERUBAHAN IKLIM

Istilah perubahan iklim sering digunakan secara tertukar dengan istilah pemanasan global, padahal fenomena pemanasan global hanya merupakan bagian dari perubahan iklim, karena parameter iklim tidak hanya temperatur saja, melainkan ada parameter lain yang terkait seperti presipitasi, kondisi awan. Pemanasan global adalah suatu bentuk ketidakseimbangan ekosistem di bumi akibat terjadinya proses peningkatan suhu rata-rata atmosfer, laut, dan daratan di bumi. Proses ini ditandai dengan naiknya suhu atmosfer, laut, dan daratan sehingga terjadi fenomena suhu rata-rata global pada permukaan Bumi telah melonjak $0.74 \pm 0.18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($1.33 \pm 0.32 \text{ }^{\circ}\text{F}$) dalam seratus tahun terakhir (Abbass et al., 2022). Bumi menerima energi dari matahari dalam bentuk sinar ultraviolet (cahaya) dan melepaskan sebagian energi ini kembali ke ruang angkasa sebagai sinar inframerah (panas). Gas ini dapat menyerap sebagian energi keluar ini dan memancarkannya kembali sebagai panas (Yue & Gao, 2018). Gas rumah kaca adalah gas yang memerangkap panas di atmosfer bumi, berkontribusi terhadap efek rumah kaca dan pemanasan global (Yue & Gao, 2018). Gas rumah kaca yang dikenal adalah karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dan nitrous oxide (N_2O), serta gas berfluorinasi seperti hidrofluorokarbon (HFC) dan sulfur heksafluorida (SF_6) (Alvarez-Hess, 2019; Environmental Protection Agency (EPA), 2020). Mereka bertindak seperti selimut yang mengelilingi Bumi dan membuatnya lebih hangat daripada yang seharusnya, sama seperti panel kaca dari rumah kaca memungkinkan energi matahari masuk tetapi mencegah

sebagian panas keluar (Amon et al., 2021; da Cruz Corrêa et al., 2021) . Tanpa proses alami ini, yang dikenal sebagai efek rumah kaca, suhu bumi akan menjadi rata-rata sekitar 30 derajat Celcius lebih dingin (Tubiello et al., 2021). Gas rumah kaca dipancarkan oleh berbagai sumber, termasuk aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil dan penggundulan hutan, serta sumber alami seperti lahan basah dan letusan gunung berapi (Yue & Gao, 2018).

Sebagai salah satu efek pemanasan global, selama dua dekade terakhir adalah timbulnya berbagai penyakit yang menyebar dengan cepat. Beberapa mikro-organisme dalam tahap istirahat dapat dijumpai dalam suhu yang rendah. Setelah suhu naik dia akan berkembang dengan pesat Berbagai wabah penyakit sudah diketahui dan dicurigai oleh para ilmuwan sejak dua dasawarsa yang lampau, sebagai akibat terjadinya pemanasan global. Apabila terjadi kenaikan karbon dioksida sebesar dua kali dan empat kali dari tahun 1990 dalam rentang 100 tahun akan menaikkan permukaan laut sekitar 0,25 m (Latif,1996).

Meskipun pemanasan global hanya merupakan satu bagian dalam fenomena perubahan iklim, namun pemanasan global menjadi hal yang penting untuk dikaji. Hal tersebut karena perubahan temperatur akan memberikan dampak yang signifikan terhadap aktivitas manusia. Perubahan temperatur bumi dapat mengubah kondisi lingkungan yang pada tahap selanjutnya akan berdampak pada tempat dimana kita dapat hidup, apa tumbuhan yang kita makan dapat tumbuh, bagaimana dan dimana kita dapat menanam bahan makanan, dan organisme apa yang dapat mengancam. Ini artinya bahwa pemanasan global akan mengancam kehidupan manusia secara menyeluruh.

