

PENGENALAN DINAMIKA PEMANASAN GLOBAL

PENULIS :

Prof. Dr. Sunaryo, M.Si.

Dr. Hadi Nasbey, M.Si.

Syafrima Wahyu, M.Si.

Lari Andres Sanjaya, M.Pd.



PENGENALAN DINAMIKA PEMANASAN GLOBAL

PENULIS :

Prof. Dr. Sunaryo, M.Si.

Dr. Hadi Nasbey, M.Si.

Syafrima Wahyu, M.Si.

Lari Andres Sanjaya, M.Pd.



GETPRESS INDONESIA

PENGENALAN DINAMIKA PEMANASAN GLOBAL

Penulis : Prof. Dr. Sunaryo, M.Si.
Dr. Hadi Nasbey, M.Si.
Syafri Wahyu, M.Si.
Lari Andres Sanjaya, M.Pd.

ISBN :

Editor : Mila Sari, M.Si.
Penyunting: Yuliatr Novita, M.Hum.
Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd.

Penerbit: GETPRESS INDONESIA
Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi:
Jl. Palarik RT 01 RW 06, Kelurahan Air Pacah
Kecamatan Koto Tengah, Padang, Sumatera Barat
website: www.getpress.co.id
email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Januari 2024

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

PRAKATA

Kepada Para Pembaca yang Terhormat,

Salam hangat dari penulis! Kami dengan gembira mempersembahkan buku ini, yang berjudul “Pengenalan Dinamika Pemanasan Global”. Dalam halaman-halaman yang mengikuti, Anda akan dibawa dalam sebuah perjalanan mendalam melalui aspek-aspek krusial dari fenomena global yang memengaruhi planet kita saat ini.

Setiap bab dalam buku ini dirancang untuk membuka wawasan Anda tentang pemanasan global, memberikan dasar iindaka singkat, dan memandu kita untuk memahami sudut pandang yang dapat menentukan masa depan bumi kita. Dari perubahan iklim hingga cara-cara memodelkan masa depan, setiap topik dibahas dengan cermat dan disertai dengan analisis ilmiah yang mendalam.

Kami juga akan mengupas dampak pemanasan global di masa depan, memberikan Anda pandangan yang jelas tentang konsekuensi-konsekuensi yang mungkin terjadi jika tidak ada iindakan yang diambil. Tidak hanya itu, buku ini juga akan membahas potensi kejutan-kejutan yang dapat muncul dalam perjalanan kita menghadapi tantangan ini.

Dalam bagian kajian fisika, Anda akan diajak memahami dasar-dasar ilmiah di balik pemanasan global, memberikan landasan yang kokoh untuk memahami masalah ini dengan lebih mendalam. Selain itu, kami juga akan mempertimbangkan berbagai alternatif yang dapat diambil untuk memitigasi dampak pemanasan global.

Buku ini adalah hasil kolaborasi dari berbagai sumber pengetahuan dan ahli di bidangnya. Kami ingin mengucapkan terima kasih kepada semua yang telah memberikan kontribusi untuk membuat buku ini menjadi kenyataan.

Kami berharap bahwa buku ini tidak hanya memberikan pengetahuan baru, tetapi juga mendorong Anda untuk berpikir lebih dalam tentang peran kita sebagai warga bumi dalam menjaga keberlanjutan dan keseimbangan alam.

Terima kasih atas perhatian Anda, dan selamat menikmati perjalanan intelektual ini.

Dengan hormat,

Jakarta, Oktober 2023

Tim Penulis

DAFTAR ISI

PRAKATA	i
DAFTAR ISI	iii
BAB 1 PEMANASAN GLOBAL	1
1.1 Rumah Kaca Alami Bumi	19
1.2 Iklim masa lalu dan peran karbon dioksida	25
1.3 Kenaikan karbon dioksida atmosfer selama periode industri	27
1.4 Efek rumah kaca yang ditingkatkan	32
1.5 Siapa Yang Menghasilkan Polusi?	35
1.6 Apa itu IPCC?	38
1.7 Perubahan iklim	42
1.8 Hubungan pemanasan global dengan perubahan iklim	48
BAB 2 SEJARAH SINGKAT HIPOTESIS PEMANASAN GLOBAL	51
2.1 Latar Belakang Sejarah Pemanasan Global	51
2.2 Butuh waktu lama untuk mengenali pemanasan global	57
BAB 3 SUDUT PANDANG MENENTUKAN MASA DEPAN	69
3.1 Sudut pandang masa depan	69
BAB 4 PERUBAHAN IKLIM	79
4.1 Perubahan Iklim Masa Lalu	79
4.2 Suhu	100
4.3 Curah Hujan	106
4.4 Permukaan Laut Relative	107
4.5 Bukti Lain Untuk Pemanasan Global	112
4.6 Tinjauan Para Skeptis	115
BAB 5 PEMODELAN MASA DEPAN	125

5.1 Memodelkan Masa Depan.....	125
5.2 Efek Pendinginan.....	131
5.3 Model Ekonomi Masa Depan	133
BAB 6 DAMPAK PEMANASAN GLOBAL DI MASA DEPAN	143
6.1 Garis Pantai.....	145
6.2 Badai dan Banjir.....	148
6.3 El Niño–Osilasi Selatan	149
6.4 Kesehatan	152
6.5 Keanekaragaman Hayati	156
6.6 Pertanian	159
BAB 7 KEJUTAN.....	163
7.1 Sirkulasi Laut Dalam	169
7.2 Gas Hidrat.....	178
7.3 Amazonia	181
BAB 8 KAJIAN FISIKA.....	187
BAB 9 ALTERNATIF	193
9.1 Adaptasi dan Mitigasi	195
9.2 Perbaikan Teknologi, Bisakah Kita Memperbaiki Pemanasan Global?.....	200
9.3 Hipotesis Besi.....	204
BAB 10 KESIMPULAN.....	207
DAFTAR PUSTAKA.....	212

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Keseimbangan energi rata-rata global tahunan Bumi.....	21
Gambar 1. 2. Gas rumah kaca dan suhu selama empat siklus glasial terakhir yang tercatat di inti es Vostok.....	26
Gambar 1. 3. Konsentrasi global dari tiga gas rumah kaca yang tercampur dengan baik.....	28
Gambar 1. 4. Indikator pengaruh manusia terhadap komposisi atmosfer pada masa industri.....	28
Gambar 1. 5. Emisi CO ₂ dari proses industri	36
Gambar 1. 6. Emisi CO ₂ dari perubahan penggunaan lahan	37
Gambar 1. 7. Kemungkinan respons sistem iklim terhadap pemaksaan linier	43
Gambar 2. 1. Variasi suhu permukaan bumi	61
Gambar 2. 2. Pemanasan global dan media	64
Gambar 3. 1. Empat mitos alam.....	72
Gambar 3. 2. Empat mitos sifat manusia	74
Gambar 3. 3. Empat Rasionalis	75
Gambar 3. 4. Gabungan skenario pemanasan global dengan mitos sifat manusia	76
Gambar 4. 1. Anatomi perubahan iklim masa lalu.....	81
Gambar 4. 2. Rekonstruksi suhu belahan bumi utara selama seribu tahun terakhir	84
Gambar 4. 3. Distribusi stasiun meteorologi global.....	103
Gambar 4. 4. Perubahan curah hujan di daratan a) 1955–1974 hingga 1975–1994 dan b) 1900 hingga 1994.....	108
Gambar 4. 5. Perkiraan kenaikan permukaan laut 1910–1990	110
Gambar 4. 6. Banjir Mozambik tahun 2000	114
Gambar 4. 7. Catatan inti es menunjukkan CO ₂ sefase dengan pemanasan Antartika.....	117
Gambar 4. 8. Simulasi suhu permukaan rata-rata global tahunan dibandingkan dengan suhu yang diamati	119
Gambar 4. 9. Skema variasi yang diamati dari indikator suhu dan indikator hidrologi dan terkait badai.....	120
Gambar 4. 10. Lokasi studi perubahan iklim regional terkait suhu baru-baru ini pada system fisik dan biologis.....	122

Gambar 5. 1. Pengembangan model iklim, masa lalu, sekarang, dan masa depan	127
Gambar 5. 2. Versi sederhana dari siklus karbon saat ini.....	130
Gambar 5. 3. Iklim global abad ke-21.....	133
Gambar 7. 1. Aliran air dunia.....	171
Gambar 7. 2. Percabangan Sistem Iklim.....	173
Gambar 7. 3. Perubahan permukaan laut di masa depan tergantung pada masukan air lelehan baik di a) Samudra Selatan di sekitar Antartika atau b) Samudra Atlantik Utara	176
Gambar 7. 4. Model CO ₂ konsentrasi dan suhu rata-rata dari waktu ke waktu polusi, sekitar tiga perempat dari polusi mobil dunia. Tapi hal-hal bisa berubah di masa depan.	183
Gambar 9. 1. Climate Change Risk With Increasing Global Temperature.....	194
Gambar 9. 2. Projected global CO ₂ emissions with or without Kyoto.....	196
Gambar 9. 3. Model response strategies for future sea-level rise	198
Gambar 9. 4. Lead times for response strategies to combat climate change	198
Gambar 9. 5. Is global warming all bad?	208

BAB 1

PEMANASAN GLOBAL

Dinamika pemanasan global menjadi judul buku yang disusun berdasarkan pengalaman penulis mengampu mata kuliah fisika lingkungan dalam kurun waktu yang cukup lama dalam Upaya menjadikan para pembaca mampu memahami dengan mudah kronologis tentang pemanasan global dan bagaimana mensikapi agar pengaruh yang dihasilkan dapat disyukuri sebagai proses alami dengan melakukan berbagai aktivitas konstruktif.

Pemanasan global adalah fenomena meningkatnya suhu rata-rata bumi secara signifikan dalam beberapa dekade terakhir. Ini merupakan hasil dari peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer, seperti karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dan nitrous oksida (N_2O). Peningkatan konsentrasi gas-gas ini terjadi karena aktivitas manusia, terutama pembakaran bahan bakar fosil (seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam), deforestasi, dan pola pertanian intensif.

1. Pengenalan Teori Efek Rumah Kaca

Pada tahun 1800-an, konsep efek rumah kaca telah diperkenalkan sejak awal abad ke-19 oleh para ilmuwan seperti Joseph Fourier dan John Tyndall. Mereka menyadari bahwa atmosfer menyerap radiasi panas dari matahari dan membantu mempertahankan suhu bumi yang nyaman.

Rumah kaca adalah struktur bangunan atau area tertutup yang dirancang untuk meniru efek rumah kaca alami dalam mengatur suhu, kelembaban, dan kondisi lingkungan lainnya untuk mendukung pertumbuhan tanaman atau menjaga kondisi tertentu di dalamnya. Istilah "rumah kaca" berasal dari sifat struktur ini yang menyerupai rumah kaca tradisional yang digunakan untuk

menumbuhkan tanaman di iklim yang tidak cocok. Berikut adalah pengenalan lebih rinci tentang teori efek rumah kaca:

Definisi Efek Rumah Kaca: Efek rumah kaca adalah proses alami di mana beberapa gas di atmosfer Bumi menyerap dan memancarkan kembali radiasi panas dari permukaan Bumi. Gas-gas ini bertindak seperti atap rumah kaca yang memungkinkan cahaya matahari masuk, tetapi mencegah sebagian panas kembali keluar ke angkasa. Akibatnya, efek rumah kaca membantu menjaga suhu rata-rata di Bumi tetap hangat dan mendukung kehidupan.

Komposisi Gas Rumah Kaca: Gas-gas utama yang menyebabkan efek rumah kaca adalah karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), nitrous oksida (N_2O), dan uap air (H_2O). Di antara gas-gas ini, uap air adalah yang paling dominan dalam menyebabkan efek rumah kaca, namun peran CO_2 menjadi lebih signifikan karena tingginya konsentrasi yang dihasilkan oleh aktivitas manusia.

Peran Manusia dalam Efek Rumah Kaca: Aktivitas manusia, terutama pembakaran bahan bakar fosil (seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam) untuk energi, deforestasi, dan industri, telah menyebabkan peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Seiring berjalannya waktu, peningkatan emisi gas-gas ini mengakibatkan penguatan efek rumah kaca, yang berkontribusi pada pemanasan global dan perubahan iklim.

Pemanasan Global: Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca telah menyebabkan pemanasan global, yaitu peningkatan suhu rata-rata di permukaan Bumi. Dalam beberapa dekade terakhir, suhu global telah mengalami peningkatan yang signifikan, menyebabkan dampak berbahaya seperti pencairan es di kutub, naiknya permukaan laut, perubahan pola cuaca ekstrem, dan gangguan pada ekosistem.

Dampak dan Konsekuensi: Perubahan iklim yang disebabkan oleh efek rumah kaca berdampak pada kehidupan manusia dan ekosistem secara luas. Fenomena seperti peningkatan suhu, kekeringan, banjir, badai, dan ancaman terhadap keberlanjutan sumber daya alam menjadi tantangan serius yang harus dihadapi oleh masyarakat global.

Upaya Penanggulangan: Untuk mengatasi pemanasan global dan perubahan iklim, banyak negara dan organisasi telah berupaya untuk mengurangi emisi gas rumah kaca melalui berbagai kebijakan dan langkah-langkah mitigasi. Penggunaan energi terbarukan, penghematan energi, kebijakan pengurangan emisi, dan penanaman pohon adalah beberapa contoh upaya yang diambil untuk mengurangi dampak efek rumah kaca.

Penting bagi kita semua untuk memahami dan mengatasi efek rumah kaca agar kita dapat melindungi Bumi dan kehidupan di dalamnya. Kesadaran tentang pentingnya berperan aktif dalam mengurangi emisi gas rumah kaca adalah langkah penting dalam melawan perubahan iklim dan mewariskan planet yang lebih baik bagi generasi mendatang.

2. Prinsip Kerja Rumah Kaca

Prinsip kerja rumah kaca adalah memanfaatkan efek rumah kaca, yaitu penahanan panas dalam struktur tertutup. Cahaya matahari masuk ke dalam rumah kaca melalui dinding dan atap yang transparan, lalu energi panas ini dipertahankan di dalamnya karena cahaya inframerah yang dipancarkan oleh tanaman dan benda lainnya tidak dapat keluar secara efisien.

Prinsip kerja rumah kaca didasarkan pada efek rumah kaca alami, di mana struktur bangunan atau area tertutup ini dirancang untuk meniru efek tersebut secara terkendali guna menciptakan kondisi lingkungan yang optimal untuk pertumbuhan tanaman atau menjaga kondisi tertentu di dalamnya. Berikut adalah prinsip kerja rumah kaca:

- a) **Penyaringan Cahaya Matahari:** Material transparan seperti kaca atau plastik yang digunakan sebagai dinding dan atap rumah kaca memungkinkan cahaya matahari masuk ke dalam struktur. Radiasi cahaya yang berasal dari matahari adalah sumber energi utama bagi pertumbuhan tanaman di dalam rumah kaca.
- b) **Penyerapan Panas:** Setelah cahaya matahari masuk, permukaan tanaman dan benda lainnya di dalam rumah kaca menyerap sebagian besar radiasi cahaya tersebut. Ketika benda-benda ini menyerap cahaya, mereka memancarkan energi panas dalam bentuk cahaya inframerah.
- c) **Penahanan Panas:** Cahaya inframerah yang dipancarkan oleh tanaman dan benda di dalam rumah kaca tidak dapat keluar dengan mudah melalui material transparan. Sebagai akibatnya, panas tetap tertahan di dalam rumah kaca dan menciptakan lingkungan yang lebih hangat daripada lingkungan luar.
- d) **Pengaturan Sirkulasi Udara:** Pengaturan sirkulasi udara dalam rumah kaca sangat penting. Ventilasi diperlukan untuk menghindari penumpukan panas berlebihan dan menjaga kelembaban yang tepat. Beberapa rumah kaca menggunakan sistem ventilasi otomatis, sementara yang lain mengandalkan pembukaan manual atau jendela untuk mengatur sirkulasi udara.
- e) **Pengaturan Kelembaban:** Kebanyakan tanaman memerlukan tingkat kelembaban yang tepat untuk tumbuh dengan baik. Beberapa rumah kaca memiliki

sistem penyemprotan air otomatis atau sistem irigasi untuk menjaga kelembaban yang sesuai.

- f) Pengaturan Suhu: Di beberapa rumah kaca komersial atau besar, pengaturan suhu yang lebih canggih digunakan untuk menciptakan lingkungan yang optimal. Ini dapat mencakup penggunaan sistem pemanas atau pendingin, tergantung pada musim dan kebutuhan tanaman.

Dengan menggunakan prinsip-prinsip di atas, rumah kaca menciptakan lingkungan mikro yang terkontrol, yang memungkinkan petani atau peneliti untuk menanam tanaman di luar musim atau menjaga kondisi yang ideal bagi tanaman tertentu. Selain itu, rumah kaca juga dapat digunakan untuk kegiatan penelitian ilmiah dan eksperimen yang memerlukan pengaturan lingkungan yang terkendali.

3. Fungsi dan Tujuan Rumah Kaca

Rumah kaca digunakan untuk berbagai tujuan, termasuk pertanian, penelitian botani, produksi tanaman di luar musim, pemuliaan tanaman, dan sebagai ruang aklimatisasi bagi tanaman yang tidak dapat tumbuh di lingkungan luar secara optimal. Selain itu, rumah kaca juga dapat digunakan dalam kegiatan komersial untuk produksi tanaman hias atau sayuran sepanjang tahun, terlepas dari musim dan iklim di luar.

Rumah kaca memiliki beragam manfaat, terutama dalam bidang pertanian, penelitian, dan produksi tanaman. Berikut adalah beberapa manfaat utama dari penggunaan rumah kaca:

- a) Pertanian sepanjang tahun: Salah satu manfaat utama dari rumah kaca adalah kemampuannya untuk mendukung pertanian sepanjang tahun. Dengan menciptakan lingkungan yang terkendali, rumah kaca memungkinkan petani untuk menanam tanaman di luar

- musim, menghasilkan panen lebih awal atau lebih lambat dari musim biasanya.
- b) Proteksi dari cuaca ekstrem: Rumah kaca memberikan perlindungan bagi tanaman dari cuaca ekstrem seperti hujan lebat, angin kencang, atau hujan es. Tanaman di dalam rumah kaca lebih aman dan lebih sedikit terpengaruh oleh fluktuasi cuaca yang dapat merusak tanaman di lingkungan luar.
 - c) Pengendalian suhu dan kelembaban: Dengan sistem ventilasi dan pengaturan suhu yang tepat, rumah kaca memungkinkan petani untuk mengatur suhu dan kelembaban sesuai dengan kebutuhan tanaman. Hal ini membantu menciptakan lingkungan yang optimal bagi pertumbuhan dan produksi tanaman.
 - d) Pemuliaan tanaman: Rumah kaca sering digunakan untuk kegiatan pemuliaan tanaman. Lingkungan yang terkendali memungkinkan peneliti untuk mengisolasi dan mengontrol persilangan tanaman secara lebih efektif, mempercepat proses seleksi dan pengembangan varietas tanaman yang lebih unggul.
 - e) Produksi tanaman hias: Rumah kaca digunakan secara luas untuk produksi tanaman hias seperti bunga dan tanaman hias lainnya. Produksi di dalam rumah kaca memungkinkan untuk mendapatkan tanaman yang lebih cantik dan berkualitas tinggi, serta dapat menghadirkan variasi tanaman yang tidak tersedia di lingkungan luar.
 - f) Produksi tanaman sayuran dan buah: Rumah kaca komersial juga memungkinkan produksi tanaman sayuran dan buah di luar musim. Dengan menggunakan teknologi dan pengaturan yang tepat, petani dapat menghasilkan tanaman sayuran segar dan buah-buahan di seluruh tahun.
 - g) Konservasi sumber daya: Rumah kaca dapat membantu menghemat air dan pupuk karena air dan nutrisi yang diberikan secara tepat pada tanaman, mengurangi pembuangan limbah dan polusi lingkungan.

- h) Penelitian ilmiah: Rumah kaca digunakan sebagai fasilitas penelitian untuk memahami fenomena pertumbuhan tanaman, respons terhadap perubahan iklim, atau efek pestisida dan herbisida.
- i) Pendidikan dan edukasi: Rumah kaca juga dapat digunakan sebagai sarana pendidikan dan edukasi bagi masyarakat untuk memahami pentingnya pertanian, ekologi tanaman, dan perlunya konservasi sumber daya alam.

Dengan semua manfaat ini, rumah kaca berperan penting dalam mendukung produksi pangan, penelitian ilmiah, dan pelestarian lingkungan alam.

Material yang biasanya digunakan dalam pembuatan rumah kaca adalah kaca atau plastik transparan, yang memungkinkan cahaya matahari masuk ke dalam rumah kaca. Struktur bangunan ini dapat bervariasi mulai dari yang sederhana seperti rumah kaca mini di halaman belakang rumah, hingga rumah kaca komersial yang sangat besar dan canggih dengan sistem kontrol iklim otomatis. Rumah kaca berperan penting dalam mendukung produksi pangan dan pemeliharaan lingkungan, khususnya di daerah yang memiliki iklim ekstrem atau musim yang singkat. Mereka juga memberikan fasilitas untuk penelitian dan eksperimen dalam pertanian dan botani yang dapat membantu memahami dan mengatasi tantangan pertanian masa depan.

4. Pengukuran Pertama Gas Rumah Kaca

Pada tahun 1896, Ilmuwan Swedia, Svante Arrhenius, merupakan salah satu yang pertama kali mengusulkan bahwa peningkatan CO₂ di atmosfer dapat menyebabkan pemanasan global. Dia meneliti dampak aktivitas manusia terhadap kadar CO₂ dan menghitung bahwa peningkatan CO₂ dapat menyebabkan peningkatan suhu bumi.

Pengukuran gas rumah kaca penting untuk memantau dan memahami perubahan konsentrasi gas-gas tersebut di atmosfer. Metode pengukuran dapat berbeda tergantung pada jenis gas rumah kaca yang ingin diukur. Berikut adalah beberapa metode umum yang digunakan untuk mengukur gas rumah kaca.

a) Pengukuran Karbon Dioksida (CO_2):

- Pengukuran Langsung: Pengukuran langsung CO_2 dapat dilakukan menggunakan perangkat seperti spektrometer inframerah atau gas analyzer CO_2 yang sensitif. Pengukuran ini dilakukan secara langsung di lokasi yang diinginkan, seperti di udara bebas atau dalam ruang tertutup.
- Pengambilan Sampel: Sampel udara dapat diambil di lokasi yang berbeda, kemudian dianalisis dalam laboratorium menggunakan spektrometer inframerah atau teknik kimia lainnya untuk mengukur konsentrasi CO_2 .

b) Pengukuran Metana (CH_4):

- Pengukuran Langsung: Pengukuran langsung metana dapat dilakukan dengan menggunakan detektor gas metana atau spektrometer inframerah yang sensitif terhadap metana. Alat ini bisa dipasang di lokasi tertentu atau diambil sampelnya dan dianalisis dalam laboratorium.
- Pengambilan Sampel: Sampel udara diambil dari sumber metana atau dari atmosfer, kemudian dianalisis menggunakan metode laboratorium, seperti kromatografi gas, untuk mengukur konsentrasi metana.

c) Pengukuran Nitrous Oksida (N_2O): Pengukuran konsentrasi N_2O dapat dilakukan dengan menggunakan spektrometer inframerah atau dengan teknik kimia laboratorium seperti kromatografi gas. Pengambilan

sampel udara dari lokasi tertentu atau atmosfer bisa dilakukan untuk analisis.

- d) Pengukuran Ozon (O₃): Pengukuran ozon dapat menggunakan ozon meter atau spektrometer ultraviolet (UV) yang sensitif terhadap ozon. Pengukuran langsung di atmosfer atau dari sampel udara yang diambil di lokasi tertentu bisa dilakukan.
- e) Pengukuran Uap Air (H₂O): Pengukuran konsentrasi uap air bisa dilakukan dengan alat seperti hygrometer atau dew point meter yang mengukur kelembaban udara. Pengukuran ini sering dilakukan untuk memahami kelembaban udara dan kondisi atmosfer di lokasi tertentu.

Pengukuran gas rumah kaca dilakukan di seluruh dunia sebagai bagian dari upaya pemantauan dan penelitian iklim. Data hasil pengukuran ini sangat penting untuk memahami perubahan iklim dan dampak dari aktivitas manusia pada konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer.

5. Peningkatan Industri (1900-an Awal)

Revolusi industri yang dimulai pada akhir abad ke-18 dan awal abad ke-19 menghasilkan peningkatan produksi bahan bakar fosil, yang berkontribusi pada peningkatan emisi gas rumah kaca. Peningkatan industri memiliki dampak yang kompleks dan luas, baik positif maupun negatif, terhadap masyarakat, ekonomi, lingkungan, dan budaya. Berikut adalah beberapa dampak utama dari peningkatan industri:

- a) Pertumbuhan Ekonomi: Industri yang berkembang dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi suatu negara. Peningkatan produksi dan produktivitas di sektor industri menciptakan lapangan kerja baru, meningkatkan

- pendapatan perusahaan, dan menyediakan barang dan jasa yang lebih beragam bagi masyarakat.
- b) Peningkatan Standar Hidup: Dengan adanya industri yang berkembang, produk dan layanan menjadi lebih mudah diakses oleh masyarakat. Ini dapat meningkatkan standar hidup dan kualitas hidup, termasuk akses terhadap teknologi, perumahan, pendidikan, kesehatan, dan infrastruktur yang lebih baik.
 - c) Inovasi dan Teknologi: Peningkatan industri mendorong inovasi dan perkembangan teknologi. Perusahaan berkompetisi untuk menciptakan produk dan layanan yang lebih efisien, aman, dan inovatif, yang akhirnya menghasilkan kemajuan dalam berbagai sektor kehidupan.
 - d) Urbanisasi: Peningkatan industri seringkali menyebabkan urbanisasi, yaitu migrasi besar-besaran dari pedesaan ke perkotaan untuk mencari pekerjaan dan peluang ekonomi. Urbanisasi dapat menciptakan pusat-pusat kegiatan ekonomi yang berkembang, namun juga menimbulkan tantangan dalam hal pemenuhan infrastruktur dan pemukiman.
 - e) Dampak Lingkungan: Peningkatan industri dapat berdampak negatif pada lingkungan. Kegiatan industri seperti produksi, pertambangan, dan pembakaran bahan bakar fosil dapat menyebabkan emisi gas rumah kaca dan polusi udara yang mengakibatkan pemanasan global dan masalah kesehatan bagi manusia.
 - f) Kerusakan Ekosistem: Pertumbuhan industri juga sering menyebabkan kerusakan ekosistem alami, termasuk hilangnya habitat, deforestasi, dan degradasi lahan. Hal ini dapat menyebabkan kepunahan spesies, perubahan iklim, dan ketidakseimbangan ekosistem.
 - g) Dampak Sosial: Peningkatan industri dapat memiliki dampak sosial, seperti ketimpangan ekonomi, migrasi pekerja paksa, dan masalah kesehatan terkait pekerjaan di lingkungan industri yang berbahaya.

- h) Penggunaan Sumber Daya: Industri yang berkembang membutuhkan sumber daya alam seperti air, energi, dan bahan baku dalam jumlah besar. Penggunaan sumber daya yang berlebihan dan tidak berkelanjutan dapat menyebabkan kelangkaan dan degradasi sumber daya alam.
- i) Dampak Budaya: Peningkatan industri juga dapat berdampak pada budaya tradisional dan identitas masyarakat. Modernisasi dan globalisasi dapat mengancam keberlangsungan budaya lokal dan kearifan tradisional.

Oleh karena itu, penting bagi pemerintah, perusahaan, dan masyarakat untuk mempertimbangkan dan mengelola dampak industri dengan bijaksana. Upaya untuk mengurangi dampak negatif melalui keberlanjutan, efisiensi sumber daya, dan teknologi bersih harus menjadi prioritas guna mencapai pembangunan yang berkelanjutan dan seimbang bagi semua pihak yang terlibat.

6. Penelitian Lanjutan tentang Efek Rumah Kaca (1930-1970)

Penelitian ilmiah tentang pemanasan global dan efek rumah kaca terus berlanjut. Pada tahun 1950-an, Charles David Keeling mengukur konsentrasi CO₂ secara terus-menerus di Mauna Loa, Hawaii, dalam apa yang dikenal sebagai Kurva Keeling. Pengamatan ini menunjukkan peningkatan tahunan konsentrasi CO₂ yang berkorelasi dengan kegiatan manusia.

Periode dari tahun 1930 hingga saat ini meliputi lebih dari sembilan dekade di mana efek rumah kaca menjadi semakin signifikan. Di bawah ini adalah gambaran singkat tentang perkembangan pemanasan global dan perubahan iklim yang terjadi selama periode tersebut.

- a) Tahun 1930-an hingga 1950-an: Pada awal periode ini, kesadaran tentang efek rumah kaca masih terbatas, dan penelitian ilmiah tentang perubahan iklim baru mulai berkembang. Penggunaan bahan bakar fosil seperti batu bara dan minyak bumi meningkat secara signifikan seiring dengan pertumbuhan industri dan transportasi, tetapi dampaknya terhadap iklim masih belum sepenuhnya dipahami.
- b) Tahun 1960-an hingga 1970-an: Pada tahun 1960-an, ilmuwan mulai menyadari potensi efek rumah kaca dari emisi gas buangan, terutama karbon dioksida (CO₂). Pada tahun 1970-an, perhatian masyarakat dan pemerintah mulai meningkat tentang masalah lingkungan, termasuk perubahan iklim, dan dilakukan beberapa pertemuan internasional untuk membahas isu ini.
- c) Tahun 1980-an: Pada tahun 1980-an, pertumbuhan ekonomi dan konsumsi energi global terus meningkat, menyebabkan peningkatan emisi gas rumah kaca secara signifikan. Pada tahun 1988, didirikan Panel Antarpemerintah tentang Perubahan Iklim (IPCC) oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa untuk menyelidiki dan memberikan informasi ilmiah tentang perubahan iklim.
- d) Tahun 1990-an: Pada tahun 1992, Konferensi PBB tentang Lingkungan dan Pembangunan (UNCED) diadakan di Rio de Janeiro, Brasil, dan menghasilkan Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa tentang Perubahan Iklim (UNFCCC). Sejak itu, negara-negara berkomitmen untuk bekerja sama untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengatasi dampak perubahan iklim.
- e) Tahun 2000-an: Pada awal abad ke-21, perubahan iklim menjadi isu global yang mendesak. Semakin banyak bukti ilmiah tentang pemanasan global dan dampaknya pada lingkungan dan masyarakat. Beberapa peristiwa

cuaca ekstrem, seperti badai, kekeringan, dan banjir, menjadi lebih sering terjadi dan lebih intens.

- f) Tahun 2010-an: Pada dekade ini, negara-negara lebih serius berkomitmen untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Perjanjian Paris pada tahun 2015 menjadi tonggak penting, dengan hampir seluruh negara di dunia berjanji untuk mengurangi emisi dan membatasi kenaikan suhu global di bawah 2 derajat Celsius di atas tingkat pra-industri.
- g) Tahun 2020-an (hingga saat ini): Dekade ini menandai fokus lebih lanjut pada mitigasi perubahan iklim dan adaptasi terhadap dampaknya. Banyak negara dan organisasi berusaha untuk mencapai target emisi berdasarkan Perjanjian Paris. Bencana alam yang disebabkan oleh perubahan iklim, seperti kebakaran hutan, banjir, dan badai tropis, semakin sering terjadi dan mempengaruhi banyak wilayah di seluruh dunia.

Penting untuk diingat bahwa pengukuran efek rumah kaca adalah pekerjaan yang rumit dan berkelanjutan, dan penelitian terus dilakukan untuk memahami secara lebih mendalam tentang perubahan iklim dan bagaimana mengatasinya untuk masa depan yang berkelanjutan.

7. Penetapan IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1988)

Pada tahun 1988, PBB mendirikan IPCC untuk menyelidiki dampak perubahan iklim, termasuk pemanasan global, dan memberikan penilaian ilmiah secara berkala tentang topik ini. Pada tahun 1988, Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) mendirikan Panel Antarpemerintah tentang Perubahan Iklim (IPCC) sebagai badan ilmiah independen yang bertujuan untuk menyelidiki dan memberikan informasi tentang perubahan iklim. Berikut adalah beberapa

momen penting dalam sejarah IPCC dari 1988 hingga sekarang:

- a) Tahun 1988: Didirikan IPCC oleh PBB sebagai bagian dari Organisasi Meteorologi Dunia (WMO) dan Program Lingkungan PBB (UNEP) untuk mengatasi perubahan iklim dan memberikan penilaian ilmiah.
- b) Tahun 1990: IPCC merilis Laporan Penilaian Ilmiah Pertama (First Assessment Report, FAR) pada tahun 1990. Laporan ini adalah laporan pertama yang secara komprehensif mengevaluasi bukti ilmiah tentang pemanasan global dan perubahan iklim.
- c) Tahun 1992: Konferensi PBB tentang Lingkungan dan Pembangunan (UNCED) diadakan di Rio de Janeiro, Brasil. Pada kesempatan ini, Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa tentang Perubahan Iklim (UNFCCC) ditandatangani oleh lebih dari 150 negara, yang mengakui pentingnya mengatasi perubahan iklim secara global.
- d) Tahun 1995: IPCC merilis Laporan Penilaian Ilmiah Kedua (Second Assessment Report, SAR) pada tahun 1995. Laporan ini menyajikan lebih banyak bukti tentang pemanasan global dan dampaknya yang semakin nyata.
- e) Tahun 2001: IPCC merilis Laporan Penilaian Ilmiah Ketiga (Third Assessment Report, TAR) pada tahun 2001. Laporan ini menyimpulkan bahwa pemanasan global ada hubungannya dengan aktivitas manusia, khususnya emisi gas rumah kaca dari pembakaran bahan bakar fosil.
- f) Tahun 2007: IPCC merilis Laporan Penilaian Ilmiah Keempat (Fourth Assessment Report, AR4) pada tahun 2007. Laporan ini menyoroti meningkatnya bukti tentang perubahan iklim dan menyatakan dengan tingkat keyakinan yang tinggi bahwa aktivitas manusia menjadi penyebab utama pemanasan global.

- g) Tahun 2013-2014: IPCC merilis Laporan Penilaian Ilmiah Kelima (Fifth Assessment Report, AR5) dalam beberapa fase dari 2013 hingga 2014. Laporan ini menegaskan bahwa perubahan iklim lebih lanjut sangat mungkin terjadi jika tindakan tidak diambil untuk mengurangi emisi gas rumah kaca.
- h) Tahun 2015: IPCC mendapatkan perhatian dunia ketika Perjanjian Paris ditandatangani pada Konferensi Perubahan Iklim PBB (COP21) di Paris, Prancis. Perjanjian Paris bertujuan untuk mencapai kerjasama global dalam mengatasi perubahan iklim dan mencapai batas kenaikan suhu global maksimum di bawah 2 derajat Celsius di atas tingkat pra-industri.
- i) Tahun 2021: IPCC merilis Laporan Penilaian Ilmiah Keenam (Sixth Assessment Report, AR6) yang akan disusun dalam beberapa fase antara tahun 2021 hingga 2022. Laporan ini menyajikan pemahaman terbaru tentang perubahan iklim berdasarkan penelitian dan pengamatan ilmiah terbaru.

IPCC terus berperan sebagai badan ilmiah yang penting dalam menyediakan bukti ilmiah tentang perubahan iklim, dan laporan-laporan yang dikeluarkannya menjadi dasar bagi tindakan pemerintah dan masyarakat dalam menghadapi tantangan perubahan iklim.

8. Penegasan Konsensus Ilmiah (2000-an)

Pada awal abad ke-21, konsensus ilmiah semakin menguat tentang perubahan iklim yang disebabkan oleh aktivitas manusia. Berbagai laporan IPCC menegaskan bahwa ada hubungan langsung antara peningkatan emisi gas rumah kaca dan pemanasan global.

Sejak didirikan pada tahun 1988, Panel Antarpemerintah tentang Perubahan Iklim (IPCC) telah merilis beberapa laporan penegasan ilmiah yang berperan

penting dalam pemahaman kita tentang perubahan iklim dan dampaknya. Berikut adalah beberapa laporan penegasan ilmiah IPCC yang telah dirilis sampai saat ini:

- a) Laporan Penilaian Ilmiah Pertama (First Assessment Report, FAR) - 1990: Laporan ini merupakan laporan pertama yang dikeluarkan oleh IPCC dan menyajikan penilaian ilmiah tentang pemanasan global dan dampaknya. Laporan ini menyimpulkan bahwa ada "kehilangan energi yang besar" dari atmosfer dan menyatakan bahwa aktivitas manusia kemungkinan merupakan penyebab utama pemanasan global.
- b) Laporan Penilaian Ilmiah Kedua (Second Assessment Report, SAR) - 1995: Laporan ini memberikan penilaian lebih lanjut tentang perubahan iklim dan memperkuat keyakinan bahwa manusia berperan dalam pemanasan global. Laporan ini juga menyoroti potensi dampak serius dari perubahan iklim di berbagai sektor, termasuk pertanian, kesehatan, dan lingkungan.
- c) Laporan Penilaian Ilmiah Ketiga (Third Assessment Report, TAR) - 2001: Laporan ini menguatkan kesimpulan sebelumnya tentang kontribusi manusia terhadap perubahan iklim dan mengakui bahwa bukti ilmiah semakin kuat. Laporan ini juga mengidentifikasi dampak perubahan iklim yang lebih jelas dan memperkirakan peningkatan suhu global di masa depan.
- d) Laporan Penilaian Ilmiah Keempat (Fourth Assessment Report, AR4) - 2007: Laporan ini menjadi laporan penilaian ilmiah IPCC yang paling berpengaruh dan luas dalam menguatkan konsensus ilmiah tentang perubahan iklim. Laporan ini menyimpulkan bahwa tingkat pemanasan global adalah akibat aktivitas manusia dengan tingkat keyakinan yang tinggi. Laporan ini juga menyajikan proyeksi suhu global dan dampak lebih lanjut dari perubahan iklim.

- e) Laporan Penilaian Ilmiah Kelima (Fifth Assessment Report, AR5) - 2013-2014: Laporan ini menyajikan pemahaman terbaru tentang perubahan iklim berdasarkan penelitian dan pengamatan ilmiah terbaru. Laporan ini menegaskan bahwa perubahan iklim lebih lanjut sangat mungkin terjadi jika tindakan tidak diambil untuk mengurangi emisi gas rumah kaca.
- f) Laporan Penilaian Ilmiah Keenam (Sixth Assessment Report, AR6) - 2021: AR6 saat ini sedang disusun dalam beberapa fase dan telah dirilis pada tahun 2021. Laporan ini menyajikan pemahaman terbaru tentang perubahan iklim dan menggabungkan banyak penelitian ilmiah terbaru tentang pemanasan global, tingkat laju emisi gas rumah kaca, dan dampaknya pada lingkungan dan masyarakat.

Laporan-laporan ini membantu membangun konsensus ilmiah tentang perubahan iklim dan memberikan informasi penting bagi para pengambil kebijakan, masyarakat, dan ilmuwan untuk mengatasi tantangan perubahan iklim secara global.

9. Perjanjian Paris (2015)

Pada tahun 2015, Konferensi Perubahan Iklim PBB di Paris menghasilkan Perjanjian Paris, di mana negara-negara berkomitmen untuk mengurangi emisi gas rumah kaca guna membatasi kenaikan suhu rata-rata global di bawah 2 derajat Celsius di atas level pra-industri.

Perjanjian Paris adalah perjanjian internasional tentang perubahan iklim yang ditandatangani pada Konferensi Perubahan Iklim PBB (COP21) di Paris, Prancis, pada tanggal 12 Desember 2015. Perjanjian ini bertujuan untuk mengatasi perubahan iklim dengan mengurangi emisi gas rumah kaca untuk membatasi kenaikan suhu global di bawah 2 derajat Celsius di atas tingkat pra-industri, dengan

upaya maksimal untuk mencapai kenaikan suhu sebesar 1,5 derajat Celsius. Berikut adalah beberapa dampak utama dari Perjanjian Paris:

- a) **Komitmen Global:** Perjanjian Paris menjadi tonggak sejarah karena hampir seluruh negara di dunia, termasuk negara-negara besar seperti AS, Cina, dan Uni Eropa, berkomitmen untuk berpartisipasi dalam upaya global untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Sebagai bagian dari perjanjian, setiap negara mengajukan kontribusi nasional yang ditargetkan untuk mengurangi emisinya, yang dikenal sebagai Rencana Nasional Penyesuaian (Nationally Determined Contributions, NDCs).
- b) **Pengurangan Emisi:** Perjanjian Paris mendorong negara-negara untuk mengadopsi strategi pengurangan emisi gas rumah kaca, termasuk beralih ke sumber energi terbarukan, meningkatkan efisiensi energi, menghentikan deforestasi, dan menerapkan teknologi bersih. Dampaknya adalah meningkatnya jumlah investasi di bidang energi terbarukan dan penurunan ketergantungan pada bahan bakar fosil.
- c) **Peningkatan Kesadaran Global:** Perjanjian Paris mengangkat kesadaran global tentang pentingnya mengatasi perubahan iklim. Pemerintah, masyarakat, perusahaan, dan organisasi di seluruh dunia semakin menyadari urgensi dan dampak perubahan iklim, dan semakin banyak pihak yang berpartisipasi dalam upaya mengurangi emisi dan menanggapi dampak perubahan iklim.
- d) **Adaptasi Terhadap Dampak Perubahan Iklim:** Selain upaya mengurangi emisi, Perjanjian Paris juga menekankan pentingnya adaptasi terhadap dampak perubahan iklim yang sudah tidak dapat dihindari. Ini termasuk strategi untuk menghadapi ancaman seperti banjir, kekeringan, dan kenaikan permukaan laut yang diakibatkan oleh pemanasan global.

- e) Kemitraan Global: Perjanjian Paris mendorong kerja sama dan kemitraan global dalam mengatasi perubahan iklim. Banyak negara, perusahaan, dan organisasi bergabung dalam inisiatif bersama untuk mencapai tujuan perjanjian dan berbagi pengetahuan, teknologi, dan sumber daya dalam rangka mencapai target pengurangan emisi.

Meskipun Perjanjian Paris telah menghasilkan banyak dampak positif, masih ada tantangan dalam implementasinya. Beberapa negara mungkin menghadapi kesulitan dalam mencapai target emisi mereka, dan beberapa kebijakan dan peraturan yang diperlukan untuk mencapai tujuan perjanjian mungkin menghadapi resistensi dalam beberapa sektor. Namun, perjanjian ini tetap menjadi tonggak penting dalam upaya global untuk mengatasi perubahan iklim dan mewariskan planet yang berkelanjutan bagi generasi mendatang.

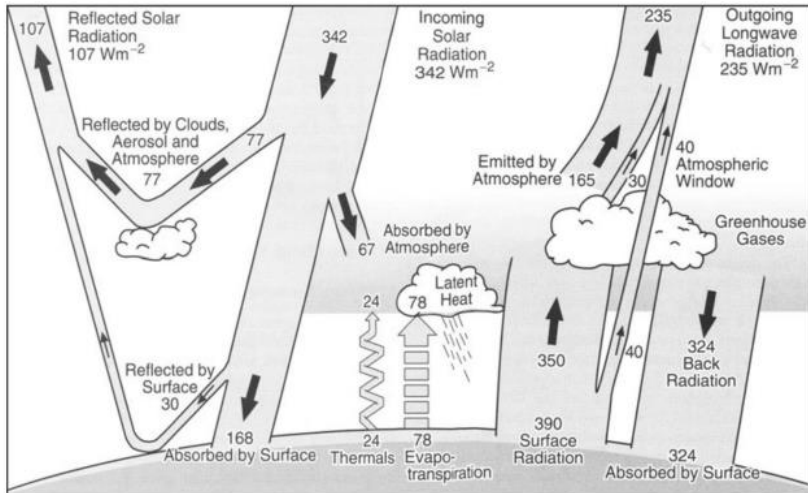
Pemanasan global adalah masalah serius yang mempengaruhi planet kita secara luas dan telah menyebabkan perubahan iklim, seperti peningkatan suhu permukaan bumi, naiknya permukaan laut, pencairan es di kutub, dan gangguan ekosistem alami. Penanggulangan pemanasan global memerlukan upaya bersama dari seluruh komunitas internasional.

1.1 Rumah Kaca Alami Bumi

Suhu Bumi dikendalikan oleh keseimbangan antara masukan dari energi matahari dan hilangnya energi ini kembali ke luar angkasa. Gas atmosfer tertentu sangat penting untuk keseimbangan suhu ini dan dikenal sebagai gas rumah kaca. Energi yang diterima dari matahari berupa radiasi gelombang pendek, yaitu dalam spektrum tampak dan radiasi ultraviolet. Rata-rata, sekitar sepertiga dari radiasi matahari yang mengenai Bumi ini dipantulkan kembali ke luar angkasa.

Dari sisanya, sebagian diserap oleh atmosfer, tetapi sebagian besar diserap oleh daratan dan lautan. Permukaan bumi menjadi hangat dan akibatnya memancarkan radiasi 'inframerah' gelombang panjang. Gas rumah kaca menjebak dan memancarkan kembali sebagian dari radiasi gelombang panjang ini, dan menghangatkan atmosfer. Gas rumah kaca yang terjadi secara alami termasuk uap air, karbon dioksida, ozon, metana, dan dinitrogen oksida, dan bersama-sama mereka menciptakan efek rumah kaca atau selimut alami, yang menghangatkan Bumi hingga 35°C. Meskipun gas rumah kaca sering digambarkan dalam diagram sebagai satu lapisan, ini hanya untuk menunjukkan 'efek selimut' mereka, karena mereka sebenarnya tercampur di seluruh atmosfer (lihat Gambar 1).

Cara lain untuk memahami 'rumah kaca' alami Bumi adalah dengan membandingkannya dengan dua tetangga terdekatnya. Iklim sebuah planet ditentukan oleh beberapa faktor: massanya, jaraknya dari matahari, dan tentu saja komposisi atmosfernya dan khususnya jumlah gas rumah kaca. Misalnya, planet Mars sangat kecil, dan karena itu gravitasinya terlalu kecil untuk mempertahankan atmosfer yang padat; atmosfernya sekitar seratus kali lebih tipis dari Bumi dan sebagian besar terdiri dari karbon dioksida. Suhu permukaan rata-rata Mars adalah sekitar 50 °C, jadi sedikit karbon dioksida yang ada membeku di tanah. Sebagai perbandingan, Venus memiliki massa yang hampir sama dengan Bumi tetapi atmosfernya jauh lebih padat, yang terdiri dari 96% karbon dioksida. Persentase karbon dioksida yang tinggi ini menghasilkan pemanasan global yang intens sehingga Venus memiliki suhu permukaan lebih dari + 460 °C.



Gambar 1. 1. Keseimbangan energi rata-rata global tahunan Bumi

Atmosfer bumi terdiri dari 78% nitrogen, 21% oksigen, dan 1% gas lainnya. Gas-gas lain inilah yang kami minati, karena mereka termasuk yang disebut gas rumah kaca. Dua gas rumah kaca yang paling penting adalah karbon dioksida dan uap air. Salah satu cara di mana kita tahu bahwa karbon dioksida atmosfer penting dalam mengendalikan iklim global adalah melalui studi iklim masa lalu kita. Selama dua setengah juta tahun terakhir iklim bumi telah berputar antara zaman es besar, dengan lapisan es lebih dari 3 km di atas Amerika Utara dan Eropa, ke kondisi yang bahkan lebih ringan daripada sekarang. Perubahan ini sangat cepat jika dibandingkan dengan variasi geologi lainnya, seperti pergerakan jumlah gas rumah kaca. Misalnya, planet Mars sangat kecil, dan karena itu gravitasinya terlalu kecil untuk mempertahankan atmosfer yang padat; atmosfernya sekitar seratus kali lebih tipis dari Bumi dan sebagian besar terdiri dari karbon dioksida. Suhu permukaan rata-rata Mars adalah sekitar 50°C , jadi sedikit karbon dioksida yang ada membeku di tanah.

Sebagai perbandingan, Venus memiliki massa yang hampir sama dengan Bumi tetapi atmosfernya jauh lebih padat, yang terdiri dari 96% karbon dioksida. Persentase karbon dioksida yang tinggi ini menghasilkan pemanasan global yang intens sehingga Venus memiliki suhu permukaan lebih dari + 460 °C. Saat ini, karbon dioksida menyumbang hanya 0,03-0,04% dari atmosfer, sementara uap air bervariasi dari 0 hingga 2%. Tanpa efek rumah kaca alami yang dihasilkan oleh kedua gas ini, suhu rata-rata bumi kira-kira 20°C. Perbandingan dengan iklim di Mars dan Venus sangat mencolok karena perbedaan ketebalan atmosfer dan jumlah relatif gas rumah kaca. Namun, karena jumlah karbon dioksida dan uap air dapat bervariasi di Bumi, kita tahu bahwa efek rumah kaca alami ini telah menghasilkan sistem iklim yang secara alami tidak stabil dan agak tidak dapat diprediksi dibandingkan dengan Mars dan Venus.

Efek rumah kaca (Green House Effect), diartikan sebagai naiknya suhu bumi. Naiknya suhu bumi disebabkan oleh terperangkapnya sinar matahari gelombang panjang (infra merah) oleh gas - gas rumah kaca. (GRK) yang berada di lapisan troposfer yang merupakan lapisan atmosfer yang berada dipermukaan bumi sampai radius 10 Km ke angkasa. Naiknya suhu ini dapat menyebabkan terjadinya pemanasan global. Secara total, 29 % energi matahari akan dipantulkan oleh atmosfer 20 % di serap oleh gas - gas atmosfer, dan hanya 51 % yang sampai dipermukaan bumi. GRK yang dapat menyebabkan efek rumah kaca adalah CO₂, CH₄, CFC, O₃ dan N₂O. Seberapa besar kontribusi dari masing - masing GRK tergantung kepada lama waktu tinggal GRK atmosfer dan besarnya nilai GWP.

CO₂ menjadi fenomena belakangan ini karena kontribusinya yang sangat besar terhadap efek rumah kaca yaitu 50 % di antara GRK yang lain. Selain itu CO₂ dihasilkan dari kegiatan manusia yang akan menambah emisi CO₂ yaitu. Penggunaan Bahan Bakar Minyak (BBM) yang tidak efisien dan peniadaan atau pengurangan vegetasi termasuk pembabatan hutan. Efek rumah kaca dapat berdampak kepada rusaknya

ekosistem yang akhirnya akan memutus rantai makanan dan berpengaruh kepada seluruh kehidupan di muka bumi. Penghematan penggunaan BBM dan pengelolaan sumber daya hutan merupakan salah satu tindakan preventif terhadap peningkatan emisi gas CO₂ di lapisan troposfer. Semakin banyak luasan vegetasi dan luasan hutan maka akan semakin banyak jumlah CO₂ yang bisa diambil oleh permukaan daun untuk proses fotosintesa dan salah satu produk akhirnya adalah O₂ yang dimanfaatkan oleh makhluk hidup pada saat respirasi. (Pratama,2019)

A. Iklim dan dinamikanya

Iklim merujuk pada kondisi cuaca rata-rata di suatu wilayah atau planet pada periode yang cukup lama, biasanya dalam rentang beberapa dekade hingga ribuan tahun. Dinamika iklim mengacu pada perubahan, pola, dan faktor-faktor yang mempengaruhi iklim bumi. Dinamika Iklim melibatkan berbagai proses dan faktor yang saling terkait. Beberapa aspek utama dalam dinamika iklim adalah:

1. **Sistem Atmosfer:** Atmosfer bumi memainkan peran sentral dalam dinamika iklim. Perubahan dalam sirkulasi atmosfer, seperti angin, pola tekanan atmosfer, dan massa udara, mempengaruhi distribusi panas dan kelembaban di seluruh planet.
2. **Sirkulasi Atmosfer dan Laut:** Sirkulasi atmosferik dan laut memainkan peran penting dalam mendistribusikan panas di seluruh bumi. Sirkulasi besar seperti Aliran Jet, angin Monsun, dan Arus Laut seperti Arus Panas Teluk dan Arus Selat mengatur transfer panas dan kelembaban di seluruh bumi.
3. **Efek Rumah Kaca:** Gas-gas rumah kaca seperti CO₂, CH₄, dan N₂O menangkap sebagian radiasi panas yang dipancarkan oleh bumi dan mencegahnya lepas ke luar angkasa. Peningkatan konsentrasi gas-gas ini

- menyebabkan pemanasan global karena atmosfer menyerap lebih banyak panas.
4. Siklus Karbon: Siklus karbon melibatkan pertukaran karbon antara atmosfer, laut, dan biosfer bumi. Aktivitas manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil dan deforestasi, telah menyebabkan peningkatan kadar CO₂ di atmosfer, mengganggu keseimbangan siklus karbon alami.
 5. Interaksi Laut-Atmosfer: Perairan laut memiliki kapasitas termal yang besar, menyimpan panas lebih lama daripada daratan. Hubungan antara laut dan atmosfer mempengaruhi pembentukan pola iklim regional, seperti fenomena El Niño dan La Niña yang berhubungan dengan suhu permukaan laut di Pasifik Tengah.
 6. Topografi dan Bentang Alam: Topografi bumi, seperti pegunungan, dataran tinggi, dan lembah, dapat mempengaruhi pola angin, pembentukan awan, dan distribusi curah hujan, sehingga membentuk iklim regional yang khas.
 7. Perubahan Bumi dalam Skala Waktu Panjang: Perubahan iklim dalam skala waktu yang lebih lama, seperti perubahan orbit bumi, perubahan sumbu rotasi bumi (precessions), dan variasi aktivitas matahari, juga mempengaruhi iklim bumi dalam jangka waktu yang lebih luas.

Dinamika iklim adalah bidang penelitian yang kompleks dan penting untuk memahami bagaimana iklim bumi berubah dan berevolusi seiring waktu. Pengetahuan tentang dinamika iklim sangat penting dalam upaya memahami perubahan iklim yang sedang terjadi dan merumuskan kebijakan mitigasi dan adaptasi yang tepat untuk menghadapi tantangan perubahan iklim di masa depan.

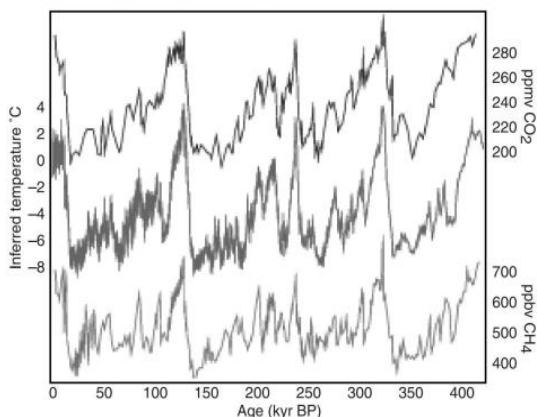
1.2 Iklim masa lalu dan peran karbon dioksida

Atmosfer bumi terdiri dari 78% nitrogen, 21% oksigen, dan 1% gas lainnya. Gas-gas lain inilah yang kami minati, karena mereka termasuk yang disebut gas rumah kaca. Dua gas rumah kaca yang paling penting adalah karbon dioksida dan uap air. Salah satu cara di mana kita tahu bahwa karbon dioksida atmosfer penting dalam mengendalikan iklim global adalah melalui studi iklim masa lalu kita. Selama dua setengah juta tahun terakhir iklim bumi telah berputar antara zaman es besar, dengan lapisan es lebih dari 3 km di atas Amerika Utara dan Eropa, ke kondisi yang bahkan lebih ringan daripada sekarang. Perubahan ini sangat cepat jika dibandingkan dengan variasi geologi lainnya, seperti pergerakan benua di seluruh dunia, di mana kita melihat periode waktu jutaan tahun. Tapi bagaimana kita tahu tentang zaman es besar ini dan peran karbon dioksida?

Bukti terutama berasal dari inti es yang dibor di Antartika dan Greenland. Seperti salju jatuh, ringan dan halus dan mengandung banyak udara. Ketika ini perlahan-lahan dipadatkan untuk membentuk es, sebagian dari udara ini terperangkap. Dengan mengekstraksi gelembung udara yang terperangkap di es purba ini, para ilmuwan dapat mengukur persentase gas rumah kaca yang ada di atmosfer masa lalu. Para ilmuwan telah mengebor lebih dari dua mil ke lapisan es Greenland dan Antartika, yang memungkinkan mereka merekonstruksi jumlah gas rumah kaca yang terjadi di atmosfer selama setengah juta tahun terakhir.

Dengan memeriksa isotop oksigen dan hidrogen di inti es, dimungkinkan untuk memperkirakan suhu di mana es terbentuk. Hasilnya mengejutkan, karena gas rumah kaca seperti karbon dioksida (CO_2) dan metana (CH_4) di atmosfer berbeda-beda dengan suhu selama 400.000 tahun terakhir (lihat Gambar 1.2). Hal ini sangat mendukung gagasan bahwa kandungan karbon dioksida di atmosfer dan suhu global terkait erat, yaitu ketika CO_2 dan CH_4 meningkat, ternyata suhunya meningkat dan sebaliknya.

Ini adalah perhatian terbesar kita untuk iklim masa depan: jika tingkat gas rumah kaca terus meningkat, begitu juga suhu atmosfer kita. Studi tentang iklim masa lalu, seperti yang akan kita lihat di seluruh buku ini, memberikan banyak petunjuk tentang apa yang bisa terjadi di masa depan. Salah satu hasil yang paling mengkhawatirkan dari studi inti es, dan danau dan sedimen laut dalam, adalah bahwa iklim masa lalu telah bervariasi secara regional setidaknya 5 ° C dalam beberapa dekade, menunjukkan bahwa iklim mengikuti jalur non-linear. Oleh karena itu, kita harus mengharapkan kejutan yang tiba-tiba dan dramatis ketika tingkat gas rumah kaca mencapai titik pemicu yang belum diketahui di masa depan.



Gambar 1. 2. Gas rumah kaca dan suhu selama empat siklus glasial terakhir yang tercatat di inti es Vostok

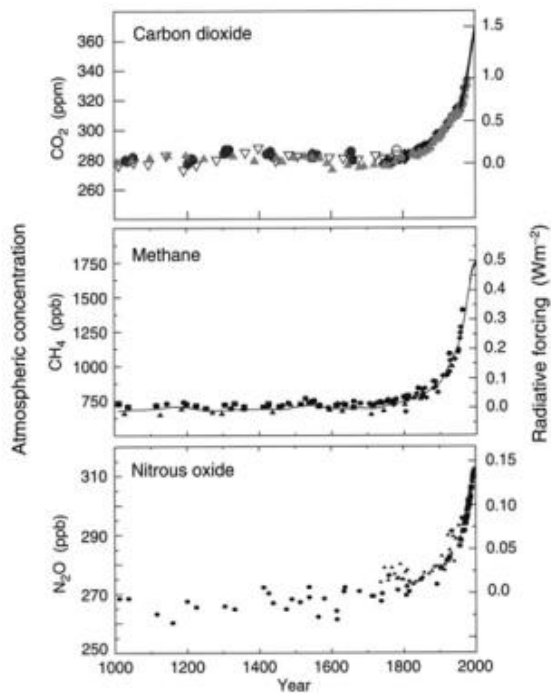
Karbondioksida (CO₂) dianggap sebagai gas rumah kaca (GRK) utama karena memiliki laju pertumbuhan emisi yang tinggi, waktu tinggal di atmosfer yang lama, dan tingginya emisi yang berasal dari sektor industri. Berdasarkan hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan pada beberapa jenis hutan tanaman, hutan berperan menyerap CO₂ dalam jumlah yang besar. Potensi CO₂ yang mampu diserap oleh hutan tanaman dari jenis *Eucalyptus grandis*, *Acacia mangium*, meranti, dan jati berturut-turut adalah 31,948 ton/CO₂/ha; 30,100 ton/CO₂/ha;

18,640 ton/ CO_2 /ha; dan 5,800 ton/ CO_2 /ha. Dengan peran tersebut, adanya kondisi hutan yang terjaga akan mampu menjaga konsentrasi CO_2 di atmosfer tetap stabil. Hal ini berarti pula beberapa bencana alam yang sering dihubungkan dengan fenomena gas rumah kaca dan perubahan iklim global akan dapat dicegah. (Junaedi,2008)

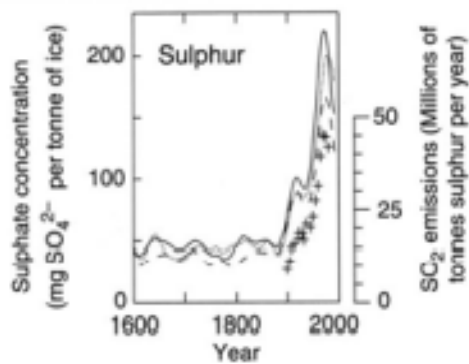
1.3 Kenaikan karbon dioksida atmosfer selama periode industri

Salah satu dari sedikit area perdebatan pemanasan global yang tampaknya diterima secara universal adalah bahwa ada bukti yang jelas bahwa tingkat karbon dioksida di atmosfer telah meningkat sejak awal revolusi industri. Pengukuran pertama konsentrasi CO_2 di atmosfer dimulai pada tahun 1958 di ketinggian sekitar 4.000 meter di puncak gunung Mauna Loa di Hawaii. Pengukuran dilakukan di sini agar jauh dari sumber polusi lokal. Apa yang mereka tunjukkan dengan jelas adalah bahwa konsentrasi CO_2 di atmosfer telah meningkat setiap tahun sejak tahun 1958. Konsentrasi rata-rata sekitar 316 bagian per juta volume (ppmv) pada tahun 1958 naik menjadi sekitar 369 ppmv pada tahun 1998 (lihat Gambar 1.3).

Variasi tahunan di observatorium Mauna Loa sebagian besar disebabkan oleh penyerapan CO_2 oleh tanaman yang sedang tumbuh. Serapan tertinggi di belahan bumi utara musim semi; maka setiap musim semi ada penurunan karbon dioksida atmosfer yang sayangnya tidak melakukan apa pun terhadap tren keseluruhan menuju nilai yang lebih tinggi. Data karbon dioksida dari observatorium Mauna Loa ini dapat digabungkan dengan pekerjaan detail pada inti es untuk menghasilkan



Gambar 1. 3. Konsentrasi global dari tiga gas rumah kaca yang tercampur dengan baik



Gambar 1. 4. Indikator pengaruh manusia terhadap komposisi atmosfer pada masa industri

Catatan karbon dioksida atmosfer sejak awal revolusi industri. Hal ini menunjukkan bahwa CO₂ di atmosfer telah meningkat dari konsentrasi pra-industri sekitar 280 ppmv menjadi lebih dari 370 ppmv saat ini, yang merupakan peningkatan 160 miliar ton, mewakili peningkatan keseluruhan 30%. Untuk menempatkan peningkatan ini ke dalam konteks, kita dapat melihat perubahan antara zaman es terakhir, ketika suhu jauh lebih rendah, dan periode pra-industri. Menurut bukti dari inti es, tingkat CO₂ atmosfer selama zaman es adalah sekitar 200 ppmv dibandingkan dengan tingkat pra-industri sebesar 280 ppmv – peningkatan lebih dari 160 miliar ton – polusi CO₂ yang hampir sama yang telah kita masukkan ke atmosfer selama ini. 100 tahun terakhir. Peningkatan karbon dioksida ini disertai dengan pemanasan global 6°C saat dunia membebaskan diri dari cengkeraman zaman es terakhir.

Meskipun penyebab utama dari akhir zaman es terakhir adalah perubahan orbit bumi mengelilingi matahari, para ilmuwan yang mempelajari iklim masa lalu telah menyadari peran sentral karbon dioksida atmosfer sebagai umpan balik iklim yang menerjemahkan variasi eksternal ini ke dalam pembentukan dan penyusutan es. usia. Ini menunjukkan bahwa tingkat polusi yang telah kita timbulkan dalam satu abad sebanding dengan variasi alam yang memakan waktu ribuan tahun.

Indonesia memiliki hutan gambut tropis terbesar di dunia. Hutan menggunakan CO₂ untuk fotosintesis. Hutan berperan penting dalam menyerap karbon dalam suatu daerah. Tingginya pemekaran pembangunan juga memicu terjadinya pembukaan lahan di hutan tropis. Salah satu metode yang paling sering digunakan dalam pembukaan lahan adalah dengan cara pembakaran. Emisi karbon di hutan harus dihindarkan salah satunya menggunakan biochar. Biochar merupakan material kaya karbon yang dihasilkan dari proses pirolisis sederhana pada suhu rendah (100-300 ° C).

Material biochar merupakan ikatan rantai karbon yang dibuat dari biomasa. Pemanfaatan biochar telah banyak dilaporkan dalam penetralisir air tercemar dan sebagai penyerap karbon. Berbagai hasil riset yang dilakukan telah menguatkan fakta bahwa biochar merupakan material yang paling stabil dalam mencegah pelepasan karbon ke atmosfer. Biochar juga dilaporkan mampu meningkatkan kualitas tanah, meningkatkan hasil panen pada industri pertanian dan mampu menjaga kestabilan tanah dengan memperbaiki nilai Dissolve Organic Carbon (DOC) tanah. Pemanfaatan biochar juga akan meningkatkan perekonomian masyarakat di sekitar area industri apabila pemerintah mendorong dan melakukan pelatihan agar masyarakat di wilayah industri dapat memproduksi biochar dan menjualkan kepada perusahaan. (Sudibya dkk, 2022)

Dinamika rumah kaca mencakup berbagai proses yang mempengaruhi peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer dan dampaknya pada pemanasan global. Berikut adalah gambaran tentang dinamika rumah kaca yang terjadi:

1. Emisi Gas Rumah Kaca: Aktivitas manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil (batu bara, minyak bumi, dan gas alam) untuk industri, transportasi, dan kebutuhan energi, serta deforestasi (penggundulan hutan), menyebabkan emisi gas rumah kaca seperti karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dan nitrous oksida (N_2O). Emisi ini masuk ke atmosfer dan meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca secara keseluruhan.
2. Efek Penangkapan Panas: Gas-gas rumah kaca bekerja seperti atap kaca di rumah kaca, membiarkan cahaya matahari masuk ke atmosfer bumi tetapi memerangkap sebagian besar panas yang dipancarkan oleh bumi. Ini menyebabkan pemanasan planet secara keseluruhan.
3. Peningkatan Konsentrasi Gas Rumah Kaca: Konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer meningkat seiring waktu karena emisi manusia yang terus menerus. Peningkatan

- konsentrasi ini menyebabkan intensifikasi efek rumah kaca dan berkontribusi pada pemanasan global.
4. Perubahan Iklim: Dinamika rumah kaca menyebabkan perubahan iklim yang signifikan. Peningkatan suhu rata-rata global mengakibatkan berbagai efek seperti pencairan es di kutub, naiknya permukaan laut, perubahan pola cuaca, dan ekstrem suhu yang lebih tinggi.
 5. Umpan Balik Positif: Beberapa proses dinamika rumah kaca menghasilkan umpan balik positif, yang berarti mereka memperkuat efek pemanasan. Sebagai contoh, pemanasan global menyebabkan pencairan es di daerah kutub, yang mengurangi albedo (kemampuan permukaan bumi untuk memantulkan sinar matahari) dan menyebabkan lebih banyak sinar matahari diserap oleh lautan, yang pada gilirannya menyebabkan pemanasan lebih lanjut.
 6. Dampak pada Lingkungan dan Manusia: Dinamika rumah kaca dan pemanasan global berdampak pada lingkungan dan kehidupan manusia. Perubahan iklim menyebabkan bencana alam yang lebih sering dan parah, seperti banjir, kekeringan, badai, dan kejadian cuaca ekstrem lainnya. Hal ini juga dapat mempengaruhi ekosistem, pertanian, ketersediaan air, dan kesehatan manusia.
 7. Upaya Mitigasi: Dinamika rumah kaca menjadi perhatian dunia untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengurangi pemanasan global. Upaya mitigasi meliputi penggunaan energi terbarukan, efisiensi energi, penghijauan, konservasi hutan, dan peraturan pemerintah untuk mengurangi emisi gas rumah kaca.

Memahami dinamika rumah kaca adalah kunci untuk mengatasi tantangan perubahan iklim dan melindungi lingkungan bumi bagi generasi mendatang. Upaya kolaboratif dari seluruh masyarakat internasional diperlukan untuk

menghadapi masalah ini dengan serius dan mencari solusi berkelanjutan untuk masa depan planet kita.

1.4 Efek rumah kaca yang ditingkatkan

Perdebatan seputar hipotesis pemanasan global adalah apakah tambahan gas rumah kaca yang ditambahkan ke atmosfer akan meningkatkan efek rumah kaca alami. Skeptis pemanasan global berpendapat bahwa meskipun tingkat karbon dioksida di atmosfer adalah meningkat, ini tidak akan menyebabkan pemanasan global, karena efeknya terlalu kecil atau ada umpan balik alami lainnya yang akan melawan pemanasan besar. Bahkan jika seseorang mengambil pandangan mayoritas ilmuwan dan menerima bahwa pembakaran bahan bakar fosil akan menyebabkan pemanasan, ada perdebatan berbeda tentang berapa banyak suhu yang akan terjadi meningkat.

Pesatnya kemajuan dan teknologi mendorong meningkatnya pertumbuhan industri dan sarana transportasi. Peningkatan jumlah industri dan sarana transportasi di dunia sudah barang tentu juga diikuti dengan peningkatan penggunaan bahan bakar terutama bahan bakar minyak (BBM). Peningkatan penggunaan BBM terutama BBM dari barang fosil tentu juga akan meningkatkan gas karbon dioksida (CO₂) sebagai gas hasil pembakaran dari BBM fosil. Seperti diketahui gas CO₂ adalah salah satu komponen gas rumah kaca, diperkirakan setiap tahun dilepas sekitar 18,35 miliar ton CO₂. Ketika atmosfer semakin kaya akan gas-gas rumah kaca ini, maka semakin menjadi isolator yang menahan lebih banyak panas dari matahari yang dipancarkan ke bumi, sehingga menyebabkan pemanasan global (global warming).

Penyebab utama pemanasan global ini adalah Pembakaran bahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas alam dan batubara yang melepaskan gas CO₂ dan gas-gas lainnya yang dikenal sebagai gas rumah kaca ke atmosfer. Pemanasan global sudah menjadi isu internasional dan menjadi permasalahan dunia

karena dampaknya dapat membahayakan makhluk kehidupan di dunia diantaranya adalah suhu bumi meningkat, terjadi perubahan iklim, peningkatan permukaan laut, gangguan ekologis dan dampak sosial politik. Protokol Kyoto adalah konvensi yang dilakukan oleh negara-negara di dunia yang peduli lingkungan, berkomitmen untuk mengurangi emisi gas CO₂ dan lima gas rumah kaca lainnya. Jika Protokol Kyoto diberlakukan, diprediksi akan mengurangi rata-rata pemanasan global antara 0,02°C - 0, 28°C pada tahun 2050.

Indonesia sebagai negara yang masih mempunyai hutan yang cukup luas punya peluang untuk mensukseskan Protokol Kyoto tersebut. Beberapa hal yang mungkin bisa dilakukan di Indonesia adalah mengurangi emisi karbon dengan mengganti dari energi fosil dengan sumber energi lainnya seperti biofuel yang lebih ramah lingkungan, memperbanyak tanaman untuk menyerap gas rumah kaca yang berlebih, menjaga, mengelola dan menyimpan hutan, karena hutan sangat berpotensi menyerap gas rumah kaca, menjaga keseimbangan antara tingkat polusi dan RTH (Ruang Terbuka Hijau) di setiap wilayah, mendorong penelitian dan pengembangan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan. (Sulistiyono, 2012)

Dinamika struktur gas di atmosfera mengacu pada perubahan, distribusi, dan perilaku gas-gas yang ada di atmosfer bumi. Atmosfer bumi adalah lapisan tipis gas yang mengelilingi planet kita, dan gas-gas ini terlibat dalam proses-proses penting seperti penyerapan dan pemantulan radiasi matahari, pembentukan awan, dan pengaturan iklim. Berikut adalah beberapa aspek dinamika struktur gas di atmosfera:

1. Komposisi Atmosfer: Atmosfer bumi terdiri dari campuran gas-gas, dengan komposisi utama meliputi nitrogen (sekitar 78%), oksigen (sekitar 21%), dan argon (sekitar 0,93%). Selain itu, ada konsentrasi yang lebih kecil dari gas-gas lain, termasuk karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), ozon (O₃), dan uap air (H₂O).

2. **Distribusi Vertikal:** Dalam atmosfer, konsentrasi gas-gas dapat berbeda dalam lapisan vertikal. Misalnya, gas-gas berat seperti karbon dioksida cenderung lebih padat di lapisan bawah atmosfer, sementara oksigen dan nitrogen cenderung menyebar secara lebih merata di seluruh tinggi atmosfer. Ozon, yang berfungsi sebagai lapisan pelindung dari radiasi ultraviolet matahari yang berbahaya, berada pada lapisan stratosfer.
3. **Peran Gas Rumah Kaca:** Gas-gas rumah kaca seperti karbon dioksida, metana, dan nitrous oksida, serta uap air, memiliki peran penting dalam memengaruhi dinamika atmosfer. Mereka menyerap radiasi inframerah yang dipancarkan oleh permukaan bumi dan kemudian memancarkannya kembali ke permukaan, menyebabkan pemanasan global dan efek rumah kaca.
4. **Proses Fisika dan Kimia:** Interaksi fisika dan kimia antara gas-gas di atmosfer bumi terjadi melalui proses-proses seperti difusi, dispersi, reaksi kimia, fotodisosiasi (pemisahan oleh radiasi matahari), dan kondensasi (pembentukan awan). Proses-proses ini mempengaruhi komposisi dan distribusi gas-gas di atmosfer.
5. **Sumber dan Penyimpanan Gas:** Atmosfer bumi adalah tempat penting untuk penyimpanan gas-gas tertentu. Misalnya, karbon dioksida disimpan dalam berbagai reservoir seperti lautan dan hutan, tetapi manusia telah mengeluarkan cadangan ini melalui aktivitas industri dan pembakaran bahan bakar fosil.
6. **Pengaruh Manusia:** Aktivitas manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, dan pertanian intensif, berkontribusi pada peningkatan emisi gas rumah kaca, yang mempengaruhi komposisi dan dinamika atmosfer. Perubahan iklim yang disebabkan oleh aktivitas manusia mempengaruhi struktur gas di atmosfera dan mengarah pada tantangan perubahan iklim global.

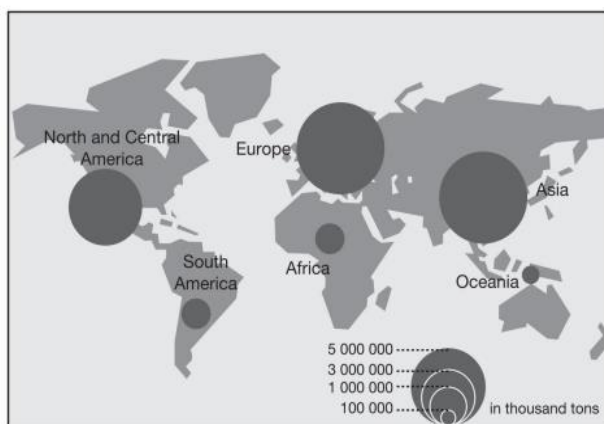
Dinamika struktur gas di atmosfer merupakan bidang penelitian yang kompleks dan penting dalam memahami peran atmosfer dalam mengatur iklim bumi. Studi tentang interaksi dan perubahan gas-gas di atmosfer membantu dalam mengembangkan kebijakan mitigasi dan adaptasi untuk menghadapi perubahan iklim serta memastikan kualitas udara dan lingkungan yang lebih baik.

1.5 Siapa Yang Menghasilkan Polusi?

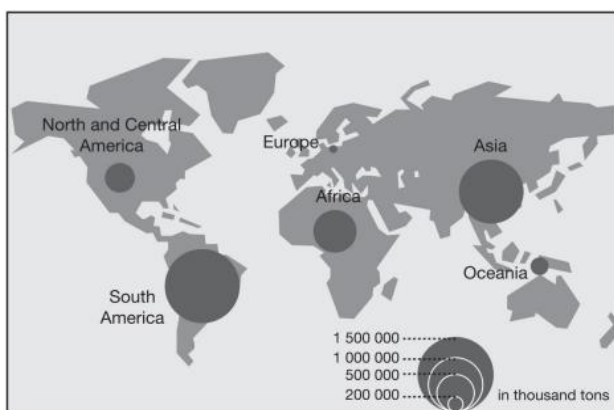
Konvensi Kerangka Kerja PBB tentang Perubahan Iklim dibuat untuk menghasilkan kesepakatan internasional pertama tentang pengurangan emisi gas rumah kaca global. Namun, tugas ini tidak sesederhana seperti yang terlihat pertama kali, karena emisi karbon dioksida tidak dihasilkan secara merata oleh negara-negara. Sumber utama karbon dioksida pertama adalah pembakaran bahan bakar fosil, karena sebagian besar emisi karbon dioksida berasal dari produksi energi, proses industri, dan transportasi. Ini tidak merata di seluruh dunia karena distribusi industri yang tidak merata; oleh karena itu, kesepakatan apa pun akan mempengaruhi ekonomi negaranegara tertentu lebih dari yang lain. Akibatnya, pada saat ini, negara-negara industri harus memikul tanggung jawab utama untuk mengurangi emisi karbon dioksida menjadi sekitar 22 miliar ton karbon per tahun (lihat Gambar 1.5a). Amerika Utara, Eropa, dan Asia mengeluarkan lebih dari 90% karbon dioksida yang diproduksi industri global. Selain itu, secara historis mereka telah mengeluarkan lebih banyak daripada negara-negara kurang berkembang.

Sumber utama kedua emisi karbon dioksida adalah sebagai akibat dari perubahan penggunaan lahan. Emisi ini terutama berasal dari penebangan hutan untuk tujuan pertanian, urbanisasi, atau jalan. Ketika area hutan hujan yang luas ditebang, lahan tersebut sering berubah menjadi padang rumput yang kurang produktif dengan kapasitas yang jauh lebih kecil

untuk menyimpan CO₂. Di sini pola emisi karbon dioksida berbeda, dengan Amerika Selatan, Asia, dan Afrika bertanggung jawab atas lebih dari 90% emisi perubahan penggunaan lahan saat ini, sekitar 4 miliar ton karbon per tahun (lihat Gambar 4b). Namun, ini harus dilihat dari fakta sejarah bahwa Amerika Utara dan Eropa telah mengubah lanskap mereka sendiri pada awal abad ke-20. Dalam hal jumlah karbon dioksida yang dilepaskan, proses industri masih jauh lebih besar daripada perubahan penggunaan lahan.



Gambar 1. 5. Emisi CO₂ dari proses industri



4b. Emisi CO₂ dari perubahan penggunaan lahan

Gambar 1. 6. Emisi CO2 dari perubahan penggunaan lahan

Jadi siapa orang jahat yang menyebabkan peningkatan karbon dioksida di atmosfer ini? Tentu saja, negara-negara majulah yang secara historis telah mengeluarkan sebagian besar gas rumah kaca antropogenik (buatan manusia), seperti yang telah mereka keluarkan sejak awal revolusi industri pada paruh kedua tahun 1700-an. Selain itu, ekonomi industri yang matang sangat haus energi dan membakar bahan bakar fosil dalam jumlah besar. Isu utama dalam perdebatan yang terus berlanjut adalah pembagian tanggung jawab. Negara-negara non-industri berusaha untuk meningkatkan standar hidup penduduk mereka, dengan demikian juga meningkatkan emisi gas rumah kaca, karena pembangunan ekonomi terkait erat dengan produksi energi.

Volume karbon dioksida dengan demikian mungkin akan meningkat, meskipun ada upaya untuk mengurangi emisi di negara-negara industri. Misalnya, Cina memiliki emisi karbon dioksida terbesar kedua di dunia. Namun, emisi per kapita China sepuluh kali lebih rendah daripada emisi AS, yang berada di urutan teratas. Jadi ini berarti bahwa di AS setiap orang bertanggung jawab untuk menghasilkan polusi karbon dioksida sepuluh kali lebih banyak daripada di Cina. Jadi semua rancangan perjanjian internasional mengenai pengurangan emisi sejak KTT Bumi Rio pada tahun 1992 memiliki alasan moral tidak termasuk negara berkembang, karena ini dipandang sebagai rem yang tidak adil pada pembangunan ekonominya. Namun, ini adalah masalah yang signifikan karena, misalnya, Cina dan India sedang melakukan industrialisasi dengan cepat, dan dengan populasi gabungan lebih dari 2,3 miliar orang, mereka akan menghasilkan polusi dalam jumlah besar.

Masalah pencemaran udara pada era teknologi pada masa ini telah sampai pada tingkat yang mengkhawatirkan. Hal ini dengan semakin banyaknya zat-zat polutan yang dihasilkan dari kegiatan sehari-hari. Banyaknya pabrik-pabrik industri,

pembangkit listrik, dan kendaraan bermotor yang setiap harinya selalu menghasilkan polutan serta kebakaran hutan yang mencemari udara bersih. Hal ini menjadi sumber masalah bagi keberlangsungan makhluk hidup di muka bumi ini.

Udara yang telah tercemar oleh zat-zat polutan bukan saja mempengaruhi kesehatan manusia tetapi seluruh makhluk hidup dan lingkungan juga akan terkena efek dari pencemaran udara tersebut. Pada manusia akan mengakibatkan penyakit berbahaya seperti gangguan pernapasan yang bisa mengakibatkan kematian. Pencemaran udara ada yang dapat dilihat secara langsung, ada juga yang tidak dapat dilihat, ada yang memiliki bau dan ada juga yang tak berbau. Banyak masyarakat awam yang belum paham akan pentingnya menjaga udara bersih dan resiko akan diakibatkan oleh pencemaran udara.

Dalam pengenalan proses terjadinya penyebaran pencemaran udara kepada masyarakat umum bisa dilakukan dengan memberikan contoh secara langsung proses pencemaran udara seperti asap polutan yang keluar dari cerobong asap pabrik. Selain secara langsung proses penyebaran pencemaran udara juga bisa dijelaskan dengan melakukan simulasi atau sebuah pemodelan untuk melihat sebaran polutan. Simulasi atau pemodelan yang dilakukan dapat dilakukan dengan menggunakan model dispersi Gauss untuk memodelkan proses sebaran dari konsentrasi polutan. (Abidin&Ferawati, 2019)

1.6 Apa itu IPCC?

Panel Antarpemerintah tentang Perubahan Iklim (IPCC) didirikan pada tahun 1988 bersama oleh Panel Lingkungan Perserikatan Bangsa-Bangsa dan Organisasi Meteorologi Dunia karena kekhawatiran tentang kemungkinan pemanasan global. Tujuan dari IPCC adalah penilaian lanjutan dari keadaan pengetahuan tentang berbagai aspek perubahan iklim, termasuk dampak ilmiah, lingkungan, dan sosioekonomi dan strategi

tanggapan. IPCC adalah diakui sebagai suara ilmiah dan teknis paling otoritatif tentang perubahan iklim, dan penilaiannya memiliki pengaruh besar pada negosiator Konvensi Kerangka Kerja PBB tentang Perubahan Iklim (UNFCCC) dan Protokol Kyoto-nya.

Pertemuan di Den Haag pada bulan November 2000 dan di Bonn pada bulan Juli 2001 adalah upaya kedua dan ketiga untuk meratifikasi (yaitu membuat hukum) Protokol yang ditetapkan di Kyoto pada tahun 1998. Sayangnya, Presiden Bush menarik AS keluar dari negosiasi pada bulan Maret. 2001. Namun, 186 negara lain membuat sejarah pada Juli 2001 dengan menyetujui perjanjian lingkungan yang paling luas dan komprehensif yang pernah ada di dunia. Namun Protokol Kyoto belum diratifikasi.

IPCC disusun dalam tiga kelompok kerja ditambah gugus tugas untuk menghitung jumlah gas rumah kaca yang dihasilkan oleh masing-masing negara. Masing-masing dari empat badan ini memiliki dua ketua bersama (satu dari negara maju dan satu dari negara berkembang) dan unit dukungan teknis. Kelompok Kerja I mengkaji aspek ilmiah sistem iklim dan perubahan iklim; Kelompok Kerja II membahas kerentanan sistem manusia dan alam terhadap perubahan iklim, konsekuensi negatif dan positif dari perubahan iklim, dan pilihan untuk beradaptasi dengannya; dan Kelompok Kerja III menilai opsi untuk membatasi emisi gas rumah kaca dan sebaliknya mengurangi perubahan iklim, serta masalah ekonomi. Oleh karena itu, IPCC juga memberikan informasi ilmiah, teknis, dan sosial ekonomi kepada pemerintah yang relevan untuk mengevaluasi risiko dan mengembangkan respons terhadap perubahan iklim global. Laporan terakhir dari ketiga kelompok kerja ini diterbitkan pada tahun 2001 dan sekitar 400 ahli dari sekitar 120 negara terlibat langsung dalam penyusunan, revisi, dan finalisasi laporan IPCC dan 2.500 ahli lainnya berpartisipasi dalam proses peninjauan. Penulis IPCC selalu dinominasikan oleh pemerintah dan oleh organisasi internasional termasuk Organisasi Non-Pemerintah.

IPCC juga mengumpulkan penelitian tentang gas rumah kaca utama: dari mana asalnya, dan konsensus saat ini mengenai potensi pemanasannya (lihat di bawah). Potensi pemanasan dihitung dibandingkan dengan karbon dioksida, yang dialokasikan potensi pemanasan satu. Dengan cara ini berbagai gas rumah kaca dapat dibandingkan satu sama lain secara relatif, bukan secara absolut.

Potensi Pemanasan Global dihitung selama periode 20 dan 100 tahun. Ini karena gas rumah kaca yang berbeda memiliki waktu tinggal yang berbeda di atmosfer karena berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk terurai di atmosfer atau diserap di laut atau biosfer terestrial. Sebagian besar gas rumah kaca lainnya lebih efektif dalam menghangatkan atmosfer daripada karbon dioksida tetapi masih dalam konsentrasi yang sangat rendah di atmosfer. Seperti yang Anda lihat dari Tabel 1 ada gas rumah kaca lain yang massanya jauh lebih berbahaya daripada karbon dioksida tetapi ini ada dalam konsentrasi yang sangat rendah di atmosfer, dan oleh karena itu sebagian besar perdebatan tentang pemanasan global masih berpusat pada peran dan kontrol. dari karbon dioksida atmosfer.

Pemanasan global (global warming) menjadi salah satu isu lingkungan utama yang dihadapi dunia saat ini. Pemanasan global berhubungan dengan proses meningkatnya suhu rata-rata permukaan bumi. Peningkatan suhu permukaan bumi ini dihasilkan oleh adanya radiasi sinar matahari menuju ke atmosfer bumi, kemudian sebagian sinar ini berubah menjadi energi panas dalam bentuk sinar infra merah diserap oleh udara dan permukaan bumi. Sebagian sinar infra merah dipantulkan kembali ke atmosfer dan ditangkap oleh gas-gas rumah kaca yang kemudian menyebabkan suhu bumi meningkat. Gas-gas rumah kaca terutama berupa karbon dioksida, metana dan nitrogen oksida. Kontribusi besar yang mengakibatkan akumulasi gas-gas kimia ini di atmosfer adalah aktivitas manusia. Temperatur global rata-rata setiap tahun dan lima tahunan

tampak meningkat, seperti pada diagram berikut (Anonim, 2004).

Perubahan iklim terjadi karena berbagai faktor alami dan manusia yang mempengaruhi keseimbangan energi di bumi. Beberapa faktor utama yang menyebabkan perubahan iklim adalah sebagai berikut:

1. **Aktivitas Manusia:** Aktivitas manusia merupakan penyebab utama perubahan iklim saat ini. Peningkatan emisi gas rumah kaca seperti karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dan nitrous oksida (N_2O) akibat pembakaran bahan bakar fosil (seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam), deforestasi, dan praktik pertanian intensif berkontribusi pada efek rumah kaca dan pemanasan global.
2. **Variabilitas Matahari:** Perubahan aktivitas matahari juga mempengaruhi perubahan iklim bumi. Meskipun kontribusinya tidak sebesar aktivitas manusia, variasi siklus matahari dapat mempengaruhi iklim dengan mengubah jumlah radiasi matahari yang mencapai bumi.
3. **Vulkanisme:** Letusan besar gunung berapi dapat menyebabkan pelepasan gas sulfur dioksida (SO_2) dan partikel-partikel vulkanik ke atmosfer. Partikel-partikel ini dapat menahan sinar matahari dan menyebabkan pendinginan sementara di permukaan bumi dalam beberapa tahun setelah letusan.
4. **Variabilitas Alami Iklim:** Perubahan iklim dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor alami internal seperti ENSO (El Niño-Southern Oscillation) dan AMO (Atlantic Multidecadal Oscillation). Fenomena alami seperti ini dapat menyebabkan variasi suhu dan pola cuaca dalam jangka waktu tertentu.
5. **Perubahan Vegetasi dan Tutupan Tanah:** Deforestasi dan perubahan penggunaan lahan manusia juga mempengaruhi perubahan iklim. Hilangnya hutan tropis,

misalnya, mengurangi kemampuan bumi untuk menyerap karbon dioksida dari atmosfer.

6. Feedback Alami dan Umpan Balik: Proses umpan balik alami juga dapat mempengaruhi perubahan iklim. Sebagai contoh, pemanasan global dapat menyebabkan pencairan es di kutub, yang mengurangi albedo permukaan bumi (kemampuannya untuk memantulkan sinar matahari). Hal ini menyebabkan lebih banyak sinar matahari diserap oleh bumi dan lebih banyak pemanasan.

Dalam beberapa dekade terakhir, perubahan iklim telah menjadi masalah yang semakin serius dan mendesak, terutama karena dampak negatifnya pada lingkungan, ekosistem, dan kehidupan manusia. Upaya kolaboratif dari seluruh komunitas internasional diperlukan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengatasi perubahan iklim, sehingga dapat melindungi planet kita untuk generasi mendatang.

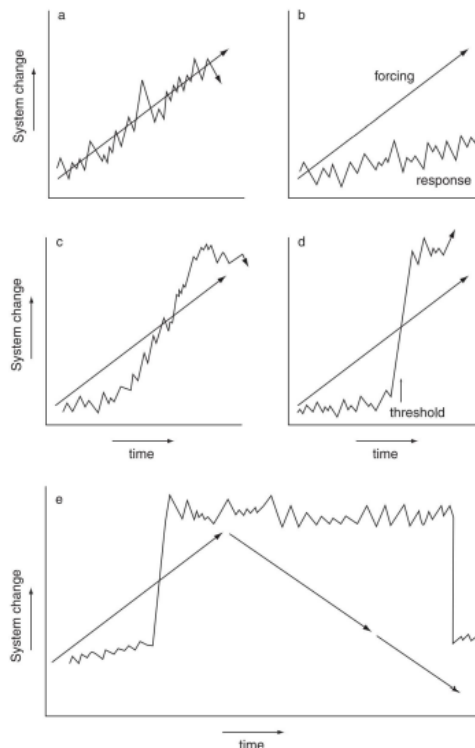
1.7 Perubahan iklim

Banyak ilmuwan percaya bahwa efek rumah kaca yang ditingkatkan oleh manusia atau antropogenik akan menyebabkan perubahan iklim dalam waktu dekat. Bahkan beberapa skeptis pemanasan global berpendapat bahwa meskipun pemanasan global mungkin merupakan pengaruh kecil, perubahan iklim alami memang terjadi pada skala waktu manusia dan kita harus siap untuk beradaptasi dengannya. Tapi apa itu perubahan iklim dan bagaimana hal itu terjadi?

Perubahan iklim dapat memanifestasikan dirinya dalam beberapa cara, misalnya perubahan suhu regional dan global, perubahan pola curah hujan, ekspansi dan kontraksi lapisan es, dan variasi permukaan laut. Perubahan iklim regional dan global ini merupakan respons terhadap mekanisme pemaksaan eksternal dan/ atau internal. Contoh mekanisme pemaksaan internal adalah variasi kandungan karbon dioksida di atmosfer yang memodulasi efek rumah kaca, sedangkan contoh

mekanisme pemaksaan eksternal yang baik adalah variasi jangka panjang dalam orbit bumi mengelilingi matahari, yang mengubah distribusi regional radiasi matahari ke bumi.

Hal ini diperkirakan menyebabkan waxing dan memudarnya zaman es. Jadi dalam hal mencari bukti pemanasan global dan memprediksi masa depan, kita perlu memperhitungkan semua mekanisme pemaksaan eksternal dan internal yang alami. Misalnya, hingga saat ini pendinginan yang terjadi secara global selama tahun 1970-an tidak dapat dijelaskan sampai variasi 'eksternal' dan siklik setiap 11 tahun dalam keluaran energi matahari, yang disebut siklus bintik matahari, dipertimbangkan.



Gambar 1. 7. Kemungkinan respons sistem iklim terhadap pemaksaan linier

Kita juga dapat mencoba untuk mengabstraksikan cara sistem iklim global merespons agen pemaksa internal atau eksternal dengan memeriksa skenario yang berbeda (lihat Gambar 1.7). Dalam skenario ini saya berasumsi bahwa hanya ada satu mekanisme pemaksaan yang mencoba mengubah iklim global. Yang penting adalah bagaimana sistem iklim global akan bereaksi. Misalnya, apakah hubungan itu seperti seseorang yang mencoba mendorong mobil ke atas bukit yang, anehnya, mendapat respons yang sangat sedikit? Atau lebih seperti orang yang mendorong mobil menuruni bukit, yang begitu mobil mulai bergerak, sangat sulit untuk berhenti. Ada empat kemungkinan hubungan dan ini adalah pertanyaan sentral dalam perdebatan pemanasan global, yang paling dapat diterapkan di masa depan.

Respon linier dan sinkron (Gambar 1.7a). Dalam hal ini pemaksaan menghasilkan respons langsung dalam sistem iklim yang besarnya sebanding dengan pemaksaan. Dalam hal pemanasan global, satu juta ton karbon dioksida tambahan akan menyebabkan peningkatan suhu tertentu yang dapat diprediksi. Ini dapat disamakan dengan mendorong mobil di sepanjang jalan datar: sebagian besar energi yang dimasukkan ke dalam mendorong digunakan untuk menggerakkan mobil ke depan.

Respons yang diredam atau terbatas (Gambar 1.7b). Dalam hal ini pemaksaannya mungkin kuat, tetapi sistem iklim dalam beberapa hal disangga dan karena itu memberikan respons yang sangat sedikit. Banyak skeptis dan politisi pemanasan global berpendapat bahwa sistem iklim sangat tidak sensitif terhadap perubahan karbon dioksida atmosfer sehingga sangat sedikit yang akan terjadi di masa depan.

Respons tertunda atau non-linier (Gambar 1.7c). Dalam hal ini, sistem iklim mungkin memiliki respons yang lambat terhadap pemaksaan berkat buffering dalam beberapa cara. Setelah periode awal, sistem iklim merespons pemaksaan tetapi dengan cara yang tidak linier. Ini adalah kemungkinan nyata dalam hal pemanasan global dan mengapa dikatakan bahwa

hanya sedikit pemanasan yang telah diamati selama 100 tahun terakhir. Skenario ini dapat disamakan dengan mobil di atas bukit: dibutuhkan beberapa usaha dan dengan demikian waktu untuk mendorong mobil ke tepi bukit; ini adalah efek buffering. Setelah mobil mencapai tepi, dibutuhkan sangat sedikit untuk mendorong mobil, dan kemudian melaju menuruni bukit dengan atau tanpa bantuan Anda. Setelah mencapai dasar, mobil kemudian melanjutkan untuk beberapa waktu, yang merupakan overshoot, dan kemudian melambat dengan sendirinya dan mengendap menjadi negara baru.

Respon ambang batas (Gambar 1.7d). Dalam hal ini, pada awalnya, tidak ada atau sangat sedikit respons dalam sistem iklim terhadap pemaksaan; namun, semua respons terjadi dalam waktu yang sangat singkat dalam satu langkah atau ambang besar. Dalam banyak kasus respon mungkin jauh lebih besar dari yang diharapkan dari ukuran memaksa dan ini dapat disebut sebagai respon overshoot. Ini adalah skenario yang paling mengkhawatirkan kami, karena ambang batas sangat sulit untuk dimodelkan dan diprediksi. Namun, ambang batas telah ditemukan sangat umum dalam studi iklim masa lalu, dengan perubahan iklim regional yang cepat lebih dari 5°C terjadi dalam beberapa dekade. Skenario ini sama dengan bus yang tergantung di tebing di akhir film asli *The Italian Job*; selama hanya ada perubahan yang sangat kecil, tidak ada yang terjadi sama sekali. Namun, titik kritis (dalam hal ini berat) tercapai dan bus (dan emas) terjun dari tebing ke jurang di bawah.

Meskipun ini adalah model teoretis murni tentang bagaimana sistem iklim global dapat merespons, mereka penting untuk diingat ketika meninjau kemungkinan skenario untuk perubahan iklim di masa depan. Terlebih lagi, mereka penting ketika kita mempertimbangkan di Bab 3 mengapa orang yang berbeda melihat masa depan pemanasan global yang berbeda terlepas dari semua memiliki akses ke informasi yang sama. Itu tergantung pada skenario mana di atas yang mereka yakini akan terjadi. Komplikasi tambahan ketika menilai

perubahan iklim adalah kemungkinan bahwa ambang batas iklim mengandung bifurkasi. Ini berarti pemaksaan yang diperlukan untuk melewati satu jalan melewati ambang batas berbeda dari sebaliknya (lihat Gambar 5e). Ini menyiratkan bahwa begitu ambang iklim telah terjadi, jauh lebih sulit untuk membalikkannya. Bifurkasi iklim sistem telah disimpulkan dari model laut yang meniru dampak air tawar di Atlantik Utara pada sirkulasi air dalam global.

Perubahan iklim merupakan fenomena iklim global yang dipicu dengan adanya pemanasan global akibat kenaikan konsentrasi gas-gas rumah kaca di atmosfer. Memahami dampak perubahan iklim terhadap berbagai sektor ekonomi di Indonesia, pemerintah Indonesia merespon melalui berbagai kebijakan yang dituangkan dalam Undang-Undang dan Peraturan Pemerintah. Tulisan ini membahas mengenai “posisi” kebijakan terkait adaptasi perubahan iklim di Indonesia. Tantangan dalam pelaksanaan adaptasi perubahan iklim juga dibahas berdasarkan studi pustaka dan interpretasi dari dokumen-dokumen terkait adaptasi perubahan iklim. Pembahasan juga dilakukan terkait ketersediaan dan akses informasi iklim yang sangat diperlukan dalam penilaian dampak perubahan iklim sebagai langkah awal dalam penyusunan langkah-langkah adaptasi. Hasil telaah menunjukkan ketersediaan dan kemudahan akses terhadap data hasil pengamatan iklim (observasi) masih menjadi pekerjaan rumah yang perlu mendapatkan perhatian. Peran aktif masyarakat dalam kegiatan-kegiatan pengamatan dan pengumpulan informasi iklim sangat diperlukan mengingat ketersediaan informasi iklim yang masih terbatas. Kerjasama antara Pemerintah Pusat dan daerah serta partisipasi publik dalam program-program adaptasi juga dianjurkan dan sangat diperlukan. Masyarakat perlu dilibatkan pada saat penyusunan program-program adaptasi. Walaupun demikian, mekanisme kerjasama antara Pemerintah Pusat, daerah dan masyarakat terutama terkait dengan pendanaan pelaksanaan adaptasi

perubahan iklim masih memerlukan kajian lebih lanjut, mengingat adanya pembagian kewenangan antara pusat dan daerah yang sudah diatur oleh undang-undang. Dukungan dunia internasional dalam pelaksanaan program-program adaptasi perubahan iklim juga masih diperlukan mengingat berbagai kegiatan adaptasi perubahan iklim di Indonesia berbasis proyek kerjasama internasional (Perdinan, 2014).