Pada umumnya orang sering menyatakan kondisi iklim sama saja dengan kondisi cuaca, padahal kedua istilah

tersebut adalah suatu kondisi yang tidak sama. Beberapa definisi cuaca adalah :

- Keadaan atmosfer secara keseluruhan pada suatu saat termasuk perubahan, perkembangan dan menghilangnya suatu fenomena (*World Climate Conference*, 1979).
- Keadaan variable atmosfer secara keseluruhan disuatu tempat dalam selang waktu yang pendek (Glen T. Trewartha, 1980).
- Keadaan atmosfer yang dinyatakan dengan nilai berbagai parameter, antara lain suhu, tekanan, angin, kelembaban dan berbagai fenomena hujan, disuatu tempat atau wilayah selama kurun waktu yang pendek (menit, jam, hari, bulan, musim, tahun) (Gibbs, 1987).

Ilmu yang mempelajari seluk beluk tentang cuaca disebut meteorologi. Sedangkan iklim didefinisikan sebagai berikut :

- Sintesis kejadian cuaca selama kurun waktu yang panjang, yang secara statistik cukup dapat dipakai untuk menunjukkan nilai statistik yang berbeda dengan keadaan pada setiap saatnya (*World Climate Conference*, 1979).
- Konsep abstrak yang menyatakan kebiasaan cuaca dan unsur-unsur atmosfer disuatu daerah selama kurun waktu yang panjang (Glenn T. Trewartha, 1980).
- Peluang statistik berbagai keadaan atmosfer, antara lain suhu, tekanan, angin kelembaban, yang terjadi disuatu daerah selama kurun waktu yang panjang (Gibbs, 1987).

Ilmu yang mempelajari seluk beluk tentang iklim disebut klimatologi. Jadi, perubahan iklim adalah berubahnya kondisi fisik atmosfer bumi antara lain suhu dan distribusi curah hujan yang membawa dampak luas terhadap berbagai sektor kehidupan manusia (Kementerian Lingkungan Hidup, 2001). Perubahan fisik ini tidak terjadi hanya sesaat tetapi dalam kurun waktu yang panjang. LAPAN (2002) mendefinisikan perubahan iklim adalah perubahan rata-rata salah satu atau lebih elemen cuaca pada suatu daerah tertentu. Sedangkan istilah perubahan iklim skala global adalah perubahan iklim dengan acuan wilayah bumi secara keseluruhan. IPCC (2001) menyatakan bahwa perubahan iklim merujuk pada variasi rata-rata kondisi iklim suatu tempat atau pada variabilitasnya yang nyata secara statistik untuk jangka waktu yang panjang (biasanya dekade atau lebih). Selain itu juga diperjelas bahwa perubahan iklim mungkin karena proses alam internal maupun ada kekuatan eksternal, atau ulah manusia yang terus menerus merubah komposisi atmosfer dan tata guna lahan.

Perubahan iklim berdampak terhadap kenaikan frekuensi maupun intensitas kejadian cuaca ekstrim, perubahan pola hujan, serta peningkatan suhu dan permukaan air laut. Perubahan iklim berdampak luas pada lingkungan alam dan kehidupan manusia. Perubahan iklim adalah salah satu masalah global yang paling serius bagi umat manusia pada saat ini. Perubahan iklim mengacu pada fluktuasi kondisi iklim di suatu lokasi (Konapala et al., 2020) atau variabilitasnya yang dapat diamati secara statistik dalam waktu yang panjang, umumnya selama beberapa dekade atau lebih (Ray et al., 2019; Tabari, 2020). Selain itu, perubahan iklim terjadi karena berbagai faktor, baik itu proses alami internal atau faktor eksternal (Lister & Garcia, 2018), termasuk aktivitas manusia yang terus-menerus

mempengaruhi komposisi atmosfer dan penggunaan lahan (Monroe et al., 2019; Samaniego et al., 2018; Song et al., 2018; Williams et al., 2019), seperti membakar bahan bakar fosil (Lee et al., 2021; Licite & Lupikis, 2020; Lister & Garcia, 2018) dan deforestasi (Erb et al., 2018), serta faktor alam seperti letusan gunung berapi dan variasi radiasi matahari (C. Li et al., 2020; Styles et al., 2018).