Pemanasan global dan perubahan iklim adalah dua fenomena yang saling terkait secara erat. Pemanasan global mengacu pada peningkatan suhu rata-rata permukaan bumi dalam skala waktu yang relatif pendek, sedangkan perubahan iklim mencakup berbagai perubahan yang terjadi dalam sistem iklim bumi, termasuk perubahan suhu, pola cuaca, dan distribusi curah hujan. Hubungan antara pemanasan global dan perubahan iklim adalah sebagai berikut:

1. Penyebab Pemanasan Global: Pemanasan global terutama disebabkan oleh peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer, seperti karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dan nitrous oksida (N_2O). Aktivitas manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, dan pola pertanian intensif, telah meningkatkan emisi gas-gas ini ke atmosfer, menyebabkan peningkatan efek rumah kaca dan pemanasan global.
2. Dampak Pemanasan Global pada Perubahan Iklim: Peningkatan suhu rata-rata permukaan bumi akibat pemanasan global menyebabkan perubahan iklim yang signifikan. Beberapa dampaknya meliputi:
 - a. Pencairan Es dan Kutub: Suhu yang lebih tinggi menyebabkan pencairan es di kutub, termasuk es laut dan gletser. Hal ini menyebabkan kenaikan permukaan laut dan berdampak pada ekosistem kutub dan wilayah pesisir.
 - b. Perubahan Pola Cuaca: Pemanasan global mempengaruhi pola cuaca di seluruh dunia. Beberapa wilayah mungkin mengalami peningkatan

kejadian cuaca ekstrem seperti badai, banjir, dan kekeringan.

- c. Perubahan Ekosistem: Suhu yang lebih tinggi dan perubahan pola cuaca dapat mempengaruhi ekosistem alami, termasuk migrasi dan kelangsungan hidup berbagai spesies.
 - d. Gangguan pada Pertanian dan Ketersediaan Air: Perubahan iklim dapat mempengaruhi pertanian dan ketersediaan air, mengancam ketahanan pangan di beberapa wilayah.
 - e. Perubahan Pola Curah Hujan: Pemanasan global dapat mempengaruhi distribusi curah hujan, menyebabkan daerah-daerah yang sebelumnya subur menjadi lebih kering atau sebaliknya.
3. Upaya Mitigasi dan Adaptasi: Untuk mengatasi dampak pemanasan global dan perubahan iklim, upaya mitigasi dan adaptasi diperlukan. Mitigasi berarti mengurangi emisi gas rumah kaca dan sumber-sumber pemanasan global lainnya, sementara adaptasi berfokus pada menyesuaikan diri dengan perubahan iklim yang sudah terjadi dan yang akan datang.

Dalam rangka menghadapi perubahan iklim, perlu adanya upaya global dan kolaboratif dari seluruh komunitas internasional, termasuk tindakan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, mengembangkan sumber energi terbarukan, menghijaukan lingkungan, dan mengimplementasikan kebijakan adaptasi yang efektif.

1.8 Hubungan pemanasan global dengan perubahan iklim.

Kita telah melihat bahwa ada bukti yang jelas bahwa konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer telah meningkat sejak revolusi industri pada abad ke-18. Konsensus ilmiah saat ini adalah bahwa perubahan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer memang menyebabkan perubahan suhu global.

Namun, masalah terbesar dengan hipotesis pemanasan global adalah memahami betapa sensitifnya iklim global terhadap peningkatan kadar karbon dioksida di atmosfer. Bahkan jika kita menetapkan ini, memprediksi perubahan iklim itu rumit karena mencakup banyak faktor berbeda, yang merespons secara berbeda ketika atmosfer memanas, termasuk perubahan suhu regional, pencairan gletser dan lapisan es, perubahan permukaan laut relatif, perubahan curah hujan, intensitas badai dan trek, El Niño, dan bahkan sirkulasi laut.

Keterkaitan antara pemanasan global dan perubahan iklim ini semakin diperumit oleh fakta bahwa setiap bagian dari sistem iklim global memiliki waktu respons yang berbeda. Misalnya, atmosfer dapat merespons perubahan eksternal atau internal dalam sehari, tetapi laut dalam mungkin memerlukan waktu puluhan tahun untuk merespons, sementara vegetasi dapat mengubah strukturnya dalam beberapa minggu (misalnya mengubah jumlah daun) tetapi komposisinya (misalnya bertukar jenis tanaman) dapat memakan waktu hingga satu abad untuk berubah. Kemudian, tambahkan kemungkinan kekuatan alami yang mungkin bersifat siklik; misalnya, ada bukti bagus bahwa bintik siklus dapat mempengaruhi iklim pada skala waktu satu dekade dan satu abad.

Ada juga bukti bahwa sejak awal periode interglasial kita saat ini, 10.000 tahun terakhir, telah terjadi pendinginan iklim setiap 1.500 ± 500 tahun, di mana Zaman Es Kecil adalah yang terakhir. Zaman Es Kecil dimulai pada abad ke-17 dan berakhir pada abad ke-18 dan ditandai dengan penurunan suhu Greenland sebesar $0,5-1^{\circ}\text{C}$, pergeseran arus yang signifikan di sekitar Islandia, dan penurunan suhu permukaan laut sebesar 4°C . pantai Afrika Barat, 2°C dari Bermuda Rise, dan tentu saja pameran es di Sungai Thames di London, yang semuanya disebabkan oleh perubahan iklim alami. Jadi kita perlu mengurai variabilitas iklim alami dari pemanasan global. Kita perlu memahami bagaimana bagian-bagian yang berbeda dari sistem

iklim berinteraksi, mengingat bahwa mereka semua memiliki waktu respons yang berbeda.

Kita perlu memahami perubahan iklim seperti apa yang akan terjadi, dan apakah itu akan terjadi secara bertahap atau bencana. Kita juga perlu memahami bagaimana berbagai wilayah di dunia akan terpengaruh; misalnya, disarankan bahwa gas rumah kaca tambahan akan menghangatkan kutub lebih dari daerah tropis. Semua tema tentang pemahaman tentang sistem iklim dan kesulitan prediksi iklim masa depan ini dikembalikan ke dalam Bab 4 dan 5.

Jadi jika Anda membaca buku ini untuk pertama kalinya dan terutama tertarik pada ilmu pemanasan global, maka akan ada keterkaitan aspek sosial, sejarah, ekonomi, dan politik dari pemanasan global, karena pemanasan global, tidak dapat dilihat sebagai masalah ilmiah saja; sebaliknya, ini adalah masalah bagi masyarakat global.

Model sederhana maupun kompleks memiliki misi yang berbeda dalam memprediksi dan memproyeksikan iklim di masa depan. Hal tersebut dikarenakan adanya faktor eksternal (external forcing), termasuk variabel yang disebabkan oleh manusia. Peran model sederhana memungkinkan interaksi dasar antara sistem iklim, faktor pendorong dan respons sistem iklim. Model tersebut mudah dimengerti dan tidak memerlukan biaya tambahan dalam simulasi, karena model sederhana hanya melakukan proses yang paling interpretatif. Model sederhana sangat membantu dalam masalah skala global. Selain itu, model sederhana juga dapat menggunakan parameter umpan balik yang dihasilkan oleh model tiga dimensi (Goose et al., 2010). Di sisi lain, model yang kompleks mengambil peran dalam simulasi variabilitas skala waktu singkat, namun membutuhkan perhitungan mahal menggunakan spesifikasi komputer dan resolusi data yang tinggi (Harvey, 2000).

BAB 2

SEJARAH SINGKAT HIPOTESIS PEMANASAN GLOBAL

2.1 Latar Belakang Sejarah Pemanasan Global

Sejarah pemanasan global adalah kisah perubahan iklim bumi selama ribuan tahun terakhir yang mencakup peningkatan suhu rata-rata atmosfer dan laut secara signifikan. Di bawah ini adalah ikhtisar lengkap tentang sejarah pemanasan global:

1. Zaman Es Terakhir (20.000 hingga 10.000 tahun lalu): Setelah periode terakhir zaman es yang disebut Zaman Es Terakhir, bumi mengalami peningkatan suhu secara alami. Sejak saat itu, planet ini mengalami perubahan iklim yang cukup stabil hingga Zaman Industri.
2. Zaman Pertengahan (sekitar 900 hingga 1250 M): Zaman Pertengahan adalah periode relatif hangat pada Abad Pertengahan, di mana beberapa wilayah di Bumi mengalami iklim yang lebih hangat daripada sekarang. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa sekitar abad ke-10 hingga ke-14, wilayah seperti Eropa mengalami periode panas dan periode dingin yang tidak biasa.
3. Era Industri (Awal abad ke-19 hingga sekarang): Pada abad ke-19, perubahan signifikan dalam aktivitas manusia, seperti revolusi industri, mulai meningkatkan emisi gas rumah kaca ke atmosfer. Gas-gas ini, seperti karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dan nitrous oksida (N₂O), menciptakan efek rumah kaca, yang menyebabkan pemanasan panas di atmosfer dan pemanasan bumi secara global.

Sejak era industri dimulai, pemanasan global terjadi pada tingkat yang semakin cepat, dengan lonjakan suhu rata-rata bumi yang signifikan pada abad ke-20 dan awal abad ke-21.

Perubahan iklim menjadi semakin terasa dengan peningkatan kejadian fenomena ekstrem, seperti badai yang lebih kuat, banjir, kekeringan, dan naiknya permukaan laut.

Penyebab pemanasan global utama adalah aktivitas manusia, termasuk pembakaran bahan bakar fosil (batu bara, minyak bumi, gas alam) untuk transportasi, industri, dan keperluan energi lainnya. Kegiatan pertanian, deforestasi, dan produksi industri juga menyumbang dalam pelepasan gas rumah kaca ke atmosfer.

Dalam beberapa dekade terakhir, masyarakat internasional mulai menyadari dampak serius dari pemanasan global dan berusaha untuk mengurangi emisi gas rumah kaca melalui perjanjian internasional seperti Protokol Kyoto dan Kesepakatan Paris. Upaya ini bertujuan untuk membatasi pemanasan global pada tingkat yang dapat diatasi oleh ekosistem dan manusia.

Perubahan iklim masih menjadi tantangan besar yang dihadapi dunia saat ini, dan usaha kolektif dari berbagai negara dan komunitas di seluruh dunia diperlukan untuk mengurangi dampak pemanasan global dan menerapkan solusi berkelanjutan.

Para ilmuwan memperkirakan bahwa pemanasan global dapat menghangatkan planet ini antara 1,4 dan 5,8°C dalam 100 tahun ke depan, menyebabkan masalah besar bagi umat manusia. Dalam menghadapi ancaman seperti itu, penting untuk memahami sejarah teori pemanasan global dan bukti-bukti yang mendukungnya. Bisakah masa depan benar-benar suram seperti yang diprediksi para ilmuwan? Seluruh perdebatan tentang teori pemanasan global dan kemungkinan dampaknya, lebih dari kontroversi lainnya dalam sains, menunjukkan kemanusiaan para ilmuwan dan politik ide-ide ilmiah baru. Ini karena, terlepas dari visi ilmuwan Hollywood, kami bukan mesin logis seperti Mr Spock dari Star Trek, atau ilmuwan gila seperti Dr Frankenstein, tetapi individu yang sangat bersemangat.

Meskipun harus saya akui, saya memang menyukai penggambaran heroik seorang 'paleoclimatologist' di lusa; andai saja kita benar-benar seperti itu. Jadi harus diingat bahwa uang bukanlah penggerak utama ilmu pengetahuan; melainkan rasa ingin tahu yang tercemar ambisi, ego, dan prospek ketenaran. Jadi tolong lepaskan diri Anda dari citra ilmuwan yang terpisah dari dunia di sekitar mereka. Sejarah hipotesis pemanasan global dengan jelas menunjukkan bahwa ilmu pengetahuan sangat dipengaruhi oleh masyarakat dan sebaliknya. Jadi apa yang kami temukan adalah bahwa ilmu penting tentang pemanasan global dilakukan 50 tahun yang lalu di bawah kebutuhan yang dirasakan geosains selama Perang Dingin, tetapi tidak dianggap serius sebagai teori sampai akhir 1980-an. Saya berharap dapat memberi Anda beberapa wawasan tentang mengapa ada penundaan yang begitu signifikan.

Sekarang lebih dari seratus tahun yang lalu pemanasan global secara resmi ditemukan. Karya perintis pada tahun 1896 oleh ilmuwan Swedia Svante Arrhenius, dan konfirmasi independen berikutnya oleh Thomas Chamberlin, menghitung bahwa aktivitas manusia secara substansial dapat menghangatkan Bumi dengan menambahkan karbon dioksida ke atmosfer. Kesimpulan ini adalah hasil sampingan dari penelitian lain, tujuan utamanya adalah untuk menawarkan teori di mana penurunan karbon dioksida akan menjelaskan penyebab zaman es yang hebat, sebuah teori yang masih bertahan sampai sekarang tetapi harus menunggu sampai tahun 1987 untuk Vostok Antartika. Hasil inti es untuk mengkonfirmasi peran penting CO₂ atmosfer dalam mengendalikan iklim global masa lalu.

Namun, tidak ada orang lain yang mengambil topik penelitian, sehingga baik Arrhenius dan Chamberlin beralih ke tantangan lain. Ini karena para ilmuwan pada waktu itu merasa ada begitu banyak pengaruh lain pada iklim global, mulai dari bintik matahari hingga sirkulasi laut, sehingga pengaruh kecil manusia dianggap tidak signifikan dibandingkan dengan

kekuatan astronomi dan geologi yang hebat. Gagasan ini diperkuat oleh penelitian selama tahun 1940-an, yang mengembangkan teori bahwa perubahan orbit Bumi mengelilingi matahari mengendalikan bertambah dan memudarnya zaman es besar. Argumen kedua adalah karena ada 50 kali lebih banyak karbon dioksida di lautan daripada di atmosfer, diperkirakan bahwa 'Laut bertindak sebagai penyeimbang yang luas', dengan kata lain lautan akan membersihkan polusi kita.

Pandangan meremehkan ini mendapat pukulan pertama ketika pada tahun 1940-an ada peningkatan yang signifikan dalam spektroskopi inframerah, teknik yang digunakan untuk mengukur radiasi gelombang panjang. Sampai tahun 1940-an percobaan telah menunjukkan bahwa karbon dioksida memang menghalangi transmisi radiasi 'gelombang panjang' inframerah dari jenis yang dipancarkan oleh Bumi. Namun, percobaan menunjukkan ada sedikit perubahan dalam intersepsi ini jika jumlah karbon dioksida digandakan atau dibelah dua. Ini berarti bahwa bahkan sejumlah kecil karbon dioksida dapat memblokir radiasi secara menyeluruh sehingga menambahkan lebih banyak gas membuat perbedaan yang sangat kecil. Selain itu, uap air, yang jauh lebih berlimpah daripada karbon dioksida, ditemukan untuk memblokir radiasi dengan cara yang sama dan, oleh karena itu, dianggap lebih penting. Perang Dunia Kedua melihat peningkatan besar dalam teknologi dan pengukuran lama intersepsi radiasi karbon dioksida ditinjau kembali.

Dalam percobaan asli tekanan permukaan laut digunakan tetapi ditemukan bahwa pada tekanan atmosfer atas yang dijernihkan, penyerapan umum tidak terjadi dan, oleh karena itu, radiasi dapat melewati atmosfer atas dan ke luar angkasa. Ini membuktikan bahwa peningkatan jumlah karbon dioksida memang menghasilkan penyerapan lebih banyak radiasi. Selain itu, ditemukan bahwa uap air menyerap jenis radiasi lain daripada karbon dioksida, dan untuk menambah semuanya, juga ditemukan bahwa stratosfer, atmosfer bagian atas, kering

tulang. Pekerjaan ini disatukan pada tahun 1955 oleh perhitungan Gilbert Plass, yang menyimpulkan bahwa menambahkan lebih banyak karbon dioksida ke atmosfer akan mencegat lebih banyak radiasi inframerah, mencegahnya hilang ke luar angkasa dan dengan demikian menghangatkan planet ini.

Ini masih menyisakan argumen bahwa lautan akan menyerap karbon dioksida ekstra yang dihasilkan secara antropogenik. Bukti baru pertama datang pada 1950-an dan menunjukkan bahwa masa hidup rata-rata molekul karbon dioksida di atmosfer sebelum larut di laut adalah sekitar sepuluh tahun. Karena penggulingan laut membutuhkan beberapa ratus tahun, diasumsikan bahwa karbon dioksida ekstra akan terkunci dengan aman di lautan. Tetapi Roger Revelle (direktur Institut Oseanografi Scripps di California) menyadari bahwa penting tidak hanya untuk mengetahui bahwa molekul karbon dioksida diserap setelah sepuluh tahun, tetapi juga menanyakan apa yang terjadi padanya setelah itu.

Apakah itu tetap di sana atau menyebar kembali ke atmosfer? Berapa banyak tambahan CO₂ yang bisa ditampung lautan? Perhitungan Revelle menunjukkan bahwa kompleksitas kimia permukaan laut sedemikian rupa sehingga mengembalikan banyak karbon dioksida yang diserapnya. Ini adalah wahyu besar, dan menunjukkan bahwa karena kekhasan laut kimia, lautan tidak akan menjadi tempat pembuangan karbon dioksida antropogenik yang pertama kali dipikirkan. Prinsip ini masih berlaku, meskipun jumlah pasti karbon dioksida antropogenik yang diambil per tahun oleh lautan masih dalam perdebatan. Diperkirakan sekitar 2 gigaton, hampir sepertiga dari total produksi antropogenik tahunan.

Charles Keeling, yang dipekerjakan oleh Roger Revelle, menghasilkan langkah penting berikutnya dalam debat pemanasan global. Pada akhir 1950-an dan awal 1960-an Keeling menggunakan teknologi paling modern yang tersedia untuk mengukur konsentrasi CO₂ atmosfer di Antartika dan

Mauna Loa. Kurva CO₂ Keeling yang dihasilkan terus menaik setiap tahun sejak pengukuran pertama pada tahun 1958 dan telah menjadi salah satu ikon utama pemanasan global.

Spencer Weart, direktur Pusat Sejarah Fisika di Institut Fisika Amerika, berpendapat bahwa semua fakta ilmiah tentang peningkatan CO₂ atmosfer dan potensi pemanasan global dikumpulkan pada akhir 1950-an–awal 1960-an. Dia berpendapat bahwa itu hanya karena geosains fisik yang disukai secara finansial di lingkungan Perang Dingin yang begitu banyak fundamental pekerjaan pada pemanasan global selesai. Gilbert Plass menerbitkan sebuah artikel pada tahun 1959 di *Scientific American* yang menyatakan bahwa suhu dunia akan naik 3°C pada akhir abad ini. Para editor majalah menerbitkan foto terlampir dari asap batu bara yang menyembur dari pabrik dan judulnya berbunyi, 'Manusia mengganggu keseimbangan proses alam dengan menambahkan miliaran ton karbon dioksida ke atmosfer setiap tahun'. Ini menyerupai ribuan artikel majalah, berita televisi, dan dokumenter yang telah kita semua lihat sejak akhir 1980-an. Jadi mengapa ada penundaan antara penerimaan dan penerapan ilmu pemanasan global pada akhir 1950-an dan awal 1960-an dan realisasi tiba-tiba akan ancaman pemanasan global yang sebenarnya selama akhir 1980-an?

Pemanasan Global adalah kejadian meningkatnya suhu rata-rata atmosfer, laut dan daratan bumi. Peneliti dari Center for International Forestry Research (CIFR) menjelaskan bahwa pemanasan global adalah kejadian terperangkapnya radiasi gelombang panjang matahari (gelombang panas atau infra merah) yang dipancarkan ke bumi oleh gas rumah kaca. Gas rumah kaca ini secara alami terdapat di udara (atmosfer). Sedangkan efek rumah kaca adalah istilah yang digunakan untuk panas yang terperangkap di alam atmosfer bumi dan tidak bisa menyebar. Pemanasan global merupakan suatu fenomena global yang dipicu oleh kegiatan manusia terutama yang berkaitan dengan penggunaan bahan fosil dan kegiatan alih guna lahan. Kegiatan tersebut menghasilkan gas-gas yang semakin lama

semakin banyak jumlahnya di atmosfer, terutama gas karbon dioksida (CO₂) melalui proses yang disebut efek rumah kaca. Istilah Efek rumah kaca (greenhouse effect) merupakan istilah yang cukup erat kaitannya dengan pemanasan global. Disebut dengan efek rumah kaca karena adanya peningkatan suhu bumi akibat suhu panas yang terjebak di dalam atmosfer bumi. Prosesnya mirip seperti rumah kaca yang berfungsi untuk menjaga kehangatan suhu tanaman di dalamnya. Peningkatan suhu dalam rumah kaca terjadi karena adanya pantulan sinar matahari oleh benda-benda yang ada di dalam rumah kaca yang terhalang oleh dinding kaca, sehingga udara panas tidak dapat keluar (greenhouse effect), (Vivi Triana, 2008).

2.2 Butuh waktu lama untuk mengenali pemanasan global

Pemanasan global bukanlah sebuah fenomena yang bisa diidentifikasi secara instan atau dalam waktu singkat. Sebaliknya, pemanasan global adalah sebuah perubahan iklim yang terjadi selama periode waktu yang panjang, dimana suhu rata-rata bumi secara bertahap meningkat. Pengenalan dan pemahaman penuh tentang pemanasan global memerlukan analisis data dan tren yang melintasi beberapa dekade.

Pertama kali perubahan suhu bumi yang signifikan tercatat secara sistematis dimulai pada akhir abad ke-19 dan awal abad ke-20. Namun, saat itu, kesadaran tentang pemanasan global belum sejauh itu, karena teknologi untuk mengumpulkan dan menganalisis data cuaca dan iklim masih terbatas.

Barulah pada tahun 1970-an dan 1980-an, para ilmuwan mulai mengumpulkan lebih banyak bukti yang menunjukkan adanya peningkatan suhu global yang berhubungan dengan aktivitas manusia, terutama karena pelepasan gas rumah kaca seperti karbon dioksida ke atmosfer. Sejak saat itu, kesadaran tentang pemanasan global semakin meningkat dan menjadi perhatian utama bagi banyak ilmuwan, pemerintah, dan organisasi di seluruh dunia.

Tentu saja, ada perbedaan pendapat dan skeptisisme seputar pemanasan global, tetapi mayoritas komunitas ilmiah telah menyepakati bahwa ada bukti yang cukup kuat untuk mendukung pandangan bahwa pemanasan global sedang terjadi dan bahwa aktivitas manusia berperan dalam perubahan ini.

Dalam kesimpulannya, pemahaman tentang pemanasan global berkembang seiring berjalannya waktu dan penelitian lebih lanjut. Peristiwa ini tidak terjadi dengan cepat, melainkan sebagai hasil dari proses akumulasi bukti ilmiah yang diperoleh selama beberapa dekade.

Alasan utama keterlambatan dalam mengenali ancaman pemanasan global adalah, pertama, kekuatan set data suhu rata-rata global dan, kedua, perlunya munculnya kesadaran lingkungan global. Kumpulan data suhu rata-rata global dihitung menggunakan suhu darat-udara dan permukaan laut.

Dari tahun 1940 hingga pertengahan 1970-an kurva suhu global tampaknya memiliki tren penurunan umum. Hal ini memancing banyak ilmuwan untuk membahas apakah Bumi sedang memasuki zaman es besar berikutnya. Ketakutan ini berkembang sebagian karena meningkatnya kesadaran pada tahun 1970-an tentang bagaimana variabel iklim global di masa lalu. Subjek paleoceanography (studi tentang lautan masa lalu) yang muncul menunjukkan dari sedimen laut dalam bahwa setidaknya ada 32 siklus glasial-interglasial (dinginhangat) dalam dua setengah juta tahun terakhir, bukan empat seperti yang diasumsikan sebelumnya. Resolusi waktu studi ini rendah, sehingga tidak ada kemungkinan untuk memperkirakan seberapa cepat zaman es datang dan pergi, hanya seberapa teratur. Ini menyebabkan banyak ilmuwan dan media mengabaikan pengungkapan ilmiah tahun 1950-an dan 1960-an demi pendinginan global. Seperti yang diringkas Ponte (1976):

Sejak tahun 1940-an, bagian utara planet kita telah mendingin dengan cepat. Sudah efek di Amerika Serikat adalah sama seolah-olah setiap kota telah diambil oleh tangan raksasa

dan ditetapkan lebih dari 100 mil lebih dekat ke Kutub Utara. Jika pendinginan berlanjut, National Academy of Sciences memperingatkan pada tahun 1975, kita mungkin bisa menyaksikan awal Zaman Es Besar berikutnya. Bisa dibayangkan, beberapa dari kita mungkin hidup untuk melihat ladang salju besar yang tersisa sepanjang tahun di wilayah utara Amerika Serikat dan Eropa. Mungkin, kita akan melihat kelaparan global massal dalam hidup kita, bahkan mungkin dalam satu dekade. Sejak tahun 1970, setengah juta manusia di Afrika utara dan Asia telah kelaparan karena banjir dan kekeringan yang disebabkan oleh pendinginan iklim.

Baru pada awal 1980-an, ketika kurva suhu rata-rata tahunan global mulai meningkat, skenario pendinginan global dipertanyakan. Pada akhir 1980-an, kurva suhu rata-rata tahunan global meningkat begitu tajam sehingga semua bukti tidak aktif dari akhir 1950-an dan 1960-an menjadi terkenal dan teori pemanasan global berjalan lancar. Apa yang menarik adalah bahwa beberapa pendukung paling vokal untuk teori pemanasan global juga bertanggung jawab untuk menciptakan kekhawatiran tentang zaman es yang akan datang. Dalam *The Genesis Strategy* pada tahun 1976, Stephen Schneider menekankan bahwa tren pendinginan global telah terjadi; dia sekarang adalah salah satu pendukung utama pemanasan global. Pada tahun 1990 dia menyatakan bahwa 'laju perubahan [pemanasan] begitu cepat sehingga saya tidak ragu untuk menyebut perubahan semacam itu berpotensi bencana bagi ekosistem'.

Kenapa histeris? John Gribbin (1989) menggambarkan transisi dengan sangat rapi dalam bukunya *In Hothouse Earth: the Greenhouse Effect and Gaia*.

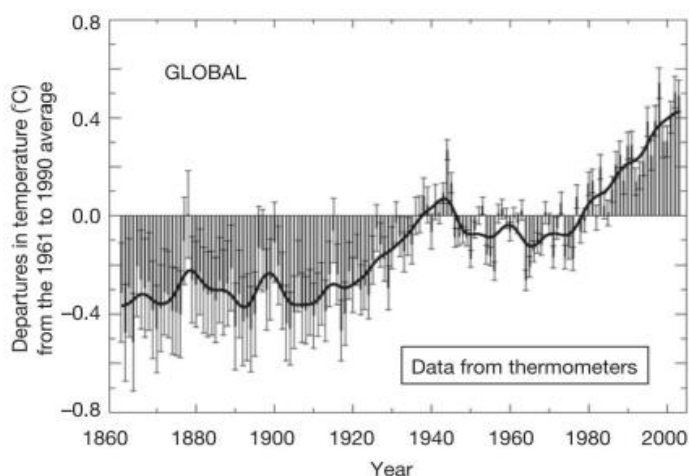
Pada tahun 1981 adalah mungkin untuk mundur dan melihat-lihat dengan santai rekor dari tahun 1880 hingga 1980. Pada tahun 1987, angka-angka tersebut diperbarui menjadi tahun 1985, terutama untuk kerapian penambahan setengah

dekade lagi ke dalam catatan.... Tetapi pada awal 1988, bahkan data satu tahun lagi membenarkan publikasi lain pada bulan April, hanya empat bulan setelah pengukuran 1987 terakhir dilakukan, menunjukkan kehangatan yang memecahkan rekor sekarang sedang dicapai. Bahkan di sana, Hansen [James Hansen, kepala tim NASA yang mempelajari tren suhu global] dan Lebedeff berhati-hati dalam membuat hubungan dengan efek rumah kaca, hanya mengatakan bahwa ini adalah 'topik di luar cakupan makalah ini'. Tetapi dalam empat bulan yang diperlukan untuk mencetak data 1987, dunia telah berubah lagi; hanya beberapa minggu kemudian Hansen memberi tahu Senat AS bahwa lima bulan pertama tahun 1988 lebih hangat daripada periode yang sebanding sejak tahun 1880, dan efek rumah kaca menimpa kita.

Oleh karena itu, tampaknya seluruh masalah pemanasan global didorong oleh peningkatan set data suhu rata-rata tahunan global. Ini sendiri menarik karena beberapa ilmuwan di awal 1990-an percaya bahwa ini adalah kumpulan data yang cacat karena: (1) banyak stasiun pemantauan tanah kemudian dikelilingi oleh daerah perkotaan, sehingga meningkatkan catatan suhu karena efek pulau panas perkotaan, (2) telah terjadi perubahan cara kapal mengukur suhu air laut, (3) tidak ada penjelasan yang memadai mengenai tren pendinginan pada tahun 1970-an, (4) data satelit tidak menunjukkan tren pemanasan dari tahun 1970-an ke tahun 1990-an, dan (5) model pemanasan global telah melebih-lebihkan pemanasan yang seharusnya terjadi di belahan bumi utara selama 100 tahun terakhir. Sejak awal 1990-an pulau panas perkotaan dan variasi pengukuran suhu laut telah diperhitungkan. Kita sekarang tahu bahwa tren pendinginan tahun 1970-an disebabkan oleh pengaruh dekadal siklus bintik matahari. Ternyata hasil satelit itu palsu karena sejumlah alasan dan pemahaman yang lebih baik tentang sistem dan data yang dikalibrasi ulang menunjukkan tren pemanasan yang signifikan. Terakhir, ditemukan bahwa polutan lain, seperti aerosol sulfur dioksida,

telah mendinginkan kawasan industri di dunia, dan karena model awal 1990-an tidak mempertimbangkannya, mereka melebih-lebihkan jumlah pemanasan. Jadi, Laporan Sains IPCC 2001 terbaru telah meninjau dan mensintesis berbagai kumpulan data dan menunjukkan bahwa, pada dasarnya, tren data suhu adalah benar, dan tren pemanasan ini terus berlanjut hingga saat ini (lihat Gambar 6). Faktanya kita tahu bahwa tahun 1998 adalah tahun terpanas secara global, dengan tahun 2002 kedua, 2003 ketiga, 2001 keempat dan 1997 kelima terpanas. Memang sepuluh tahun terpanas dalam catatan semuanya terjadi sejak tahun 1990.

Peningkatan data suhu rata-rata tahunan global bukanlah satu-satunya alasan munculnya isu pemanasan global. Selama tahun 1980-an juga ada dorongan kuat untuk memahami perubahan iklim di masa lalu. Kemajuan besar dibuat dalam memperoleh resolusi tinggi catatan iklim masa lalu dari sedimen laut dalam dan inti es. Dengan demikian, disadari bahwa periode glasial, atau zaman es, membutuhkan waktu puluhan ribu tahun untuk terjadi, terutama karena lapisan es sangat lambat terbentuk.



Gambar 2. 1. Variasi suhu permukaan bumi

Dan secara alami tidak stabil. Sebaliknya, transisi ke periode yang lebih hangat atau interglasial, seperti saat ini, secara geologis sangat cepat, dalam urutan beberapa ribu tahun. Ini karena begitu lapisan es mulai mencair ada sejumlah umpan balik positif yang mempercepat proses, seperti kenaikan permukaan laut, yang dapat melemahkan dan menghancurkan lapisan es besar. Kesadaran terjadi di komunitas paleoklimat bahwa pemanasan global jauh lebih mudah dan lebih cepat daripada pendinginan. Ini juga menghentikan mitos zaman es yang akan datang.

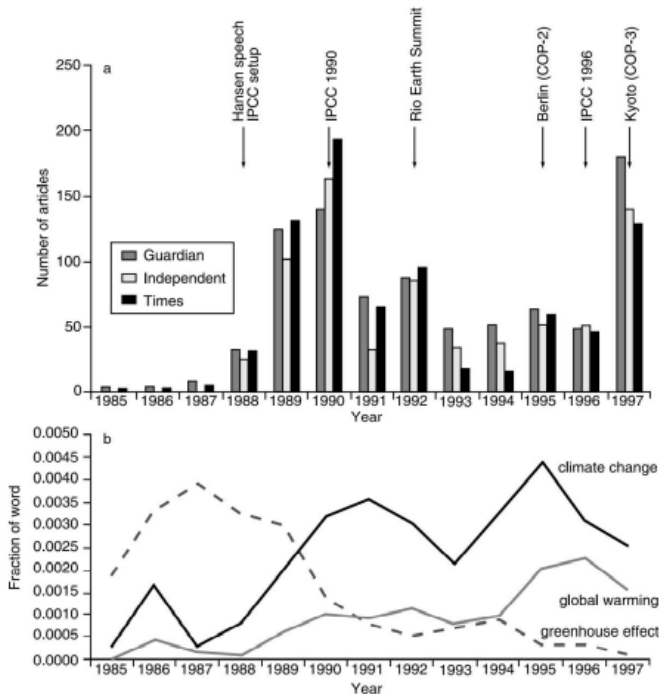
Karena periode glasial-interglasial dalam dua setengah juta tahun terakhir telah terbukti dipaksakan oleh perubahan orbit Bumi mengelilingi matahari, adalah mungkin untuk memprediksi kapan periode glasial berikutnya akan dimulai, jika ada tidak ada efek antropogenik yang terlibat. Menurut prediksi model oleh Berger dan Loutre (2002) di Université catholique de Louvain di Belgia, kita tidak perlu khawatir tentang zaman es lagi setidaknya selama 5.000 tahun. Memang, jika model mereka benar dan konsentrasi karbon dioksida atmosfer berlipat ganda, maka pemanasan global akan menunda zaman es berikutnya selama 45.000 tahun lagi.

Pekerjaan paleoklimat juga memberi kita wawasan yang mengkhawatirkan tentang cara kerja sistem iklim. Pekerjaan terbaru pada inti es dan sedimen laut dalam menunjukkan bahwa setidaknya perubahan iklim regional sebesar 5 °C dapat terjadi dalam hitungan dekade. Pekerjaan merekonstruksi iklim masa lalu ini tampaknya menunjukkan bahwa sistem iklim global tidak ramah tetapi sangat dinamis dan rentan terhadap perubahan yang cepat.

Perubahan berikutnya yang terjadi selama tahun 1980-an adalah ekspansi akar rumput besar-besaran dalam gerakan lingkungan, khususnya di Amerika Serikat, Kanada, dan Inggris, sebagian sebagai reaksi terhadap pemerintah sayap kanan tahun 1980-an dan ekspansi konsumen. ekonomi dan sebagian karena

meningkatnya jumlah berita terkait lingkungan di media. Ini digembar-gemborkan era baru kesadaran lingkungan global dan LSM transnasional (NonGovernmental Organizations). Akar dari kesadaran lingkungan yang berkembang ini dapat ditelusuri kembali ke sejumlah penanda utama; ini termasuk publikasi Rachel Carson's *Silent Spring* pada tahun 1962, citra Bumi dilihat dari bulan pada tahun 1969, laporan Club of Rome tahun 1972 tentang *Limits to Growth*, kecelakaan reaktor nuklir Three Mile Island pada tahun 1979, kecelakaan nuklir di Chernobyl pada tahun 1986, dan tumpahan minyak Exxon Valdez pada tahun 1989. Namun masalah lingkungan ini semuanya bersifat regional, yaitu terbatas secara geografis pada area spesifik tempat terjadinya.

Itu adalah penemuan pada tahun 1985 oleh Survei Antartika Inggris tentang penipisan ozon di Antartika yang menunjukkan konektivitas global lingkungan kita. 'Lubang' ozon juga memiliki penyebab internasional yang nyata, penggunaan CFC, yang mengarah ke bidang politik yang sama sekali baru, pengelolaan lingkungan internasional. Disusul dengan serangkaian kesepakatan utama, Konvensi Wina 1985 untuk Perlindungan Lapisan Ozon, Protokol Montreal 1987 tentang Zat yang Merusak Lapisan Ozon, dan Penyesuaian dan Amandemen Protokol London dan Kopenhagen tahun 1990 dan 1992. Ini telah diangkat sebagai contoh diplomasi lingkungan yang sukses. Perubahan iklim memiliki perkembangan yang lebih lambat dalam politik internasional dan jauh lebih sedikit dicapai dalam hal regulasi dan implementasi. Hal ini, pada tingkat yang paling sederhana, karena ketidakpastian besar yang melekat pada ilmu pengetahuan dan biaya ekonomi yang lebih besar yang terlibat.



Gambar 2. 2. Pemanasan global dan media

Alasan lain untuk menerima hipotesis pemanasan global adalah minat media yang kuat sepanjang akhir 1980-an dan 1990-an. Ini karena hipotesis pemanasan global sempurna untuk media: kisah dramatis tentang akhir dunia seperti yang kita ketahui, dengan kontroversi penting tentang apakah itu benar. Anabela Carvalho, sekarang di Universitas Minho (Braga, Portugal), telah melakukan studi menarik tentang liputan pers berkualitas Inggris tentang masalah pemanasan global antara 1985 dan 1997. Dia berkonsentrasi terutama pada Guardian dan The Times dan menemukan selama periode ini bahwa mereka mempromosikan pandangan dunia yang sangat berbeda. Menariknya, terlepas dari pandangan mereka yang berbeda, jumlah artikel yang diterbitkan per tahun oleh makalah berkualitas (broadsheet) Inggris mengikuti pola yang sama dan

mencapai puncaknya ketika ada laporan utama IPCC yang diterbitkan atau konferensi internasional tentang perubahan iklim (lihat Gambar 2.2).

Tetapi sifat artikel-artikel inilah yang menunjukkan bagaimana debat pemanasan global dikonstruksi di media. Sejak akhir 1980-an *The Times*, yang menerbitkan sebagian besar artikel tentang pemanasan global pada tahun 1989, 1990, dan 1992, meragukan klaim perubahan iklim. Ada upaya berulang untuk mempromosikan ketidakpercayaan dalam sains, melalui strategi generalisasi, ketidaksepakatan dalam komunitas ilmiah, dan, yang paling penting, mendiskreditkan ilmuwan dan lembaga ilmiah. Sudut pandang yang sangat mirip diambil oleh sebagian besar media Amerika sepanjang tahun 1990-an. Bahkan telah diklaim bahwa pendekatan ini di media Amerika telah menyebabkan penghalang antara ilmuwan dan publik di AS. Di Inggris, surat kabar *Guardian* mengambil pendekatan yang berlawanan dengan *The Times*. Meskipun *Guardian* memberi ruang pada sisi teknis perdebatan, ia segera mulai membahas klaim ilmiah dalam konteks yang lebih luas. Ketika ketidakpastian ilmiah mengenai peningkatan efek rumah kaca menurun selama tahun 1990-an, *Guardian* secara koheren memajukan strategi membangun kepercayaan pada sains, dengan penekanan pada konsensus sebagai sarana untuk meningkatkan keandalan pengetahuan.

Ini karena *Guardian* memahami dan mempromosikan salah satu dasar dasar sains, yaitu bahwa sebuah teori, seperti pemanasan global, hanya dapat diterima atau ditolak dengan bobot bukti. Jadi, karena bukti dari berbagai bidang ilmu pengetahuan terus mendukung teori pemanasan global, maka kepercayaan kita terhadap teori tersebut harus meningkat. Jauh dari melukiskan sains sebagai 'murni' atau 'benar', justru *Guardian* mempolitisasinya untuk menunjukkan bias yang melekat pada semua sains. Ini jelas menunjukkan bahwa banyak klaim perubahan iklim terkikis oleh tekanan lobi, terutama yang terkait dengan industri bahan bakar fosil. Politisasi ilmu

pengetahuan ini memungkinkan Guardian untuk memperkuat kepercayaan pembacanya terhadap sains.

Selain itu, mereka dengan jelas menyampaikan ketidakpastian bahwa ilmu hipotesis pemanasan global mengandung dan masih mendukung prinsip kehati-hatian. Melalui filter media inilah para ilmuwan berusaha untuk memajukan pandangan khusus mereka tentang pemanasan global, baik dengan membuat klaim untuk penelitian lebih lanjut atau mempromosikan pilihan politik tertentu. Sejak akhir 1980-an dan seterusnya, para ilmuwan menjadi sangat mahir dalam mementaskan pertunjukan media mereka, dan jelas bahwa penerimaan umum terhadap hipotesis pemanasan global sebagian disebabkan oleh upaya terus-menerus mereka untuk mengomunikasikan temuan-temuan mereka. Memang, sikap skeptis dan mendukung dari The Times dan Guardian, masing-masing, begitu melegitimasi perdebatan tentang pemanasan global sehingga publik menjadi sadar bahwa ini bukan berita semalam tetapi sesuatu yang telah menjadi bagian dari tatanan masyarakat kita.

Tampaknya media juga mempengaruhi penggunaan kata-kata kita. Dari 1988 dan seterusnya penggunaan frase 'pemanasan global' dan 'perubahan iklim' mendapat dukungan, sementara 'efek rumah kaca' kehilangan daya tariknya dan pada tahun 1997 jarang disebutkan. Perubahan terminologi tercermin dalam buku ini. Judulnya Pemanasan Global, karena semua orang tahu apa artinya, dan diskusi utama dalam buku ini adalah tentang perubahan iklim yang mungkin ditimbulkannya.

Jadi dengan menggabungkan (1) ilmu pemanasan global yang pada dasarnya dilakukan pada pertengahan 1960-an, (2) peningkatan yang menakutkan dalam kumpulan data suhu global pada akhir 1980-an, (3) peningkatan pengetahuan kita tentang bagaimana iklim masa lalu telah bereaksi terhadap perubahan karbon dioksida atmosfer pada 1980-an, (4) munculnya kesadaran lingkungan global pada akhir 1980-an,

dan (5) minat biadab media dalam sifat konfrontatif dari perdebatan, kita dituntun pada pengakuan akhir hipotesis pemanasan global.

Ini telah memuncak pada ribuan ilmuwan yang mengalihkan perhatian mereka ke masalah untuk mencoba membuktikannya benar atau salah. Landmark sejak itu adalah pendirian Panel Antarpemerintah tentang Perubahan Iklim (IPCC) pada tahun 1988 oleh Panel Lingkungan Perserikatan Bangsa-Bangsa dan Organisasi Meteorologi Dunia; publikasi laporan-laporan kunci oleh IPCC pada tahun 1990, 1996, dan 2001; penandatanganan resmi Konvensi Kerangka Kerja PBB tentang Perubahan Iklim (UNFCCC) pada KTT Bumi Rio tahun 1992; Konferensi Para Pihak (COP) berikutnya di Kyoto pada tahun 1998, di mana Protokol UNFCCC secara resmi diterima, dan kemudian di Bonn pada Juli 2001, di mana apa yang disebut Protokol 'Kyoto' disetujui oleh 186 negara.

Pemanasan global dapat pula diakibatkan oleh variasi matahari. Suatu hipotesis menyatakan bahwa variasi dari Matahari yang diperkuat oleh umpan balik dari awan, dapat memberi kontribusi dalam pemanasan saat ini (Marsh and Henrik, 2000). Perbedaan antara mekanisme ini dengan pemanasan akibat efek rumah kaca adalah meningkatnya aktivitas Matahari akan memanaskan stratosfer, sebaliknya efek rumah kaca akan mendinginkan stratosfer. Pendinginan stratosfer bagian bawah paling tidak telah diamati sejak tahun 1960, yang tidak akan terjadi bila aktivitas Matahari menjadi kontributor utama pemanasan saat ini. Penipisan lapisan ozon juga dapat memberikan efek pendinginan tersebut tetapi penipisan tersebut terjadi mulai akhir tahun 1970-an. Fenomena variasi Matahari dikombinasikan dengan aktivitas gunung berapi mungkin telah memberikan efek pemanasan dari masa pra-industri hingga tahun 1950, serta efek pendinginan sejak tahun 1950 (Hegerl, et al. 2007, Ammann, et al, 2007).

BAB 3

SUDUT PANDANG MENENTUKAN MASA DEPAN

3.1 Sudut pandang masa depan

Bagaimana menyikapi pemanasan global dari kajian filosofis? Menyikapi pemanasan global dari kajian filosofis dapat memberikan sudut pandang yang lebih mendalam dan reflektif tentang masalah ini. Filosofi dapat membantu kita memahami akar penyebab pemanasan global, pertimbangan etika di balik respons terhadap perubahan iklim, dan implikasi filosofis dari pemanasan global bagi manusia dan lingkungan. Berikut beberapa cara untuk menyikapi pemanasan global dari kajian filosofis:

1. Refleksi tentang Hubungan Manusia dengan Alam: Filosofi memungkinkan kita untuk merenungkan hubungan manusia dengan alam dan bagaimana peran kita sebagai makhluk yang sadar berpengaruh terhadap lingkungan. Pertimbangkan pandangan filosofis tentang antroposentrisme versus ekosentrisme, di mana antroposentrisme cenderung memandang manusia sebagai pusat dari segala-galanya, sementara ekosentrisme menempatkan kepentingan lingkungan dan seluruh ekosistem di atas segalanya.
2. Pertimbangan Etika: Melalui kajian filosofis, kita dapat menggali pertanyaan etika tentang tanggung jawab kita terhadap lingkungan dan generasi masa depan. Konsep etika seperti etika lingkungan, etika intergenerasi, dan etika hak asasi hewan menjadi relevan ketika memikirkan bagaimana kita harus bertindak dalam menghadapi pemanasan global.

3. Tantangan Kolaborasi Global: Filosofi juga dapat membantu mengatasi tantangan kolaborasi global dalam menangani masalah pemanasan global. Pertanyaan filosofis tentang batas kewajiban moral, prinsip keadilan global, dan hak atas sumber daya dapat membantu merumuskan pendekatan yang lebih inklusif dan adil dalam mengatasi perubahan iklim.
4. Evaluasi Sistem Nilai dan Konsumerisme: Filosofi dapat membantu kita mengevaluasi sistem nilai dan konsumerisme yang mendukung model ekonomi berbasis pertumbuhan tanpa batas, yang dapat berkontribusi pada pemanasan global. Pertimbangkan pemikiran tentang keterbatasan sumber daya dan alternatif filosofis untuk mencapai kemakmuran dan kebahagiaan yang lebih berkelanjutan.
5. Refleksi tentang Kesadaran dan Tindakan: Filosofi juga dapat merangsang refleksi tentang kesadaran kita sebagai individu dan masyarakat tentang dampak pemanasan global, serta mengajak kita untuk bertindak dengan bijaksana dalam menghadapinya. Pertanyaan filosofis tentang moralitas tindakan dan tanggung jawab kolektif dapat membantu membentuk perilaku dan keputusan kita dalam menjaga bumi.

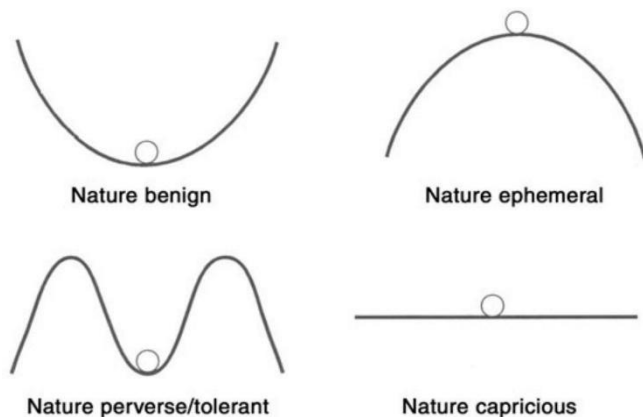
Dengan menyikapi pemanasan global dari sudut pandang filosofis, kita dapat mendapatkan wawasan yang lebih dalam tentang permasalahan ini dan mencari pendekatan yang lebih bijaksana dan berkelanjutan untuk menangani tantangan perubahan iklim. Filosofi bisa menjadi alat yang berguna untuk merangsang refleksi, dialog, dan tindakan yang konstruktif dalam menjaga bumi untuk generasi mendatang.

Mempertimbangkan semua bukti ilmiah yang dikumpulkan untuk mendukung hipotesis pemanasan global, mengapa masih ada banyak pendapat tentang masa depan kita? Cara yang menarik untuk melihat masalah ini telah dipresentasikan oleh Profesor John Adams di University College London. Dia

menyarankan itu semua tergantung pada bagaimana setiap individu memandang risiko, khususnya bagaimana kita memandang 'alam' sebagai risiko. Apakah kita percaya bahwa alam itu ramah dan mampu mengambil apa pun yang kita lemparkan atau apakah kita menganggapnya jahat, memiliki kekuatan untuk bereaksi keras terhadap campur tangan kita?

Seperti yang ditanyakan dan dijawab oleh Douglas dan Wildavsky (1983) dalam buku mereka, 'Dapatkah kita mengetahui risiko yang kita hadapi sekarang dan di masa depan? Tidak, kita tidak bisa, tapi ya, kita harus bertindak seolah-olah kita melakukannya.' Kita semua harus memprediksi apa saja risiko yang ada di sekitar kita, baik saat ini maupun di masa depan. Ini berlaku untuk apa pun mulai dari risiko menyeberang jalan hingga risiko perubahan iklim akibat pemanasan global.

John Adams telah mengembangkan 'empat mitos alam' dan 'empat mitos sifat manusia' dan menggabungkannya untuk melihat kisaran respons individu terhadap risiko dan ketidakpastian (Adams, 1995). Yang saya lakukan di sini adalah sedikit mengubah mitos-mitos tersebut sehingga lebih langsung terkait dengan isu pemanasan global. Harus diingat bahwa ini hanyalah cara lain untuk menghargai bagaimana orang yang berbeda melihat hipotesis pemanasan global.



Gambar 3. 1. Empat mitos alam

Adams (1995) mengemukakan ada Empat mitos alam yang ditunjukkan pada Gambar 3.1:

1. Alam jinak. Alam, menurut mitos ini, dapat diprediksi, berlimpah, kuat, stabil, dan memaafkan setiap penghinaan yang mungkin ditimbulkan oleh manusia. Betapapun kerasnya diguncang, bola selalu berhenti di dasar baskom. Jika alam ramah dalam konteks aktivitas manusia maka tidak perlu dikelola dan dengan demikian pendekatan non-intervensi dapat diambil.
2. Alam fana. Alam itu rapuh, genting, dan tak kenal ampun. Hal ini dalam bahaya kehancuran bencana berkat campurtangan manusia. Oleh karena itu, tujuan pengelolaan lingkungan harus melindungi alam dari manusia. Mitos ini menegaskan bahwa orang harus melangkah ringan di Bumi dan bahwa aturan pengelolaan yang membimbing adalah salah satu tindakan pencegahan.
3. Sifat sesat/ toleran. Ini adalah kombinasi dari dua mitos pertama. Dalam batas, alam dapat diandalkan untuk berperilaku dapat diprediksi. Ini memaafkan guncangan sederhana pada sistem tetapi harus berhati-hati untuk tidak menjatuhkan bola dari cangkir. Regulasi diperlukan

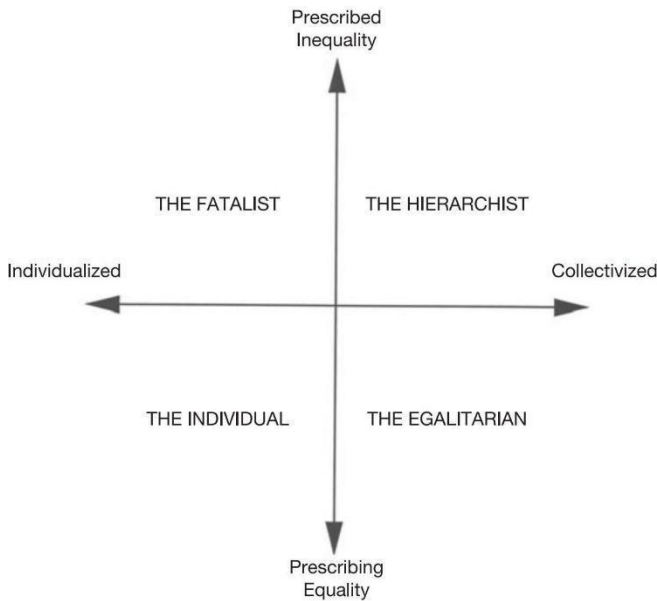
untuk mencegah eksekusi besar sementara meninggalkan sistem untuk mengurus dirinya sendiri dalam hal-hal kecil. Ini adalah model ekonomi campuran yang setara dengan ekologi. Gaya manajemennya adalah intervensionis.

4. Alam berubah-ubah. Alam memang tidak bisa diprediksi. Gaya manajemen yang tepat adalah *laissez-faire*, karena tidak ada gunanya manajemen. Orang yang percaya pada mitos ini adalah seorang agnostik tentang alam karena masa depan dapat berubah menjadi baik atau buruk, tetapi bagaimanapun juga hal itu di luar kendali manusia.

Individu mendasarkan pandangan mereka pada banyak faktor: pada sistem kepercayaan mereka sendiri, agenda pribadi mereka sendiri (baik finansial atau politik), atau apa pun yang perlu dipercaya pada saat itu. Namun, dasar pandangan semua orang tentang hipotesis pemanasan global ditentukan oleh bagaimana kita masing-masing memandang dunia.

Ahli geografi budaya dan sosiolog telah menyarankan sistem grid untuk melihat keyakinan individu. Satu sumbu horizontal dari kiri ke kanan adalah ukuran bagaimana sifat manusia dapat bervariasi dari sudut pandang individualis ke yang lebih kolektif, sedangkan sumbu vertikal bervariasi dari atas 'Prescribed Inequality', ukuran jumlah pembatasan satu merasa dipaksakan oleh otoritas yang lebih tinggi, dengan asumsi tentu saja bahwa semua transaksi sosial dan ekonomi dicirikan oleh ketidaksetaraan.

Di bagian bawah, 'Mereseptkan Kesetaraan', tidak ada batasan yang ditentukan secara eksternal pada pilihan dan orang-orang menegosiasikan aturan saat mereka berjalan. Menggabungkan dua sumbu ini menghasilkan empat mitos sifat manusia yang kemudian dapat digabungkan dengan pandangan kita dari alam. Empat mitos sifat manusia yang terkait dengan kisi-kisi ini ditunjukkan pada Gambar 3.2.

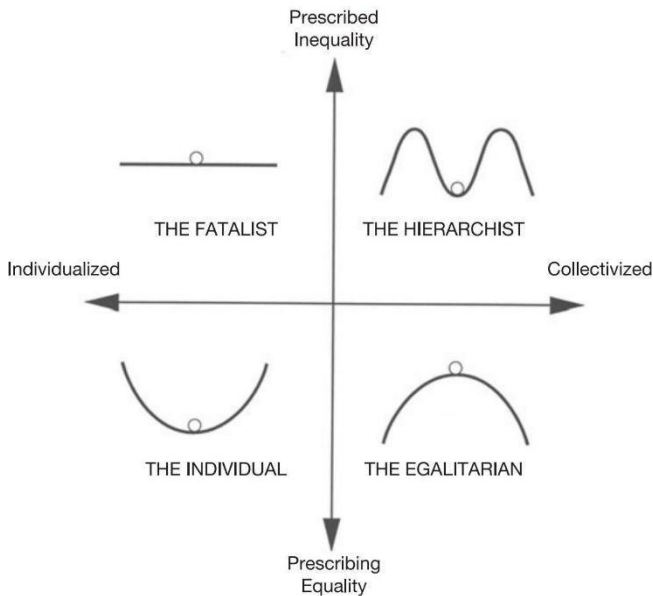


Gambar 3. 2. Empat mitos sifat manusia

Lingkungan dan orang-orang di dalamnya. Keberhasilan mereka sering diukur dari kekayaan dan jumlah pengikut yang dapat mereka kuasai. Pemilik pabrik Victoria atau baron minyak buatan sendiri adalah perwakilan yang baik dari kategori ini.

1. *Individualis* adalah orang-orang 'buatan sendiri' yang giat yang relatif bebas dari kendali orang lain, yang berusaha keras untuk mengendalikan diri mereka.
2. *Hirarkis*, yang mendiami dunia dengan batasan kelompok yang kuat dan aturan yang mengikat. Hubungan sosial di dunia ini bersifat hierarkis dan semua orang tahu tempatnya. Prajurit, pegawai negeri, dan jenis ilmuwan tertentu adalah contoh dari kategori ini.
3. *Egalitarian* memiliki loyalitas kelompok yang kuat tetapi sedikit menghormati aturan yang dipaksakan dari luar, selain yang dipaksakan oleh alam. Keputusan kelompok dicapai secara demokratis dan para pemimpin memerintah

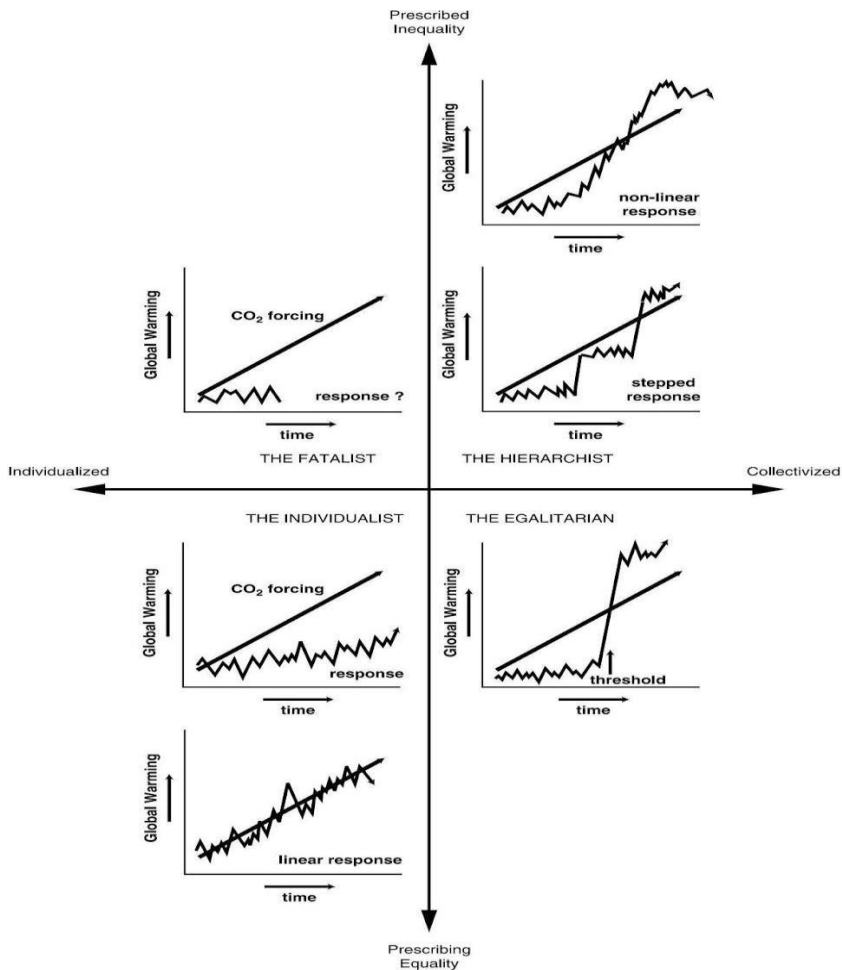
dengan kekuatan kepribadian dan persuasi. Kelompok penekan lingkungan adalah contoh klasik dari kategori ini.



Gambar 3. 3. Empat Rasionalis

4. *Fatalis* memiliki kontrol minimal atas hidup mereka sendiri. Mereka tidak termasuk dalam kelompok yang bertanggung jawab atas keputusan yang mengatur hidup mereka. Mereka pasrah pada nasib mereka dan orang lain, dan tidak melihat ada gunanya mencoba mengubahnya.

Kedua kumpulan mitos ini dapat dihubungkan satu sama lain untuk menjelaskan tipe orang seperti apa yang mungkin mempercayai mitos alam yang mana (lihat Gambar 3.4).



Gambar 3. 4. Gabungan skenario pemanasan global dengan mitos sifat manusia

Dengan melihat pemanasan global dengan cara ini menunjukkan bahwa ada alasan yang jelas mengapa mereka yang tidak percaya pada ancaman pemanasan global mungkin tidak akan pernah mempercayainya sampai terlambat, karena mereka memiliki pandangan mereka sendiri tentang alam dan dengan demikian memahami bahwa ada potensi risiko perubahan iklim yang rendah di masa depan. Kita juga harus

ingat bahwa individu bisa sangat cair dalam keyakinan mereka, terutama dalam hal risiko dan ketidakpastian. Orang akan, dengan demikian, mengubah pendapat mereka tergantung pada bukti yang diajukan. Contoh klasiknya adalah pada pertengahan 1990-an ketika para jurnalis bertanya kepada saya apakah pemanasan global sedang terjadi dan apakah saya akan siap untuk mempertahankannya; sekarang, sebaliknya, mereka bertanya seberapa buruk hasilnya. Apa yang saya harapkan untuk dilakukan selama sisa buku ini adalah mencoba untuk menggeser keyakinan Anda dari sisi kiri bagan keyakinan pemanasan global ke kanan. Atau, jika Anda sudah berada di sisi kanan grafik, tunjukkan mengapa pandangan naluriyah Anda tentang alam mungkin benar.

Pemanasan global merupakan gejala dari adanya pengelolaan sumber daya alam (SDA) yang tidak berkelanjutan. Pemanasan global juga menyebabkan munculnya kekhawatiran dunia, karena dampaknya terhadap kehidupan dan kondisi bentang lahan dari semua Negara baik bagi negara penghasil (emisi) gas rumah kaca (GRK) maupun bukan. Indonesia merupakan salah satu negara emitor GRK terutama berasal dari pembakaran hutan dan pengeringan gambut, sehingga Indonesia menjadi salah satu bagian dari solusi pengurangan pemanasan global.

Secara umum tapak ekologi (*ecological footprint*) dunia telah melebihi ruang yang tersedia, maka penggunaan ruang harus seefisien mungkin. Penggunaan ruang harus multifungsional yang dapat menghasilkan kebutuhan pokok dan sekaligus memberikan layanan lingkungan yang dibutuhkan masyarakat dan kehidupan lainnya. Agroforestri merupakan tawaran yang dapat memberikan solusi multifungsional, walaupun didalam sistemnya masih dijumpai pula hal-hal yang saling bertentangan (*trade-off*) dan kompromi internal. Tradeoff dapat ditangani asalkan perolehan produksi dan layanan lingkungan memperoleh imbal jasa (*reward*) yang adil dan benar.

Dengan demikian saat ini lebih dibutuhkan pengelola SDA yang berpikiran lebih luas dan terintegrasi, sementara para lulusan kehutanan atau pertanian di Indonesia masih terlalu spesifik dengan spesialisanya masingmasing. Adaptasi terhadap pergeseran peluang dan tantangan yang muncul akibat adanya perubahan iklim menjadi lebih penting dari pada adaptasi terhadap pergeseran karena globalisasi pasar dan penyesuaian wewenang yang berimbang pada tingkat lokal, nasional dan internasional. Hal tersebut membutuhkan strategi pengelolaan yang berkelanjutan dan fleksibel terhadap segala bentuk perubahan (*sustainagility*) dari pada strategi pengelolaan yang berkelanjutan yang hanya mengadopsi rencana kegiatan yang telah ditetapkan sebelumnya tanpa ada peluang untuk diubah (*sustainability*). Generasi mendatang baik sebagai peneliti ataupun pimpinan. (Meine van Noordwijk, 2008)

BAB 4

PERUBAHAN IKLIM

4.1 Perubahan Iklim Masa Lalu

Perubahan iklim adalah perubahan yang terjadi dalam jangka waktu yang panjang terhadap rata-rata cuaca di suatu wilayah atau secara global. Perubahan iklim dapat diamati dalam berbagai skala waktu, mulai dari periode relatif pendek seperti musim dan tahunan, hingga periode yang lebih panjang seperti dekade, abad, bahkan ribuan tahun. Beberapa perubahan iklim terjadi secara alami, sedangkan yang lainnya diakibatkan oleh aktivitas manusia. Berikut adalah beberapa contoh perubahan iklim dari waktu ke waktu:

- a) Siklus Alamiah: Bumi telah mengalami perubahan iklim secara alami selama miliaran tahun terakhir. Perubahan orbit bumi, aktivitas gunung berapi, dan variasi dalam intensitas matahari adalah beberapa faktor alami yang berkontribusi terhadap perubahan iklim secara periodik dalam skala ribuan hingga jutaan tahun.
- b) Glasiasi dan Interglasiasi: Selama jangka waktu yang sangat panjang, Bumi mengalami periode glasiasi (Zaman Es) dan interglasiasi (periode hangat di antara zaman es). Selama zaman es, gletser meluas dan mengakibatkan penurunan suhu global, sedangkan interglasiasi ditandai dengan pencairan es dan peningkatan suhu.
- c) Siklus Milankovitch: Perubahan dalam orbit Bumi disebut Siklus Milankovitch, yang mencakup perubahan dalam eksentrisitas orbit, kemiringan sumbu bumi, dan presesi sumbu bumi. Siklus ini berkontribusi pada variasi suhu dan iklim bumi selama ribuan hingga puluhan ribu tahun.
- d) Pemanasan Global Modern: Selama abad terakhir, manusia telah menyaksikan perubahan iklim yang signifikan, terutama dalam bentuk pemanasan global. Peningkatan

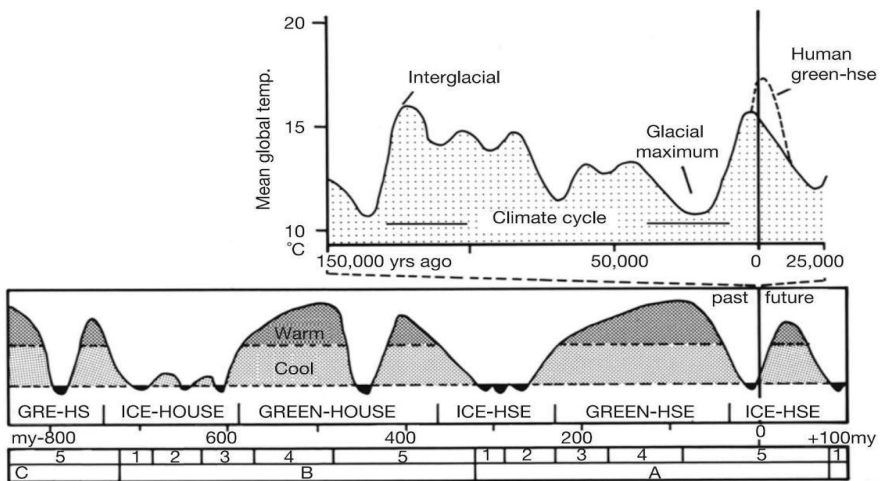
konsentrasi gas rumah kaca, seperti karbon dioksida (CO₂) dan metana (CH₄), akibat aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil dan deforestasi, telah menyebabkan peningkatan suhu rata-rata global dan perubahan iklim yang cepat dan tidak wajar.

- e) Peristiwa Iklim Ekstrem: Perubahan iklim juga mempengaruhi frekuensi dan intensitas peristiwa iklim ekstrem, seperti kejadian banjir, kekeringan, badai, dan gelombang panas yang lebih sering terjadi dan lebih parah.

Perubahan iklim dari waktu ke waktu merupakan proses kompleks yang melibatkan interaksi antara berbagai faktor fisik, kimia, dan biologis di Bumi. Penting untuk dipahami bahwa perubahan iklim alami dan perubahan iklim yang disebabkan oleh manusia dapat memiliki dampak besar bagi lingkungan dan kehidupan manusia. Oleh karena itu, kesadaran dan upaya untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengatasi perubahan iklim menjadi penting dalam menjaga keberlanjutan Bumi untuk generasi mendatang.

Perubahan iklim di masa lalu geologis telah direkonstruksi menggunakan sejumlah arsip kunci, termasuk sedimen laut dan danau, inti es, endapan gua, dan lingkaran pohon. Berbagai catatan ini mengungkapkan bahwa selama 100 juta tahun terakhir iklim Bumi telah mendingin, bergerak dari apa yang disebut 'Dunia Rumah Kaca' pada Zaman Kapur, ketika dinosaurus menikmati kondisi hangat dan lembut, hingga yang lebih dingin dan lebih dinamis 'Icehouse World' hari ini (lihat Gambar 4.1). Mungkin tampak aneh bahwa secara geologis planet kita relatif dingin, sementara keseluruhan buku ini membahas ketakutan besar kita terhadap pemanasan global. Ini karena bahkan hari ini kita memiliki lapisan es besar di Antartika dan Greenland dan es laut yang hampir permanen di Samudra Arktik. Jadi, dibandingkan dengan zaman dinosaurus, ketika tidak ada lapisan es besar, kita hidup di zaman yang dingin.

Transisi jangka panjang 100 juta tahun ke kondisi iklim global yang lebih dingin ini terutama didorong oleh perubahan tektonik, seperti pembukaan gerbang Tasmania–Antartika dan jalur Drake, yang mengisolasi Antartika dari belahan dunia lainnya, peningkatan Himalaya, dan penutupan pintu gerbang laut Panama. Ada juga bukti geologis bahwa tingkat karbon dioksida atmosfer telah menjadi jauh lebih rendah selama 100 juta tahun terakhir. Perubahan ini mencapai puncaknya pada glasiasi.



Gambar 4. 1. Anatomi perubahan iklim masa lalu

Antartika sekitar 35 juta tahun yang lalu dan kemudian zaman es besar di belahan bumi utara, yang dimulai 2,5 juta tahun yang lalu. Sejak awal zaman es utara yang hebat, iklim global telah berputar dari kondisi yang serupa atau bahkan sedikit lebih hangat dari hari ini, ke zaman es penuh, yang menyebabkan lapisan es setebal lebih dari 3 km terbentuk di sebagian besar Amerika Utara dan Eropa. Antara 2,5 dan 0,9 juta tahun yang lalu siklus glasial-interglasial ini terjadi setiap 41.000 tahun dan sejak 0,9 juta tahun yang lalu terjadi setiap 100.000 tahun. Siklus zaman es yang hebat ini terutama didorong oleh perubahan orbit Bumi terhadap matahari.

Faktanya dunia telah menghabiskan lebih dari 80% dari 2,5 juta tahun terakhir dalam kondisi yang lebih dingin dari sekarang.

Interglasial kita saat ini, Periode Holosen, dimulai sekitar 10.000 tahun yang lalu dan merupakan contoh kondisi hangat yang langka yang terjadi di antara setiap zaman es. Holosen dimulai dengan akhir yang cepat dan dramatis dari zaman es terakhir; dalam waktu kurang dari 4.000 tahun suhu global meningkat sebesar 6°C , permukaan laut relatif naik 120 m, karbon dioksida atmosfer meningkat sepertiga, dan metana atmosfer dua kali lipat. Mungkin tampak aneh dalam sebuah buku tentang pemanasan global untuk menunjukkan bahwa kita saat ini berada di 'Dunia Rumah Es' geologis. Namun, ini adalah poin penting ketika kita melihat konsekuensi dari pemanasan dunia, karena, meskipun berada dalam periode interglasial yang relatif hangat, kedua kutub masih mengalami glasiasi, yang merupakan kejadian langka dalam sejarah geologi planet kita. Antartika dan Greenland ditutupi oleh lapisan es, dan sebagian besar Samudra Arktik ditutupi oleh es laut.

Ini berarti ada banyak es yang bisa mencair di dunia yang lebih hangat, dan, seperti yang kita lihat, ini adalah salah satu ketidaktahuan terbesar yang ada di masa depan untuk planet kita. Kedua kutub yang mengalami glasiasi juga membuat gradien suhu atau perbedaan antara kutub dan Khatulistiwa menjadi sangat besar, dari rata-rata sekitar $+ 30^{\circ}\text{C}$ di Khatulistiwa hingga 35°C atau lebih dingin di kutub. Gradien suhu ini adalah salah satu alasan utama mengapa kita memiliki sistem iklim, karena kelebihan panas dari daerah tropis diekspor baik melalui lautan dan atmosfer ke kutub, yang menyebabkan cuaca kita.

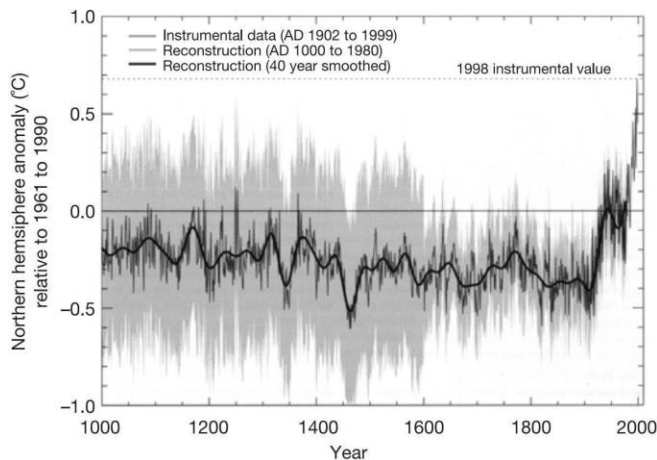
Secara geologis, saat ini kita memiliki salah satu Khatulistiwa terbesar gradien suhu kutub, yang mengarah ke sistem iklim yang sangat dinamis. Jadi kondisi 'Rumah Es' kita menyebabkan sistem cuaca kita yang sangat energik, yang dicirikan oleh angin topan, tornado, badai musim dingin ekstra-

tropis (sedang), dan monsun. James Lovelock dalam bukunya 'The Ages of Gaia' (New edition, 1995 hlm. 227) menyatakan bahwa interglasial, seperti Periode Holosen, adalah keadaan panas di planet kita, yang jelas selama 2,5 juta tahun terakhir lebih menyukai suhu rata-rata global yang lebih dingin. suhu. Lovelock melihat pemanasan global sebagai manusia hanya menambah demam. Iklim, bagaimanapun, tidak konstan selama interglasial kita, yaitu 10.000 tahun terakhir. Bukti paleoklimat menunjukkan bahwa Holosen awal lebih hangat daripada abad ke-20. Sepanjang Holosen telah terjadi peristiwa iklim skala milenial, yang disebut siklus Dansgaard-Oeschger, yang melibatkan pendinginan lokal sebesar 2°C. Peristiwa ini memiliki pengaruh yang signifikan pada peradaban klasik; misalnya, peristiwa gersang dingin sekitar 4.000 tahun yang lalu bertepatan dengan runtuhnya banyak peradaban klasik, seperti Kerajaan Lama di Mesir (lihat pembahasan di Bab 9).

Yang terakhir dari siklus iklim milenial ini adalah Zaman Es Kecil. Acara ini benar-benar dua periode dingin; yang pertama mengikuti Periode Hangat Abad Pertengahan yang berakhir seribu tahun yang lalu, dan sering disebut sebagai Periode Dingin Abad Pertengahan. Periode Dingin Abad Pertengahan berperan dalam memadamkan koloni Norse di Greenland dan menyebabkan kelaparan dan migrasi massal di Eropa.

Ini dimulai secara bertahap sebelum 1200 M dan berakhir sekitar 1650 M. Periode dingin kedua, lebih klasik disebut sebagai Zaman Es Kecil, mungkin merupakan perubahan paling cepat dan terbesar di wilayah Atlantik Utara selama Holosen akhir, seperti yang disarankan oleh catatan sedimen inti es dan laut dalam. Rekonstruksi catatan suhu selama seribu tahun terakhir mencakup Zaman Es Kecil dan merupakan data penting untuk menunjukkan bahwa dua abad terakhir sangat berbeda dari delapan abad sebelumnya (Gambar 4.2). Ada empat kumpulan data utama yang berusaha merekonstruksi suhu untuk belahan bumi utara selama milenium terakhir: lingkaran

pohon, karang, inti es, dan/ atau pengukuran langsung suhu masa lalu dari lubang bor.



Gambar 4. 2. Rekonstruksi suhu belahan bumi utara selama seribu tahun terakhir

Pertama, perlu dicatat bahwa kumpulan data yang berbeda dapat dibandingkan dengan baik satu sama lain, yang memberikan keyakinan tambahan bahwa kita melihat variasi suhu nyata dalam rekonstruksi ini. Kedua, data menunjukkan bahwa abad sebelum 1900 jauh lebih dingin. Mereka juga menunjukkan bahwa Periode Hangat Abad Pertengahan dan Zaman Es Kecil memang terjadi, tetapi di sebagian besar belahan bumi utara perubahan iklim yang terlihat hanya kecil, dengan pengecualian Eropa utara. Tanpa data ini, set data suhu instrumental selama 150 tahun terakhir tidak akan memiliki konteks. Seperti itu, sekarang dapat dengan jelas ditunjukkan bahwa suhu, setidaknya untuk belahan bumi utara, telah lebih hangat di abad ke-20 daripada waktu lainnya selama seribu tahun terakhir. Perubahan iklim baru-baru ini. Tiga indikator utama pemanasan global adalah suhu, curah hujan, dan permukaan laut. Salah satu tujuan utama para ilmuwan selama beberapa dekade terakhir adalah memperkirakan bagaimana hal ini terjadi berubah sejak revolusi industri dan untuk melihat

apakah ada bukti pemanasan global yang harus disalahkan. Di bawah ini adalah bukti untuk masing-masing parameter tersebut.

Pemanasan global (global warming) adalah suatu bentuk ketidakseimbangan ekosistem di bumi akibat terjadinya proses peningkatan suhu rata-rata atmosfer, laut, dan daratan di bumi. Selama kurang lebih seratus tahun terakhir, suhu rata-rata di permukaan bumi telah meningkat 0.74 ± 0.18 °C. Meningkatnya suhu rata-rata permukaan bumi yang terjadi adalah akibat meningkatnya emisi gas rumah kaca, seperti; karbondioksida, metana, dinitro oksida, hidrofluorokarbon, perfluorokarbon, dan sulfur heksafluorida di atmosfer. Emisi ini terutama dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar fosil (minyak bumi dan batu bara) serta akibat penggundulan dan pembakaran hutan.

Pemanasan global diperkirakan telah menyebabkan perubahan-perubahan sistem terhadap ekosistem di bumi, antara lain; perubahan iklim yang ekstrim, mencairnya es sehingga permukaan air laut naik, serta perubahan jumlah dan pola presipitasi. Adanya perubahan sistem dalam ekosistem ini telah memberi dampak pada kehidupan di bumi seperti terpengaruhnya hasil pertanian, hilangnya gletser dan punahnya berbagai jenis hewan.

Efek rumah kaca sebagai suatu sistem di bumi sangat dibutuhkan oleh makhluk hidup di bumi. Suhu atmosfer bumi akan menjadi lebih dingin jika tanpa efek rumah kaca. Tetapi, jika efek rumah kaca berlebihan dibandingkan dengan kondisi normalnya maka sistem tersebut akan bersifat merusak. Melihat sebagian besar emisi gas rumah kaca bersumber dari aktivitas hidup manusia, maka pemanasan global harus ada upaya solusinya dengan merubah pola hidup dan perilaku masyarakat dalam kehidupan sehari-hari (Ramli Utina.2009).

Perubahan iklim mengacu pada perubahan jangka panjang dalam cuaca global atau rata-rata cuaca yang terjadi selama beberapa dekade atau lebih. Indikator perubahan iklim adalah

tanda-tanda atau gejala yang dapat diukur dan diamati yang menunjukkan bahwa perubahan iklim sedang terjadi. Berikut beberapa indikator utama yang menunjukkan terjadinya perubahan iklim:

1. Peningkatan suhu global: Rata-rata suhu permukaan bumi meningkat secara signifikan selama beberapa dekade terakhir. Peningkatan ini tercermin dalam peningkatan suhu udara, suhu laut, dan suhu daratan.
2. Pemanasan lautan: Lapisan atas lautan mengalami pemanasan yang mengakibatkan peningkatan suhu permukaan laut. Pemanasan lautan menyebabkan bleaching karang, pencairan gletser, dan peningkatan tinggi permukaan laut.
3. Pencairan es dan gletser: Gletser dan lapisan es di kutub dan pegunungan mencair dengan kecepatan yang lebih tinggi dari biasanya. Hal ini menyebabkan peningkatan tinggi permukaan laut dan dampak pada ekosistem yang tergantung pada es.
4. Perubahan pola curah hujan: Beberapa wilayah mengalami peningkatan curah hujan, sementara wilayah lain mengalami kekeringan yang lebih sering dan intens.
5. Frekuensi dan intensitas bencana alam: Perubahan iklim menyebabkan peningkatan frekuensi dan intensitas bencana alam seperti banjir, kekeringan, badai, dan kebakaran hutan.
6. Perubahan pola migrasi hewan dan tumbuhan: Beberapa spesies hewan dan tumbuhan telah mulai bermigrasi ke wilayah yang lebih dingin atau lebih tinggi karena perubahan suhu dan iklim lokal.
7. Peningkatan tinggi permukaan laut: Perubahan iklim menyebabkan pencairan es kutub yang menyebabkan kenaikan permukaan laut. Hal ini dapat menyebabkan banjir laut dan ancaman bagi pulau-pulau dan daerah pesisir.

8. Perubahan ekosistem: Perubahan iklim dapat menyebabkan perubahan pada ekosistem laut dan daratan, termasuk migrasi spesies, pergeseran kawasan ekosistem, dan penurunan keragaman hayati.
9. Peningkatan keasaman laut: Penyerapan karbon dioksida oleh lautan menyebabkan peningkatan keasaman laut, yang dapat berdampak negatif pada ekosistem laut dan organisme yang memiliki cangkang kalsium, seperti terumbu karang dan moluska.
10. Perubahan pola cuaca ekstrem: Perubahan iklim telah menyebabkan peningkatan frekuensi dan intensitas cuaca ekstrem seperti gelombang panas, angin topan, dan badai.

Indikator-indikator di atas membantu ilmuwan dan pemerintah memahami dan memonitor perubahan iklim global, sehingga dapat diambil tindakan pencegahan dan mitigasi yang tepat untuk menghadapinya.

Pemanasan lautan merujuk pada proses peningkatan suhu permukaan laut di seluruh dunia. Proses ini terjadi akibat peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer, terutama karbon dioksida (CO₂), yang disebabkan oleh aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, dan industri.

Pemanasan lautan memiliki dampak yang signifikan terhadap ekosistem laut dan juga berdampak pada cuaca dan iklim global. Beberapa konsekuensi pemanasan lautan antara lain:

1. Melting Es Kutub: Peningkatan suhu lautan menyebabkan pencairan es di kutub utara dan selatan, yang menyebabkan naiknya permukaan laut dan mempengaruhi kawasan pesisir.
2. Bleaching Karang: Pemanasan lautan menyebabkan karang mengalami pemutihan (bleaching), karena kenaikan suhu dapat menyebabkan korban-korban yang hidup dalam simbiosis dengan karang untuk meninggalkannya. Bleaching yang berkepanjangan dapat menyebabkan

kematian karang dan menyebabkan kerugian besar pada ekosistem karang.

3. Peningkatan Kejadian Badai: Pemanasan lautan menyediakan energi tambahan bagi badai tropis untuk berkembang lebih kuat dan intens, yang dapat menyebabkan badai yang lebih besar, lebih sering, dan lebih berbahaya.
4. Perubahan Pola Arus Laut: Peningkatan suhu lautan dapat mempengaruhi pola arus laut global, yang dapat mempengaruhi iklim regional dan distribusi spesies laut.
5. Pengaruh Terhadap Perikanan: Perubahan suhu laut dapat mempengaruhi migrasi dan ketersediaan ikan dan spesies laut lainnya, yang berdampak pada industri perikanan dan keberlanjutan sumber daya laut.

Upaya untuk mengatasi pemanasan lautan melibatkan langkah-langkah untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan meningkatkan upaya konservasi dan restorasi ekosistem laut. Banyak negara dan organisasi internasional telah berkomitmen untuk menghadapi masalah ini dengan mengadopsi kebijakan yang berfokus pada mitigasi perubahan iklim dan melindungi keanekaragaman hayati laut.

Pencairan es dan gletser

Pencairan es dan gletser terjadi sebagai akibat dari pemanasan global yang menyebabkan peningkatan suhu di seluruh dunia. Proses ini adalah salah satu dampak utama dari perubahan iklim yang disebabkan oleh pelepasan gas rumah kaca ke atmosfer, terutama karbon dioksida (CO₂), dari aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, dan industri. Beberapa fakta terkait pencairan es dan gletser adalah sebagai berikut:

1. Kutub Utara dan Selatan: Pemanasan global menyebabkan peningkatan suhu di wilayah kutub utara dan selatan, menyebabkan pencairan es di es laut dan lapisan es di

daratan. Perubahan ini menyebabkan naiknya permukaan laut dan mempengaruhi ekosistem dan masyarakat pesisir.

2. Gletser di Pegunungan: Gletser adalah massa es tebal yang terbentuk di pegunungan. Pemanasan global menyebabkan pencairan gletser di berbagai belahan dunia. Ini berdampak pada pasokan air tawar untuk wilayah-wilayah di sekitarnya dan menyebabkan risiko banjir serta ancaman bagi masyarakat yang bergantung pada sumber air dari gletser.
3. Pengaruh pada Iklim: Pencairan es dan gletser dapat mempengaruhi iklim global dan regional. Proses ini dapat mempengaruhi pola angin, arus laut, dan pola curah hujan, yang pada gilirannya dapat menyebabkan perubahan kondisi cuaca dan iklim di berbagai wilayah.
4. Kehilangan Biodiversitas: Pencairan es dan gletser dapat berdampak negatif pada habitat dan keberlanjutan ekosistem yang ada. Hal ini dapat menyebabkan kehilangan biodiversitas dan mengancam spesies-spesies yang tergantung pada lingkungan es.

Upaya untuk mengatasi pencairan es dan gletser melibatkan tindakan mitigasi perubahan iklim yang luas, seperti mengurangi emisi gas rumah kaca, memperkuat konservasi ekosistem, dan mengadopsi praktik berkelanjutan dalam pengelolaan sumber daya alam. Selain itu, masyarakat juga dapat berperan dalam mengurangi dampak melalui konservasi air, pengurangan sampah, dan kesadaran terhadap masalah perubahan iklim secara keseluruhan.

Perubahan pola curah hujan

Perubahan pola curah hujan adalah salah satu dampak signifikan dari perubahan iklim global. Peningkatan suhu global menyebabkan perubahan dalam sirkulasi atmosfer, pola angin, dan pola distribusi air di seluruh dunia. Akibatnya, terjadi variasi dalam intensitas, frekuensi, dan distribusi curah hujan di

berbagai wilayah. Berikut adalah beberapa contoh perubahan pola curah hujan yang terjadi akibat perubahan iklim:

1. Peningkatan Banjir dan Kekeringan: Di beberapa wilayah, perubahan iklim dapat menyebabkan curah hujan yang lebih intens dan sering, yang dapat menyebabkan banjir yang parah. Di tempat lain, iklim yang lebih kering dapat menyebabkan periode kekeringan yang lebih panjang dan ekstrem.
2. Perubahan Musim Hujan dan Musim Kemarau: Pola curah hujan yang terpengaruh oleh perubahan iklim dapat mengubah musim hujan dan musim kemarau di beberapa wilayah. Beberapa daerah dapat mengalami pergeseran waktu dan durasi musim hujan, yang dapat berdampak pada pertanian, sumber daya air, dan ekosistem.
3. Peningkatan Intensitas Siklon Tropis: Perubahan iklim diyakini dapat meningkatkan intensitas badai dan siklon tropis karena lautan yang lebih hangat menyediakan lebih banyak energi bagi pembentukan dan penguatan badai.
4. Perubahan Pola Curah Hujan Monsoon: Monsoon adalah sistem angin musiman yang membawa hujan lebat ke beberapa wilayah. Pemanasan global dapat mempengaruhi monsoon dengan mengubah pola angin dan suhu laut, yang berdampak pada curah hujan musiman.
5. Pengaruh pada Pertanian dan Ketersediaan Air: Perubahan pola curah hujan dapat mempengaruhi produksi pertanian, ketersediaan air untuk konsumsi, industri, dan pertanian, serta dapat berdampak pada keamanan pangan di wilayah-wilayah tertentu.

Dampak perubahan pola curah hujan ini menuntut upaya mitigasi dan adaptasi dari pemerintah, masyarakat, dan dunia internasional. Ini melibatkan pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan, peningkatan ketahanan masyarakat terhadap bencana alam seperti banjir dan kekeringan, serta upaya untuk

mengurangi emisi gas rumah kaca untuk memperlambat laju perubahan iklim secara keseluruhan.

Perubahan iklim yang terjadi akibat pemanasan global telah berkontribusi pada perubahan frekuensi dan intensitas bencana alam di berbagai belahan dunia. Meskipun sulit untuk mengaitkan secara langsung setiap bencana alam dengan perubahan iklim, ada bukti kuat yang menunjukkan tren umum bahwa perubahan iklim telah mempengaruhi bencana alam dalam beberapa cara berikut:

1. **Peningkatan Intensitas Badai Tropis:** Peningkatan suhu permukaan laut menyediakan lebih banyak energi bagi badai tropis untuk berkembang dan menjadi lebih kuat. Dampaknya adalah peningkatan intensitas badai dan siklon tropis, seperti badai topan dan taufan, yang dapat menyebabkan kerusakan lebih parah pada wilayah pesisir dan pulau-pulau.
2. **Banjir yang Lebih Ekstrem:** Peningkatan suhu global dapat menyebabkan penguapan lebih cepat, yang dapat menyebabkan pembentukan awan lebih banyak dan intens, yang pada gilirannya dapat meningkatkan intensitas curah hujan. Dampaknya adalah potensi banjir yang lebih ekstrem di berbagai wilayah.
3. **Kekeringan yang Lebih Parah:** Di sisi lain, perubahan iklim juga dapat menyebabkan kekeringan yang lebih parah dan panjang. Peningkatan suhu dan perubahan pola curah hujan dapat mengurangi ketersediaan air di beberapa wilayah, mengancam sumber daya air dan pertanian.
4. **Peningkatan Kejadian Hujan Es dan Angin Puting Beliung:** Perubahan iklim juga telah dikaitkan dengan peningkatan kejadian hujan es yang lebih sering dan lebih besar, serta angin puting beliung yang lebih kuat.
5. **Peningkatan Risiko Kebakaran Hutan:** Peningkatan suhu dan kekeringan dapat meningkatkan risiko kebakaran hutan dan lahan, yang dapat menyebabkan kerugian besar

bagi ekosistem, sumber daya alam, dan masyarakat yang tinggal di dekat hutan.

Perubahan frekuensi dan intensitas bencana alam menuntut upaya mitigasi dan adaptasi yang lebih besar dari masyarakat dan pemerintah di seluruh dunia. Upaya untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, mengelola sumber daya alam secara berkelanjutan, dan meningkatkan ketahanan masyarakat terhadap bencana menjadi sangat penting untuk menghadapi tantangan perubahan iklim dan dampaknya pada bencana alam.

Perubahan pola migrasi hewan dan tumbuhan

Perubahan iklim global telah mempengaruhi pola migrasi hewan dan tumbuhan di seluruh dunia. Organisme hidup cenderung merespons perubahan suhu, curah hujan, dan kondisi lingkungan lainnya. Akibatnya, banyak spesies hewan dan tumbuhan mengalami perubahan perilaku migrasi mereka untuk beradaptasi dengan kondisi baru yang diakibatkan oleh pemanasan global dan perubahan iklim. Beberapa contoh perubahan pola migrasi hewan dan tumbuhan adalah sebagai berikut:

1. **Perubahan Pola Migrasi Burung:** Burung-burung sering bermigrasi untuk mencari sumber makanan dan tempat bersarang. Pemanasan global telah menyebabkan perubahan dalam pola migrasi beberapa spesies burung. Beberapa burung bermigrasi lebih awal atau lebih lambat dari biasanya, tergantung pada perubahan suhu dan ketersediaan makanan di daerah-daerah mereka.
2. **Perubahan Jalur Migrasi Ikan:** Suhu air laut yang meningkat dapat mempengaruhi migrasi ikan di lautan dan sungai. Beberapa spesies ikan dapat bermigrasi ke perairan yang lebih dingin untuk mencari suhu yang lebih sesuai dengan kebutuhan mereka. Hal ini dapat mempengaruhi tangkapan ikan dan ekosistem di perairan tertentu.

3. Perubahan Pola Migrasi Mamalia: Mamalia seperti mamut, beruang kutub, dan beberapa spesies mamalia lainnya juga telah mengalami perubahan pola migrasi mereka akibat perubahan iklim. Perubahan suhu di lingkungan mereka dapat mempengaruhi ketersediaan makanan dan kondisi lingkungan yang mereka butuhkan untuk bertahan hidup.
4. Perubahan Waktu Berbunga Tumbuhan: Perubahan suhu dan pola curah hujan juga mempengaruhi waktu berbunga beberapa tumbuhan. Beberapa tumbuhan berbunga lebih awal atau lebih lambat dari biasanya, yang dapat mempengaruhi interaksi dengan hewan penyerbuk dan rantai makanan di ekosistem tertentu.

Perubahan pola migrasi hewan dan tumbuhan ini dapat memiliki dampak luas pada ekosistem dan konservasi keanekaragaman hayati. Beberapa spesies mungkin menghadapi kesulitan dalam beradaptasi dengan perubahan kondisi lingkungan, sementara spesies lain dapat mengalami perubahan distribusi dan kompetisi dengan spesies lain yang telah ada di wilayah baru. Studi lebih lanjut tentang perubahan ini menjadi penting untuk memahami dampaknya pada kehidupan liar dan upaya konservasi untuk menghadapi tantangan perubahan iklim.

Perubahan cuaca ekstrem

Perubahan iklim global telah menyebabkan peningkatan cuaca ekstrem di berbagai belahan dunia. Cuaca ekstrem mencakup fenomena seperti badai tropis yang lebih kuat dan intens, kekeringan yang lebih parah, banjir yang lebih ekstrem, gelombang panas yang lebih sering, hujan lebat, angin kencang, dan perubahan suhu yang tajam dan tidak stabil. Berikut adalah beberapa contoh perubahan cuaca ekstrem yang terjadi akibat perubahan iklim:

1. Badai Tropis yang Lebih Intens: Peningkatan suhu permukaan laut menyediakan energi tambahan bagi badai tropis untuk berkembang lebih kuat dan intens. Akibatnya,

beberapa badai topan dan taufan menjadi lebih destruktif dan berbahaya.

2. Kekeringan yang Lebih Parah: Peningkatan suhu menyebabkan lebih banyak penguapan air, yang dapat menyebabkan kekeringan yang lebih parah dan lebih panjang di beberapa wilayah. Kekeringan yang berkepanjangan dapat menyebabkan kerugian bagi pertanian, lingkungan, dan ketersediaan air bagi masyarakat.
3. Banjir yang Ekstrem: Perubahan iklim menyebabkan perubahan pola curah hujan, yang dapat menyebabkan banjir yang lebih sering dan lebih ekstrem. Hujan lebat dalam periode singkat dapat menyebabkan banjir yang merusak dan mengancam keselamatan masyarakat dan infrastruktur.
4. Gelombang Panas yang Lebih Sering: Peningkatan suhu global menyebabkan gelombang panas yang lebih sering dan lebih ekstrem di berbagai wilayah. Gelombang panas ini dapat menyebabkan bahaya bagi kesehatan manusia, merusak tanaman, dan menyebabkan kebakaran hutan.
5. Perubahan Suhu yang Tidak Stabil: Perubahan iklim juga dapat menyebabkan fluktuasi suhu yang tajam dan tidak stabil, dengan periode suhu yang ekstrem dan tak terduga.

Perubahan cuaca ekstrem ini memiliki dampak yang serius pada lingkungan, ekonomi, dan kehidupan masyarakat. Ini menuntut upaya mitigasi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan perubahan adaptasi untuk menghadapi perubahan iklim dan cuaca ekstrem. Langkah-langkah ini melibatkan kebijakan pemerintah yang berfokus pada energi terbarukan, pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan, dan ketahanan masyarakat terhadap bencana alam yang disebabkan oleh cuaca ekstrem.

Peningkatan permukaan laut adalah salah satu dampak utama dari pemanasan global dan perubahan iklim. Akibat peningkatan suhu di seluruh dunia, gletser dan lapisan es di

kutub dan pegunungan mencair, menyebabkan air masuk ke lautan. Selain itu, perluasan air laut akibat pemanasan menyebabkan air laut menjadi lebih hangat dan volumenya meningkat. Beberapa faktor yang menyebabkan peningkatan permukaan laut adalah sebagai berikut:

1. Pelepasan Gas Rumah Kaca: Emisi gas rumah kaca, terutama karbon dioksida (CO_2), dari pembakaran bahan bakar fosil dan aktivitas manusia lainnya menyebabkan pemanasan global. Peningkatan suhu ini menyebabkan pencairan es di daratan dan permukaan laut, sehingga menyebabkan peningkatan volume air laut.
2. Pencemaran Udara: Pencemaran udara juga dapat menyebabkan pemanasan global. Partikel-partikel berbahaya dalam polusi udara dapat menyebabkan efek rumah kaca dan menyebabkan peningkatan suhu global, yang pada gilirannya menyebabkan peningkatan permukaan laut.
3. Ekspansi Termal: Pemanasan global menyebabkan air laut menjadi lebih hangat, dan air yang lebih hangat cenderung mengembang. Akibatnya, volume air laut meningkat sebagai hasil dari ekspansi termal.

Peningkatan permukaan laut memiliki dampak serius bagi ekosistem pesisir, pulau-pulau, dan wilayah-wilayah rendah di seluruh dunia. Beberapa dampaknya termasuk:

- Kerusakan Pesisir: Peningkatan permukaan laut dapat menyebabkan banjir pesisir yang sering terjadi, mengancam masyarakat yang tinggal di wilayah-wilayah pesisir dan infrastruktur yang ada.
- Intrusi Air Asin: Peningkatan permukaan laut juga dapat menyebabkan intrusi air asin ke sistem air tanah, yang dapat mengurangi ketersediaan air tawar untuk pertanian dan kebutuhan konsumsi manusia.
- Hilangnya Habitat: Perubahan iklim dan peningkatan permukaan laut dapat menyebabkan hilangnya habitat

penting seperti hutan bakau dan rawa pesisir, yang merupakan lingkungan penting bagi banyak spesies.

- Relokasi Masyarakat: Peningkatan permukaan laut telah memaksa beberapa masyarakat pesisir untuk menghadapi ancaman akibat banjir dan erosi pantai, sehingga terpaksa melakukan relokasi.

Upaya untuk mengatasi peningkatan permukaan laut melibatkan langkah-langkah mitigasi perubahan iklim, seperti mengurangi emisi gas rumah kaca, dan adaptasi untuk melindungi komunitas pesisir dan mengelola wilayah yang terdampak. Konservasi dan restorasi ekosistem pesisir juga penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan melindungi lingkungan dari dampak peningkatan permukaan laut.

Peningkatan suhu global merujuk pada kenaikan suhu rata-rata permukaan bumi secara global selama beberapa dekade terakhir. Fenomena ini merupakan salah satu dampak utama dari perubahan iklim yang terjadi di seluruh dunia.

Perubahan ekosistem

Perubahan iklim dan faktor-faktor lain seperti urbanisasi, deforestasi, polusi, dan aktivitas manusia lainnya telah menyebabkan perubahan ekosistem di seluruh dunia. Ekosistem adalah sistem kompleks yang terdiri dari interaksi antara makhluk hidup (tumbuhan, hewan, mikroorganisme) dengan lingkungan fisik (tanah, air, udara) di sekitarnya. Perubahan ekosistem dapat berdampak luas pada keanekaragaman hayati, ketersediaan sumber daya alam, dan keseimbangan ekosistem secara keseluruhan. Beberapa contoh perubahan ekosistem adalah sebagai berikut:

1. Pencairan Es dan Gletser: Perubahan iklim menyebabkan pencairan es di kutub dan pegunungan. Hal ini mempengaruhi ekosistem di wilayah tersebut, termasuk

- hewan-hewan yang tergantung pada lingkungan es dan pemadaman lautan yang mengancam kehidupan di pesisir.
2. Perubahan Habitat: Deforestasi, urbanisasi, dan perubahan penggunaan lahan lainnya menyebabkan hilangnya habitat alami bagi banyak spesies. Ekosistem hutan, rawa, dan sabana mengalami degradasi atau hilang, menyebabkan dampak serius pada flora dan fauna yang hidup di sana.
 3. Peningkatan Kematian Karang: Pemanasan global menyebabkan pemutihan karang, yang mengakibatkan kematian massal karang. Karang adalah ekosistem laut yang penting dan merupakan rumah bagi banyak spesies laut. Kematian karang mengganggu keseimbangan ekosistem laut.
 4. Perubahan Pola Migrasi Hewan dan Tumbuhan: Perubahan iklim dan lingkungan juga dapat mempengaruhi pola migrasi hewan dan tumbuhan, mengubah komposisi ekosistem di berbagai wilayah.
 5. Ekstensi Ekosistem Pesisir: Peningkatan permukaan laut mengancam ekosistem pesisir seperti hutan bakau dan rawa, yang berperan penting dalam melindungi pesisir dari banjir dan erosi.