Perubahan iklim global, secara lebih detil, dipicu oleh akumulasi gas-gas pencemar di atmosfer terutama karbondioksida (CO₂), metana (CH₄), dinitrooksida (N₂O) dan klorofluorocarbon (CFC). *United States Department of Agriculture* (USDA), tahun 2010 (*dalam* Putera dan Indrawera, 2009) menyebutkan bahwa telah terjadi kenaikan konsentrasi gas-gas pencemar tersebut sebesar 0,50 - 1,85% per-tahunnya. Konsentrasi tinggi dari gas-gas pencemar tersebut akan memperangkap energi panas matahari yang dipantulkan oleh permukaan bumi di zona atmosfer.

Iklim di Indonesia, dipengaruhi oleh '*El Niño-Southern Oscillation*' yang setiap beberapa tahun memicu terjadinya cuaca ekstrem. *El Niño* berkaitan dengan berbagai perubahan arus laut di Samudera Pasifik yang menyebabkan air laut menjadi luar biasa hangat. Kejadian sebaliknya, arus menjadi amat dingin, yang disebut *La Niña*, yang terkait dengan peristiwa ini adalah "Osilasi Selatan" (*Southern Oscillation*) yaitu perubahan tekanan atmosfer di belahan dunia sebelah selatan. Perpaduan seluruh fenomena inilah yang dinamakan *El Niño- Southern Oscillation* atau disingkat ENSO (UNDP, 2007).

Indonesia mengalami peristiwa-peristiwa yang sudah terjadi sebagai dampak dari perubahan iklim ini, seperti perubahan pola dan distribusi curah hujan; meningkatnya kejadian kekeringan, banjir dan tanah longsor; menurunnya produksi pertanian atau gagal panen, meningkatnya kejadian

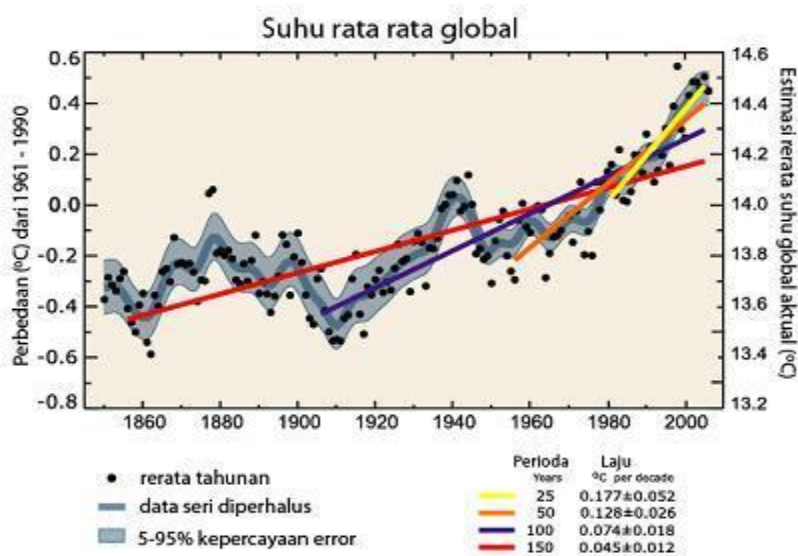
kebakaran hutan dibarengi dengan pencurian dan penjarahan hutan, meningkatnya suhu di daerah perkotaan, dan naiknya permukaan air laut. Sektor pertanian adalah yang paling terancam, menderita dan rentan (*vulnerable*) terhadap perubahan iklim yang terkait pada tiga faktor utama, yaitu biofisik, genetik, dan manajemen (ICCSR, 2010). Kondisi iklim yang ekstrim antara lain juga menyebabkan: (a) kegagalan pertumbuhan dan panen yang berujung pada penurunan produktivitas dan produksi; (b) kerusakan sumber daya lahan pertanian; (c) peningkatan frekuensi, luas, dan bobot/intensitas kekeringan; (d) peningkatan kelembaban; dan (e) peningkatan intensitas gangguan organisme pengganggu tanaman (OPT) (Las *et al.*, 2008).

Bagaimana Iklim dapat Berubah? Pertama yang harus jelas lebih dulu adalah bahwa perubahan iklim bukanlah hal baru. Iklim global sudah selalu berubah-ubah. Jutaan tahun yang lalu, sebagian wilayah dunia yang kini lebih hangat, dahulunya merupakan wilayah yang tertutupi oleh es, dan beberapa abad terakhir ini, suhu rata-rata telah naik turun secara musiman, sebagai akibat fluktuasi radiasi matahari, misalnya, atau akibat letusan gunung berapi secara berkala. Namun, yang baru adalah bahwa perubahan iklim yang ada saat ini dan yang akan datang dapat disebabkan bukan hanya oleh peristiwa alam melainkan lebih karena berbagai aktivitas manusia. Kemajuan pesat pembangunan ekonomi kita memberikan dampak yang serius terhadap iklim dunia, antara lain lewat pembakaran secara besar-besaran batu bara, minyak, dan kayu, misalnya, serta pembabatan hutan.

Kerusakannya terutama terjadi melalui produksi 'gas rumah kaca', dinamakan demikian karena gas-gas itu memiliki efek yang sama dengan atap sebuah rumah kaca. Gas-gas itu memungkinkan sinar matahari menembus atmosfer bumi sehingga menghangatkan bumi, tetapi gas-gas

ini mencegah pemantulan kembali sebagian udara panas ke ruang angkasa. Akibatnya, bumi dan atmosfer, perlahan-lahan memanans.

Peningkatan suhu rata-rata Bumi adalah salah satu indikator utama perubahan iklim. GRK bisa bertahan di atmosfer untuk waktu yang lama, bahkan jika semua emisi di seluruh dunia berhenti hari ini, iklim akan terus berubah (Bianchi, 2021). Ketika suhu Bumi meningkat, maka dapat mengakibatkan perubahan dalam pola cuaca, cuaca yang ekstrem, dan dampak ekologi yang serius (Tabari, 2020). Berbagai bukti empiris telah dikemukakan oleh para ilmuwan bahwa yang berkembang tidak hanya konsentrasi GRK di atmosfer, tetapi juga adanya ancaman perubahan iklim yang berbahaya (Xu et al., 2020).



Gambar 1. Perubahan suhu global

Selama 100 tahun terakhir (1906-2005) temperatur permukaan bumi rata-rata telah naik sekitar 0,74° C, dengan pemanasan yang lebih besar pada daratan dibandingkan

lautan. Tingkat pemanasan rata-rata selama 50 tahun terakhir hampir dua kali lipat dari yang terjadi pada 100 tahun terakhir (IPCC, 2016). Suhu dunia rata-rata lebih hangat 3-4 derajat Celcius daripada saat ini serta permukaan laut jauh lebih tinggi (EPA, 2020). Pengukuran dari inti es Antartika menunjukkan bahwa selama sekitar 10.000 tahun sebelum Revolusi Industri, konsentrasi karbon dioksida di atmosfer (sekitar 280 ppm) telah meningkat pesat pada tahun 2013 dengan konsentrasi 400 ppm). Temuan terbaru menunjukkan bahwa pemanasan global akan menyebabkan perubahan gelombang badai dan gelombang angin, sementara aktivitas siklon mungkin juga terpengaruh (Vousdoukas et al., 2018).

Kenaikan suhu itu mungkin tidak terlihat terlalu tinggi, tetapi di negara tertentu seperti Indonesia, kenaikan itu dapat memberikan dampak yang parah dan terutama pada penduduk yang paling miskin. Seperti apa persisnya yang akan terjadi sulit diperkirakan. Iklim global merupakan suatu sistem yang rumit dan pemanasan global akan berinteraksi dengan berbagai pengaruh lainnya, tetapi tampaknya di Indonesia perubahan ini akan makin memperparah berbagai masalah iklim yang sudah ada. Kita sudah begitu rentan terhadap begitu banyak ancaman yang berkaitan dengan iklim seperti banjir, kemarau panjang, angin kencang, longsor, dan kebakaran hutan.

Perubahan iklim utamanya akan berdampak pada masyarakat yang bermukim di wilayah pesisir dan mereka yang menggantungkan hidupnya pada pertanian dan perikanan yang peka iklim. Hal ini berarti, 65 persen masyarakat Indonesia yang bermukim di wilayah pesisir akan terpengaruh, baik yang berada di kota pesisir yang padat penduduk, maupun masyarakat desa nelayan. Hal ini juga berarti, masyarakat pedesaan yang memiliki

penghidupan dari aktivitas yang berhubungan dengan pertanian, perikanan dan hutan, akan sangat terpukul.