Perubahan ekosistem dapat menyebabkan penurunan keanekaragaman hayati, kerugian ekonomi, dan berdampak pada kesejahteraan manusia secara keseluruhan. Upaya untuk menghadapi perubahan ekosistem melibatkan konservasi dan restorasi habitat alami, pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan, dan langkah-langkah mitigasi dan adaptasi untuk mengurangi dampak perubahan iklim dan aktivitas manusia pada ekosistem. Ini melibatkan kolaborasi antara pemerintah, masyarakat, dan organisasi internasional untuk menciptakan solusi yang berkelanjutan dan menjaga keseimbangan ekosistem untuk masa depan.

Peningkatan keasaman air laut adalah konsekuensi langsung dari peningkatan konsentrasi karbon dioksida (CO₂) di atmosfer, yang disebabkan oleh aktivitas manusia seperti

pembakaran bahan bakar fosil dan deforestasi. Ketika CO₂ terlarut di dalam air laut, ia bereaksi dengan molekul air membentuk asam karbonat, yang meningkatkan keasaman air laut. Proses ini dikenal sebagai "peningkatan keasaman laut" atau "penurunan pH laut." Berikut adalah beberapa poin penting terkait peningkatan keasaman air laut:

1. **Penyebab Utama:** Aktivitas manusia, terutama pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam, mengeluarkan CO₂ ke atmosfer. Sekitar 30% dari emisi CO₂ tersebut diserap oleh lautan, mengubahnya menjadi asam karbonat.
2. **Dampak pada Organisme Laut:** Peningkatan keasaman air laut dapat berdampak negatif pada organisme laut, terutama makhluk yang memiliki cangkang atau kerangka kalsium karbonat, seperti karang, moluska, dan beberapa plankton. Air laut yang lebih asam dapat menghambat pembentukan atau menyebabkan kerusakan pada struktur kalsium karbonat ini.
3. **Kerusakan pada Ekosistem Karang:** Ekosistem karang sangat rentan terhadap peningkatan keasaman air laut. Peningkatan keasaman yang berkepanjangan dapat menyebabkan pemutihan dan degradasi karang, mengancam keberlanjutan ekosistem karang dan keanekaragaman hayati laut.
4. **Efek pada Rantai Makanan:** Organisme laut yang terancam oleh peningkatan keasaman air laut mencakup berbagai hewan laut, dari plankton hingga mamalia laut. Perubahan di tingkat populasi organisme ini dapat mempengaruhi rantai makanan laut secara keseluruhan.
5. **Upaya Mitigasi:** Untuk mengurangi peningkatan keasaman air laut, sangat penting untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan membatasi laju peningkatan CO₂ di atmosfer. Upaya konservasi ekosistem laut juga diperlukan untuk melindungi organisme yang terpengaruh oleh peningkatan keasaman laut.

Peningkatan keasaman air laut merupakan salah satu dari banyak tantangan yang dihadapi ekosistem laut akibat perubahan iklim. Upaya internasional dan kerjasama global menjadi kunci untuk mengatasi masalah ini dan melindungi keanekaragaman hayati serta fungsi ekosistem laut yang sangat penting bagi kehidupan di Bumi.

Ilmuwan telah mengamati dan menganalisis data suhu global selama beberapa dekade menggunakan berbagai metode, termasuk pengukuran langsung dari stasiun meteorologi, satelit, dan perangkat lainnya. Hasil analisis menunjukkan bahwa suhu rata-rata permukaan bumi secara bertahap meningkat. Beberapa faktor yang menyebabkan peningkatan suhu global meliputi:

1. Emisi gas rumah kaca: Aktivitas manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil (seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam) untuk energi dan transportasi, serta deforestasi (penggundulan hutan), menghasilkan emisi gas rumah kaca seperti karbon dioksida (CO_2) dan metana (CH_4). Gas-gas ini mempertahankan panas di atmosfer dan menyebabkan efek pemanasan global.
2. Perubahan penggunaan lahan: Perubahan penggunaan lahan, termasuk deforestasi dan perubahan hutan menjadi lahan pertanian atau perkotaan, dapat mengurangi kemampuan alam untuk menyerap karbon dioksida dari atmosfer, sehingga meningkatkan jumlah CO_2 di atmosfer.
3. Peningkatan populasi dan industrialisasi: Pertumbuhan populasi dan aktivitas industri menghasilkan lebih banyak emisi gas rumah kaca karena meningkatkan permintaan akan energi dan produksi barang dan jasa.

Dampak peningkatan suhu global dapat berdampak luas pada lingkungan dan kehidupan manusia. Beberapa konsekuensi penting dari pemanasan global termasuk:

1. Peningkatan tinggi permukaan laut karena pencairan es kutub dan gletser, yang dapat menyebabkan banjir laut dan ancaman bagi pulau-pulau dan daerah pesisir.
2. Perubahan pola curah hujan dan kemunculan cuaca ekstrem, seperti banjir dan kekeringan yang lebih sering dan intens.
3. Pergeseran ekosistem dan pola migrasi hewan dan tumbuhan karena perubahan suhu dan iklim lokal.
4. Ancaman terhadap keanekaragaman hayati karena perubahan ekosistem dan hilangnya habitat alami.
5. Potensi gangguan pada pertanian dan ketahanan pangan karena perubahan kondisi iklim yang tidak stabil.

Peningkatan suhu global merupakan salah satu tantangan terbesar yang dihadapi umat manusia di era modern ini. Upaya mitigasi dan adaptasi perlu dilakukan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengurangi dampak negatif perubahan iklim pada lingkungan dan masyarakat.

4.2 Suhu

Seperti yang telah kita lihat, suhu di belahan bumi utara telah direkonstruksi selama seribu tahun terakhir, memberikan konteks pada abad ke-20. Suhu selama 150 tahun terakhir telah diperkirakan dari sejumlah sumber, baik indikator berbasis termometer langsung maupun berbasis proxy. Apa itu proxy? Seperti yang digunakan di sini dan di tempat lain, ini adalah kependekan dari variabel proxy. Istilah 'proxy' biasanya digunakan untuk menggambarkan stand-in atau pengganti, seperti dalam 'proxy vote' atau 'fighting by proxy'.

Dengan cara yang sama, variabel proksi dalam Bahasa klimatologi berarti 'deskriptor' terukur yang mewakili 'variabel' yang diinginkan (tetapi tidak dapat diamati), seperti suhu laut atau daratan di masa lalu. Jadi ada asumsi bahwa Anda dapat menggunakan variabel proxy untuk memperkirakan variabel iklim yang tidak dapat Anda ukur secara langsung. Jadi, seperti

yang akan kita lihat di bawah, Anda dapat menggunakan ketebalan lingkaran pohon sebagai cara untuk memperkirakan suhu tanah di masa lalu; dalam hal ini, ketebalan cincin pohon adalah proksi untuk suhu.

Indikator berbasis termometer termasuk suhu permukaan laut (SST), suhu udara laut (MAT), suhu permukaan tanah, dan suhu di atmosfer bebas, seperti yang diukur dengan sensor pada balon. Pengukuran suhu lubang bor didefinisikan sebagai berbasis proxy karena, meskipun menggunakan pengukuran suhu langsung, pengukuran ini telah diubah dari waktu ke waktu. Prosedur inversi matematis diperlukan untuk menerjemahkan suhu modern di lubang bor menjadi perubahan suhu tanah dari waktu ke waktu. Metode berbasis proxy lainnya termasuk pengukuran satelit inframerah dan lebar dan ketebalan cincin pohon. Pengukuran suhu udara berbasis termometer telah dicatat di sejumlah lokasi di Amerika Utara dan Eropa sejak tahun 1760. Jumlah lokasi pengamatan tidak bertambah hingga cakupan geografis yang cukup di seluruh dunia untuk memungkinkan rata-rata lahan global untuk dihitung sampai sekitar pertengahan abad ke-19.

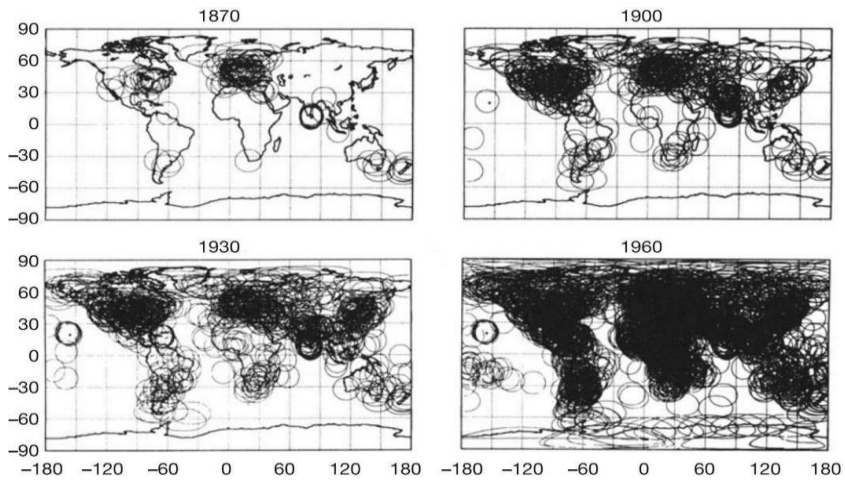
SST dan suhu udara laut secara sistematis dicatat oleh kapal dari pertengahan abad ke-19, tetapi bahkan hari ini cakupan belahan bumi selatan sangat buruk. Semua kumpulan data ini memerlukan berbagai koreksi untuk memperhitungkan perubahan kondisi dan teknik pengukuran. Misalnya, untuk data tanah setiap stasiun telah diperiksa untuk memastikan bahwa kondisinya tidak bervariasi melalui waktu sebagai akibat dari perubahan di lokasi pengukuran, instrumen yang digunakan, tempat penampungan instrumen, atau cara rata-rata bulanan dihitung, atau pertumbuhan kota di sekitar lokasi, yang mengarah pada suhu yang lebih hangat yang disebabkan oleh efek pulau panas perkotaan.

Untuk SST dan MAT ada beberapa koreksi yang harus dilakukan terapan. Pertama, hingga tahun 1941 sebagian besar pengukuran suhu SPL dilakukan di air laut yang diangkat di dek dalam ember.

Sejak tahun 1941 sebagian besar pengukuran telah dilakukan di saluran masuk air mesin kapal. Kedua, antara tahun 1856 dan 1910 terjadi pergeseran dari ember kayu ke ember kanvas, yang mengubah jumlah pendinginan yang disebabkan oleh penguapan yang terjadi saat air diangkat ke geladak. Selain itu, selama periode ini terjadi pergeseran bertahap dari kapal layar ke kapal uap, yang mengubah ketinggian geladak kapal dan kecepatan kapal, yang keduanya dapat mempengaruhi pendinginan evaporatif ember.

Koreksi kunci lainnya yang harus dilakukan adalah untuk distribusi global stasiun meteorologi melalui waktu. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14, jumlah stasiun dan lokasinya sangat bervariasi dari tahun 1870 hingga 1960. Tetapi dengan melakukan koreksi ini dimungkinkan untuk menghasilkan rekaman udara permukaan darat dan suhu SPL secara terus menerus selama 130 tahun terakhir, yang menunjukkan pemanasan global $0,65^{\circ}\text{C} \pm 0,05^{\circ}\text{C}$ selama periode ini

Yang menarik dari kumpulan data suhu 130 tahun adalah detailnya, terutama seperti yang disebutkan sebelum pendinginan yang diamati pada 1960-an dan 1970-an. Salah satu tes kunci untuk model iklim, yang digunakan untuk memprediksi perubahan iklim di masa depan, adalah apakah mereka dapat mereproduksi perubahan yang terlihat sejak tahun 1870. Model-model ini dibahas secara lebih dalam bab berikutnya tetapi perlu dicatat bahwa hanya dengan menggabungkan kekuatan alam (seperti siklus 11-tahun matahari dan aerosol stratosfer dari letusan gunung berapi yang eksplosif), dan kekuatan antropogenik (gas rumah kaca dan aerosol belerang) catatan suhu dapat disimulasikan. Selama 40 tahun terakhir, data balon telah tersedia.



Gambar 4. 3. Distribusi stasiun meteorologi global

Pada tahun 1958 jaringan awal dari 540 stasiun didirikan untuk melepaskan rawindsondes, atau balon, yang secara teratur dilepaskan untuk mengukur suhu, kelembaban relatif, dan tekanan melalui atmosfer ke ketinggian sekitar 20 km, di mana mereka meledak. Pada 1970-an jaringan telah berkembang menjadi 700-800 stasiun melaporkan dua kali sehari. Kumpulan data balon menunjukkan permukaan umum dan pemanasan troposfer bawah selama 30 tahun terakhir sekitar $0,1-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ tahun}$, sementara pendinginan lemah terlihat di troposfer atas dan pendinginan kuat di stratosfer.

Catatan proxy berbasis satelit telah tersedia selama 20 tahun terakhir dan telah menjadi sumber dari beberapa kontroversi utama dalam perdebatan pemanasan global. Keuntungan dari sensor gelombang mikro yang dipasang di satelit adalah bahwa mereka memiliki jangkauan global, tidak seperti balon yang sebagian besar berbasis darat dan di belahan bumi utara. Namun demikian, ada beberapa masalah utama dengan kumpulan data gelombang mikro. Pertama, catatan suhu didasarkan pada delapan satelit yang berbeda, dan meskipun waktu pengukuran tumpang tindih, interkalibrasi antara

instrumen yang berbeda bermasalah Kedua, ada tren pemanasan palsu setelah tahun 1990 sebesar $0,03-0,04^{\circ}\text{C}$ yang disebabkan oleh pergeseran waktu orbit, dan tren pendinginan palsu sebesar $0,12^{\circ}\text{C/dekade}$ karena berkurangnya ketinggian atau ketinggian satelit yang disebabkan oleh gesekan dengan atmosfer. Ketiga, ketinggian di dalam atmosfer di mana sensor gelombang mikro mengukur suhu dipengaruhi oleh jumlah kristal es dan tetesan hujan di atmosfer. Oleh karena itu, jika planet memanas, kelembaban akan ditemukan di ketinggian yang tinggi, dan sensor gelombang mikro sebenarnya akan mengukur suhu yang jauh lebih tinggi di atmosfer, yaitu di bagian troposfer yang lebih dingin, sehingga memberikan suhu yang lebih kecil. Meningkat dari yang sebenarnya terjadi. Tidak mengherankan bahwa laporan tentang tren suhu global yang direkam satelit selama 30 tahun terakhir telah berubah, karena setiap makalah baru yang diterbitkan mengandung koreksi lain yang harus dipertimbangkan. Misalnya, kontroversi besar terjadi ketika Christy et al. (1995) menyimpulkan tren pendinginan rata-rata global $0,05^{\circ}\text{C/dekade}$ untuk periode 1979-1994, tetapi memperoleh tren pemanasan $0,09^{\circ}\text{C/dekade}$ selama periode ini dengan menghilangkan efek El Nino dan efek iklim dari letusan Gunung Pinatubo. Ketika kumpulan data dikoreksi untuk penurunan ketinggian satelit, pendinginan rata-rata global berubah menjadi pemanasan $0,07^{\circ}\text{C/dekade}$. Jika data balon, permukaan, dan satelit dibandingkan, ada beberapa kesepakatan yang menunjukkan bahwa permukaan dan troposfer bawah telah memanas, sedangkan stratosfer telah mendingin. Ringkasan yang sangat baik dari koreksi yang telah dilakukan untuk setiap kumpulan data dan mengapa mereka diterapkan dapat ditemukan di Harvey (2000).

Panel Antarpemerintah tentang Perubahan Iklim (IPCC) telah mengumpulkan semua suhu permukaan laut dan udara permukaan yang diterbitkan dari tahun 1861 hingga 1998, dengan semua koreksi yang dibahas di atas. Data ini ditunjukkan relatif terhadap suhu rata-rata antara tahun 1961 dan 1990

pada Gambar 13, dan, seperti yang Anda lihat, telah terjadi pemanasan yang tajam sejak awal tahun 1980-an dan seterusnya. Rata-rata suhu permukaan global telah meningkat sekitar 0,3 hingga 0,6°C sejak akhir abad ke-19. Termasuk bukti dari balon dan satelit, tampaknya ada peningkatan 0,2 hingga 0,3°C selama 40 tahun terakhir, yang merupakan periode dengan data yang paling dapat diandalkan.

Tahun-tahun terakhir telah menjadi salah satu yang terpanas sejak 1860 – periode di mana rekaman instrumental tersedia. Pemanasan ini terbukti di udara permukaan laut dan darat suhu. Indikator tidak langsung, seperti suhu lubang bor dan penyusutan gletser, memberikan dukungan independen untuk pemanasan yang diamati. Perlu juga dicatat bahwa pemanasan belum merata secara global. Pemanasan baru-baru ini terbesar terjadi antara garis lintang 40°LU dan 70°LU, meskipun beberapa daerah seperti Samudra Atlantik Utara telah mendingin dalam beberapa dekade terakhir.

Analisis suhu permukaan laut/SPL (Sea Surface Temperature– SST) telah dilakukan di perairan Indonesia untuk melihat hubungannya dengan pemanasan global. Data yang digunakan adalah data suhu permukaan laut (sumber: National Centers for Environmental Prediction, National Weather Service, NOAA) dalam bentuk grid format ASCII selama 32 tahun (1982 – 2014), dengan skala spasial 10 x 10 geografis dan skala temporal mingguan. Analisis dilakukan dengan dua cara yaitu analisis temporal dan spasial. Analisis temporal untuk melihat trend dari anomali suhu permukaan laut rerata beberapa wilayah tertentu, sedangkan analisis spasial untuk melihat wilayah yang mengalami kenaikan suhu permukaan laut dan sebaliknya. Hasil analisis menunjukkan bahwa selama lebih 32 tahun telah terjadi peningkatan suhu permukaan Lautan di wilayah Indonesia yang bervariasi. Kenaikan suhu permukaan laut (SPL) yang paling besar terjadi di Lautan Pasifik Barat di sebelah utara Papua. Secara umum dapat dilihat bahwa anomali SPL di wilayah Indonesia terbagi menjadi anomali positif dan negatif yang

terpisah di belahan bumi bagian selatan dan belahan bumi bagian utara (M. Djazim Syaifullah, 2015).

4.3 Curah Hujan

Ada dua set data curah hujan global: 'Hulme' dan 'Global Historical Climate Network' (GHCN). Sayangnya, tidak seperti suhu, catatan curah hujan dan salju tidak didokumentasikan dengan baik dan catatan tidak dilakukan selama itu. Juga diketahui bahwa curah hujan di atas tanah cenderung diremehkan hingga 10-15% karena efek aliran udara di sekitar cawan pengumpul. Realisasi dan koreksi bertahap dari efek ini telah menghasilkan tren kenaikan palsu dalam curah hujan global.

Setelah koreksi, terjadi peningkatan curah hujan secara keseluruhan sebesar 1% di atas tanah, yang sangat kecil sehingga tidak dapat dibedakan dari nol, yaitu tidak ada perubahan. Pandangan rinci menunjukkan bahwa, mengambil rata-rata di atas permukaan tanah bumi, curah hujan meningkat dari awal abad hingga sekitar tahun 1960, tetapi telah menurun sejak sekitar tahun 1980. Tetapi sekali lagi, seperti kumpulan data utama tentang pemanasan global, kita memiliki kesenjangan yang sangat besar, yang disebabkan oleh kurangnya data tentang curah hujan di atas lautan. Namun, yang diamati adalah beberapa perubahan signifikan di tempat terjadinya presipitasi (Gambar 4.4).

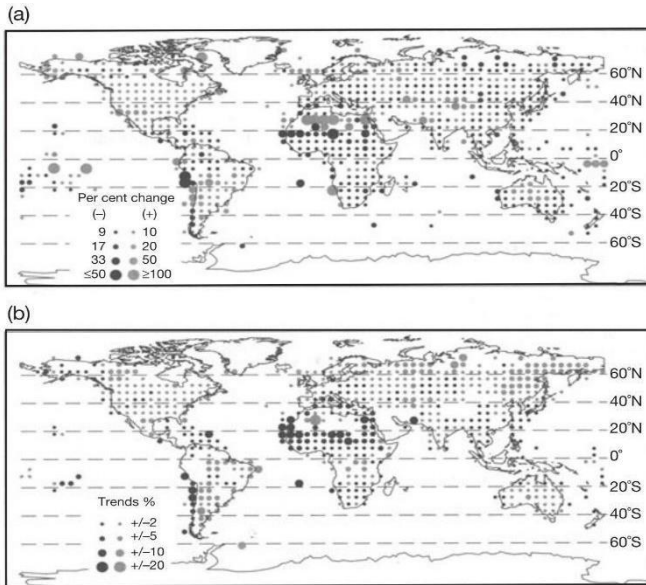
Tampaknya curah hujan telah meningkat di atas tanah di lintang tinggi di belahan bumi utara, terutama selama musim dingin. Satu studi juga menunjukkan bahwa ada peningkatan jumlah hujan yang turun selama peristiwa hujan lebat, terutama di Amerika Serikat, bekas Uni Soviet, dan Cina. Penurunan curah hujan terjadi setelah tahun 1960-an di daerah subtropis dan tropis mulai dari Afrika hingga Indonesia. Perubahan ini konsisten dengan analisis data yang tersedia tentang perubahan aliran sungai, ketinggian danau, dan permukaan tanah. Dalam

hal hujan salju, Antartika adalah pemenang besar dengan peningkatan 5–20% selama dua dekade terakhir, sementara Greenland telah kehilangan sekitar 20% dari akumulasi saljunya selama 50 tahun terakhir.

Pemanasan global diduga terjadi semenjak awal revolusi industri (akhir abad ke-18 dan awal abad ke-19) yang menyebabkan terjadinya peningkatan suhu udara di permukaan bumi. Pengaruh pemanasan global tidak sama di setiap tempat, untuk itu perlu diteliti lebih lanjut sejauh mana pengaruhnya terhadap suhu udara dan curah hujan di Indonesia. Penggunaan data CRU tahun 1901 sampai 2000 bertujuan untuk melihat perubahan anomali suhu udara rata-rata tahunan dan anomali curah hujan rata-rata tahunan di Indonesia pada abad ke-20. Perubahan iklim yang terjadi di Indonesia tidak terlalu besar, dimana suhu udara rata-rata tahunan mengalami peningkatan hampir mencapai 0,1 oC per tahun. Curah hujan tahunan telah berkurang 2 hingga 3 persen per tahun di seluruh Indonesia sejak abad ke-20. Pada dasarnya curah hujan di berbagai wilayah Indonesia masih sangat dipengaruhi oleh kejadian ENSO terutama Jawa dan Bali. (Nur Febrianti, 2018)

4.4 Permukaan Laut Relative

IPCC juga telah mengumpulkan satu set data penting dari permukaan laut. Secara umum menunjukkan bahwa selama 100 tahun terakhir, permukaan laut global telah meningkat sekitar 4 sampai 14 cm (Gambar 16). Tetapi perubahan permukaan laut sulit diukur, karena perubahan permukaan laut relatif sebagian besar berasal dari data pengukur pasang surut. Dalam sistem pengukur pasang surut konvensional, permukaan laut diukur relatif terhadap patokan pengukur pasang surut berbasis darat. Masalah utama adalah bahwa permukaan tanah jauh lebih dinamis dari yang diharapkan, dengan banyak gerakan vertikal, dan ini dimasukkan ke dalam pengukuran.



Gambar 4. 4. Perubahan curah hujan di daratan a) 1955–1974 hingga 1975–1994 dan b) 1900 hingga 1994

Gerakan vertikal dapat terjadi sebagai akibat dari pemadatan geologis sedimen delta yang normal, penarikan air tanah dari akuifer pantai (keduanya dibahas secara lebih rinci di Bab 6, bagian Garis Pantai), pengangkatan yang terkait dengan tumbukan lempeng tektonik (yang paling ekstrim dari yang merupakan bangunan gunung seperti Himalaya), atau rebound postglacial yang sedang berlangsung dan kompensasi di tempat lain yang terkait dengan akhir zaman es terakhir. Yang terakhir ini disebabkan oleh pemindahan berat yang cepat ketika raksasa lapisan es mencair, sehingga tanah yang telah terbebani perlahan-lahan kembali ke posisi semula.

Contohnya adalah Skotlandia, yang naik dengan kecepatan 3 mm/tahun sementara Inggris masih tenggelam dengan kecepatan 2 mm/tahun, meskipun lapisan es Skotlandia telah mencair 10.000 tahun yang lalu. Sekali lagi, dengan

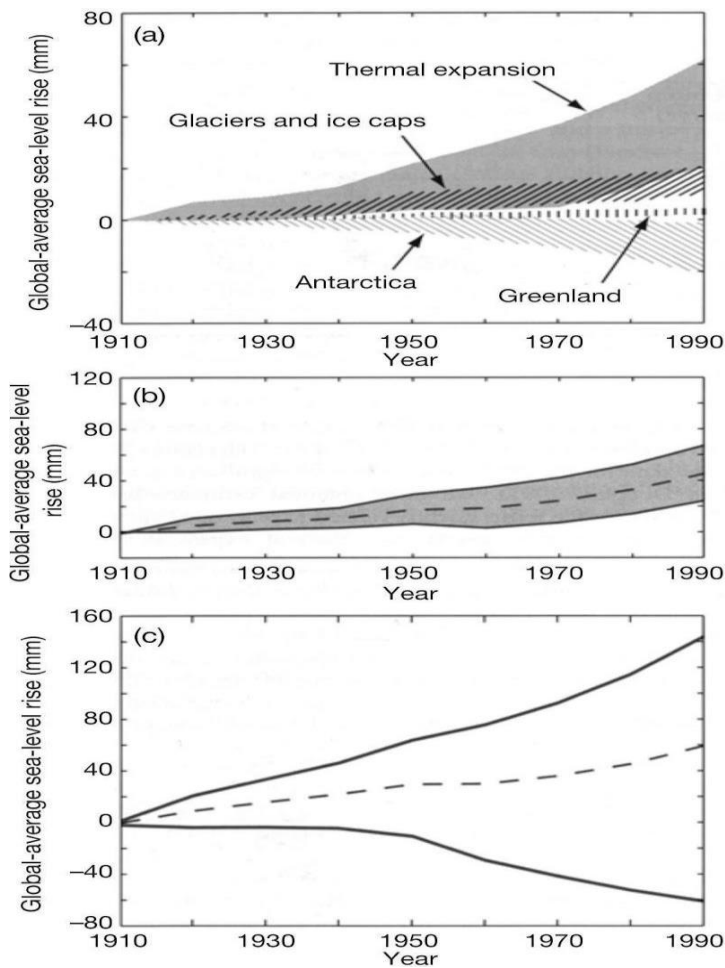
menggunakan sejumlah koreksi, jaringan pengukur pasang surut global menunjukkan bahwa kenaikan permukaan laut sejak awal abad ke-20 bisa mencapai 18 cm ($\sim 1,8 \pm 0,1$ mm/tahun). Pada skala waktu ini, pemanasan dan ekspansi termal yang diakibatkan dari lautan dapat menyebabkan sekitar 2-7 cm dari kenaikan permukaan laut yang diamati, sedangkan penurunan gletser yang diamati dapat mencapai sekitar 2-5 cm.

Faktor lain lebih sulit untuk diukur. Tingkat kenaikan permukaan laut yang diamati menunjukkan bahwa mungkin ada kontribusi positif bersih dari lapisan es besar Greenland dan Antartika, tetapi pengamatan lapisan es ini menunjukkan bahwa mungkin ada ekspansi bersih yang berkontribusi 0,05 mm /tahun terhadap permukaan laut global selama 100 tahun terakhir. Lapisan es tetap menjadi sumber utama ketidakpastian dalam memperhitungkan perubahan permukaan laut di masa lalu karena data yang tidak mencukupi tentang lapisan es ini selama 100 tahun terakhir.

Salah satu pemanasan global terbesar yang tidak diketahui adalah apakah lapisan es besar di atas Greenland dan Antartika akan mencair. Indikator kunci dari ekspansi atau kontraksi lapisan es ini adalah es laut yang mengelilinginya. Keadaan kriosfer (atau es global) sangat penting, karena menyusutnya es di darat menyebabkan permukaan laut naik.

Sayangnya, kapal selam telah mencatat penipisan lapisan es kutub yang mengkhawatirkan. Sea-ice draft adalah ketebalan bagian es yang terendam di bawah laut. Oleh karena itu, untuk memahami efek pemanasan global pada kriosfer, penting untuk mengukur seberapa banyak es yang mencair di daerah kutub. Perbandingan data draft es laut yang diperoleh pada pelayaran kapal selam antara tahun 1993 dan 1997 dengan data serupa yang diperoleh antara tahun 1958 dan 1976 menunjukkan bahwa rata-rata draft es pada akhir musim lelehan telah berkurang sekitar 1,3 m di sebagian besar bagian perairan

dalam. Samudra Arktik, dari 3,1 m pada tahun 1958 76 menjadi 1,8 m pada 1990-an.



Gambar 4. 5. Perkiraan kenaikan permukaan laut 1910-1990

Singkatnya, draft es di tahun 1990-an sudah berakhir meter lebih tipis dari dua sampai empat dekade sebelumnya. Draf utama memiliki berkurang dari lebih dari 3 meter menjadi kurang dari 2 meter dan volumenya turun sekitar 40%. Selain itu, pada tahun 2000, untuk pertama kalinya dalam sejarah, sebuah lubang yang cukup besar terlihat dari ruang terbuka di lautan es di atas Kutub Utara. Sayangnya, karena catatan satelit sangat singkat, kita tidak tahu apakah ini merupakan kejadian alam yang sering terjadi atau indikasi pencairan es laut Arktik yang signifikan. Selain itu, pengukuran ukuran Greenland menunjukkan bahwa itu menyusut, terutama di tepi pantainya.

Kenaikan muka air laut relative di Indonesia rerata sebesar 0,73-0,76 cm per tahun, perubahan iklim dan pemanasan global terjadi akibat temperatur udara oleh konsentrasi gas-gas tertentu yang dikenal dengan rumah kaca. Hal ini dapat menimbulkan masalah pada wilayah pesisir seperti pada Kecamatan Medan Belawan adalah salah satu dari 21 kecamatan yang berada di kota Medan, provinsi Sumatera Utara, Indonesia. Kecamatan Medan Belawan. Kecamatan Medan Belawan terdiri dari 6 kelurahan yaitu: Kelurahan Belawan Bahagia, Kelurahan Bagan Deli, Kelurahan Belawan, Kelurahan Belawan II, Kelurahan Belawan Bahari, Kelurahan Sicanang. Oleh karena itu di butuhkan sebuah prediksi untuk mengetahui dan mengantisipasi dari kenaikan muka air laut. Pada penelitian ini di khususkan membuat sebuah peta proyeksi untuk beberapa tahun kedepan untuk wilayah Kecamatan Medan Belawan.

Penelitian ini mengolah data primer yang berupa data pengamatan langsung selama 15 hari pada bulan September 2021, untuk data sekunder berupa data existing pasang surut air laut pada tahun 2011- 2020 yang dapat di peroleh dari Badan Informasi Geospasial dengan metode Admiralty, untuk peta proyeksi menggunakan berupa data DEMNAS dengan bantuan aplikasi QGIS. Berdasarkan hasil analisis Admiralty, dapat disimpulkan tren permukaan laut relative di perairan Kecamatan Medan Belawan mengalami kenaikan setiap

tahunnya sebesar 1,4769 cm/tahun (Pulungan, Muhammad Aqil, 2022).

4.5 Bukti Lain Untuk Pemanasan Global

Bukti lain untuk pemanasan global berasal dari daerah permafrost dan pola cuaca seperti catatan badai tertentu. Di daerah lintang tinggi dan dataran tinggi ada permafrost, di mana sangat dingin sehingga tanah membeku hingga sangat dalam. Selama bulan-bulan musim panas hanya sekitar satu meter atas lapisan es yang cukup hangat untuk mencair, dan ini disebut lapisan aktif. Sudah di Alaska tampaknya telah terjadi pemanasan 3°C hingga setidaknya satu meter selama 50 tahun terakhir, menunjukkan bahwa lapisan aktif telah menjadi lebih dalam.

Dengan perkiraan peningkatan besar-besaran CO₂ di atmosfer di masa depan, kemungkinan akan ada peningkatan ketebalan lapisan aktif permafrost atau mungkin, di beberapa daerah, hilangnya sama sekali apa yang disebut permafrost terputus-putus selama abad berikutnya.. Hilangnya lapisan es yang meluas ini akan menghasilkan berbagai masalah besar di daerah setempat, karena akan memicu erosi atau subsidensi, mengubah proses hidrologi, dan melepaskan lebih banyak lagi CO₂ dan metana yang terperangkap sebagai bahan organik di lapisan beku ke atmosfer. Oleh karena itu, perubahan lapisan es akan mengurangi stabilitas lereng dan dengan demikian meningkatkan kejadian longsor dan longsor. Kriosfer yang lebih dinamis akan meningkatkan bahaya alam bagi manusia, struktur, dan hubungan komunikasi. Sudah bangunan, jalan, pipa, seperti pipa minyak di Alaska, dan hubungan komunikasi sedang terancam.

Ada juga bukti bahwa pola cuaca kita berubah. Untuk misalnya, dalam beberapa tahun terakhir badai besar dan banjir berikutnya telah melanda Cina, Italia, Inggris, Korea, Bangladesh, Venezuela, dan Mozambik. Di Inggris pada tahun 2000, banjir yang diklasifikasikan sebagai 'peristiwa sekali dalam 30 tahun'

terjadi dua kali dalam bulan yang sama. Selain itu, musim dingin 2000/1 adalah enam bulan terbasah yang tercatat di Inggris sejak pencatatan dimulai pada abad ke-18, sementara pada musim panas 2003 Inggris mencatat suhu 100 °F pertama sejak pencatatan dimulai. Selain itu, rata-rata burung Inggris bersarang 12 ± 4 hari lebih awal dari 30 tahun yang lalu. Spesies serangga – termasuk lebah dan rayap – yang membutuhkan cuaca hangat untuk bertahan hidup bergerak ke utara, dan beberapa telah mencapai Inggris dengan menyeberangi Selat dari Prancis. Gletser di Eropa sedang mundur, terutama di Pegunungan Alpen dan Islandia. Catatan tutupan es dari Sungai Tornio di Finlandia, yang tercatat sejak tahun 1693, menunjukkan bahwa pencairan musim semi dari sungai beku itu sekarang terjadi sebulan sebelumnya.

Ada juga bukti bahwa lebih banyak badai terjadi di belahan bumi utara. Ketinggian gelombang di Samudra Atlantik Utara telah dipantau sejak awal 1950-an, dari kapal suar, Stasiun Cuaca Laut, dan yang terbaru dari satelit. Antara tahun 1950-an dan 1990-an, tinggi gelombang rata-rata meningkat dari 2,5 menjadi 3,5 m, meningkat 40%. Intensitas badai adalah kontrol utama atas tinggi gelombang, yang memberikan bukti peningkatan aktivitas badai selama 40 tahun terakhir. Hal ini didukung oleh ilmuwan Jerman yang menyarankan bahwa gelombang laut yang dihasilkan badai yang menghantam pantai Eropa menghasilkan getaran gelombang panjang yang ditangkap oleh peralatan sensitif yang dipasang untuk merekam gempa bumi. Dari bukti ini mereka menghitung jumlah hari badai per bulan selama musim dingin. Tampaknya selama 50 tahun terakhir ini telah meningkat dari tujuh menjadi 14 hari per bulan. Hal ini juga sesuai dengan peningkatan yang teramati pada siklon ekstratropis musim dingin, yaitu yang terjadi di pertengahan garis lintang, yang telah meningkat secara nyata selama seratus tahun terakhir, dengan peningkatan yang signifikan baik di sektor Pasifik maupun Atlantik sejak awal

1970-an. Namun, sebaliknya, terjadi sedikit penurunan jumlah badai selama 50 tahun terakhir.



Gambar 4. 6. Banjir Mozambik tahun 2000

Pemanasan Global adalah kejadian meningkatnya suhu rata-rata atmosfer, laut dan daratan bumi. Peneliti dari Center for International Forestry Research (CIFR) menjelaskan bahwa pemanasan global adalah kejadian terperangkapnya radiasi gelombang panjang matahari (gelombang panas atau infra merah) yang dipancarkan ke bumi oleh gas rumah kaca. Gas rumah kaca ini secara alami terdapat di udara (atmosfer). Sedangkan efek rumah kaca adalah istilah yang digunakan untuk panas yang terperangkap di alam atmosfer bumi dan tidak bisa menyebar. Pemanasan global merupakan suatu fenomena global yang dipicu oleh kegiatan manusia terutama yang berkaitan dengan penggunaan bahan fosil dan kegiatan alih guna lahan.

Kegiatan tersebut menghasilkan gas-gas yang semakin lama semakin banyak jumlahnya di atmosfer, terutama gas karbon dioksida (CO_2) melalui proses yang disebut efek rumah

kaca. Istilah Efek rumah kaca (*greenhouse effect*) merupakan istilah yang cukup erat kaitannya dengan pemanasan global. Disebut dengan efek rumah kaca karena adanya peningkatan suhu bumi akibat suhu panas yang terjebak di dalam atmosfer bumi.

Prosesnya mirip seperti rumah kaca yang berfungsi untuk menjaga kehangatan suhu tanaman di dalamnya. Peningkatan suhu dalam rumah kaca terjadi karena adanya pantulan sinar matahari oleh benda-benda yang ada di dalam rumah kaca yang terhalang oleh dinding kaca, sehingga udara panas tidak dapat keluar (*greenhouse effect*). (Vivi Triana, 2008).

4.6 Tinjauan Para Skeptis

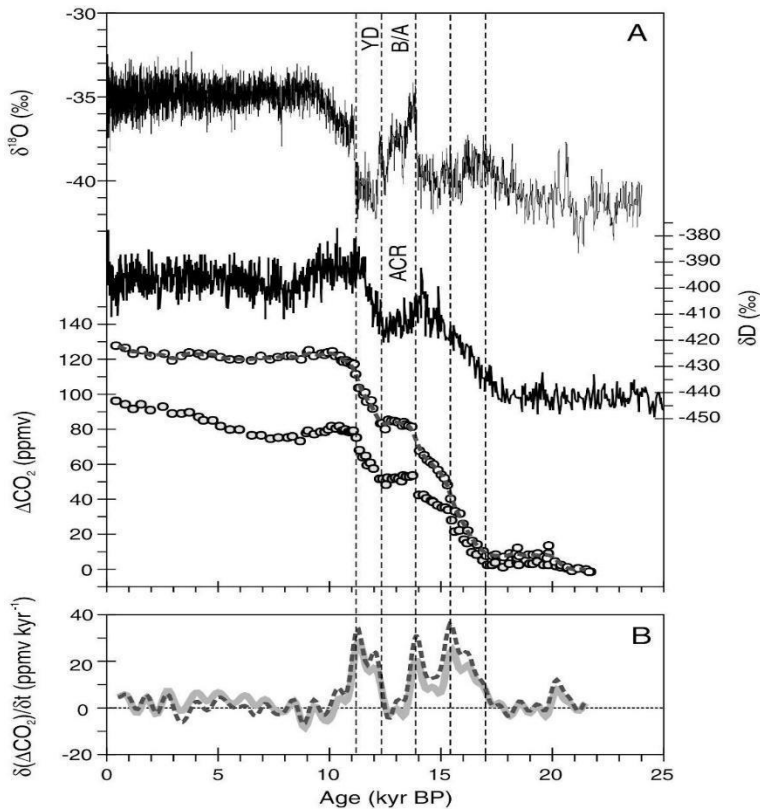
Salah satu cara terbaik untuk merangkum bukti pemanasan global dan untuk meyakinkan Anda, pembaca, bahwa ada bukti bahwa umat manusia telah mengubah iklim global, adalah dengan meninjau apa yang dikatakan oleh para skeptis terhadap hipotesis pemanasan global:

Data inti es menunjukkan CO₂ atmosfer merespons suhu global, oleh karena itu, CO₂ atmosfer tidak dapat menyebabkan perubahan suhu global. Pemeriksaan rinci data CO₂ inti es pada akhir periode glasial terakhir menunjukkan bahwa peningkatan bertahap besar terjadi pada saat yang sama dengan pemanasan di Antartika. Diketahui bahwa selama de-glaciation terakhir, pemanasan bertahap di Antartika terjadi sebelum pemanasan seperti langkah di belahan bumi utara (Gambar 4.7).

Oleh karena itu, ada bukti yang sangat baik bahwa karbon dioksida atmosfer meningkat sebelum suhu global secara keseluruhan naik dan lapisan es mulai mencair. Faktanya, ada bukti jelas bahwa suhu Antartika dan tingkat karbon dioksida atmosfer berada dalam satu langkah (Gambar 4.7), menunjukkan peran sentral karbon dioksida sebagai penguat iklim. Selain itu, analisis deret waktu dari empat siklus glasial-interglasial terakhir oleh Profesor Shackleton di Universitas

Cambridge menunjukkan respons karbon dioksida atmosfer hingga 5.000 tahun sebelum variasi lapisan es global.

Hal ini telah mendorong banyak ahli paleoklimatologi untuk mengevaluasi kembali peran karbon dioksida atmosfer, menempatkannya sekarang sebagai kekuatan pendorong utama iklim masa lalu alih-alih respons dan umpan balik sekunder. Setiap kumpulan data yang menunjukkan pemanasan global telah diperbaiki atau diubah untuk mencapai hasil yang diinginkan. Bagi orang-orang yang tidak secara teratur terlibat dalam sains, ini tampaknya menjadi masalah terbesar dengan seluruh argumen 'pemanasan global telah terjadi'. Seperti yang telah saya tunjukkan, semua kumpulan data yang mencakup 150 tahun terakhir memerlukan semacam penyesuaian. Ini, bagaimanapun, adalah bagian dari proses ilmiah.



Gambar 4. 7. Catatan inti es menunjukkan CO2 sefase dengan pemanasan Antartika.

Misalnya, jika perhatian besar tidak diambil atas tren palsu dalam basis data curah hujan global, sekarang kita akan berasumsi bahwa curah hujan global meningkat. Selain itu, ketika sains bergerak maju secara bertahap, ia memperoleh lebih banyak pemahaman dan wawasan tentang kumpulan data yang dibangunnya. Pertanyaan terus-menerus terhadap semua data dan interpretasi ini adalah kekuatan inti sains: setiap koreksi atau penyesuaian baru disebabkan oleh pemahaman yang lebih besar tentang data dan sistem iklim dan dengan demikian setiap studi baru menambah kepercayaan yang kita miliki dalam hasil.

Inilah sebabnya mengapa laporan IPCC mengacu pada 'bobot bukti', karena kepercayaan kami pada sains meningkat jika hasil serupa diperoleh dari sumber yang sangat berbeda.

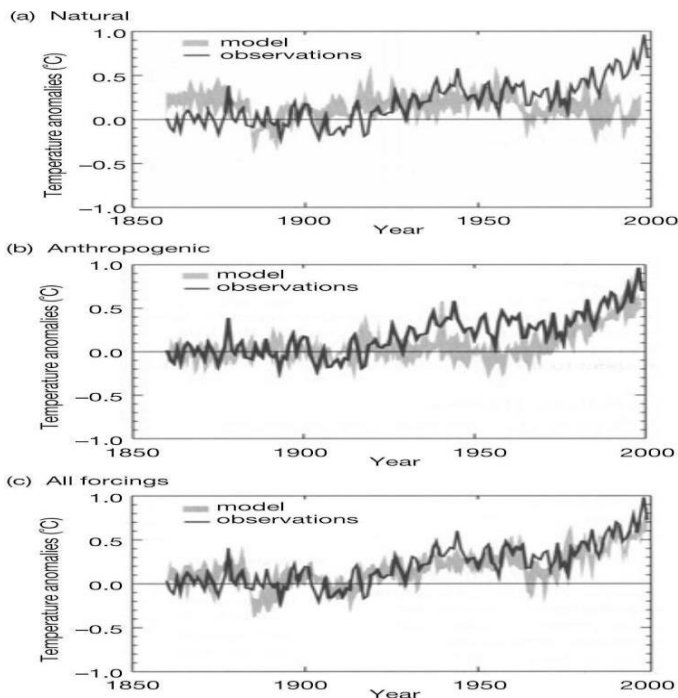
Survei Ipsos menunjukkan skeptisisme atau ketidakpercayaan terhadap pemanasan global meningkat menjadi 34% pada 2021. Ini meningkat dari 32% pada 2020 dan 31% pada 2019. Arab Saudi menjadi negara dengan persentase penduduk yang tidak percaya terhadap pemanasan global tertinggi. Sebanyak 59% penduduk Arab Saudi mengaku skeptis tentang pemanasan global. Persentase ini bahkan meningkat dari 51% pada 2020. Selanjutnya, Norwegia memiliki 47% penduduk yang skeptis. Amerika Serikat berada di peringkat ketiga dengan 46% penduduk yang skeptis, turun dari 52% pada 2020. Uni Emirat Arab memiliki 43% penduduk yang skeptis dengan pemanasan global. Australia berada di peringkat kelima dengan 42% penduduk yang skeptis. Laporan Ipsos menyebut ketidakpercayaan terhadap pemanasan global tercatat masih kuat di negara-negara yang lebih banyak bergantung dengan bahan bakar fosil. Skeptisisme di Amerika Serikat juga sempat meroket di akhir kepemimpinan Trump pada 2020. Survei ini melibatkan 24.000 responden berusia 16 tahun ke atas yang tersebar di 30 negara. Survei dilakukan selama 30 Agustus hingga 9 September 2021 (Reza Pahlevi, 2022)

4.7 Output Matahari dan Aktivitas Bintik Matahari Mengontrol Suhu Masa Lalu.

Ini adalah sesuatu yang disepakati oleh para skeptis dan non-skeptis. Tentu saja bintik matahari dan juga aktivitas vulkanik mempengaruhi suhu di masa lalu. Misalnya, pendinginan tahun 1960-an dan 1970-an jelas terkait dengan perubahan siklus bintik matahari. Perbedaan antara kedua kubu adalah bahwa para skeptis lebih menekankan pentingnya variasi alami ini. Meskipun sangat hati-hati telah diambil untuk memahami bagaimana variasi kecil dalam output matahari mempengaruhi iklim global, ini masih salah satu daerah yang mengandung banyak hal yang tidak diketahui dan

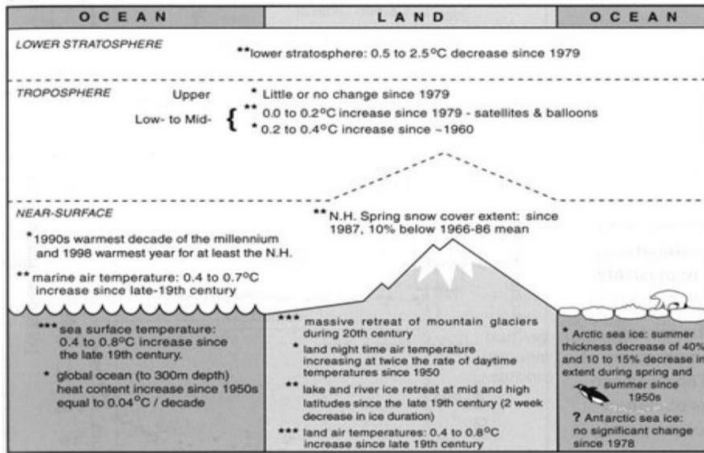
ketidakpastian. Namun, model iklim yang menggabungkan pengetahuan mutakhir kami tentang semua pemaksaan radiasi, termasuk gas rumah kaca (lihat Tabel 1 pada halaman 16 dan 17) dan bintik matahari, mampu mensimulasikan kurva suhu global selama 130 tahun terakhir.

Gambar 4.8 menunjukkan kekuatan alam dan antropogenik yang terpisah pada iklim global selama 130 tahun terakhir dan kombinasi keduanya. Ini memberikan kepercayaan pada kedua model dan juga pemahaman tentang pengaruh relatif dari pemaksaan alami versus antropogenik. Data satelit meragukan model. Sekali lagi, sebelum data satelit dipahami dengan jelas, itu menunjukkan bahwa selama 20 tahun terakhir telah terjadi sedikit pendinginan.



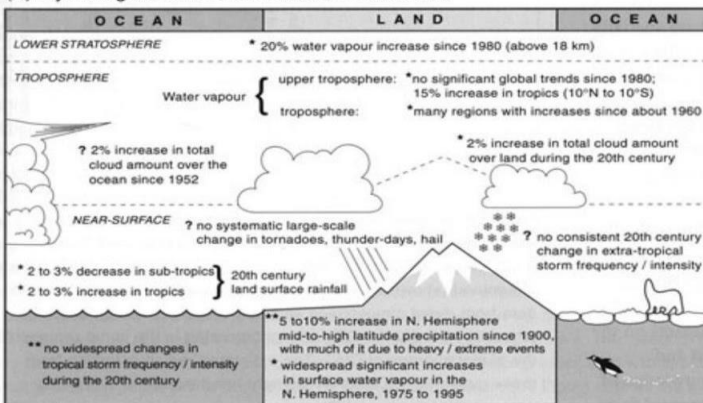
Gambar 4. 8. Simulasi suhu permukaan rata-rata global tahunan dibandingkan dengan suhu yang diamati

(a) Temperature indicators



Likelihood: {
 *** Virtually certain (probability > 99%)
 ** Very likely (probability ≥ 90% but < 99%)
 * Likely (probability > 66% but < 90%)
 ? Medium likelihood (probability > 33% but ≤ 66%)

(b) Hydrological and storm-related indicators



Likelihood: {
 *** Virtually certain (probability > 99%)
 ** Very likely (probability ≥ 90% but < 99%)
 * Likely (probability > 66% but < 90%)
 ? Medium likelihood (probability > 33% but ≤ 66%)

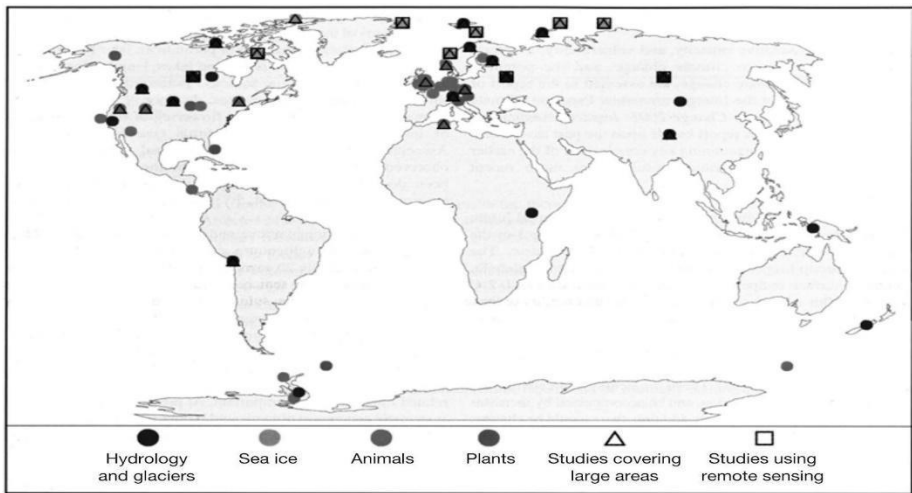
Gambar 4. 9. Skema variasi yang diamati dari indikator suhu dan indikator hidrologi dan terkait badai

Proses iterasi ilmu pengetahuan, yaitu pemeriksaan ulang data dan asumsi mengenai data, jelas menunjukkan bahwa ada beberapa inkonsistensi utama dalam data satelit; pertama,

sebagai akibat dari mencoba membandingkan data dari instrumen yang berbeda pada satelit yang berbeda dan, kedua, karena kebutuhan untuk menyesuaikan ketinggian satelit karena orbitnya menyusut akibat gesekan dengan atmosfer.