BAB 3

GAS RUMAH KACA

Mengapa suhu permukaan bumi bisa meningkat? Penelitian yang telah dilakukan para ahli selama beberapa dekade terakhir ini menunjukkan bahwa ternyata makin panasnya planet bumi terkait langsung dengan efek rumah kaca yang merupakan hasil dari penyerapan energi oleh gas-gas tertentu yang terdapat di atmosfer (disebut gas rumah kaca karena gas-gas ini secara efektif ‘menangkap’ panas yang terdapat di atmosfer bagian bawah) dan meradiasikan kembali sebagian dari panas tersebut ke bumi. Fungsi atmosfer ini menjadi semacam selimut bagi Bumi. Selimut ini memiliki ketebalan yang pas untuk mengisolasi dan menahan energi matahari secukupnya sehingga rata-rata suhu dunia menjadi nyaman. Selimut tersebut terdiri dari sekumpulan gas atmosfer yang disebut gas rumah kaca (GRK). Disebut GRK karena ia menahan panas seperti halnya dinding-dinding kaca dari sebuah rumah kaca.

Gas rumah kaca adalah sebuah istilah untuk menggambarkan kondisi bumi yang memiliki efek seperti rumah kaca. Gas-gas di atmosfer seperti karbon dioksida (CO₂) bisa menahan panas matahari yang mengakibatkan panas matahari terperangkap di atmosfer bumi (Chataut et al., 2023).

CO₂ merupakan salah satu GRK. CO₂ terdiri dari satu atom karbon dengan satu atom oksigen terikat pada kedua sisinya. Saat atom-atom tersebut terikat tidak cukup kuat, ikatan antarmolekul CO₂ dapat menyerap radiasi inframerah dan molekul tersebut mulai bergetar (vibrasi). Selanjutnya, molekul yang bergetar itu melepaskan radiasi. Radiasi yang

dilepas tadi kemungkinan besar diserap lagi oleh molekul GRK lainnya. Siklus penyerapan, pelepasan, dan penyerapan tersebut mempertahankan panas di dekat permukaan Bumi dan secara efektif mengisolasi permukaan Bumi dari ruang angkasa yang dingin.

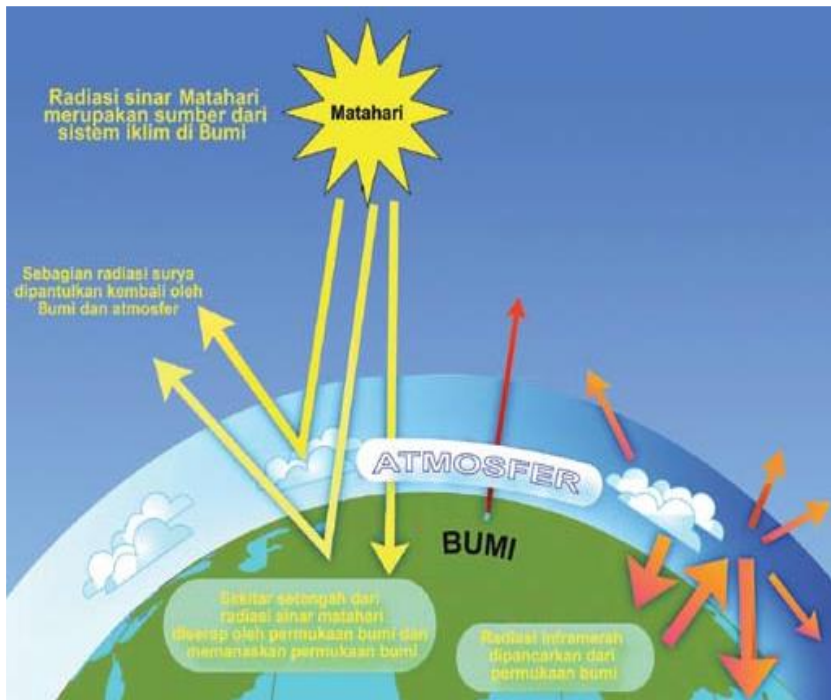
Dalam kondisi normal, efek rumah kaca ini yang berfungsi mempertahankan suhu bumi tetap hangat, jika tidak maka bumi akan dingin terus (Grossi, 2021). Kondisi atmosfer bumi yang hangat memungkinkan manusia dan makhluk hidup lainnya tumbuh dan berkembang biak. Dengan demikian, pada dasarnya gas rumah kaca dan efeknya diperlukan untuk menjaga kehidupan di bumi. Tanpa adanya efek rumah kaca yang alami, suhu di permukaan bumi akan berada pada angka -18°C bukan seperti suhu saat ini.