Masalah terakhir dengan data satelit adalah bahwa 20 tahun adalah periode waktu yang terlalu singkat untuk menemukan tren suhu dengan percaya diri. Ini karena siklus atau peristiwa iklim akan memiliki pengaruh besar pada catatan dan tidak akan dirata-ratakan; misalnya, siklus bintik matahari adalah 11 tahun, Osilasi El Niño-Selatan adalah 3–7 tahun, dan Osilasi Atlantik Utara adalah sepuluh tahun. Jadi siklus mana yang diambil oleh data satelit 20 tahun akan sangat mempengaruhi arah tren suhu. Gambar 20 merangkum keadaan pengetahuan terkini mengenai perubahan iklim yang telah terjadi selama 100 tahun terakhir baik dalam suhu dan siklus hidrologi, sedangkan Gambar 21 menunjukkan lokasi geografis di mana bukti pemanasan global telah ditemukan selama 100 tahun terakhir. Salah satu argumen utama bagi saya bahwa pemanasan signifikan dan perubahan iklim lainnya telah terjadi selama 100 tahun terakhir adalah bobot bukti dari begitu banyak kumpulan data yang beragam.

Ketika 100 tahun terakhir dibandingkan dengan 1.000 tahun terakhir, sangat jelas bahwa sesuatu yang sama sekali berbeda sedang terjadi. Bukti menunjukkan bahwa kekuatan iklim alami seperti bintik matahari dan letusan gunung berapi serupa selama milenium terakhir. Ini hanya menyisakan satu alternatif – bahwa gas rumah kaca, dengan kekuatan radiasinya yang diketahui, telah mempengaruhi iklim global. Dari sejumlah besar bukti ilmiah yang dipublikasikan, IPCC (2001) telah menyimpulkan: 'Berdasarkan bukti baru dan dengan mempertimbangkan ketidakpastian yang tersisa, sebagian besar pemanasan yang diamati selama 50 tahun terakhir mungkin [60–90% keyakinan] menjadi karena peningkatan konsentrasi gas rumah kaca.'



Gambar 4. 10. Lokasi studi perubahan iklim regional terkait suhu baru-baru ini pada system fisik dan biologis

Matahari adalah sumber energi utama bagi Bumi. Matahari yang setiap hari memancarkan sinarnya ke Bumi dan juga ke planet-planet lain yang ada pada tata surya kita, adalah sumber kehidupan bagi semua makhluk hidup yang ada di Bumi ini. Perubahan apapun energi dari Matahari yang diterima permukaan Bumi akan mempengaruhi iklim. Selama kondisi stabil ada kesetimbangan antara energi yang diterima dari Matahari dan energi di Bumi yang menyebar kembali ke angkasa. Energi ini sebagian besar menyebar dalam wujud radiasi gelombang panjang sesuai dengan rata-rata temperatur di Bumi. Variasi pancaran radiasi dari Matahari khususnya pancaran ultraviolet sudah lama diduga mengendalikan perubahan iklim di Bumi, kaitannya dengan pemanasan global. Perhatian ini juga dibandingkan dengan meningkatnya jumlah gas rumah kaca, khususnya CO₂ dalam kaitannya dengan aktivitas manusia yang berhubungan dengan pemanasan global. Matahari merupakan kendali iklim yang sangat penting dan sebagai sumber energi utama di Bumi yang menggerakkan

udara dan arus laut. Diameter Matahari $1,42 \times 10^6$ km dan suhu permukaannya sekitar 6000 K. Setiap cm^2 dari permukaan Matahari mengemisikan energi rata-rata sebesar 6,2 kilowatt per menit. (Tjasyono, 2004).

Pemancaran energi Matahari yang sampai ke Bumi telah berlangsung terus menerus sejak sekitar 5.000.000.000 tahun yang lalu dan akan terus bersinar sampai waktu yang belum dapat diketahui. Energi Matahari yang seolah-olah tidak akan habis, menarik untuk diamati karena sebagai sumber energi. Matahari merupakan bintang yang dinamis. Ada gejolak-gejolak di permukaan Matahari yang kadang menguat dan kadang melemah yang dikenal sebagai aktivitas Matahari. Dari berbagai penelitian menunjukkan bahwa aktivitas Matahari mempengaruhi perubahan suhu permukaan Bumi. Semula para klimatologis tidak terlalu yakin tentang hubungan antara perubahan pada permukaan Matahari dan variasi iklim Bumi. Selanjutnya ada usaha untuk menunjukkan hubungan statistik antara periodisitas Matahari dan siklus iklim global, ada mekanisme realistis telah diusulkan untuk menghubungkan dua fenomena ini. Siklus Matahari paling terkenal adalah variasi dalam jumlah bintik Matahari (sunspot) selama periode 11 tahun. Siklus bintik Matahari dianggap berkaitan dengan variasi magnetik Matahari, dan siklus magnetik ganda (sekitar 22 tahun) (Foukal, 1990).

BAB 5

PEMODELAN MASA DEPAN

5.1 Memodelkan Masa Depan

Anda mungkin tidak percaya ini, tetapi seluruh masyarakat manusia bekerja untuk mengetahui masa depan, terutama cuaca. Misalnya, seorang petani di India tahu kapan hujan muson akan datang berikutnya dan kapan menanam tanamannya, sementara seorang petani di Indonesia tahu ada dua musim hujan tahun depan sehingga dia bisa menanam tanaman dua kali. Ini didasarkan pada pengetahuan mereka tentang masa lalu karena monsun selalu datang pada waktu yang hampir sama setiap tahun dalam ingatan hidup. Tapi prediksi seperti itu lebih dalam dari ini karena mempengaruhi setiap bagian dari kehidupan kita. Rumah kami dibangun untuk iklim lokal – di Inggris yang berarti pemanas sentral tetapi tanpa AC, sedangkan di Amerika Serikat bagian selatan sebaliknya.

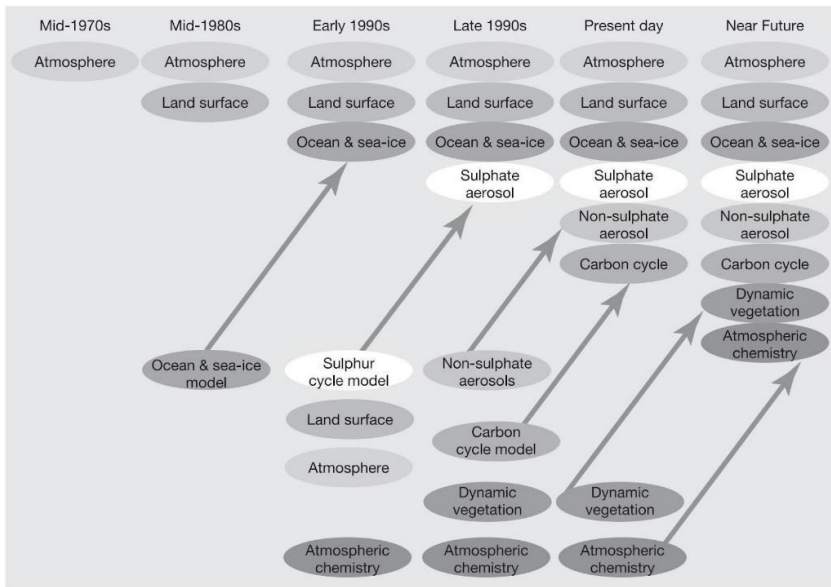
Jalan, kereta api, bandara, kantor, mobil, kereta api, dll. Semuanya dirancang untuk iklim lokal. Inilah sebabnya mengapa pada musim semi 2003 satu sentimeter salju pada suatu sore secara efektif menutup London, sementara Toronto dapat dengan mudah menangani dan berfungsi dengan setengah meter salju. Di Inggris pada tahun 2003 orang mengeluh tentang panas ketika suhu menyentuh 100 ° F untuk pertama kalinya dalam sejarah yang tercatat, yang menurut rekan saya baik di AS dan Afrika sangat lucu, sementara orang Australia terkejut jika suhu turun di bawah 50 ° F. Masalah dengan pemanasan global adalah bahwa hal itu mengubah aturan. Cuaca masa lalu di suatu daerah tidak dapat diandalkan untuk memberi tahu Anda apa yang akan terjadi di masa depan. Jadi kita harus mengembangkan cara-cara baru untuk memprediksi masa depan, sehingga kita dapat merencanakan hidup kita dan agar masyarakat manusia dapat terus berfungsi sepenuhnya. Jadi

jawaban yang sangat sederhana untuk judul bab adalah bahwa kita harus mencontoh masa depan.

Ada seluruh hierarki model iklim dari model kotak yang relatif sederhana hingga model sirkulasi umum tiga dimensi (GCM) yang sangat kompleks. Masing-masing memiliki peran dalam memeriksa dan memajukan pemahaman kita tentang sistem iklim global.

Namun, itu adalah model sirkulasi umum tiga dimensi yang kompleks yang digunakan untuk memprediksi iklim global di masa depan. Model iklim komprehensif ini didasarkan pada hukum fisika yang diwakili oleh persamaan matematika yang diselesaikan menggunakan kisi tiga dimensi di seluruh dunia. Untuk mendapatkan simulasi yang paling realistis, semua bagian utama dari sistem iklim harus diwakili dalam sub-model, termasuk atmosfer, laut, permukaan tanah (topografi), kriosfer, dan biosfer, serta proses yang terjadi di dalamnya dan di antara mereka. Sebagian besar model iklim global memiliki setidaknya beberapa representasi dari masing-masing komponen ini. Model yang menggabungkan komponen laut dan atmosfer disebut Model Sirkulasi Umum Atmosfer-Laut (AOGCMs). Perkembangan model iklim selama dua dekade terakhir ditunjukkan pada Gambar 22. Model bagian yang berbeda dari sistem iklim pertama kali dikembangkan secara terpisah dan kemudian digabungkan ke dalam model iklim yang komprehensif. Misalnya, model Met Office Hadley Center adalah AOGCM pertama yang sekarang memiliki model 'vegetasi dinamis' yang digabungkan sepenuhnya. Hal ini penting karena telah lama diketahui bahwa vegetasi memiliki pengaruh terhadap iklim; sehingga perubahan iklim dapat mempengaruhi vegetasi dan perubahan vegetasi tersebut dapat berdampak pada iklim. Misalnya, hutan hujan Amazon mendaur ulang sekitar setengah dari curah hujan yang jatuh, mempertahankan interior benua yang lembab yang seharusnya kering.

Salah satu aspek kunci dari model iklim adalah detail di mana mereka dapat merekonstruksi dunia; ini biasanya disebut resolusi spasial. Secara umum generasi AOGCM saat ini memiliki resolusi atau detail atmosfer satu titik setiap 250 km sejauh 250 km di horizontal dan sekitar 1 km di vertikal di atas lapisan batas.



Gambar 5. 1. Pengembangan model iklim, masa lalu, sekarang, dan masa depan

Ini berarti atmosfer di atas Kepulauan Inggris diwakili oleh hanya sepuluh poin. Resolusi model laut yang khas adalah sekitar 200-400 m di vertikal dan 125-250 km di horizontal. Persamaan biasanya diselesaikan untuk setiap simulasi 'setengah jam' dari model yang dijalankan. Banyak proses fisik, seperti konveksi awan dan laut, tentu saja berlangsung dalam skala yang jauh lebih kecil daripada yang dapat diselesaikan oleh model.

Oleh karena itu, efek dari proses skala kecil harus disatukan dan ini disebut sebagai parametrisasi. Banyak dari parametrisasi ini, bagaimanapun, diperiksa dengan 'model proses skala kecil' yang terpisah untuk memvalidasi peningkatan pengaruh yang lebih kecil ini. Alasan mengapa skala spasial terbatas adalah karena AOGCM komprehensif sangat kompleks dan menggunakan banyak waktu komputer untuk dijalankan. Saat ini banyak peningkatan dalam kekuatan pemrosesan komputer yang telah terjadi selama dekade terakhir telah digunakan untuk meningkatkan representasi sistem iklim global dengan menggabungkan lebih banyak model langsung ke AOGCM.

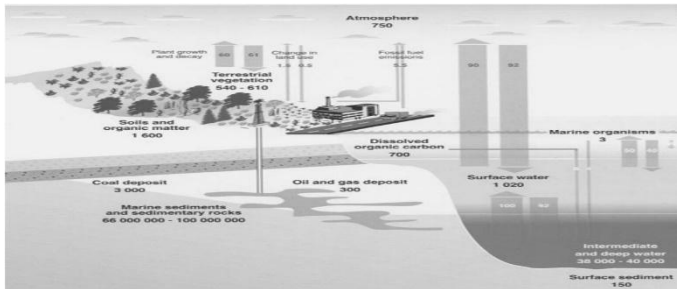
Penting untuk menjalankan model ini berkali-kali karena, seperti yang dibahas di bawah, ada banyak bagian dari sistem iklim yang parameter masa depannya tidak pasti. Misalnya, emisi gas rumah kaca manusia di masa depan, yang tidak tetap, karena akan bergantung pada banyak variabel, seperti ekonomi global, perkembangan teknologi, kesepakatan politik, dan gaya hidup pribadi. Oleh karena itu, Anda dapat menghasilkan model terlengkap di dunia yang membutuhkan waktu dua tahun untuk mensimulasikan 100 tahun ke depan, tetapi Anda hanya akan memiliki satu prediksi masa depan berdasarkan hanya satu perkiraan emisi masa depan yang mungkin sepenuhnya salah. Oleh karena itu, model individu dijalankan berkali-kali dengan input yang berbeda untuk memberikan berbagai perubahan di masa depan. Faktanya, IPCC telah berkonsultasi dengan hasil beberapa kali dari 22 AOGCM yang berbeda untuk memberikan dasar bagi prediksi mereka. Tentu saja, karena kekuatan pemrosesan komputer terus meningkat, representasi sistem iklim yang digabungkan ini dan skala spasial akan terus meningkat. Jadi apa yang tidak diketahui dan mengapa kita perlu menjalankan banyak yang berbeda skenario model? Bukankah hanya ada satu pandangan tentang masa depan? Sayangnya tidak, dan di bawah masing-masing yang tidak diketahui dijelaskan secara lebih rinci dan bagaimana pengaruhnya

terhadap prediksi model kami untuk masa depan. Siklus karbon Salah satu pertimbangan mendasar untuk AOGCM bukanlah apakah karbon dioksida mempengaruhi suhu global, melainkan sejauh mana pengaruhnya terhadap suhu global. Ini bukan hanya karena efek langsung dari karbon dioksida tetapi juga karena banyak pengaruh sekunder dan umpan balik iklim lainnya, seperti aerosol, sirkulasi laut, dll., yang bahkan dapat mendinginkan sistem iklim. Masalah pertama adalah memperkirakan berapa banyak karbon dioksida antropogenik yang masuk ke atmosfer.

Anda akan terkejut mengetahui bahwa sekitar setengah dari semua emisi karbon kita diserap oleh siklus karbon alami dan tidak berakhir di atmosfer, melainkan di lautan dan biosfer terestrial. Ini membawa kita untuk menyadari bahwa kita perlu memahami siklus karbon saat ini untuk memahami jumlah karbon dioksida yang akan berakhir di atmosfer.

Siklus karbon Bumi sangat rumit, dengan sumber dan penyerap karbon dioksida. Gambar 23 menunjukkan cadangan karbon global dalam GtC (gigaton, atau 1.000 juta ton) dan fluks (seluk beluk karbon dalam GtC per tahun). Angka-angka yang ditunjukkan ini adalah rata-rata tahunan selama periode 1980–9. Harus diingat bahwa siklus komponen telah disederhanakan, dan angka-angka tersebut hanya menyajikan nilai rata-rata. Jumlah karbon yang disimpan dan diangkut oleh sungai, khususnya bagian antropogenik, saat ini sangat kurang terkuantifikasi dan tidak ditampilkan di sini.

Bukti terakumulasi bahwa banyak fluks dapat bervariasi secara signifikan dari tahun ke tahun. Berbeda dengan pandangan statis yang disampaikan dalam gambar seperti ini, sistem karbon bersifat dinamis, dan digabungkan dengan sistem iklim pada musim, antar-tahunan, dan musiman.



Gambar 5. 2. Versi sederhana dari siklus karbon saat ini

Angka yang paling menarik adalah bahwa permukaan laut hanya membutuhkan kurang dari setengah karbon dioksida yang dihasilkan oleh industri per tahun. Namun, ini adalah salah satu tokoh yang paling kurang dikenal dan masih ada perdebatan tentang apakah lautan akan terus menjadi penyerap atau penyerap polusi kita yang begitu besar. Seperti yang akan kita lihat di Bab 7, salah satu kejutan besar baru-baru ini adalah hasil eksperimen tak terduga yang menunjukkan bahwa hutan hujan Amazon dapat menyerap karbon dioksida atmosfer dalam jumlah besar. Pertanyaan kunci yang perlu kita tanyakan, jika memang demikian, adalah: berapa lama lautan dan hutan hujan Amazon akan terus menyerap karbon dioksida?

Iklim dan perubahan iklim adalah salah satu topik yang sedang tren di seluruh dunia. Iklim memegang peran penting dalam banyak aspek kehidupan bumi termasuk keamanan pangan, kesehatan dan energi. Iklim digambarkan sebagai rata-rata atau variabilitas keadaan atmosfer seperti suhu, angin dan curah hujan (Thorpe, 2005). Keadaan atmosfer tersebut tidak hanya dipengaruhi oleh beberapa proses di lingkungan atmosfer, tetapi juga meliputi keadaan di semua komponen bumi seperti hidrosfer (lautan), biosfer, litosfer dan kriosfer (es dan salju), sehingga membentuk suatu hubungan yang saling memengaruhi dan dikenal dengan sistem iklim (Goose et al., 2010).

Beberapa penelitian melaporkan bahwa iklim telah berubah dari waktu ke waktu (Hinzman et al., 2005; Dyurgerov & Meier, 2000), yang disebabkan oleh faktor alami (nature) maupun ulah manusia (human-based) (Trenberth, 2011; Stern & Kaufmann, 2014). Perubahan tersebut memberikan pengaruh terhadap sistem kehidupan di planet dan diprediksi akan mempunyai dampak yang lebih signifikan di masa depan. Dengan demikian, prediksi iklim adalah alat yang sangat penting untuk dipahami dan diterapkan untuk merencanakan adaptasi dan mitigasi perubahan iklim. Di sisi lain, sistem iklim yang mempunyai hubungan sangat kompleks antarkomponennya sangat rumit diprediksi karena perubahan kecil pada satu variabel akan mengubah variabel lainnya. Selain itu, prediksi iklim memerlukan simulasi komputer yang sangat bergantung pada input data, sehingga pemodelan berpotensi mengeluarkan hasil yang tidak akurat akibat faktor bias dan ketidakpastiannya (Parsons & Lear, 2001).

5.2 Efek Pendinginan

Selain efek pemanasan dari gas rumah kaca, sistem iklim bumi rumit karena ada juga efek pendinginan (lihat Gambar 24 untuk ringkasan IPCC dari efek pemanasan dan pendinginan). Ini termasuk jumlah partikel di udara (yang secara teknis disebut aerosol, banyak di antaranya berasal dari polusi manusia seperti emisi belerang dari pembangkit listrik) dan ini memiliki efek langsung pada jumlah radiasi matahari yang mengenai permukaan bumi. Aerosol mungkin memiliki dampak lokal atau regional yang signifikan terhadap suhu. Faktanya, AOGCM sekarang telah memasukkannya ke dalam simulasi komputer tentang pemanasan global, dan mereka memberikan penjelasan mengapa kawasan industri di planet ini tidak menghangat seperti yang diperkirakan sebelumnya. Uap air adalah gas rumah kaca, tetapi, pada saat yang sama, permukaan putih atas awan memantulkan radiasi matahari kembali ke angkasa. Refleksi ini disebut albedo – dan awan serta es

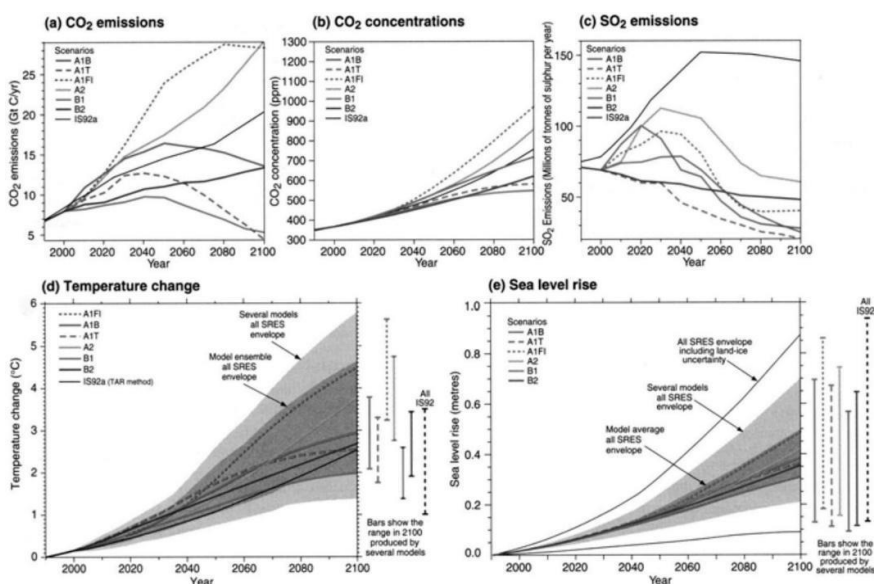
memiliki albedo yang tinggi sehingga memantulkan sejumlah besar radiasi matahari dari permukaan di Bumi. Memprediksi apa yang akan terjadi pada jumlah dan jenis awan, dan luasnya es global di masa depan, menciptakan kesulitan besar dalam menghitung efek pasti dari pemanasan global. Misalnya, jika es di kutub mencair, albedo akan berkurang secara signifikan, karena es ini akan digantikan oleh vegetasi atau perairan terbuka, yang keduanya menyerap panas daripada memantulkannya seperti salju putih atau es. Ini akan menghasilkan umpan balik positif, meningkatkan efek pemanasan global.

Efek balik penting lainnya adalah hilangnya kemampuan memantulkan cahaya oleh es. Lapisan es yang berada di dekat kutub mencair dengan kecepatan yang terus meningkat ketika temperatur global meningkat. Bersamaan dengan mencairnya es tersebut, daratan atau air dibawahnya akan terbuka. Daratan maupun air memiliki kemampuan memantulkan cahaya lebih sedikit bila dibandingkan dengan es, dan akibatnya akan menyerap lebih banyak radiasi Matahari. Kejadian ini akan menambah faktor penyebab pemanasan dan menimbulkan lebih banyak lagi es yang mencair, sehingga menjadi suatu siklus yang berkelanjutan (Thomas, 2001).

Faktor lain yang memiliki kontribusi terhadap pemanasan global adalah efek balik positif akibat terlepasnya CO₂ dan CH₄ dari melunaknya tanah beku (permafrost). Selain itu, es yang mencair juga akan melepas CH₄ yang juga dapat menimbulkan umpan balik positif. Laut memiliki kemampuan ekologis untuk menyerap karbon di atmosfer. Fitoplankton mampu menyerap karbon guna kelangsungan proses fotosintesis. Tetapi kemampuan ini akan berkurang jika laut menghangat yang diakibatkan oleh menurunnya tingkat nutrisi pada zona mesopelagic sehingga membatasi pertumbuhan diatom daripada fitoplankton (Buesseler, et al, 2007).

5.3 Model Ekonomi Masa Depan

Masalah kritis dengan mencoba memprediksi iklim masa depan adalah memprediksi jumlah emisi karbon dioksida yang akan dihasilkan di masa depan. Hal ini akan dipengaruhi oleh pertumbuhan penduduk, pertumbuhan ekonomi, pembangunan Dunia Ketiga, penggunaan bahan bakar fosil, tingkat di mana kita beralih ke energi alternatif, tingkat deforestasi, dan apakah ada kesepakatan internasional untuk mengurangi emisi.



Gambar 5. 3. Iklim global abad ke-21

Pada tahun 1990, sensitivitas iklim yang jauh lebih rendah, dan peningkatan emisi karbon dioksida yang lebih lambat, dan menghasilkan peningkatan 1,4°C. Yang paling mengkhawatirkan adalah ada perbedaan suhu 4,4°C antara proyeksi IPCC dalam perkiraan paling ekstrem. Namun, perlu dicatat bahwa semua prediksi model menunjukkan peningkatan suhu global selama seratus tahun ke depan.

Sekali lagi, dengan menggunakan skenario emisi karbon dioksida yang berbeda, IPCC telah memproyeksikan permukaan laut rata-rata global hingga 2100. Dengan mempertimbangkan kisaran dalam estimasi sensitivitas iklim dan parameter pencairan es, dan skenario emisi, model memproyeksikan peningkatan permukaan laut rata-rata global antara 20 cm dan 88 cm (Gambar 5.3). Perhatikan bahwa selama paruh pertama abad ke-21, pilihan skenario emisi memiliki pengaruh yang relatif kecil pada proyeksi kenaikan permukaan laut, karena sebagian besar disebabkan oleh inersia termal yang besar (yaitu dibutuhkan banyak energi awal untuk mendapatkan perubahan suhu yang nyata) dari sistem iklim laut-es-atmosfer. Namun, efeknya semakin besar di akhir abad ini, karena ketidakpastian tentang bagaimana lapisan es akan bereaksi dan mencair. Selain itu, karena inersia termal lautan, permukaan laut akan terus naik selama berabad-abad setelah tahun 2100, bahkan jika konsentrasi gas rumah kaca stabil pada waktu itu. Apa yang tidak diperhitungkan oleh perhitungan permukaan laut adalah kemungkinan mencairnya lapisan es dan gletser dunia. Jika lapisan es benar-benar mencair, kontribusinya terhadap kenaikan permukaan laut adalah sebagai berikut: gletser gunung = 0,3 m, Lapisan Es Antartika Barat = 8,5 m, Tanah Hijau = 7 m, Lapisan Es Antartika Timur = 65 m. Yang mengkhawatirkan adalah pengukuran satelit NASA menunjukkan bahwa Lapisan Es di Greenland dan Antartika Barat menyusut. Jika ini menghasilkan cukup air lelehan maka kita bisa memiliki beberapa kejutan besar di masa depan, yang akan dibahas di Bab 7. Ada juga perdebatan ilmiah tentang apa yang terjadi pada Lapisan Es Greenland dan Antartika setelah seratus tahun ke depan.

Beberapa ilmuwan percaya apa yang terjadi dalam seratus tahun ke depan akan menentukan masa depan lapisan es ini. Satu prediksi menunjukkan bahwa meskipun Lapisan Es Greenland tidak akan runtuh dalam seratus tahun ke depan, pemanasan global akan memulai proses yang tidak dapat diubah

dan Greenland akan bebas es dalam waktu berikutnya. Seribu tahun.

Tinjauan skeptis

Salah satu cara terbaik untuk meringkas masalah pemodelan masa depan pemanasan global adalah dengan meninjau apa yang dikatakan skeptis, karena mereka memiliki banyak poin yang valid dan memberikan dasar di mana model kami harus ditingkatkan.

Awan dapat memberikan umpan balik positif dan negatif terhadap iklim global; bagaimana kita tahu mereka tidak akan mengurangi efek pemanasan global ke jumlah yang dapat diabaikan? Seperti yang telah terjadi sejak laporan pertama IPCC 1990, ketidakpastian terbesar dalam prediksi masa depan adalah peran awan dan interaksinya dengan radiasi. Awan dapat menyerap dan memantulkan radiasi, sehingga mendinginkan permukaan, dan menyerap dan memancarkan radiasi gelombang panjang, sehingga menghangatkan permukaan.

Persaingan antara efek ini tergantung pada sejumlah faktor: ketinggian, ketebalan, dan sifat radiasi awan. Sifat radiasi dan pembentukan serta perkembangan awan bergantung pada distribusi uap air di atmosfer, tetesan air, partikel es, aerosol atmosfer, dan ketebalan awan. Dasar fisik bagaimana awan direpresentasikan atau diparametrikkan dalam AOGCM telah sangat meningkat melalui dimasukkannya representasi massal dari properti mikrofisika awan dalam persamaan anggaran air awan.

Namun, awan masih merupakan sumber potensi kesalahan yang signifikan dalam simulasi iklim. Masih kontroversial apakah awan membantu menghangatkan atau mendinginkan planet ini dan kedua situasi tersebut ditemukan di berbagai AOGCM. Namun, menarik bahwa bahkan di AOGCM di mana

awan menyebabkan efek pendinginan, efek ini tidak cukup kuat untuk melawan tren pemanasan lainnya.

1. Model yang berbeda memberikan hasil yang berbeda, jadi bagaimana kita bisa mempercayai salah satu dari mereka?

Ini adalah tanggapan yang sering dari banyak orang yang tidak akrab dengan pemodelan, karena ada perasaan bahwa entah bagaimana sains harus dapat memprediksi masa depan yang tepat. Namun, tidak ada jalan hidup lain yang kita harapkan ketepatan ini. Misalnya, Anda tidak akan pernah berharap untuk mendapatkan prediksi sempurna tentang kuda mana yang akan memenangkan perlombaan atau tim sepak bola mana yang akan muncul sebagai pemenang. Yang benar adalah bahwa tidak ada model iklim yang tepat. Tapi apa yang mereka berikan adalah perkiraan terbaik yang kita miliki tentang masa depan. Sekarang pandangan masa depan ini adalah diperkuat dengan penggunaan lebih dari satu model, karena setiap model telah dikembangkan oleh kelompok ilmuwan yang berbeda di seluruh dunia, menggunakan asumsi yang berbeda dan komputer yang berbeda, dan dengan demikian mereka memberikan prediksi masa depan khusus mereka sendiri. Apa yang menyebabkan para ilmuwan percaya pada hasil model adalah bahwa mereka semua secara kasar memprediksi tren yang sama dalam suhu global dan permukaan laut untuk seratus tahun ke depan.

Kekuatan lain dari pendekatan ini adalah bahwa para ilmuwan juga dapat memberi Anda perkiraan seberapa yakin mereka dalam hasil model dan juga berbagai kemungkinan prediksi. Hari ketika para ilmuwan memberikan perkiraan yang tepat tentang apa yang akan terjadi dan kapan hari mereka akan kehilangan semua kredibilitas, lebih seperti diberitahu untuk

berinvestasi di pasar saham AS tepat sebelum kehancuran 1929 karena pasar saham tidak akan pernah turun, atau sedang dijual hipotek pada awal 1980-an di Inggris dan diberitahu bahwa tidak mungkin pasar perumahan akan crash.

2. Model iklim gagal memprediksi kondisi cuaca yang tiba-tiba.

AOGCM tidak dapat memprediksi kejadian cuaca mendadak karena resolusi spasialnya terlalu kasar; misalnya, seluruh Kepulauan Inggris diwakili oleh sepuluh poin. Hal ini telah menyebabkan tuduhan oleh para skeptis bahwa faktor acak atau kacau yang mempengaruhi cuaca kita sehari-hari pasti juga mempengaruhi iklim kita.

Telah diketahui sejak akhir 1960-an bahwa pola cuaca kacau, karena sistem iklim bumi sensitif terhadap cuaca yang sangat kecil. gangguan pada kondisi awal. Misalnya, perubahan tekanan udara yang sangat kecil di AS memiliki pengaruh terhadap arah dan durasi badai. Kita semua tahu bahwa ini sensitivitas membatasi prediktabilitas prakiraan cuaca terperinci hingga sekitar dua minggu; kadang terasa seperti dua hari. Namun, prediktabilitas iklim tidak dibatasi dengan cara yang sama seperti prediksi cuaca karena pengaruh sistematis jangka panjang pada atmosfer tidak bergantung pada kondisi awal. Jadi tren jangka panjang dalam iklim regional dan global tidak dikendalikan oleh pengaruh skala kecil. Namun, apa yang benar tentang skeptis pemanasan global adalah bahwa saat ini kita tidak dapat memodelkan 'peristiwa non-linier', atau yang disebut perubahan iklim mendadak yang mungkin terjadi di masa depan. Kejutan potensial ini dibahas dalam Bab 7.

3. Model iklim gagal merekonstruksi atau memprediksi variabilitas alami.

Sistem iklim global mengandung variasi siklus yang terjadi pada skala waktu satu dekade atau sub-

dekade. Yang paling terkenal adalah El Niño, yaitu perubahan sirkulasi laut dan atmosfer di kawasan Pasifik yang terjadi setiap tiga hingga tujuh tahun dan memiliki pengaruh besar terhadap iklim global lainnya. Para skeptis berpendapat bahwa model iklim tidak dapat mensimulasikan peristiwa-peristiwa ini secara memuaskan di masa lalu. Namun, model iklim menjadi semakin baik dalam merekonstruksi variasi masa lalu dalam El Niño–Southern Oscillation (ENSO), North Atlantic Oscillation (NAO), dan Arctic Oscillation (AO) terkait karena ada peningkatan realisasi bahwa ini memiliki dampak besar pada iklim regional (lihat Bab 6, bagian El Niño–Osilasi Selatan untuk perincian lebih lanjut). Sebagian besar model mampu menggambarkan variasi alami ini, terutama memilih pergeseran iklim 1976 yang terjadi di Samudra Pasifik. Semua AOGCM telah memprediksi hasil untuk ENSO dan NAO untuk seratus tahun ke depan. Namun, banyak perbaikan diperlukan sebelum ada kepercayaan pada prediksi model. Namun, ini adalah bukti realisme AOGCM bahwa mereka memang dapat merekonstruksi dan memprediksi tren masa depan dalam osilasi jangka pendek ini.

4. Sirkulasi termohalin tidak dicirikan dengan baik dalam model iklim.

Sirkulasi laut dalam, atau termohalin, (THC) dari lautan dunia adalah salah satu blok bangunan dasar dari GCM Atmosfer-Laut yang digabungkan, oleh karena itu simulasi sirkulasi termohalin untuk saat ini dan masa lalu sangat baik. Namun, ketidakpastian mengenai pemodelan masa depan THC berasal dari kompleksitas pengendalian pembentukan air dalam, termasuk interaksi dalam kekuatan atmosfer skala besar antara pemanasan dan penguapan di lintang rendah dan pendinginan dan peningkatan curah hujan di lintang tinggi. Selain itu, ENSO dapat berperan dengan mengubah.

Keseimbangan air tawar di Atlantik tropis. Tambahkan ke ketidakpastian dalam representasi kedua aliran skala kecil di atas kusen dan melalui selat sempit dan konveksi laut, yang selanjutnya membatasi kemampuan model untuk mensimulasikan situasi yang melibatkan perubahan substansial dalam THC. Karenanya sebagian besar prediksi masa depan dari AOGCM memiliki THC yang mirip dengan saat ini. Seperti yang akan kita lihat di Bab 7, asumsi ini bisa jadi sepenuhnya salah.

5. AOGCM gagal merekonstruksi iklim masa lalu, khususnya zaman es terakhir.

Iklim masa lalu merupakan ujian penting bagi model iklim global. Pergeseran iklim terbesar, di mana kita memiliki banyak rekonstruksi iklim, adalah zaman es terakhir, yang berakhir sekitar 10.000 tahun yang lalu. Perbandingan antara data palaeoclimate untuk tahap paling ekstrim dari zaman es, yang terjadi 18.000 tahun yang lalu, menunjukkan bahwa model iklim global agak konservatif. Faktanya, rekonstruksi model terbaik hanya menunjukkan tiga perempat dari perubahan iklim yang direkonstruksi dari data proxy.

Dari pada membatalkan model iklim kami, pertama-tama menunjukkan bahwa dengan kondisi ekstrim zaman es – permukaan laut 120 m lebih rendah, lapisan es setinggi 3 km di Amerika dan Eropa, karbon dioksida atmosfer sepertiga lebih rendah, dan metana atmosfer berkurang setengahnya – model bisa mendapatkan itu sekitar 75% benar. Pengamatan penting kedua adalah bahwa modelnya konservatif, dan mereka secara sistematis meremehkan perubahan iklim. Ini berarti kita dapat mengasumsikan bahwa prediksi iklim masa depan juga konservatif dan dengan demikian perubahan iklim sangat mungkin berada di ujung atas perkiraan.

6. Sinar kosmik galaksi (GCRs) diabaikan dalam model iklim saat ini, yang membatalkan model.

Sinar kosmik galaksi adalah partikel berenergi tinggi yang menyebabkan ionisasi di atmosfer dan oleh karena itu dapat mempengaruhi pembentukan awan. GCR berbanding terbalik dengan variabilitas matahari karena pengaruh angin matahari. Ini adalah contoh yang sangat baik tentang bagaimana ilmu iklim berkembang dengan menemukan pengetahuan baru dan, jika cukup penting, menambahkannya ke dalam model iklim. Sangat sedikit yang diketahui tentang pemaksaan eksternal yang baru ditemukan ini, GCR, jadi penelitian terus berlanjut ke fenomena ini untuk melihat apakah itu memiliki efek yang cukup besar untuk dimasukkan dalam model iklim.

Sayangnya, ini memengaruhi salah satu proses yang paling tidak dipahami dengan baik dalam sistem iklim kita – yaitu pembentukan awan. Tetapi penemuan bahwa GCR dapat mempengaruhi iklim tidak membatalkan model iklim, karena itu semua adalah bagian dari sifat progresif ilmu pengetahuan. Kita tidak tahu segalanya tentang sistem iklim dan kita tidak akan pernah tahu. Pemahaman kita akan terus meningkat seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan. Oleh karena itu, prediksi model masa depan terus meningkat. Namun, harus diingat bahwa model ini didasarkan pada pemahaman saat ini tentang sistem iklim dan akan selalu berubah di masa depan.

Energi diperlukan manusia untuk melakukan aktivitas sehari-hari. Sebagian besar energi yang digunakan tersebut bersumber dari bahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas, alam, serta batu bara. Akan tetapi semua energi tersebut tidak bisa menyokong aktivitas manusia selamanya, karena suatu saat nanti energi tersebut akan habis. Energi alternatif atau energi terbarukan merupakan energi pengganti ketiga sumber energi tersebut. Energi alternatif ini digunakan untuk mengurangi

penggunaan bahan bakar hidrokarbon yang dapat merusak lingkungan dan pemanasan global dari emisi karbondioksida yang tinggi. Energi alternatif adalah energi yang berasal dari sumber yang dapat diisi ulang seperti Matahari, angin, sungai, mata air panas, pasang surut, biomassa, dan biogas (Cut Rindayu, 2011).

BAB 6

DAMPAK PEMANASAN GLOBAL DI MASA DEPAN

Pemanasan global adalah fenomena peningkatan suhu rata-rata permukaan Bumi akibat peningkatan emisi gas rumah kaca oleh manusia, terutama karbondioksida (CO_2) akibat aktivitas industri, transportasi, dan pembakaran bahan bakar fosil. Dampak pemanasan global ke depan diperkirakan akan beragam dan kompleks, berpengaruh pada lingkungan, ekonomi, sosial, dan ekosistem. Beberapa dampak yang mungkin terjadi adalah sebagai berikut:

1. Perubahan Iklim Ekstrem: Pemanasan global berpotensi meningkatkan frekuensi dan intensitas peristiwa cuaca ekstrem, seperti badai tropis yang lebih kuat, kekeringan yang lebih parah, banjir yang lebih sering, dan gelombang panas yang ekstrem.
2. Kenaikan Permukaan Air Laut: Pencairan es di kutub dan ekspansi air laut yang dipanaskan akan berkontribusi pada kenaikan permukaan air laut. Ini bisa mengakibatkan ancaman bagi pulau-pulau kecil, kawasan pesisir, dan kota-kota pantai.
3. Gangguan Ekosistem: Banyak ekosistem seperti terumbu karang, hutan hujan, dan lahan basah terancam oleh perubahan suhu yang cepat. Organisme yang tidak bisa beradaptasi dengan cepat dapat mengalami kepunahan atau pergeseran habitat.
4. Ancaman Kepada Keanekaragaman Hayati: Perubahan suhu dan lingkungan yang cepat dapat mengancam keberlanjutan spesies tertentu. Hewan dan tumbuhan mungkin kesulitan beradaptasi dengan perubahan tersebut, mengakibatkan penurunan populasi atau kepunahan.

5. Krisis Pangan: Pemanasan global dapat mempengaruhi produksi pangan dengan mengganggu pola hujan dan musim tanam. Hal ini berpotensi menyebabkan penurunan hasil panen dan krisis pangan di beberapa daerah.
6. Kesehatan Manusia: Gelombang panas yang lebih sering dan intens dapat meningkatkan risiko penyakit terkait panas, seperti heatstroke. Pemanasan global juga dapat memengaruhi penyebaran penyakit menular yang diinduksi oleh vektor, seperti nyamuk.
7. Migrasi dan Konflik: Perubahan lingkungan dan tekanan ekonomi yang diakibatkannya dapat memicu migrasi massal dari daerah yang terdampak pemanasan global. Ini bisa menyebabkan ketegangan sosial dan konflik terkait sumber daya.
8. Perubahan Pola Pertumbuhan Ekonomi: Sektor-sektor yang sangat tergantung pada sumber daya alam atau iklim tertentu, seperti pertanian, perikanan, dan pariwisata, mungkin menghadapi tantangan signifikan akibat perubahan lingkungan.

Untuk mengurangi dampak-dampak ini, upaya global dalam mitigasi (mengurangi emisi gas rumah kaca) dan adaptasi (beradaptasi dengan perubahan yang sudah terjadi) sangat penting. Kesadaran, kerjasama internasional, inovasi teknologi, dan langkah-langkah pengurangan emisi akan memainkan peran kunci dalam mengatasi tantangan pemanasan global.

Seperti yang dibahas dalam bab-bab sebelumnya, ada bukti kuat yang menunjukkan bahwa emisi gas rumah kaca manusia telah mulai mempengaruhi iklim kita. Model komputer yang paling canggih dan kuat menunjukkan bahwa pemanasan global akan menyebabkan perubahan iklim yang besar pada akhir abad ke-21. Perubahan ini berpotensi memiliki efek luas pada lingkungan alam serta masyarakat manusia dan ekonomi kita.

6.1 Garis Pantai

Pemanasan global berpotensi memiliki dampak yang signifikan pada garis pantai di seluruh dunia. Kenaikan permukaan air laut yang terkait dengan pelelehan es di kutub dan ekspansi air laut yang dipanaskan adalah salah satu faktor utama yang akan mempengaruhi garis pantai. Dampak ini akan bervariasi tergantung pada faktor-faktor seperti topografi, geologi, dan pengelolaan sumber daya alam. Berikut beberapa dampak yang mungkin terjadi pada garis pantai:

1. Erosi Pantai: Kenaikan permukaan air laut dapat menyebabkan erosi pantai yang lebih cepat. Ombak dan arus laut yang lebih kuat bersama dengan tingkat air laut yang lebih tinggi dapat merusak pantai dan menyebabkan hilangnya lahan.
2. Kerugian Infrastruktur: Garis pantai yang tererosi dapat mengancam infrastruktur pesisir, seperti jalan raya, jembatan, pelabuhan, dan pemukiman. Banyak kota besar di seluruh dunia berada di daerah pesisir, sehingga risiko kerusakan dan kehilangan properti sangat nyata.
3. Kerugian Ekosistem Pesisir: Garis pantai dan ekosistem pesisir seperti hutan mangrove, terumbu karang, dan lahan basah memiliki peran penting dalam melindungi daerah pedalaman dari dampak ombak dan badai. Kenaikan permukaan air laut dapat merusak ekosistem ini, mengancam keberlanjutan hayati dan fungsi perlindungan mereka.
4. Perubahan Pola Aliran Air Tawar: Kenaikan permukaan air laut dapat mendorong air laut masuk ke muara sungai, mengubah pola aliran air tawar dan air laut. Ini dapat berdampak pada ketersediaan air tawar dan lingkungan estuari.
5. Kerugian Ekonomi: Kerusakan akibat kenaikan permukaan air laut dapat berdampak pada sektor-sektor ekonomi yang terkait dengan pariwisata, perikanan, dan

perindustrian di daerah pesisir. Kerugian ini dapat memiliki efek domino pada ekonomi lokal dan nasional.

6. Krisis Perumahan: Kenaikan permukaan air laut dapat menyebabkan evakuasi dan perpindahan komunitas pesisir, yang pada gilirannya dapat memicu krisis perumahan dan tekanan sosial.

Pengelolaan yang baik dan adaptasi terhadap perubahan garis pantai menjadi sangat penting. Ini dapat melibatkan pembangunan infrastruktur perlindungan pantai seperti tanggul, reklamasi lahan, penghijauan pantai, dan pengurangan risiko bencana. Selain itu, langkah-langkah mitigasi perubahan iklim untuk mengurangi kenaikan permukaan air laut dan pemanasan global secara keseluruhan juga sangat penting dalam mengurangi dampak terhadap garis pantai.

Seperti yang telah kita lihat, IPCC melaporkan bahwa di bawah skenario bisnis seperti biasa (yaitu peningkatan terus-menerus dari pembakaran bahan bakar fosil) permukaan laut dapat naik antara 20 dan 88 cm dalam 100 tahun ke depan, terutama melalui ekspansi termal lautan. Hal ini menjadi perhatian utama semua wilayah pesisir karena akan menurunkan efektivitas pertahanan pesisir terhadap badai dan banjir dan meningkatkan ketidakstabilan tebing dan pantai. Di Inggris, Amerika Serikat, dan negara-negara maju lainnya, tanggapan terhadap bahaya ini adalah dengan menambahkan beberapa kaki ke ketinggian tembok laut di sekitar properti di pantai, meninggalkan beberapa lahan pertanian berkualitas buruk ke laut (karena tidak lagi sebanding dengan biaya untuk melindunginya), dan untuk menambahkan perlindungan hukum tambahan ke lahan basah pesisir, menjadi pertahanan terbaik alam terhadap laut. Namun, secara global, ada beberapa negara yang berbasis pulau-pulau kecil dan delta sungai, yang menghadapi situasi yang jauh lebih mengerikan.

Garis pantai utara Semarang Demak selalu mengalami perubahan dari tahun ke tahun. Perubahan yang serius ini perlu untuk dilakukan pemantauan terus menerus. Permasalahan yang dihadapi di daerah pantai utara adalah bagaimana mengetahui perubahan garis pantai, proses yang terjadi dan mengapa terjadi perubahan garis pantai. Metode penelitian yang digunakan adalah interpretasi citra satelit Landsat tahun 1998 dan citra Allos tahun 2006, dan pengujian lapangan. Dengan menumpang susunkan (overlay) ke dua citra satelit melalui sistem informasi geografis merupakan cara cepat untuk mengetahui perubahan yang terjadi di pantai utara Semarang Demak. Hasil penelitian menunjukkan berdasarkan survei tersebut didapatkan ketelitian sebesar 93% dan dikatakan valid dari 28 titik pengamatan yang berupa garis pantai maupun penggunaan lahannya. Garis pantai yang terjadi antara tahun 1999 sampai tahun 2006 lebih banyak mengalami proses abrasi jika dibandingkan dengan akresi. Abrasi yang terjadi sebesar 771,424 ha, sedangkan akresi yang sebesar 177,931 ha.

Berdasarkan hasil penelitian dapat ditarik suatu simpulan yaitu citra stelit Landsat dan Allos dapat digunakan untuk mengetahui perubahan garis garis pantai utara Semarang Demak dengan tingkat kebenaran 93 %, perubahan garis pantai yang terjadi berupa abrasi sebesar 771,424 ha dan akresi sebesar 177,931 ha, perubahan garis pantai abrasi terjadi akibat adanya arus laut dan ombak laut yang terus menerus menghantam bibir pantai serta adanya pantai yang relatif datar.

Sedangkan akresi pada pantai disebabkan oleh penumpukan sedimen yang berasal dari dari daratan dan terendapkan di pantai terutama melalui muara sungai. Saran dari penelitian adalah untuk mempercepat mengetahui perubahan garis pantai sebaiknya dengan menggunakan citra penginderaan jauh, agar masyarakat ikut menjaga dengan mencegah adanya abrasi pantai. Cara yang dapat dilakukan dengan melalui penghijauan kawasan pantai, misalnya dengan penanaman mangrove ditepi Pantai (Parman, 2010).

6.2 Badai dan Banjir

Badai dan banjir adalah bahaya alam utama, yang antara tahun 1951 dan 1999 bertanggung jawab atas 76% kerugian global yang diasuransikan, 58% kerugian ekonomi, dan 52% kematian akibat bencana alam. Oleh karena itu, penting bagi kita untuk mengetahui apa yang mungkin terjadi di masa depan. Kita tahu dari catatan sejarah bahwa selama periode perubahan iklim yang cepat, pola cuaca dapat menjadi tidak menentu dan jumlah badai dapat meningkat. Salah satu contohnya adalah Zaman Es Kecil, yang berlangsung dari akhir abad ke-16 hingga awal abad ke-18, dan terutama dikenang karena pameran es yang diadakan di Sungai Thames yang membeku. Namun, yang tidak diingat adalah bahwa masuk dan keluar dari Zaman Es Kecil ada beberapa prahara apokaliptik di Eropa. Misalnya, pada akhir Zaman Es Kecil, ketika iklim akhirnya memanas pada tahun 1703, terjadi badai terburuk yang tercatat dalam sejarah Inggris, yang menewaskan lebih dari 8.000 orang.

Ada beberapa bukti bahwa daerah sedang =, khususnya di belahan bumi utara, telah menjadi lebih badai selama lima puluh tahun terakhir. Simulasi model untuk masa depan badai lintang tengah sangat berbeda untuk seratus tahun ke depan. Namun, model komputer menunjukkan bahwa proporsi curah hujan yang terjadi sebagai curah hujan yang tinggi telah dan akan terus meningkat, seperti juga variabilitas dari tahun ke tahun. Hal ini akan meningkatkan frekuensi kejadian banjir.

Bahaya lingkungan skala besar dan global terhadap kesehatan manusia menjadi semakin nyata. Ini termasuk perubahan iklim, penipisan ozon stratosfer, hilangnya keanekaragaman hayati, perubahan sistem hidrologi, perubahan pasokan air tawar, degradasi lahan, dan tekanan pada sistem produksi makanan. Apresiasi efek dari bahaya kesehatan ini membutuhkan pemahaman tentang ekosistem, kompleksitasnya dari sistem ini dan bagaimana kita berinteraksi dengannya. Efek dari perubahan ini tidak terdistribusi secara merata di seluruh dunia dengan beberapa wilayah lebih rentan daripada yang lain,

terutama di antara negara-negara berpenghasilan rendah dan menengah yang tidak siap menghadapi potensi dampak lingkungan, dan bahkan lebih sedikit dampak terkait kesehatan. Perubahan iklim dunia sedang diubah sebagai konsekuensi dari aktivitas manusia.

Ini adalah dampak langsung, seperti penyakit dan kematian terkait suhu termasuk dampak kesehatan dari peristiwa cuaca ekstrem dan pengaruh spora dan jamur pencemar udara. Dampak lainnya lebih bersifat tidak langsung dan menyebabkan penyakit yang ditularkan melalui air dan makanan, penyakit yang ditularkan melalui vektor dan hewan pengerat, atau kekurangan makanan dan air. Namun, pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan harus dipertahankan selama perubahan iklim dan dampaknya terhadap kesehatan, pertanian, hutan, sumber daya air, spesies dan kawasan pesisir (Keman, 2007).

6.3 El Niño–Osilasi Selatan

El Niño dan La Niña adalah fenomena iklim alami yang terjadi di Samudra Pasifik dan memiliki dampak yang luas pada pola cuaca global. Fenomena ini mengacu pada fluktuasi suhu permukaan laut di wilayah Pasifik tengah dan timur, serta perubahan dalam pola aliran angin atmosfer. Berikut adalah pengaruh masing-masing fenomena:

1. El Niño: El Niño adalah fase di mana suhu permukaan laut di kawasan tengah dan timur Samudra Pasifik lebih hangat dari biasanya. Fenomena ini dapat memiliki dampak yang luas dan kompleks, termasuk:
 - Pola Cuaca Ekstrem: El Niño dapat menyebabkan perubahan cuaca ekstrem di berbagai belahan dunia. Beberapa wilayah dapat mengalami kekeringan parah, sementara wilayah lain mungkin menghadapi banjir berkepanjangan.

- Kelebihan Hujan: Beberapa wilayah yang biasanya kering dapat mengalami curah hujan yang tidak biasa tinggi. Ini dapat menyebabkan banjir, tanah longsor, dan gangguan ekosistem.
 - Kekeringan: Sebaliknya, wilayah-wilayah yang biasanya basah dapat mengalami kekeringan. Ini dapat berdampak pada produksi pangan, ketersediaan air, dan lingkungan.
 - Perubahan Ekosistem: El Niño dapat mempengaruhi ekosistem laut dan darat, termasuk terumbu karang, ikan, dan satwa liar yang bergantung pada kondisi lingkungan yang stabil.
2. La Niña: La Niña adalah fase yang berlawanan dengan El Niño, di mana suhu permukaan laut di kawasan tengah dan timur Samudra Pasifik lebih dingin dari biasanya. Dampaknya mencakup:
- Pola Cuaca Ekstrem Berlawanan: La Niña dapat menyebabkan perubahan pola cuaca yang berlawanan dengan El Niño. Beberapa wilayah yang sebelumnya mengalami kekeringan dapat menghadapi curah hujan yang tinggi, sementara wilayah lain mungkin mengalami kekeringan.
 - Banjir dan Topan: Wilayah yang terkena La Niña cenderung mengalami banjir yang lebih sering dan intens, serta potensi peningkatan aktivitas siklon tropis (topan).
 - Pengaruh Suhu Permukaan Laut: La Niña dapat mempengaruhi suhu permukaan laut di berbagai wilayah, yang dapat berdampak pada distribusi dan produktivitas ikan serta ekosistem laut.

Kedua fenomena ini memiliki dampak global yang luas, termasuk pada pertanian, ekonomi, keamanan pangan, bencana alam, dan lingkungan secara keseluruhan. Pengawasan dan pemahaman terhadap El Niño dan La Niña menjadi penting bagi masyarakat, pemerintah, dan lembaga internasional untuk

mengantisipasi dampak dan mengambil langkah-langkah mitigasi yang tepat.

Salah satu elemen terpenting dan misterius dalam iklim global adalah pergantian arah dan intensitas arus laut dan angin di Pasifik secara berkala. Awalnya dikenal sebagai El Nin~o ('Anak Kristus' dalam bahasa Spanyol), seperti biasanya muncul saat Natal, dan sekarang lebih dikenal sebagai ENSO (El Nin~o-Osilasi Selatan), fenomena ini biasanya terjadi setiap tiga hingga tujuh tahun. Ini dapat berlangsung dari beberapa bulan hingga lebih dari satu tahun. Kondisi El Nino 1997-8 adalah yang terkuat dalam catatan dan menyebabkan kekeringan di Amerika Serikat bagian selatan, Afrika Timur, India utara, Brasil timur laut, dan Australia. Di Indonesia, kebakaran hutan tak terkendali dalam kondisi yang sangat kering. Di California, sebagian Amerika Selatan, Sri Lanka, dan Afrika tengah-timur terjadi hujan lebat dan banjir yang mengerikan.

ENSO adalah osilasi antara tiga iklim, kondisi 'normal', La Nin~a, dan 'El Nin~o' (lihat Gambar 27). Kondisi El Nino telah dikaitkan dengan perubahan monsun, pola badai, dan terjadinya kekeringan di seluruh dunia. Keadaan ENSO juga telah dikaitkan dengan posisi dan terjadinya badai di Atlantik.

Penelitian ekstensif telah meningkatkan pemahaman dan prakiraan kami tentang kejadian, evolusi, dan dampak global El Nino-Osilasi Selatan (ENSO). Namun, ENSO berubah ketika iklim global ~ menghangat dan menunjukkan karakteristik dan dampak iklim yang berbeda pada abad ke-21 dari abad ke-20. Model iklim memproyeksikan bahwa ENSO juga akan berubah di masa depan pemanasan dan belum mencapai kesepakatan tentang rasa, intensitas dan frekuensi, kondisi ENSO di masa depan. Artikel ini menyajikan pandangan konvensional tentang properti, dinamika, dan telekoneksi ENSO, dan meninjau pemahaman yang muncul tentang keragaman dan dampak iklim terkait ENSO. Ini juga meninjau hasil dari investigasi terhadap

kemungkinan perubahan ENSO di bawah skenario pemanasan global di masa depan (Yang, 2018).

6.4 Kesehatan

Pemanasan global diperkirakan akan berdampak buruk bagi kesehatan manusia. Saran awal adalah bahwa peningkatan suhu global akan meningkatkan tingkat kematian. Sebuah studi baru-baru ini menunjukkan bahwa populasi di Eropa telah berhasil menyesuaikan gaya hidup mereka dengan mempertimbangkan suhu musim panas yang tinggi. Ini adalah kasus klasik dari penilaian dan adaptasi risiko individu, karena sebagian besar kematian terkait panas terjadi ketika suhu melebihi suhu biasa. Misalnya, di London kematian terkait panas dimulai pada 22,3°C sedangkan di Athena dimulai pada 25,7°C. Jadi tampaknya memberikan informasi yang benar dan terus meningkatkan aksesibilitas ke AC akan berarti bahwa dunia akan dapat beradaptasi dengan kondisi yang lebih hangat. Bahkan, telah dikemukakan bahwa angka kematian bahkan mungkin turun, karena lebih banyak orang meninggal karena cuaca dingin daripada cuaca hangat, sehingga musim dingin yang lebih hangat akan mengurangi penyebab kematian ini.

Fenomena El Niño dan La Niña memiliki dampak yang signifikan terhadap kesehatan lingkungan. Perubahan pola cuaca yang dihasilkan oleh kedua fenomena ini dapat mempengaruhi berbagai aspek lingkungan dan berpotensi memicu masalah kesehatan. Berikut adalah beberapa dampak terhadap kesehatan lingkungan:

1. **Penyebaran Penyakit:** Perubahan pola cuaca yang ekstrem dapat mempengaruhi distribusi penyakit menular. Contohnya, El Niño dapat meningkatkan kelembapan dan curah hujan, menciptakan kondisi yang lebih ideal untuk perkembangan vektor penyakit seperti nyamuk yang menyebarkan malaria, demam berdarah, dan penyakit lainnya.

2. Kualitas Air dan Air Minum: Perubahan pola hujan dapat mempengaruhi kualitas air. Curah hujan yang lebih tinggi selama periode La Niña dapat mengakibatkan aliran limbah dan kontaminan ke dalam sumber air, berpotensi mempengaruhi kualitas air minum dan lingkungan perairan.
3. Bencana Alam: Kondisi cuaca ekstrem yang terkait dengan El Niño dan La Niña, seperti banjir, tanah longsor, dan topan, dapat memicu bencana alam yang berdampak pada lingkungan dan kesehatan manusia. Bencana ini dapat menyebabkan kerugian jiwa, cedera, dan kerusakan infrastruktur.
4. Kekeringan dan Ketersediaan Air: El Niño dapat mengakibatkan kekeringan yang parah di beberapa wilayah. Kekurangan air dapat mempengaruhi ketersediaan air minum, irigasi pertanian, dan sanitasi, yang pada gilirannya dapat memicu masalah kesehatan seperti kelaparan, malnutrisi, dan penyakit yang terkait dengan kebersihan.
5. Kesehatan Mental: Bencana alam dan perubahan lingkungan yang cepat dapat berdampak pada kesehatan mental masyarakat. Kehilangan rumah, harta benda, dan stabilitas sosial dapat menyebabkan stres, kecemasan, dan gangguan mental lainnya.
6. Pengaruh Terhadap Tanaman dan Pangan: El Niño dan La Niña dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan produksi pangan. Pada kasus El Niño, kekeringan dapat merusak panen, sementara La Niña dapat menyebabkan banjir yang merusak tanaman dan lahan pertanian.
7. Kualitas Lingkungan Laut: Perubahan suhu permukaan laut dan arus laut yang terkait dengan fenomena ini dapat mempengaruhi keseimbangan ekosistem laut, termasuk terumbu karang dan biota laut lainnya.

Penting untuk memahami dampak kesehatan lingkungan yang mungkin timbul akibat El Niño dan La Niña. Langkah-langkah mitigasi, kesiapsiagaan bencana, pengawasan penyakit, dan program edukasi masyarakat adalah beberapa tindakan yang dapat membantu mengurangi dampak negatif pada kesehatan manusia dan lingkungan selama periode fenomena ini.

Sejauh ini, ancaman paling penting bagi kesehatan manusia adalah akses ke air minum segar. Saat ini, peningkatan populasi manusia, terutama konsentrasi yang meningkat di daerah perkotaan, memberikan tekanan besar pada sumber daya air. Dampak perubahan iklim – termasuk perubahan suhu, curah hujan, dan permukaan air laut – diperkirakan memiliki konsekuensi yang bervariasi terhadap ketersediaan air bersih di seluruh dunia. Misalnya, perubahan aliran sungai akan mempengaruhi hasil sungai dan waduk dan dengan demikian pengisian kembali persediaan air tanah. Peningkatan laju penguapan juga akan mempengaruhi persediaan air dan berkontribusi pada salinisasi lahan pertanian irigasi. Naiknya permukaan air laut dapat mengakibatkan intrusi air asin di akuifer pantai.

Saat ini, sekitar 1,7 miliar orang, sepertiga dari populasi dunia, tinggal di negara-negara yang kekurangan air. Laporan IPCC menunjukkan bahwa dengan proyeksi peningkatan populasi global, dan perubahan iklim yang diperkirakan, dengan asumsi pola konsumsi saat ini, 5 miliar orang akan mengalami kekurangan air pada tahun 2025. Perubahan iklim kemungkinan akan memiliki dampak terbesar di negara-negara dengan rasio penggunaan relatif yang tinggi terhadap pasokan yang tersedia. Daerah dengan persediaan air yang melimpah akan mendapatkan lebih dari yang mereka inginkan dengan meningkatnya banjir.

Fenomena global warming berpengaruh terhadap hewan dan satwa di bumi yang punah. Berdasarkan data World Green Building Council, di seluruh dunia bangunan gedung setidaknya menyumbang 33% emisi CO₂, mengkonsumsi 17% air bersih, 25% produk kayu, 30-40% penggunaan bahan mentah, dan 40-50% penggunaan energi untuk pembangunan operasionalnya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak global warming terhadap kesehatan lingkungan kerja, upaya mitigasi global warming, dan tantangan pembangunan green building. Jenis Penelitian ini menggunakan pendekatan Deskriptif.

Teknik pengumpulan data menggunakan sumber data sekunder dengan studi literatur, observasi, wawancara, dokumentasi serta dilakukan dengan pencarian sumber pustaka seperti buku, arsip koran dan majalah, artikel ilmiah, menjadi sumber referensi atau gagasan yang diolah menjadi data-data terkait penelitian. Penelitian ini menggunakan analisa data kualitatif dengan menggambarkan data yang dinyatakan dalam kalimat tentang pembangunan green building dalam upaya mitigasi global warming terhadap kualitas kesehatan lingkungan kerja. Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa global warming pada tingkat mikro perusahaan berdampak peningkatan suhu dan sirkulasi udara. Penelitian ini memberikan implikasi bahwa upaya mitigasi global warming harus menjadi agenda nasional dan sekaligus agenda perusahaan dengan lebih memperhatikan aspek kesehatan lingkungan kerja. Gerakan green building ini perlu suatu pendekatan yang komprehensif dengan menekankan pada tiga aspek pendekatan yakni aspek kelembagaan, aspek sosial ekonomi dan aspek teknologi (Madoereto, 2022).

6.5 Keanekaragaman Hayati

Kondisi keanekaragaman hayati saat ini sangat kompleks dan beragam di seluruh dunia. Keanekaragaman hayati mengacu pada keragaman semua bentuk kehidupan di Bumi, termasuk organisme, ekosistem, dan genetika. Perubahan lingkungan, aktivitas manusia, perubahan iklim, serta faktor-faktor lainnya telah memberikan dampak signifikan terhadap keanekaragaman hayati. Berikut adalah beberapa aspek kondisi keanekaragaman hayati:

1. **Kepunahan Spesies:** Salah satu masalah utama dalam keanekaragaman hayati adalah kepunahan spesies. Kepunahan terjadi akibat kerusakan habitat alami, perubahan iklim, perburuan liar, perburuan ilegal, dan aktivitas manusia lainnya. Kepunahan spesies dapat menghilangkan bagian penting dari keanekaragaman hayati dan mengganggu keseimbangan ekosistem.
2. **Perusakan Habitat:** Penggundulan hutan, urbanisasi, reklamasi lahan, dan perubahan penggunaan lahan lainnya telah mengakibatkan perusakan habitat alami. Ini mengurangi ketersediaan ruang bagi banyak spesies, mengganggu rantai makanan dan interaksi ekosistem.
3. **Perubahan Iklim:** Pemanasan global akibat aktivitas manusia mempengaruhi banyak ekosistem dan spesies. Beberapa spesies tidak mampu beradaptasi dengan perubahan suhu yang cepat dan perubahan pola cuaca, yang dapat mengancam kelangsungan hidup mereka.
4. **Invasi Spesies Asing:** Penyebaran spesies invasif yang tidak asli ke ekosistem baru dapat mengganggu keseimbangan alami dan menyebabkan kepunahan spesies endemik. Spesies invasif sering bersaing dengan spesies lokal untuk sumber daya dan habitat.
5. **Penggunaan Pestisida dan Polutan Lingkungan:** Penggunaan pestisida dan polutan lingkungan lainnya dapat mengancam kesehatan organisme dan mengganggu

- rantai makanan. Ini dapat berdampak pada populasi dan keragaman spesies.
6. Perlindungan dan Konservasi: Upaya konservasi dan perlindungan keanekaragaman hayati menjadi semakin penting. Banyak negara dan organisasi telah bekerja untuk mendirikan kawasan lindung, memantau spesies terancam, mengembangkan program penangkaran, dan mengedukasi masyarakat tentang pentingnya menjaga keanekaragaman hayati.
 7. Keanekaragaman Genetika: Hilangnya variasi genetik dalam populasi spesies dapat mengurangi kapasitas mereka untuk beradaptasi terhadap perubahan lingkungan atau penyakit. Keanekaragaman genetik penting untuk keberlanjutan spesies.
 8. Penggunaan Berkelanjutan Sumber Daya Alam: Mempraktikkan pengelolaan sumber daya alam dengan bijak dan berkelanjutan adalah kunci untuk menjaga keanekaragaman hayati. Ini melibatkan penggunaan lahan yang berkelanjutan, pengurangan limbah dan polusi, serta pengembangan teknologi ramah lingkungan.

Penting untuk mengakui pentingnya keanekaragaman hayati dalam menjaga keseimbangan ekosistem dan menjaga keberlangsungan kehidupan di Bumi. Upaya kolektif dari pemerintah, organisasi internasional, masyarakat, dan individu sangat diperlukan untuk melindungi dan melestarikan keanekaragaman hayati untuk generasi mendatang.

Laporan IPCC mencantumkan spesies berikut sebagai spesies yang paling terancam perubahan iklim akibat pemanasan global: gorila gunung di Afrika, amfibi yang hanya hidup di hutan awan neotropis, beruang Andes berkacamata, burung hutan Tanzania, Quetzal Gemerlap di Amerika Tengah, harimau Bengal, dan spesies lain yang hanya ditemukan di lahan basah Sundarban, 97 Dampak masa depan dari pemanasan global tanaman peka terhadap curah hujan yang hanya

ditemukan di Kerajaan Bunga Tanjung Afrika Selatan, beruang kutub, dan penguin.

Habitat alami yang terancam termasuk terumbu karang, hutan bakau, lahan basah pesisir lainnya, ekosistem pegunungan yang ditemukan di atas 200–300 m daerah pegunungan, lahan basah padang rumput, ekosistem permafrost, dan ekosistem tepi es yang menyediakan habitat bagi beruang kutub dan penguin. Alasan utama ancaman terhadap spesies atau ekosistem ini adalah karena mereka tidak dapat bermigrasi sebagai respons terhadap perubahan iklim karena lokasi geografis tertentu atau gangguan aktivitas manusia, terutama pertanian dan urbanisasi. Contoh yang pertama adalah hutan awan neotropics: seiring perubahan iklim, zona iklim khusus ini akan bermigrasi ke lereng gunung sampai titik di mana tidak ada lagi gunung.

Salah satu contoh ekosistem yang terancam adalah terumbu karang. Terumbu karang adalah sumber daya ekonomi yang berharga untuk perikanan, rekreasi, pariwisata, dan perlindungan pantai. Selain itu, terumbu karang adalah salah satu penyimpan keanekaragaman hayati laut terbesar di dunia, dengan sumber daya genetik yang belum dimanfaatkan.

Dampak dari perubahan iklim global terjadi secara perlahan dalam jangka waktu yang cukup panjang, antara 50 – 100 tahun. Walaupun terjadi secara perlahan, perubahan iklim memberikan dampak yang sangat besar pada kehidupan makhluk hidup. Dampak langsung perubahan iklim terhadap keanekaragaman hayati adalah : spesies ranges, perubahan fenologi, perubahan interaksi antar spesies, laju kepunahan, sedangkan dampak tidak langsungnya adalah: dampak terhadap ekosistem hutan, dampak pada daerah kutub, dampak pada daerah arid dan gurun, dampak pada ekosistem pertanian, dan dampak ekologis bagi wilayah pesisir (mangrove). Upaya perlindungan keanekaragaman hayati dari kepunahan telah menyusun suatu Strategi Nasional Pengelolaan Keanekaragaman

Hayati yang diikuti dengan kompilasi Rencana Aksi Keanekaragaman Hayati. (Lubis, 2011).

6.6 Pertanian

Fenomena El Niño dan La Niña dapat memiliki dampak yang signifikan pada pertanian global. Kedua fenomena ini mempengaruhi pola cuaca dan curah hujan di berbagai wilayah, yang dapat memengaruhi produksi tanaman, ketersediaan air, dan keberlanjutan pertanian secara keseluruhan. Berikut adalah beberapa pengaruh fenomena El Niño dan La Niña terhadap pertanian:

El Niño:

1. Kekeringan dan Kebakaran Hutan: El Niño sering dikaitkan dengan kondisi kekeringan yang parah. Tanah yang kering mengakibatkan penurunan produksi tanaman, kehilangan hasil panen, dan peningkatan risiko kebakaran hutan.
2. Pertumbuhan Tanaman yang Terganggu: Kelembapan yang berkurang akibat El Niño dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Tanaman menjadi lebih rentan terhadap penyakit dan hama, serta stres akibat suhu yang tinggi.
3. Penurunan Produksi Pangan: Kekeringan yang terkait dengan El Niño dapat menyebabkan penurunan hasil panen, terutama pada tanaman yang sangat membutuhkan air seperti padi, jagung, dan kedelai. Hal ini dapat berdampak pada ketersediaan pangan dan harga pangan di pasar global.
4. Gangguan Pada Pasokan Pangan: Kekurangan hasil panen dapat mengganggu pasokan pangan global. Negara-negara yang bergantung pada impor pangan mungkin menghadapi kesulitan dalam memenuhi kebutuhan makanan penduduknya.

La Niña:

1. Banjir dan Erosi Tanah: La Niña sering mengakibatkan curah hujan yang lebih tinggi dari biasanya. Ini dapat menyebabkan banjir dan erosi tanah, merusak tanaman, mengganggu lahan pertanian, dan mengancam hasil panen.
2. Tertunda Tanam dan Panen: Kondisi berair yang berlebihan dapat menyebabkan penundaan dalam kegiatan penanaman dan panen. Tanah yang tergenang air dapat sulit untuk dikerjakan dan tanaman bisa mati akibat akar yang terlalu lama terendam.
3. Penyakit dan Hama: Kelembaban yang tinggi selama La Niña dapat memicu pertumbuhan penyakit dan hama pada tanaman. Ini dapat mengurangi hasil panen dan memerlukan penggunaan pestisida yang lebih intensif.
4. Penurunan Kualitas Tanaman: Kelebihan air dapat mempengaruhi kualitas tanaman, terutama pada tanaman buah-buahan dan sayuran. Buah-buahan yang terendam air berlebihan mungkin menjadi busuk atau tidak berkualitas baik.

Pertanian global sangat rentan terhadap fluktuasi cuaca yang diakibatkan oleh fenomena El Niño dan La Niña. Penting bagi para petani, pemerintah, dan lembaga terkait untuk mengembangkan strategi pengelolaan yang adaptif, termasuk penggunaan teknologi pertanian yang canggih, pengelolaan air yang bijaksana, serta pendekatan berkelanjutan yang dapat membantu mengatasi dampak negatif dari kedua fenomena ini.

Salah satu kekhawatiran utama mengenai perubahan iklim di masa depan adalah dampaknya terhadap pertanian, baik secara global maupun regional. Pertanyaan utamanya adalah apakah dunia dapat memberi makan dirinya sendiri di bawah kondisi pemanasan global yang diprediksi di masa depan. Prediksi produksi sereal untuk tahun 2060 menunjukkan bahwa masih ada ketidakpastian besar tentang apakah perubahan iklim akan menyebabkan produksi pertanian global meningkat atau

menurun. Jika perkiraan kenaikan suhu dipertimbangkan, maka kami memperkirakan akan ada penurunan produksi pangan baik di negara maju maupun negara kurang berkembang. Tetapi jika efek lain dipertimbangkan, maka efek suhu ini sangat berkurang, atau dalam kasus negara maju menjadi meningkat.

Salah satu faktor tambahan yang paling penting adalah bahwa peningkatan karbon dioksida atmosfer bertindak sebagai pupuk; sehingga penelitian ilmiah telah menunjukkan bahwa tanaman di atmosfer yang mengandung lebih banyak karbon dioksida tumbuh lebih cepat dan lebih baik, karena CO₂ sangat penting untuk fotosintesis dan sumber utama karbon bagi tanaman. Jadi tanaman menyukai lebih banyak CO₂ di atmosfer dan dengan demikian hasil pertanian dapat meningkat di masa depan di banyak wilayah. Selain itu, jika diasumsikan bahwa petani dapat mengambil tindakan untuk beradaptasi dengan perubahan iklim, ini juga meningkatkan atau setidaknya mempertahankan produksi pertanian di banyak daerah. Misalnya, petani dapat memvariasikan waktu tanam dan/atau beralih ke varietas berbeda dari tanaman yang sama untuk merespons perubahan kondisi.

Oleh karena itu, model menyarankan bahwa dengan asumsi yang masuk akal pada skala dunia, perubahan diharapkan kecil atau sedang. Tetapi ini tidak berarti jumlah sereal yang diproduksi di seluruh dunia akan sama atau lebih rendah pada tahun 2060 dibandingkan dengan saat ini. Sejak tahun 1960 produksi biji-bijian dunia telah berlipat ganda dan diperkirakan akan terus meningkat pada tingkat yang sama. Bahkan sebuah studi pesimistis tahun 1999 menggunakan model iklim Met Office Hadley Center memperkirakan bahwa produksi sereal pada tahun 2080 hanya akan meningkat sebesar 90% dibandingkan dengan hari ini, bukan sebesar 94% yang akan terjadi tanpa adanya pemanasan global.

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh perubahan iklim terhadap produksi pertanian dan strategi adaptasi petani di lahan rawan kekeringan di Kabupaten Semarang. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer yang dikumpulkan melalui wawancara dan observasi. Simple random sampling digunakan untuk mengambil sampel penelitian ini. Sampel dalam penelitian ini adalah 90 petani di desa Jatirunggo, 27 petani di daerah rawan kekeringan dan 63 petani di daerah normal. Berdasarkan hasil analisis regresi linier log, menunjukkan bahwa variabel: lahan, modal, tenaga kerja, dan keanggotaan kelompok tani berpengaruh positif dan signifikan terhadap produksi pertanian. Sedangkan daerah kekeringan dipengaruhi secara negatif. Hasil analisis regresi logistik menunjukkan bahwa petani di daerah kekeringan, jenis kelamin, keanggotaan kelompok tani, dan penggunaan pupuk berpengaruh signifikan terhadap peluang gagal panen. Sedangkan petani yang mengalami penurunan produk pertanian, dan petani di daerah kekeringan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap peluang keputusan petani dalam mengubah pola tanam dan menggeser waktu tanam sebagai bentuk adaptasi perubahan iklim (Hidayanti, 2015).

BAB 7

KEJUTAN

Pemanasan global telah menyebabkan berbagai perubahan dan kejutan di seluruh dunia. Beberapa dari mereka termasuk:

1. Pembekuan Laut di Kutub: Pencairan es di Kutub Utara dan Selatan, terutama di Arktika, mengakibatkan hilangnya habitat es yang penting bagi berbagai spesies hewan seperti burung kutub. Ini juga memicu kenaikan permukaan air laut, yang berdampak pada komunitas pesisir.
2. Perubahan Pola Cuaca Ekstrem: Peningkatan pemanasan global telah terkait dengan perubahan pola cuaca ekstrem, termasuk gelombang panas yang lebih sering dan intens, badai tropis yang lebih kuat, dan kejadian cuaca ekstrem lainnya.
3. Kenaikan Permukaan Air Laut: Pencairan es di kutub dan ekspansi air laut yang dipanaskan telah menyebabkan kenaikan permukaan air laut di seluruh dunia. Ini mengancam pulau-pulau kecil dan daerah pesisir, serta menyebabkan intrusi air laut ke akifer air tawar.
4. Pergeseran Ekosistem dan Spesies: Perubahan suhu dan lingkungan telah menyebabkan pergeseran ekosistem dan spesies. Beberapa spesies bergeser ke ketinggian yang lebih tinggi atau lintang yang lebih utara untuk menemukan kondisi yang lebih sesuai dengan suhu yang mereka butuhkan.
5. Peningkatan Kejadian Kebakaran Hutan: Peningkatan suhu dan kekeringan telah berkontribusi pada meningkatnya kejadian kebakaran hutan di berbagai wilayah. Ini merusak habitat alami, mengancam kelangsungan hidup spesies, dan menghasilkan polusi udara yang berbahaya.

6. Ancaman Terumbu Karang: Pemanasan global telah menyebabkan pemutihan terumbu karang yang lebih sering dan luas. Pemutihan ini dapat merusak ekosistem terumbu karang dan mengancam keberlanjutan ikan dan organisme laut lainnya yang bergantung padanya.
7. Perubahan Pola Pertumbuhan Tanaman dan Produksi Pangan: Pola pertumbuhan tanaman dan musim panen telah berubah akibat perubahan suhu dan curah hujan yang tidak biasa. Ini dapat mempengaruhi produksi pangan dan keamanan pangan global.
8. Ancaman Terhadap Kesehatan Manusia: Pemanasan global dapat memengaruhi kesehatan manusia melalui peningkatan risiko penyakit terkait panas, penyebaran penyakit vektor, dan dampak kesehatan mental yang diakibatkan oleh bencana alam dan ketidakpastian lingkungan.
9. Krisis Air Bersih: Peningkatan suhu dan perubahan pola hujan dapat mengganggu pasokan air bersih. Daerah-daerah yang sudah mengalami kesulitan air mungkin menghadapi peningkatan krisis air.
10. Migrasi Manusia: Perubahan lingkungan dan ancaman terhadap kehidupan manusia dapat memicu migrasi manusia massal. Ini dapat menyebabkan tekanan sosial, konflik, dan masalah pembangunan di daerah tujuan migrasi.

Dampak-dampak ini menunjukkan kompleksitas dan seriusnya dampak pemanasan global terhadap berbagai aspek lingkungan dan kehidupan manusia. Upaya mitigasi dan adaptasi perlu dilakukan secara global untuk mengurangi dampak negatif yang semakin meningkat.

Semua dampak yang dibahas di atas mengasumsikan bahwa ada hubungan linier antara pemaksaan gas rumah kaca dan perubahan iklim, seperti yang dihasilkan oleh AOGCM. Namun, ada kekhawatiran yang meningkat di antara para ilmuwan bahwa perubahan iklim dapat terjadi secara tiba-tiba.

Ini karena ada bukti ilmiah baru-baru ini bahwa banyak perubahan iklim di masa lalu telah terjadi dengan kecepatan yang mengejutkan. Misalnya, catatan inti es menunjukkan bahwa separuh pemanasan di Greenland sejak zaman es terakhir dicapai hanya dalam satu dekade.

Beberapa perubahan regional ini melibatkan perubahan suhu lebih dari 10°C. Ini berhubungan kembali dengan Bab 1 dan diskusi tentang bagaimana perubahan iklim, apakah itu bervariasi dengan lancar atau mengandung ambang batas dan bifurkasi. Kekhawatiran bahwa perubahan iklim di masa depan mungkin terjadi secara tiba-tiba pada tahun 2003, Royal Society yang bergengsi di London mengadakan konferensi dan laporan terkait tentang topik ini, sementara Dewan Riset Nasional di AS menugaskan laporan tentang Perubahan Iklim Tiba-tiba, yang diterbitkan di 2002. Meskipun ini merupakan paradigma baru, kemampuan sistem iklim global untuk berubah secara tiba-tiba telah dibuktikan dengan baik oleh penelitian selama dekade terakhir.

Apa yang ditekankan oleh kedua laporan tersebut adalah perlunya komunitas ilmuwan alam dan sosial yang lebih luas, serta pembuat kebijakan, untuk mengenali paradigma baru ini dan bertindak sesuai dengan itu. Laporan Dewan Riset Nasional (NRC) membuat lima rekomendasi:

1. Meningkatkan basis pengetahuan dasar yang terkait dengan perubahan iklim yang tiba-tiba.

Di bawah ini saya mengulas tiga kemungkinan kejutan iklim yang tiba-tiba: sirkulasi laut dalam, hidrat gas, dan Amazonia. Namun yang menghubungkan itu semua adalah kita benar-benar tidak tahu bagaimana iklim global akan bereaksi terhadap pemanasan global di masa depan. Dengan demikian penting untuk lebih banyak pekerjaan yang harus dilakukan tentang seberapa tiba-tiba perubahan ini terjadi. Selain itu, laporan NRC menunjukkan perlunya pemahaman lebih lanjut tentang

bagaimana ekonomi global dan regional akan menghadapi perubahan iklim yang tiba-tiba.

2. Meningkatkan pemodelan yang berfokus pada perubahan iklim yang tiba-tiba.

Saat ini kebanyakan model mencoba untuk mencapai keadaan tunak atau keseimbangan antara gaya dan variasi. Yang diperlukan adalah model resolusi tinggi jenis baru untuk melihat betapa mudahnya perubahan iklim yang tiba-tiba dapat terjadi. Laporan NRC menekankan bahwa mekanisme baru yang mungkin dari perubahan iklim mendadak harus diselidiki dan hierarki model akan diperlukan, karena banyak dari perubahan mendadak ini dimulai pada skala spasial yang bagus, yang saat ini tidak dapat disimulasikan oleh AOGCM.

3. Memperbaiki data paleoklimat terkait dengan perubahan iklim mendadak.

Perubahan iklim di masa lalu telah memberi kita banyak petunjuk tentang bagaimana iklim di masa depan dapat berubah. Misalnya, ahli kelautan tidak mempertimbangkan gagasan bahwa sirkulasi laut dalam dapat berubah sampai ditunjukkan bahwa itu sangat berbeda selama zaman es terakhir. Laporan NRC menunjukkan bahwa perbaikan diperlukan baik dalam resolusi geografis dan temporal dari peristiwa mendadak di masa lalu. Juga ada kebutuhan untuk fokus pada air, baik terlalu banyak (banjir) dan terlalu sedikit (kekeringan), karena ini adalah pengaruh paling penting bagi umat manusia.

4. Meningkatkan pendekatan statistik.

Hal ini telah disebutkan sebelumnya dalam buku ini, tetapi praktik terkini dalam statistik iklim adalah mengasumsikan distribusi hasil sederhana yang tidak berubah. Misalnya, badai satu dalam 30 tahun secara statistik akan selalu terjadi sekali dalam 30 tahun. Asumsi ini menyebabkan meremehkan serius kemungkinan peristiwa ekstrim; maka dasar konseptual dan penerapan

statistik iklim harus dikaji ulang, terutama karena semua prediksi masa depan adalah bahwa variabilitas tahun-ke-tahun dalam cuaca ekstrem akan meningkat di masa depan.

5. Selidiki strategi 'tanpa penyesalan' untuk mengurangi kerentanan.

Laporan NRC menekankan bahwa penelitian harus dilakukan untuk mengidentifikasi langkah-langkah 'tanpa penyesalan' untuk mengurangi kerentanan dan meningkatkan kapasitas adaptif dengan sedikit atau tanpa biaya. Langkah-langkah tanpa penyesalan dapat mencakup langkah-langkah berbiaya rendah untuk memperlambat perubahan iklim, meningkatkan prakiraan iklim, memperlambat hilangnya keanekaragaman hayati, meningkatkan kualitas air, tanah, dan udara. Perubahan teknologi, seperti teknologi bersih, dapat meningkatkan kemampuan beradaptasi dan ketahanan sistem ekonomi dan ekologi yang menghadapi perubahan iklim yang tiba-tiba. Laporan tersebut menekankan perlunya penelitian tentang bagaimana negara-negara miskin dapat dibantu untuk mengembangkan infrastruktur ilmiah dan ekonomi yang lebih dapat beradaptasi untuk mengurangi dampak perubahan iklim yang tiba-tiba.

Di bawah ini, saya hanya membahas tiga kemungkinan 'kejutan' yang dapat terjadi dalam seratus tahun ke depan karena pemanasan global. Apa yang umum dari semua hipotesis ini adalah bahwa kita benar-benar tidak tahu apakah dan kapan itu akan terjadi dan, jika itu terjadi, apa akibatnya.

Tindakan yang perlu dilakukan mengantisipasi dampak negatif pemanasan global.

Mengantisipasi efek negatif pemanasan global memerlukan tindakan kolektif dari individu, masyarakat, pemerintah, dan lembaga internasional. Berikut adalah beberapa tindakan yang diperlukan untuk mengurangi dampak negatif pemanasan global:

1. Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca: Upaya utama adalah mengurangi emisi gas rumah kaca seperti karbondioksida (CO_2), metana (CH_4), dan nitrogen dioksida (NO_2). Ini melibatkan transisi dari sumber energi fosil ke energi terbarukan seperti tenaga matahari, angin, hidro, dan energi nuklir yang lebih bersih.
2. Promosi Efisiensi Energi: Mengadopsi teknologi dan praktik yang lebih efisien dalam penggunaan energi, baik di rumah, industri, maupun transportasi, dapat mengurangi emisi CO_2 secara signifikan.
3. Konservasi Hutan dan Lahan Basah: Hutan dan lahan basah menyimpan karbon dan memiliki peran penting dalam menyerap CO_2 dari atmosfer. Mencegah deforestasi dan merestorasi lahan basah merupakan langkah penting dalam mengurangi emisi gas rumah kaca.
4. Promosi Transportasi Berkelanjutan: Mengurangi penggunaan kendaraan bermotor dengan mendorong transportasi berkelanjutan seperti berjalan kaki, bersepeda, atau menggunakan transportasi umum dapat mengurangi emisi dan polusi udara.
5. Pengelolaan Limbah: Mengelola limbah secara efisien dan mengurangi pembakaran sampah dapat mengurangi emisi metana yang dihasilkan dari penguraian organik dalam kondisi tanpa oksigen.
6. Peningkatan Efisiensi Pertanian: Mengadopsi praktik pertanian yang berkelanjutan, seperti pengelolaan air yang efisien, rotasi tanaman, dan penggunaan pupuk yang bijaksana, dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dari sektor pertanian.
7. Konservasi dan Perlindungan Laut: Melindungi ekosistem laut seperti terumbu karang dan hutan mangrove dapat membantu menjaga keseimbangan ekologi dan mengurangi emisi CO_2 dari degradasi ekosistem laut.
8. Adaptasi Terhadap Perubahan Iklim: Masyarakat perlu mengembangkan rencana adaptasi yang mampu

- mengatasi dampak perubahan iklim yang sudah terjadi, seperti banjir, kekeringan, dan peningkatan suhu.
9. Pendidikan dan Kesadaran: Edukasi dan kesadaran masyarakat tentang pemanasan global dan dampaknya sangat penting. Masyarakat yang sadar akan masalah ini cenderung mengambil langkah-langkah pribadi untuk mengurangi dampak mereka.
 10. Kerjasama Internasional: Perubahan iklim adalah masalah global yang memerlukan kerjasama antarnegara. Perjanjian internasional seperti Persetujuan Paris adalah contoh upaya kolaboratif untuk mengatasi pemanasan global.
 11. Inovasi Teknologi: Pengembangan teknologi yang lebih ramah lingkungan, seperti energi terbarukan, teknologi pengurangan emisi, dan solusi adaptasi inovatif, akan memainkan peran penting dalam mengatasi dampak negatif.
 12. Pemantauan dan Penelitian: Melakukan pemantauan terhadap perubahan iklim dan penelitian ilmiah yang lebih mendalam membantu memahami dampak dan mengembangkan solusi yang lebih efektif.

Semua tingkatan masyarakat memiliki peran penting dalam mengatasi pemanasan global. Dengan menggabungkan tindakan individu, komunitas lokal, dan kerjasama global, kita dapat bergerak menuju dunia yang lebih berkelanjutan dan tahan terhadap perubahan iklim.

7.1 Sirkulasi Laut Dalam

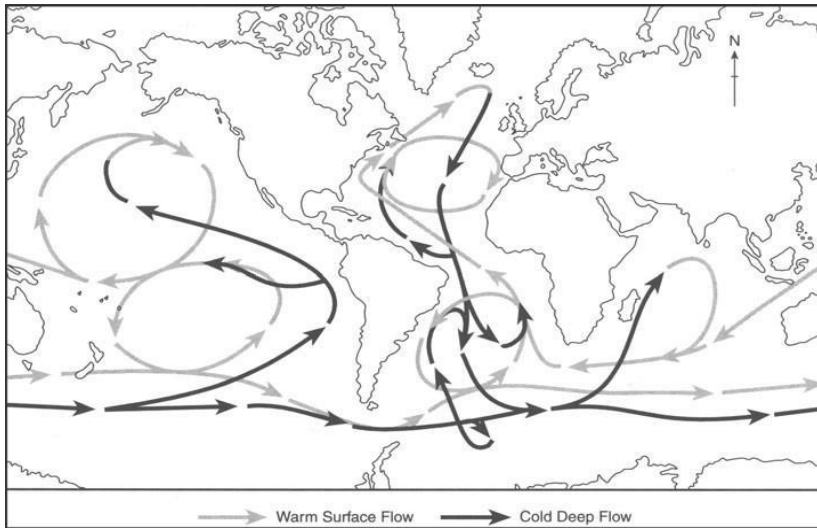
Sirkulasi laut adalah salah satu kontrol utama pada iklim global kita. Faktanya, laut dalam adalah satu-satunya kandidat untuk mendorong dan mempertahankan perubahan iklim internal jangka panjang (dari ratusan hingga ribuan tahun) karena volume, kapasitas panas, dan kelembamannya. Di Atlantik Utara, Arus Teluk yang berarah timur laut membawa air

permukaan yang hangat dan asin dari Teluk Meksiko hingga laut Nordik (Gambar 28). Peningkatan rasa asin atau salinitas di Gulf Stream disebabkan oleh banyaknya penguapan yang terjadi di Karibia, yang menghilangkan kelembaban dari permukaan air dan mengkonsentrasikan garam di air laut. Saat Arus Teluk mengalir ke utara, ia mendingin.

Kombinasi kadar garam yang tinggi dan suhu yang rendah membuat air permukaan lebih berat atau lebih padat. Oleh karena itu, ketika mencapai lautan yang relatif segar di utara Islandia, air permukaan telah cukup dingin untuk menjadi cukup padat untuk tenggelam ke laut dalam. 'Tarik' yang ditimbulkan oleh tenggelamnya massa air yang padat ini membantu mempertahankan kekuatan Arus Teluk yang hangat, memastikan arus air tropis yang hangat mengalir ke Atlantik timur laut, mengirimkan massa udara ringan ke benua Eropa. Telah dihitung bahwa Arus Teluk memberikan 27.000 kali energi dari semua pembangkit listrik Inggris disatukan. Jika Anda ragu tentang seberapa baik Arus Teluk untuk iklim Eropa, bandingkan musim dingin pada garis lintang yang sama di kedua sisi Samudra Atlantik, misalnya, London dengan Labrador atau Lisbon dengan New York. Atau perbandingan yang lebih baik adalah antara Eropa Barat dan pantai Barat Amerika Utara, yang memiliki hubungan geografis yang sama antara lautan dan benua. Jadi pikirkan Alaska dan Skotlandia yang berada pada garis lintang yang hampir sama.

Air dalam yang baru terbentuk tenggelam hingga kedalaman antara 2.000 dan 3.500 m di lautan dan mengalir ke selatan menyusuri Samudra Atlantik, sebagai Air Dalam Atlantik Utara (NADW). Di Samudra Atlantik Selatan bertemu dengan jenis air dalam kedua, yang terbentuk di Samudra Selatan dan disebut Air Bawah Antartika (AABW). Ini dibentuk dengan cara yang berbeda dengan NADW. Antartika dikelilingi oleh es laut dan bentuk air dalam di polnya pantai atau lubang besar di es laut. Angin Antartika yang bertiup keluar mendorong es laut menjauh dari tepi benua untuk menghasilkan lubang-lubang ini.

Anginnya sangat dingin sehingga sangat mendinginkan permukaan air yang terbuka. Hal ini menyebabkan lebih banyak pembentukan es laut dan penolakan garam, menghasilkan air terdingin.



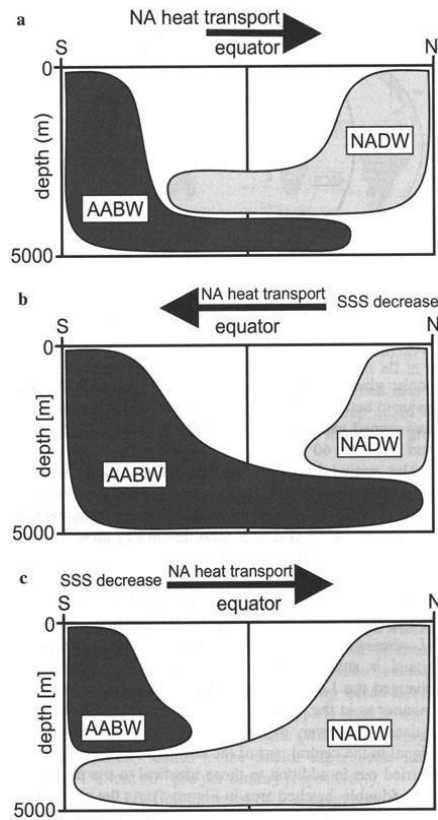
Gambar 7. 1. Aliran air dunia

Antartika dan menembus Atlantik Utara, mengalir di bawah NADW yang lebih hangat dan dengan demikian agak lebih ringan (Gambar 7.1). AABW juga mengalir ke Samudra Hindia dan Pasifik.

Keseimbangan antara NADW dan AABW ini sangat penting dalam menjaga iklim kita saat ini, karena tidak hanya menjaga Arus Teluk mengalir melewati Eropa tetapi juga mempertahankan jumlah pertukaran panas yang tepat antara belahan bumi utara dan selatan. Para ilmuwan telah menunjukkan bahwa sirkulasi air dalam dapat melemah atau 'dimatikan' jika ada masukan air tawar yang cukup untuk membuat air permukaan terlalu ringan untuk tenggelam. Bukti ini datang dari model komputer dan studi iklim masa lalu. Para ilmuwan telah menciptakan frasa 'dedensifikasi' yang berarti

penghilangan kepadatan dengan menambahkan air tawar dan/atau memanaskan air, yang keduanya mencegah air laut menjadi cukup padat untuk tenggelam. Seperti yang telah kita lihat, sudah ada kekhawatiran bahwa pemanasan global akan menyebabkan mencairnya es di kutub secara signifikan. Ini akan menyebabkan lebih banyak air tawar ditambahkan ke lautan kutub. Oleh karena itu, pemanasan global dapat menyebabkan runtuhnya NADW, dan melemahnya Arus Teluk yang hangat (Gambar 7.2b). Ini akan menyebabkan musim dingin Eropa yang jauh lebih dingin, kondisi badai, dan cuaca yang lebih buruk. Namun, pengaruh Arus Teluk yang hangat terutama di musim dingin sehingga tidak mempengaruhi suhu musim panas. Jadi, jika Arus Teluk gagal, pemanasan global masih akan menyebabkan musim panas Eropa memanaskan. Eropa akan berakhir dengan cuaca musiman yang ekstrem.

Skenario kebalikannya adalah jika lapisan es Antartika mulai mencair secara signifikan sebelum es Greenland dan Arktik, segalanya bisa sangat berbeda. Jika air lelehan yang cukup ditempatkan di Samudra Selatan maka AABW akan sangat dibatasi. Karena sistem perairan dalam merupakan tindakan penyeimbang antara NADW dan AABW, jika AABW dikurangi maka NADW akan bertambah dan membesar (Gambar 7.2c). Masalahnya adalah NADW lebih hangat daripada AABW, dan karena jika Anda memanaskan cairan, cairan itu memuai, NADW akan memakan lebih banyak ruang. Jadi setiap kenaikan NADW akan berarti kenaikan permukaan laut.



Gambar 7. 2. Percabangan Sistem Iklim

Kemungkinan sirkulasi yang berbeda dari laut dalam tergantung salinitas permukaan laut (SSS), yaitu, masukan air tawar model oleh Profesor Seidov (Penn State University, AS) dan saya sendiri telah menyarankan bahwa peristiwa pencairan air di Samudra Selatan dapat menyebabkan pengurangan AABW dan perluasan NADW, dan akan menghasilkan peningkatan permukaan laut rata-rata sebesar 2,5 m (Gambar 7.3). Masalahnya adalah kita tidak tahu berapa banyak air tawar yang dibutuhkan untuk mematikan NADW atau AABW. Saat ini kita juga tidak bisa memprediksi mana yang akan mencair lebih dulu, Arktik atau Antartika. Kita tahu bahwa peristiwa-peristiwa ini telah sering terjadi di masa lalu dan telah secara drastis

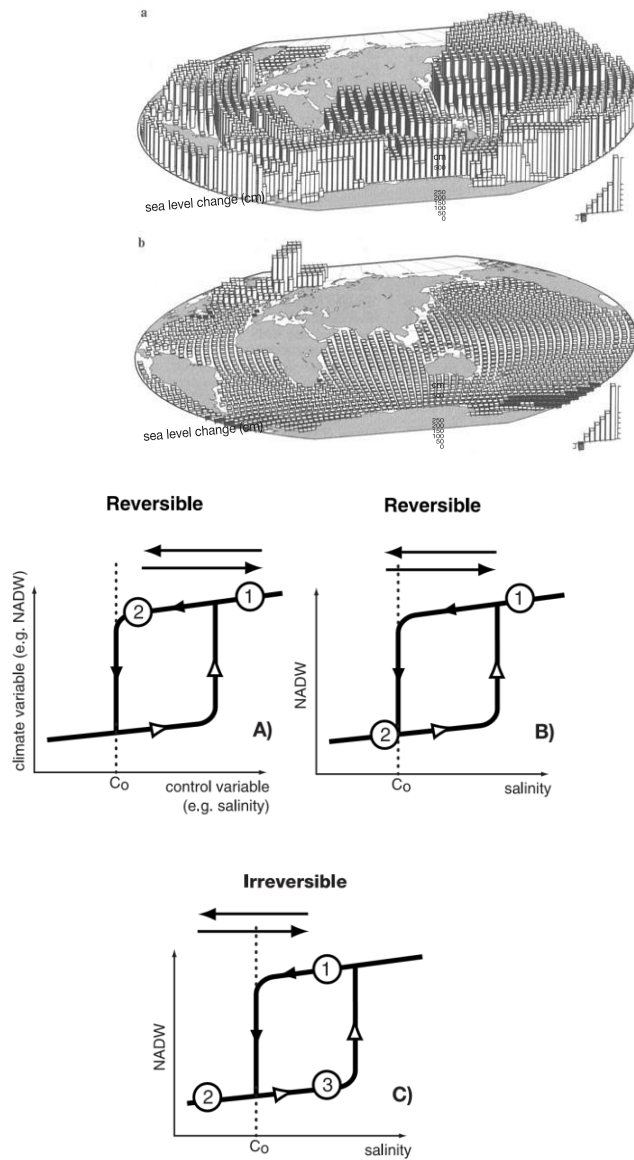
mengubah iklim global. Jika pemanasan global berlanjut, beberapa waktu di masa depan air lelehan yang cukup akan dihasilkan dan pilihannya adalah perubahan parah pada iklim Eropa atau tambahan 2,5 m kenaikan permukaan laut global.