Kehidupan di Bumi tergantung pada tenaga atau panas Matahari. Sekitar 70 persen dari cahaya Matahari berhasil mencapai permukaan Bumi dengan berbagai spektrum panjang gelombang. Sisanya, yang 30 % radiasi Matahari yang terarah ke Bumi dibelokkan oleh atmosfer bagian luar. Radiasi ini selanjutnya disebarkan kembali ke luar angkasa.

Untuk radiasi Matahari yang mengenai permukaan Bumi, radiasi tersebut diserap baik oleh daratan maupun air. Dari permukaan inilah lalu dipantulkan kembali ke atas dalam bentuk radiasi inframerah. Panas yang berasal dari radiasi inframerah inilah yang diserap oleh GRK. Dengan demikian, radiasi tersebut tertahan dan tidak terlepas dari atmosfer. GRK, meskipun jumlahnya hanya sekitar 1 % dari atmosfer Bumi, namun ia mampu mengatur iklim kita dengan memerangkap panas dan menahannya seperti halnya selimut udara hangat yang menyelimuti Bumi. GRK yang berada di atmosfer itu berfungsi sebagai penyerap energi radiasi Matahari. Setelah itu ia melepaskannya di atmosfer dari yang seharusnya dipancarkan kembali ke

ruang angkasa. Fungsi tersebut seringkali dikenal sebagai proses efek rumah kaca dimana terjadi pengumpulan energi terkungkung di atmosfer Bumi.

Di daerah tropis seperti Indonesia banyak terdapat bangunan rumah kaca , biasanya terlihat di dataran tinggi yang memang bersuhu udara dingin. Bahkan petani di daerah subtropis atau berlintang tinggi, banyak menggunakan bangunan rumah kaca untuk mendapatkan kehangatan suhu udara yang sesuai bagi tanaman yang dibudidayakannya. Dinding dan atap yang terbuat kaca dapat menerima panas dari radiasi Matahari. Radiasi tersebut dengan leluasanya menerobos masuk ke dalam ruangan rumah kaca. Ketika sampai di permukaan, panas tersebut lalu diserap dan dipantulkan kembali ke segala penjuru rumah kaca. Radiasi panas yang dipantulkan lalu terperangkap dan mengumpul di ruangan karena ia memang tidak dapat keluar dari rumah kaca. Dengan kata lain, ia terkungkung di dalam rumah kaca. Akibatnya, suhu udara di dalam rumah kaca jauh lebih tinggi daripada lingkungannya. Fenomena inilah yang disebut efek rumah kaca.



Gambar 2. Efek rumah kaca

(Sumber: IPCC, 2007)

Pada skala mikro, proses penyerapan radiasi Matahari terjadi pada frekuensi atau panjang gelombang yang bersesuaian dengan panjang gelombang atau frekuensi eksitasi antar atom pada molekul GRK seperti karbon dioksida (CO_2). Ikatan antar atom itu bereksitasi (bergetar) akibat menyerap energi radiasi yang terpapar. Semakin banyak jumlah molekul GRK yang terdapat di atmosfer maka akan semakin kuat daya serap atmosfer karena jumlah energi radiasi yang masuk atmosfer Bumi relatif konstan dan hanya bervariasi pada jangka waktu lama. Seperti kita ketahui, jangka waktu (life time) GRK tersebut bertahan di atmosfer sangatlah lama, hingga mencapai ratusan bahkan puluhan ribu tahun. Akibatnya, molekul gas tersebut berpotensi untuk terus menyerap energi radiasi di