Kami tidak hanya tidak tahu berapa banyak air tawar yang dibutuhkan untuk mengurangi pembentukan air dalam Atlantik Utara atau Samudra Selatan, kami juga tidak yakin apakah itu bisa dibalik. Ini karena model komputer menyarankan sistem air tawar-laut dalam bisa menjadi sistem ambang batas. Gambar 26 menunjukkan percabangan sistem iklim ini dan menunjukkan bahwa mungkin ada hubungan yang berbeda antara iklim dan mekanisme pemaksaan, tergantung pada arah ambang batas. Sistem bifurkasi sangat umum dalam sistem alam, misalnya, dalam kasus di mana inersia atau pergeseran antara keadaan materi yang berbeda perlu diatasi. Gambar 31 menunjukkan bahwa dalam kasus A dan B sistemnya reversibel, tetapi dalam kasus C tidak. Dalam kasus C, variabel kontrol harus meningkat lebih dari pada keadaan setimbang sebelumnya untuk melewati ambang batas dan mengembalikan sistem ke keadaan pra-ambang. Mari kita pertimbangkan ini dalam hal salinitas Atlantik Utara versus produksi Air Dalam Atlantik Utara (NADW). Kita tahu bahwa menambahkan lebih banyak air tawar ke Atlantik Utara menghambat produksi air dingin yang asin, dan karenanya air dalam yang berat. Dalam kasus A, mengubah salinitas Atlantik Utara tidak berpengaruh pada jumlah NADW yang dihasilkan. Ini adalah sistem yang sangat tidak sensitif.

Dalam kasus B, mengurangi salinitas mengurangi produksi NADW; Namun, jika garamnya diganti, maka Kita tahu bahwa menambahkan lebih banyak air tawar ke Atlantik Utara menghambat produksi air dingin yang asin, dan karenanya air dalam yang berat. Dalam kasus A, mengubah salinitas Atlantik Utara tidak berpengaruh pada jumlah NADW yang dihasilkan. Ini adalah sistem yang sangat tidak sensitif. Dalam kasus B, mengurangi salinitas mengurangi produksi NADW; Namun, jika garamnya diganti, maka Kita tahu bahwa menambahkan lebih

banyak air tawar ke Atlantik Utara menghambat produksi air dingin yang asin, dan karenanya air dalam yang berat. Dalam kasus A, mengubah salinitas Atlantik Utara tidak berpengaruh pada jumlah NADW yang dihasilkan. Ini adalah sistem yang sangat tidak sensitif. Dalam kasus B, mengurangi salinitas mengurangi produksi NADW; Namun, jika garamnya diganti, maka produksi NADW kembali ke tingkat pra-ambang sebelumnya.

(t)



Gambar 7. 3. Perubahan permukaan laut di masa depan tergantung pada masukan air lelehan baik di a) Samudra Selatan di sekitar Antartika atau b) Samudra Atlantik Utara

Bifurkasi sistem iklim

Dalam kasus C, mengurangi salinitas Atlantik Utara mengurangi produksi NADW. Namun, hanya mengembalikan jumlah garam yang sama tidak mengembalikan produksi NADW ke tingkat normal. Karena bifurkasi, lebih banyak garam harus disuntikkan untuk mengembalikan produksi NADW ke tingkat sebelumnya. Mungkin jumlah tambahan garam yang dibutuhkan tidak mungkin dalam sistem dan hal ini membuat sistem secara teoritis tidak dapat diubah. Masalah utama yang kita hadapi ketika melihat perubahan iklim di masa depan adalah apakah sistem bifurkasi ada dan apakah sistem akan melampaui titik yang dapat dibalik. Yang mengkhawatirkan adalah bahwa sistem ambang batas ini dapat diterapkan pada bagian mana pun dari sistem iklim. Contoh lain adalah posisi monsun: di Oman dan bagian lain Arabia air tanah segar telah berumur 18.000 tahun yang lalu, hingga zaman es terakhir; tidak ada yang lebih muda. Ini menunjukkan bahwa di bawah kondisi glasial, sabuk monsun Asia Tenggara modern datang lebih jauh ke utara, menghasilkan hujan yang signifikan di daerah yang sekarang sangat kering. Segera setelah iklim global berubah menjadi interglasial, angin muson bergeser. Pertanyaan selanjutnya adalah: jika pemanasan global mengubah posisi angin muson lagi, apakah mereka akan kembali ke posisi sekarang jika efek pemanasan global berkurang.

Episode El-Niño mulai terasa pada bulan April dan berkembang hingga mencapai puncaknya pada bulan Agustus dan September. Setelah itu dampak dari El-Niño tersebut akan menghilang pada akhir tahun. Karena dampak dari ENSO sangat terasa pada saat Indonesia mengalami musim kemarau, maka dari gejala alam diatas, yaitu El-Niño dan La-Niña, kasus El-Niño akan memberikan dampak yang lebih merusak. Hal ini dikarenakan sifat dari El-Niño yang akan memberikan kekeringan yang lebih pada saat kita mengalami musim yang telah kering. Sedangkan pada kasus tahun La-Niña, kekeringan

di musim kemarau akan berkurang dengan kejadian sebaliknya dari El-Niño. Dampak ENSO tidak terasa pada puncak musim hujan karena sistem monsoon dan arus laut menghambat pengaruh tersebut. Besarnya dampak El-Niño pada musim kemarau dan menghilangnya dampak tersebut pada musim hujan lebih disebabkan oleh sirkulasi laut wilayah Indonesia. Pada pertengahan musim kemarau, arus laut akan mengalirkan masa laut dari wilayah warmpool ke wilayah timur Indonesia. Pada saat El-Niño, sirkulasi arus laut ini membawa masa air dingin yang menghambat hujan ke wilayah Indonesia. Pada paruh setengah tahun berikutnya, sirkulasi arus laut akan membawa masa air dari wilayah Indonesia keluar menuju warmpool dan menghambat dampak ENSO bagi wilayah Indonesia (Aldrian, 2007).

7.2 Gas Hidrat

Saat ini, di bawah lautan dunia dan permafrost mengintai ancaman mematikan – gas hidrat. Ini adalah campuran air dan metana, yang dipertahankan sebagai padatan pada suhu yang sangat rendah dan tekanan yang sangat tinggi. Hidrat gas ini adalah padatan yang terdiri dari sangkar molekul air, yang menampung molekul metana dan gas lainnya. Metana berasal dari bahan organik yang membusuk yang ditemukan jauh di dalam sedimen laut dan di tanah di bawah lapisan es. Reservoir gas hidrat ini sangat tidak stabil, karena sedikit peningkatan suhu atau penurunan tekanan dapat menyebabkannya menjadi tidak stabil dan dengan demikian menimbulkan risiko besar. Dampak pemanasan global termasuk memanasnya lautan dan lapisan es, yang dapat menyebabkan hidrat gas terurai, memompa sejumlah besar metana ke atmosfer. Metana adalah gas rumah kaca yang sangat kuat, 21 kali lebih kuat dari karbon dioksida. Jika cukup dilepaskan, itu akan meningkatkan suhu lebih banyak lagi, melepaskan lebih banyak gas hidrat – menghasilkan efek rumah kaca yang tak terkendali. Ada 10.000 gigaton gas hidrat yang tersimpan di bawah kaki kita

dibandingkan dengan hanya 180 gigaton karbon dioksida yang saat ini ada di atmosfer.

Alasan mengapa para ilmuwan sangat khawatir tentang hal ini adalah karena ada bukti bahwa efek rumah kaca yang tak terkendali terjadi 55 juta tahun yang lalu. Selama peristiwa rumah panas ini, 1.200 gigaton gas hidrat dilepaskan, tetapi itu mempercepat efek rumah kaca alami, menghasilkan tambahan 5°C pemanasan. Para ilmuwan, bagaimanapun, terbagi pada apakah pemanasan global akan menyebabkan pelepasan hidrat gas yang signifikan. Alasannya adalah bahwa ada dua kontrol pada hidrat gas samudera: satu adalah suhu dan yang lainnya adalah tekanan atau permukaan laut. Namun, perhitungan model oleh Peter Cox di Met Office Hadley Center menunjukkan bahwa pada tingkat pemanasan global yang diprediksi saat ini, permukaan laut tidak akan naik lebih cepat untuk melawan efek pemanasan laut, maka hidrat gas akan mulai terurai dalam seratus tahun berikutnya. tahun, melepaskan metana.

Ada masalah lain. Jika sebagian besar Lapisan Es Greenland dan Antartika mencair, hilangnya es dari benua berarti akan pulih dan mulai bergerak ke atas. Rebound isostatik ini dapat dilihat di Kepulauan Inggris, yang masih dalam pemulihan dari zaman es terakhir, dengan Skotlandia masih meningkat sementara Inggris menurun. Ini berarti bahwa permukaan laut relatif di sekitar landas kontinen akan turun, menghilangkan berat dan dengan demikian tekanan air laut pada sedimen laut. Penghilangan tekanan adalah cara yang jauh lebih efisien untuk mendestabilisasi hidrat gas daripada peningkatan suhu dan begitu banyak metana dapat dilepaskan dari sekitar Kutub Utara dan Antartika. Ada efek sekunder lain dari pelepasan hidrat gas: ketika hidrat terurai, mereka dapat melakukannya secara eksplosif. Ada bukti jelas di masa lalu bahwa pelepasan hidrat gas yang hebat telah menyebabkan kemerosotan besar-besaran landas kontinen dan tsunami terkait (gelombang raksasa). Yang paling terkenal adalah longsoran Storegga Norwegia yang terjadi sekitar 8.000 tahun yang lalu,

seukuran Wales, dan menghasilkan tsunami setinggi 15 m, yang menyapu banyak pemukiman prasejarah di Skotlandia. Oleh karena itu, kita tidak dapat mengesampingkan fakta bahwa pemanasan global dapat menyebabkan peningkatan frekuensi tanah longsor bawah laut yang dihasilkan oleh gas hidrat dan dengan demikian tsunami dengan ketinggian lebih dari 15 m menghantam pantai kita. Hingga saat ini, hanya negara-negara di sekitar Pasifik dan menghasilkan tsunami setinggi 15 m, yang menyapu bersih banyak pemukiman prasejarah di Skotlandia. Oleh karena itu, kita tidak dapat mengesampingkan fakta bahwa pemanasan global dapat menyebabkan peningkatan frekuensi tanah longsor bawah laut yang dihasilkan oleh gas hidrat dan dengan demikian tsunami dengan ketinggian lebih dari 15 m menghantam pantai kita. Hingga saat ini, hanya negaranegara di sekitar Pasifik dan menghasilkan tsunami setinggi 15 m, yang menyapu bersih banyak pemukiman prasejarah di Skotlandia. Oleh karena itu, kita tidak dapat mengesampingkan fakta bahwa pemanasan global dapat menyebabkan peningkatan frekuensi tanah longsor bawah laut yang dihasilkan oleh gas hidrat dan dengan demikian tsunami dengan ketinggian lebih dari 15 m menghantam pantai kita. Hingga saat ini, hanya negara-negara di sekitar Pasifik rim siap untuk jenis acara ini karena banyak dari tsunami ini dipicu oleh gempa bumi. Tetapi tsunami yang dihasilkan oleh gas hidrat dapat terjadi di mana saja di lautan.

Gas hidrat merupakan gas metana yang bersenyawa dengan air dalam bentuk kristal es dengan lapisan es tersebut menutupi molekul gas yang terjebak didalamnya dan biasanya berupa metana, oleh sebab itu gas hidrat sering juga disebut dengan metan hidrat (Sloan, 1998 op.cit. Bünz et al., 2003). Metan hidrat ini berbentuk padatan, terbentuk oleh molekul CH_4 yang dikelilingi oleh air (H_2O) dengan terdapat 20 molekul H_2O yang akan mengelilingi sebuah molekul CH_4 . Jumlah gas alam yang berbentuk hidrat ini kelimpahannya di bumi jauh lebih besar dibandingkan dengan jenis bahan bakar fosil lainnya sehingga berpotensi untuk menjadi sumber energi dunia hingga

ratusan tahun ke depan. Gas hidrat diperkirakan memiliki cadangan sebesar 1015 – 1017 m³ atau setara dengan dua kali lipat besarnya cadangan gas konvensional (2,5 x 10¹⁴ m³) dan hampir dua kali lebih besar daripada sumber energi yang berasal dari bahan bakar fosil seperti batubara, minyak, dan gas alam. Pemuaian yang sangat tinggi menghasilkan jumlah gas yang sangat besar yang tersimpan dalam fasa padat hidrat: 1 m³ metan hidrat menghasilkan 164 m³ gas dan 0.8 m³ air pada kondisi temperatur dan tekanan standar. Hidrat yang berhubungan dengan sumber daya gas saat ini diperkirakan ada 1013 m³ di daratan (kondisi permafrost) dan 20 x 10¹⁵ m³ di lautan pada kondisi standar (Kvenvolden, 1998 a,b op.cit. Grauls 2001).

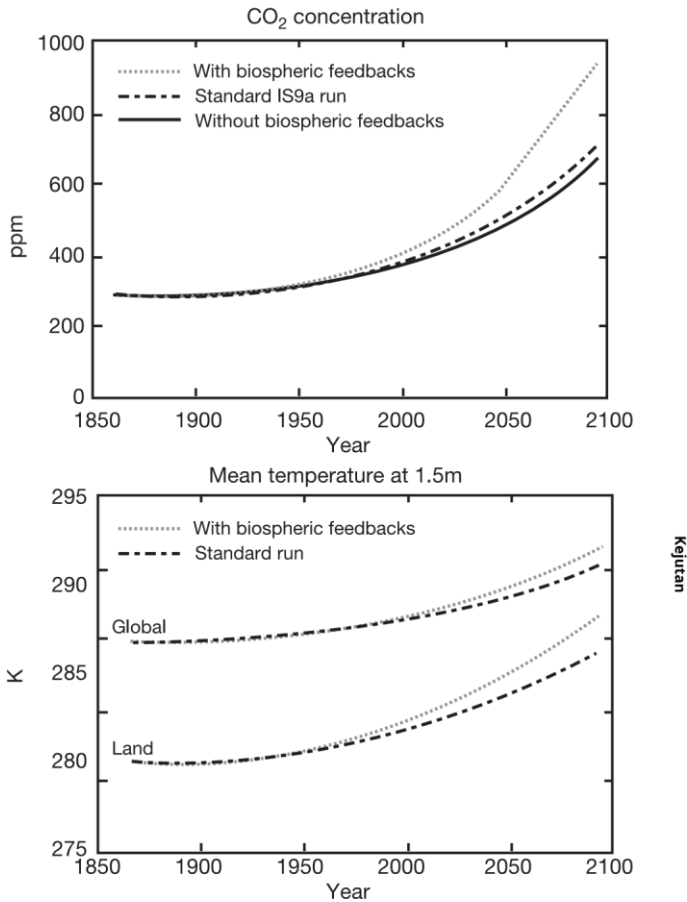
7.3 Amazonia

Pada tahun 1542 Francisco de Orellana memimpin pelayaran Eropa pertama menyusuri Sungai Amazon. Selama perjalanan pemberani ini ekspedisi menemui banyak perlawanan dari orang India setempat; di satu suku tertentu para pejuang wanita begitu ganas sehingga mereka menggiring prajurit pria mereka di depan mereka dengan tombak. Karena itu, sungai itu dinamai menurut nama pejuang wanita terkenal dari mitos Yunani, Amazon. Ini menjadikan Francisco de Orellana salah satu penjelajah paling sial pada zaman itu, karena biasanya sungai itu dinamai menurut namanya. Pelayaran ini juga memulai keajaiban mistis kami tentang sungai terbesar dan area hutan hujan terbesar di dunia, sesuatu yang masih kami rasakan sampai sekarang. Sungai Amazon membuang sekitar 20% dari semua air tawar yang dibawa ke lautan.

Cekungan drainase Amazon adalah yang terbesar di dunia, meliputi area seluas 7.050.000 km², seukuran Eropa. Sungai adalah produk dari musim hujan Amazon, yang setiap musim panas membawa hujan lebat. Ini juga menghasilkan bentangan hutan hujan yang spektakuler, yang mendukung salah satu

keanekaragaman tertinggi dan jumlah spesies terbesar dari wilayah mana pun di dunia. Hutan hujan Amazon juga penting dalam hal pemanasan global di masa depan, karena merupakan penyimpan karbon alami yang sangat besar.

Hingga baru-baru ini, diperkirakan bahwa hutan hujan yang sudah mapan seperti Amazon telah mencapai kematangan dan dengan demikian tidak dapat lagi menyerap karbon dioksida. Eksperimen di jantung hutan hujan Amazon telah menunjukkan bahwa ini bisa jadi salah dan bahwa hutan hujan Amazon mungkin menyedot tambahan 5 ton karbon dioksida atmosfer per ha per tahun. Ini karena tanaman bereaksi baik terhadap peningkatan karbon dioksida; karena merupakan bahan baku fotosintesis, semakin banyak semakin baik. Jadi memiliki lebih banyak karbon dioksida di atmosfer bertindak seperti pupuk, merangsang pertumbuhan tanaman. Karena ukuran hutan hujan Amazon, tampaknya saat ini mengambil sebagian besar karbon dioksida atmosfer kita.



Gambar 7. 4. Model CO₂ konsentrasi dan suhu rata-rata dari waktu ke waktu polusi, sekitar tiga perempat dari polusi mobil dunia. Tapi hal-hal bisa berubah di masa depan.

Model iklim global yang dikembangkan di Met Office Hadley Center menunjukkan bahwa pemanasan global pada tahun 2050 dapat meningkatkan musim kemarau musim dingin di Amazonia. Agar hutan hujan Amazon dapat bertahan, tidak hanya membutuhkan curah hujan yang besar selama musim hujan tetapi juga musim kemarau yang relatif singkat sehingga tidak mengering.

Menurut model Hadley Center, pemanasan global dapat menyebabkan iklim global bergeser ke arah yang lebih El Niño-like state dengan musim kemarau Amerika Selatan lebih lama. Kim Stanley Robinson dalam novelnya Empat Puluh Tanda Hujan menggunakan istilah Hyperniño untuk merujuk ke a keadaan iklim baru. Oleh karena itu, hutan hujan Amazon tidak bisa lagi bertahan dan akan digantikan oleh sabana (padang rumput kering) yang ditemukan di timur dan selatan Cekungan Amazon saat ini.

Penggantian ini akan terjadi karena periode kering yang berkepanjangan akan menyebabkan kebakaran hutan yang menghancurkan sebagian besar hutan hujan. Ini juga akan mengembalikan karbon yang tersimpan di hutan hujan kembali ke atmosfer, mempercepat pemanasan global. Sabana kemudian akan mengambil alih area yang terbakar tersebut, karena disesuaikan untuk menghadapi musim kemarau yang panjang, tetapi sabana memiliki potensi penyimpanan karbon per mil persegi yang jauh lebih rendah daripada hutan hujan. Jadi hutan hujan Amazon saat ini mungkin membantu mengurangi jumlah polusi yang kita masukkan ke atmosfer, tetapi pada akhirnya dapat menyebabkan pemanasan global meningkat pada tingkat yang belum pernah terjadi sebelumnya dan saat ini tidak dapat diprediksi (Gambar 7.4). Namun, kita tetap harus melihat hasil ini dengan hati-hati.

Pertama, model Met Office Hadley Center unik, karena merupakan model pertama yang tidak hanya memiliki sistem atmosfer dan laut yang sepenuhnya digabungkan, tetapi juga sistem vegetasi yang sepenuhnya digabungkan dengan iklim, sehingga iklim mempengaruhi vegetasi dan lingkungan. vegetasi mempengaruhi iklim. Ini adalah langkah maju yang sangat penting dalam model iklim karena para ahli ekologi telah lama mengetahui bahwa berbagai jenis vegetasi mengubah lingkungan setempat.

Hal ini terutama berlaku untuk hutan hujan Amazon, yang mendaur ulang setidaknya 50% dari curah hujan, mempertahankan lingkungan lembab yang hangat. Saat ini tidak ada GCM lain untuk membandingkan hasilnya. Jadi sampai ini terjadi, kita tidak bisa terlalu percaya pada satu model, tetapi model ini dengan jelas menunjukkan di mana kita harus memusatkan upaya ilmiah kita di masa depan. Kedua, model Met Office Hadley Center adalah salah satu dari banyak GCM yang menunjukkan dunia bergerak ke arah yang lebih El Nin.~ keadaan seperti-o; tetapi tidak semua GCM yang ditinjau oleh IPCC menunjukkan pergeseran ini. Seiring dengan pergeseran menuju El Nin. adalah kendali utama di masa depan hutan hujan, itu adalah sesuatu yang perlu kita yakini.

Seperti yang telah dibahas sebelumnya, kepercayaan pada sains bergerak maju sebagai konsekuensi dari banyaknya bukti dan saat ini tidak ada cukup bukti yang meyakinkan bahwa dunia akan bergerak ke arah El Nin yang lebih besar. Pelepasan karbon tambahan dari biosfer terestrial ke atmosfer yang diprediksi dalam model Hadley Center berasal dari peningkatan dekomposisi tanah yang merupakan proses yang kurang dipahami dalam skala global. Jadi, sampai lebih banyak GCM telah menggabungkan model vegetasi, kita tidak dapat percaya pada prediksi yang satu ini. Tapi, seperti yang mereka katakan, perhatikan ruang ini.

Dalam beberapa dekade terakhir, perubahan iklim telah mengambil tempat sentral dalam ilmu pengetahuan, politik, ekonomi dan arena publik. Beberapa penelitian telah menunjukkan bukti perubahan cuaca dan iklim baru-baru ini pola, dan komunitas ilmiah sangat setuju bahwa atmosfer bumi memiliki nya telah memanaskan karena emisi gas rumah kaca yang terus-menerus (misalnya, IPCC 2014, 2018 dan referensi di dalamnya). Perubahan iklim bumi ini memiliki dampak lingkungan, sosial-politik dan konsekuensi ekonomi karena sumber daya dan aktivitas yang bergantung pada cuaca dapat dikompromikan, menimbulkan potensi konflik. Penolakan

perubahan iklim, terutama oleh pemerintah dan aktor pembuat kebijakan 43, merupakan masalah serius karena menghambat upaya strategi mitigasi dan adaptasi, yang ditegaskan kembali oleh laporan IPCC terbaru (2018) sangat mendesak. Beberapa di sektor swasta sudah mempertimbangkan dampak perubahan iklim - mulai dari kenaikan biaya operasional hingga gangguan dalam produksi - meskipun ada keterbatasan strategi adaptasi (Goldstein dkk. 2019). Studi observasional tidak menunjukkan tanda-tanda yang jelas tentang tren negatif uni-directional curah hujan di Amazonia.

Besaran dan ukuran tren bergantung pada kumpulan data curah hujan, panjang catatan, dll., dan ketidakpastiannya tinggi karena studi telah menemukan tren yang bervariasi dalam arah ketika periode panjang yang berbeda digunakan. Sementara curah hujan di Amazonia utara-selatan/selatan menunjukkan sedikit tren curah hujan negatif/positif, yang penting bukanlah tren itu sendiri, tetapi adanya variabilitas curah hujan skala decadal, dengan periode yang relatif lebih basah selama 1945–1976 dan periode yang relatif lebih kering selama 1977–2000 di Amazon utara/selatan (Marengo, 2004). Kehadiran tahun-tahun kering dan kekeringan di Amazonia pada rentang waktu antar tahunan terkait dengan kejadian El Niño kuat di Paci tropis atau ke anomaly warm sea surface temperature (SST) di Atlantik Utara tropis.

Tren peningkatan yang teramati dalam debit dan curah hujan di semua bagian kecuali bagian timur Cekungan Amazon antara akhir 1950-an dan awal 1980-an, terdeteksi oleh Gentry dan Lopez-Parodi [1980], dikaitkan oleh mereka dengan deforestasi di hulu. Penjelasan yang mungkin dari pola ini terkait dengan periode basah 1945–1976, bagian dari variabilitas iklim alami di Samudera pada skala waktu decadal (Zhang dkk., 1997)

BAB 8

KAJIAN FISIKA

Kajian fisika tentang pemanasan global melibatkan pemahaman tentang bagaimana energi matahari berinteraksi dengan atmosfer Bumi dan dampaknya terhadap suhu rata-rata permukaan Bumi. Pemanasan global terjadi ketika gas-gas rumah kaca, seperti karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dan uap air, menjebak panas di atmosfer Bumi dan menyebabkan peningkatan suhu global. Berikut ini beberapa konsep fisika yang terlibat dalam kajian pemanasan global:

1. Efek Rumah Kaca: Ini adalah konsep dasar yang menjelaskan bagaimana gas-gas rumah kaca merentangkan radiasi panas dari Bumi dan menjebaknya di atmosfer, mirip seperti atap kaca di rumah kaca. Gas-gas ini mengabsorpsi radiasi inframerah yang dipancarkan oleh permukaan Bumi dan kemudian memancarkannya kembali ke Bumi.
2. Radiasi Matahari: Energi matahari mencapai Bumi dalam bentuk radiasi elektromagnetik. Radiasi ini mencakup berbagai panjang gelombang, termasuk sinar matahari yang terlihat dan radiasi inframerah yang tidak terlihat. Ketika radiasi matahari mencapai permukaan Bumi, sebagian besar energi ini diserap dan menghangatkan permukaan.
3. Pemanasan Permukaan dan Konduksi: Energi matahari yang diserap oleh permukaan Bumi menyebabkan pemanasan. Ini terjadi ketika energi tersebut diubah menjadi energi termal dan meningkatkan suhu permukaan. Proses ini melibatkan konduksi panas, di mana panas berpindah melalui molekul-molekul dalam bahan.

4. Radiasi Inframerah: Permukaan Bumi memancarkan energi termal dalam bentuk radiasi inframerah. Namun, gas-gas rumah kaca seperti CO₂ dan CH₄ mampu menyerap sebagian besar radiasi ini dan kemudian memancarkannya kembali ke Bumi. Ini menghasilkan efek peningkatan suhu.
5. Efek Penyebab Balik: Peningkatan suhu global dapat menyebabkan perubahan yang lebih lanjut dalam sistem iklim. Misalnya, pencairan es kutub mengurangi kemampuan permukaan Bumi untuk memantulkan sinar matahari, yang kemudian meningkatkan pemanasan lebih lanjut.
6. Perubahan Iklim: Kontribusi manusia terhadap pemanasan global melibatkan pelepasan besar-besaran gas rumah kaca akibat pembakaran bahan bakar fosil dan aktivitas manusia lainnya. Peningkatan konsentrasi gas-gas ini menyebabkan peningkatan efek rumah kaca dan pemanasan global.

Studi tentang pemanasan global melibatkan pengamatan, pemodelan, dan analisis data untuk memahami dinamika iklim Bumi dan dampaknya terhadap lingkungan dan masyarakat. Fisika merupakan salah satu disiplin ilmu utama yang membantu kita memahami dasar-dasar ilmiah di balik perubahan iklim global ini.

Peran struktur gas di atmosfera dalam menjaga biosfera

Struktur gas di atmosfer Bumi memiliki peran kritis dalam menjaga biosfera (lingkungan kehidupan) dan kondisi yang mendukung keberlangsungan kehidupan di planet ini. Beberapa gas penting dalam atmosfer yang memainkan peran utama dalam menjaga biosfera termasuk oksigen (O₂), karbon dioksida (CO₂), nitrogen (N₂), dan ozon (O₃). Berikut adalah penjelasan mengenai peran masing-masing gas tersebut:

1. Oksigen (O₂): Oksigen adalah gas yang esensial bagi kehidupan. Hewan dan manusia menggunakan oksigen

untuk proses pernapasan, di mana oksigen dihirup dan diubah menjadi energi melalui reaksi kimia di dalam sel. Kebanyakan makhluk hidup memerlukan oksigen untuk menghasilkan energi dari makanan yang mereka konsumsi.

2. Karbon Dioksida (CO_2): Karbon dioksida adalah gas rumah kaca yang memiliki peran penting dalam menjaga suhu Bumi. Meskipun terkadang dianggap sebagai polutan, CO_2 juga diperlukan untuk fotosintesis oleh tumbuhan. Fotosintesis adalah proses di mana tumbuhan menggunakan sinar matahari, air, dan CO_2 untuk menghasilkan makanan dan oksigen. Oksigen yang dihasilkan oleh fotosintesis penting bagi semua bentuk kehidupan yang melakukan pernapasan.
3. Nitrogen (N_2): Nitrogen merupakan komponen utama atmosfer, dan sekitar 78% atmosfer terdiri dari nitrogen. Nitrogen tidak mudah bereaksi secara langsung dengan organisme hidup, tetapi mikroorganisme tertentu mampu mengubah nitrogen di atmosfer menjadi bentuk yang dapat digunakan oleh tumbuhan. Nitrogen esensial bagi pembentukan protein dan molekul organik lainnya dalam makhluk hidup.
4. Ozon (O_3): Ozon terutama hadir dalam lapisan ozon di stratosfer atas. Lapisan ini berfungsi sebagai perisai pelindung bagi kehidupan di permukaan Bumi dengan menyerap radiasi ultraviolet (UV) berbahaya dari matahari. Radiasi UV dapat menyebabkan kerusakan genetik pada organisme hidup dan berkontribusi pada masalah seperti kanker kulit.

Selain gas-gas utama ini, ada pula komponen lain dalam atmosfer seperti uap air, yang penting dalam siklus air dan cuaca. Keberadaan uap air memungkinkan terjadinya hujan, salju, dan fenomena cuaca lainnya yang mendukung ekosistem di daratan dan perairan.

Kombinasi dan keseimbangan gas-gas ini dalam atmosfer mendukung kehidupan dengan menciptakan lingkungan yang cocok bagi berbagai bentuk kehidupan. Perubahan komposisi atmosfer, seperti peningkatan karbon dioksida akibat aktivitas manusia, dapat memiliki dampak besar pada iklim dan ekosistem Bumi. Oleh karena itu, pemahaman tentang peran gas-gas dalam menjaga biosfera sangat penting untuk menjaga keseimbangan ekologi planet kita. Top of Form

Upaya yang diperlukan menjaga kestabilan atmosfera sesuai tuntutan kehidupan

Menjaga kestabilan atmosfera Bumi adalah kunci untuk mendukung kehidupan yang berkelanjutan di planet ini. Untuk melakukannya, diperlukan serangkaian upaya yang melibatkan individu, masyarakat, pemerintah, dan lembaga internasional. Berikut adalah beberapa upaya yang diperlukan untuk menjaga kestabilan atmosfera sesuai tuntutan kehidupan:

1. Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca: Pengurangan emisi gas-gas rumah kaca seperti karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dan nitrogen oksida (NO_x) sangat penting. Hal ini dapat dicapai dengan mengurangi penggunaan bahan bakar fosil seperti minyak, batu bara, dan gas alam, serta menerapkan teknologi bersih dan energi terbarukan.
2. Promosi Mobilitas Berkelanjutan: Meminimalkan penggunaan kendaraan bermotor berbahan bakar fosil dengan mengembangkan sistem transportasi publik yang efisien, mendorong penggunaan sepeda, berjalan kaki, dan mobil listrik, serta membangun infrastruktur yang mendukung mobilitas berkelanjutan.
3. Konservasi Hutan dan Pengelolaan Lahan: Hutan berperan penting dalam menyerap karbon di atmosfera. Kegiatan deforestasi (penggundulan hutan) menyebabkan pelepasan karbon yang signifikan. Melalui konservasi hutan dan praktik pengelolaan lahan berkelanjutan, kita

dapat membantu menjaga penyerapan karbon dan bioragam hayati.

4. Promosi Efisiensi Energi: Mengadopsi teknologi dan praktik yang lebih efisien dalam penggunaan energi, seperti peralatan rumah tangga hemat energi, pencahayaan LED, dan peralatan industri efisien, dapat mengurangi konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca.
5. Pendidikan dan Kesadaran Masyarakat: Pendidikan mengenai dampak pemanasan global, perubahan iklim, dan praktik berkelanjutan sangat penting. Kesadaran masyarakat akan kontribusi mereka terhadap perubahan iklim dapat mendorong adopsi tindakan berkelanjutan.
6. Inovasi Teknologi Hijau: Pengembangan teknologi baru yang ramah lingkungan, seperti energi terbarukan (surya, angin, hidro), penyimpanan energi, dan solusi ramah lingkungan lainnya, dapat membantu mengurangi ketergantungan pada sumber daya yang merusak lingkungan.
7. Kerjasama Internasional: Isu perubahan iklim tidak mengenal batas negara. Kerjasama internasional dalam bentuk perjanjian iklim, seperti Persetujuan Paris, sangat penting untuk mencapai tujuan bersama dalam mengurangi emisi dan menjaga kestabilan atmosfera.
8. Pengurangan Limbah Plastik dan Polusi: Pengurangan penggunaan plastik sekali pakai dan upaya mengatasi polusi udara dan air juga akan membantu menjaga kesehatan atmosfera dan ekosistem Bumi.
9. Pendekatan Berkelanjutan dalam Pengembangan Ekonomi: Mengadopsi pendekatan ekonomi yang berkelanjutan, di mana pertumbuhan ekonomi tidak berlangsung dengan merusak lingkungan, akan membantu menjaga kestabilan atmosfera dalam jangka panjang.

Melalui upaya yang terpadu dan kolaboratif, kita dapat menjaga kestabilan atmosfera dan mendukung kehidupan yang berkelanjutan di Bumi. Penting untuk mengakui bahwa tindakan

individu dan kolektif memiliki dampak signifikan dalam menjaga keseimbangan ekosistem global.

BAB 9

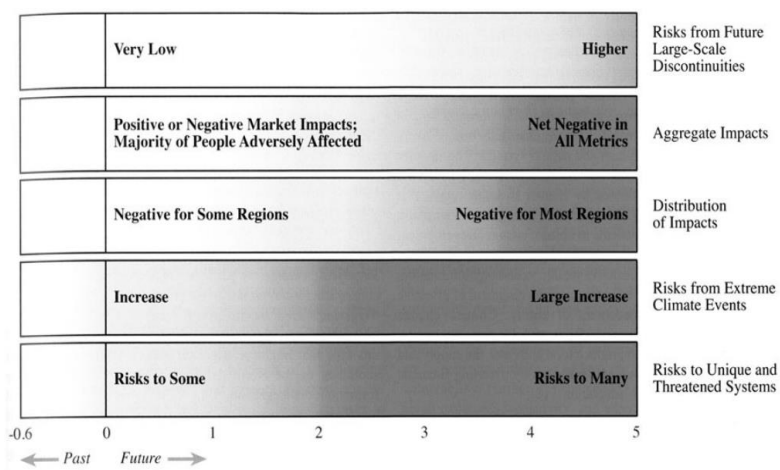
ALTERNATIF

Sampai beberapa dekade yang lalu, umumnya dianggap bahwa perubahan iklim global dan regional skala besar yang signifikan terjadi secara bertahap selama rentang waktu berabad-abad atau ribuan tahun, oleh karena itu pergeseran iklim dianggap hampir tidak terlihat selama masa hidup manusia. Kecenderungan iklim untuk berubah secara tiba-tiba sepanjang sejarah manusia telah menjadi salah satu hasil yang paling mengejutkan dari studi iklim masa lalu. Ada bukti bagus bahwa beberapa perubahan iklim yang paling menonjol melibatkan perubahan regional hingga 5 °C dalam suhu tahunan rata-rata dalam beberapa dekade, atau bahkan hanya beberapa tahun. Transisi skala waktu dekadal ini mungkin cukup terlihat oleh manusia yang hidup pada masa seperti itu.

Diketahui bahwa salah satu dari periode pendek, dingin, dan gersang sekitar 4.300 tahun yang lalu memiliki efek mendalam pada peradaban klasik. Banyak dari peradaban ini tidak dapat beradaptasi dengan perubahan iklim dan runtuh, termasuk Kerajaan Lama di Mesir; Kekaisaran Akkadia di Mesopotamia; masyarakat Zaman Perunggu Awal di Anatolia, Yunani, dan Israel; peradaban lembah Indus di India; peradaban Hilman di Afghanistan; dan budaya Hongshan di Cina. Juga telah ditunjukkan bahwa kerusakan iklim, khususnya serangkaian kekeringan parah di Amerika Tengah selama Periode Dingin Abad Pertengahan, mendorong runtuhnya periode klasik peradaban Maya.

Selain itu, naik turunnya suku Inca dapat dikaitkan dengan periode basah dan kering yang berselang-seling, yang mendukung budaya pesisir dan dataran tinggi Ekuador dan Peru. Kita tahu namun, manusia dapat bertahan hidup di berbagai iklim. Runtuhnya peradaban perkotaan ini, dengan

demikian, bukanlah tentang iklim yang membuat suatu daerah tidak ramah; justru masyarakat tidak mampu beradaptasi dengan perubahan iklim, khususnya perubahan sumber daya air. Misalnya, agar peradaban Maya dapat bertahan, ia perlu mengenali kerentanannya terhadap kekurangan air jangka panjang dan harus mengembangkan pendekatan yang lebih fleksibel, yaitu mengembangkan sumber air baru, mengembangkan cara baru untuk menghemat air, dan memprioritaskan air. digunakan pada saat kekurangan.



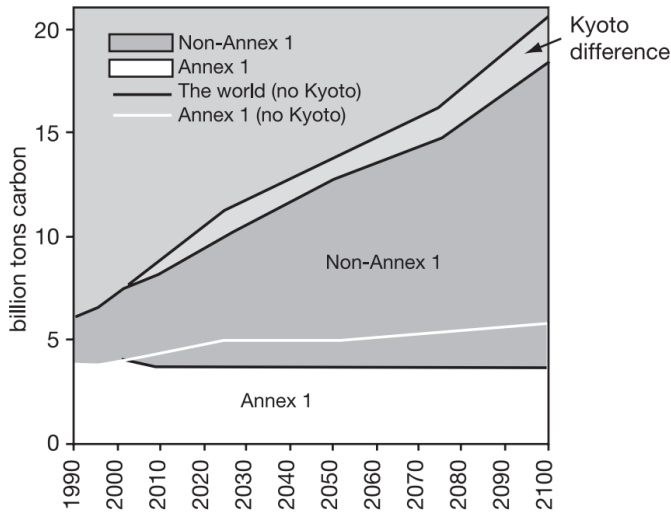
Gambar 9. 1. Climate Change Risk With Increasing Global Temperature

Jadi perubahan iklim adalah tekanan eksternal pada suatu masyarakat, tetapi struktur masyarakat, terutama seberapa fleksibelnya, yang menentukan bertahan atau tidak. Ini adalah pelajaran penting. Karena bobot bukti sangat menunjukkan bahwa pemanasan global akan menyebabkan perubahan iklim, kita harus memastikan bahwa masyarakat dan ekonomi global kita cukup fleksibel untuk menghadapi perubahan ini. Laporan IPCC 2001 tentang Dampak, Adaptasi dan Kerentanan memberikan diagram yang sangat berguna tentang dampak sosial utama dan pada peningkatan suhu global apa yang

mungkin terjadi (Gambar 9.1). Ini adalah alat manajemen yang berharga karena menunjukkan bagaimana lima alasan yang menjadi perhatian ini dapat bervariasi di abad ke-21. Pada skala risiko inilah kita perlu menilai biaya adaptasi dan mitigasi versus berbagai dampak regional dan global.

9.1 Adaptasi dan Mitigasi

Pendekatan yang paling masuk akal untuk mencegah dampak terburuk dari pemanasan global adalah dengan mengurangi emisi karbon dioksida. Para ilmuwan percaya pemotongan antara 60 dan 80% diperlukan untuk menghindari efek terburuk dari pemanasan global. Tetapi banyak yang berpendapat bahwa biaya pemotongan yang signifikan dalam penggunaan bahan bakar fosil akan sangat mempengaruhi ekonomi global, mencegah perkembangan yang cepat dari Dunia Ketiga. Ratifikasi Protokol Kyoto pada pertemuan Bonn pada Juli 2001 hanya akan berjumlah antara 1 dan 3% untuk negara maju (Lampiran 1), sedangkan negara berkembang (non-Annex 1) akan terus meningkatkan emisi mereka. (lihat Gambar 9.2). Jadi tujuan utama kedua dari IPCC adalah untuk mempelajari dan melaporkan potensi sensitivitas, kemampuan beradaptasi, dan kerentanan dari setiap lingkungan nasional dan sistem sosial ekonomi karena jika kita dapat memprediksi apa dampak pemanasan global yang mungkin terjadi, maka pemerintah nasional dapat mengambil tindakan untuk mengurangi efeknya. Misalnya, jika banjir akan menjadi lebih umum di Inggris, maka kerusakan harta benda dan korban jiwa dapat dicegah dengan undang-undang baru yang ketat yang membatasi pembangunan di dataran banjir dan pantai yang rentan.



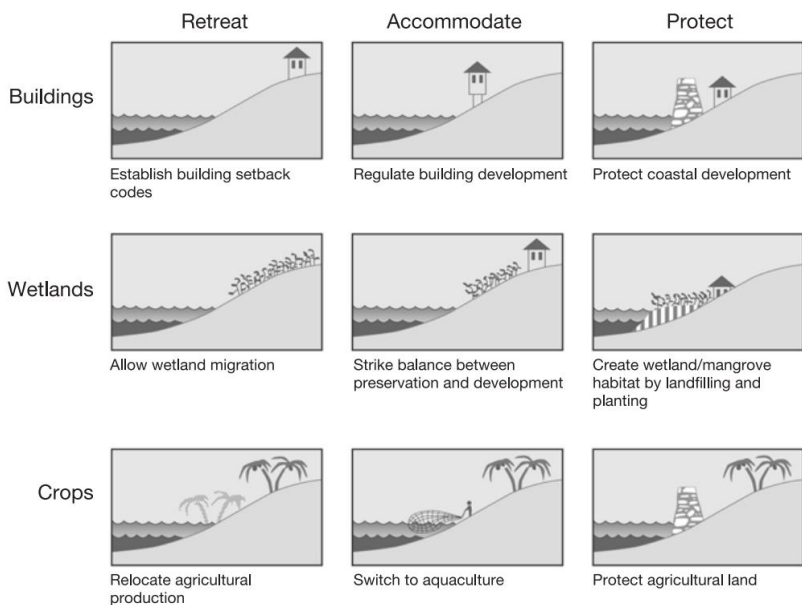
Gambar 9. 2. Projected global CO₂ emissions with or without Kyoto

IPCC percaya ada enam alasan mengapa kita harus beradaptasi dengan perubahan iklim. (1) Perubahan iklim tidak dapat dihindari; (2) adaptasi antisipatif dan kehati-hatian lebih efektif dan lebih murah daripada perbaikan darurat pada menit-menit terakhir yang dipaksakan; (3) perubahan iklim mungkin lebih cepat dan lebih nyata daripada perkiraan saat ini, dan kejadian tak terduga, seperti yang telah kita lihat, lebih dari sekadar mungkin; (4) manfaat langsung dapat diperoleh dari adaptasi yang lebih baik terhadap variabilitas iklim dan peristiwa atmosfer yang ekstrem: misalnya, dengan risiko badai, undang-undang bangunan yang ketat dan praktik evakuasi yang lebih baik perlu diterapkan; (5) manfaat langsung juga dapat diperoleh dengan menghapus kebijakan dan praktik maladaptif, misalnya, membangun di dataran banjir dan garis pantai yang rentan; dan (6) perubahan iklim membawa peluang sekaligus ancaman. Manfaat masa depan dapat dihasilkan dari perubahan iklim. IPCC telah memberikan banyak ide tentang bagaimana

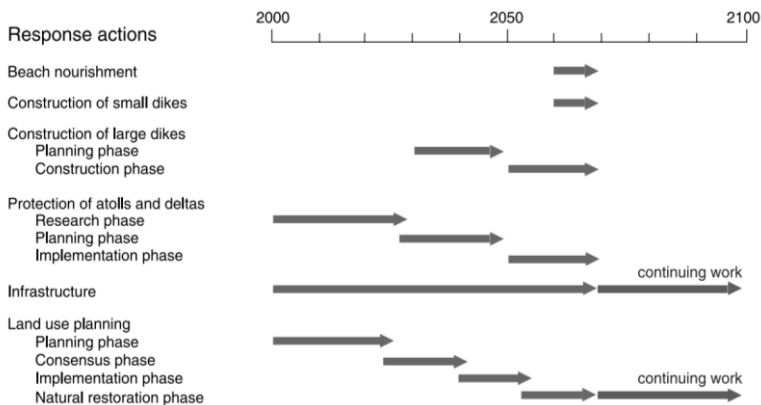
seseorang dapat beradaptasi dengan perubahan iklim; sebuah contoh diberikan pada Gambar 9.3 tentang bagaimana negara-negara dapat beradaptasi dengan prediksi kenaikan air laut.

Ancaman utama dari pemanasan global adalah ketidakpastiannya. Umat manusia dapat hidup di hampir semua iklim ekstrem dari gurun hingga Kutub Utara, tetapi hanya jika kita dapat memprediksi cuaca ekstrem apa yang akan terjadi. Jadi adaptasi benar-benar kunci untuk mengatasi masalah pemanasan global, tetapi harus dimulai sekarang, karena perubahan infrastruktur dapat memakan waktu hingga 50 tahun untuk diterapkan. Misalnya, jika Anda ingin mengubah penggunaan lahan, mis. membangun pertahanan laut yang lebih baik atau mengembalikan lahan pertanian ke lahan basah alami di area tertentu, dapat memakan waktu hingga 20 tahun untuk meneliti dan merencanakan perubahan yang sesuai. Kemudian dapat memakan waktu sepuluh tahun lagi untuk proses konsultatif dan hukum secara penuh; contohnya adalah waktu yang dibutuhkan untuk menyetujui strategi untuk memperluas bandara London. Diperlukan sepuluh tahun lagi untuk menerapkan perubahan ini dan satu dekade berikutnya agar restorasi alam dapat berlangsung (lihat Gambar 9.4).

Masalah lainnya adalah bahwa adaptasi membutuhkan uang untuk diinvestasikan sekarang; banyak negara tidak punya uang dan di tempat lain di dunia orang tidak mau membayar lebih banyak pajak untuk melindungi diri mereka sendiri di masa depan karena kebanyakan orang hidup untuk hari ini. Ini, tentu saja, terlepas dari kenyataan bahwa semua adaptasi yang dibahas dalam jangka panjang akan menghemat uang untuk daerah setempat, negara, dan dunia; kita sebagai masyarakat global masih memiliki pandangan jangka pendek, biasanya diukur dalam beberapa tahun antara pemerintahan yang berurutan.



Gambar 9. 3. Model response strategies for future sea-level rise



Gambar 9. 4. Lead times for response strategies to combat climate change

Sejak pertama kali bergulir, isu perubahan iklim atau pemanasan global telah menjadi trend setter tersendiri dalam wacana diskusi multidisipliner, termasuk dalam konteks hukum. Dalam pembahasan ilmu hukum sendiri, isu perubahan iklim berkembang dalam sekian aspek pembahasan, apalagi dengan masih banyak sekali yang terjadi mengenai penyebab maupun lingkup dampak dari perubahan iklim tersebut. Sebagai masalah global, setiap negara memiliki karakter tersendiri pada modelnya kebijakannya dalam adaptasi dan kompensasi perubahan iklim. Penelitian ini bersifat normatif dan bertujuan untuk dapat memaparkan secara garis besar konsep kebijakan nasional Indonesia dalam adaptasi dan perubahan iklim. Dalam garis besar, Indonesia telah memberikan kontribusi yang cukup signifikan dalam rezim perubahan iklim, terutama pasca Bali Action Plan 2007 (Santoso, 2015).

Penyebab pemanasan global berhubungan langsung dengan efek rumah kaca. Jika jumlah gas rumah kaca di atmosfer meningkat, efek pemanasan global akan semakin signifikan. Sejak revolusi industri, gas rumah kaca seperti karbondioksida, metana, dan gas berbahaya lainnya meningkat di atmosfer sehingga konsentrasinya meningkat akibat aktivitas manusia. Pemanasan global diduga telah menyebabkan perubahan sistem pada ekosistem di bumi antara lain; perubahan iklim yang ekstrim, pencairan es sehingga permukaan air laut naik, dan perubahan jumlah dan pola presipitasi. Adanya perubahan sistem pada ekosistem ini telah memberikan dampak bagi kehidupan di bumi seperti mempengaruhi hasil pertanian, hilangnya gletser dan punahnya berbagai jenis hewan. Dalam wujud budaya tradisional, kearifan lokal melahirkan etika dan norma kehidupan masyarakat dalam memanfaatkan sumber daya alam dan lingkungan. Selama masyarakat masih menjunjung tinggi budaya tradisional yang memiliki nilai etika dan moral terhadap lingkungan alamnya, maka konservasi sumber daya alam dan lingkungan hidup mutlak dilakukan (Wide, 2020).

Perubahan iklim dunia merupakan tantangan yang paling serius yang dihadapi pada abad 21. Perubahan iklim merupakan salah satu dampak dari pemanasan global yang diakibatkan adanya efek rumah kaca karena meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca. Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca ini sebagian besar diakibatkan oleh karena produksi dan pemanfaatan energi fosil. CO₂ merupakan gas rumah kaca yang kontribusinya terhadap pemanasan global mencapai lebih dari 60% dari total gas rumah kaca yang ada. Untuk penanggulangan pemanasan global ini setiap tahun diadakan Conference of the Party (COP), dan pada COP 3 di Kyoto pada tahun 1997 menghasilkan Kyoto Protocol. Dalam protokol ini ada tiga mekanisme pendanaan yang dapat digunakan yaitu: Joint Implementation, Clean Development Mechanism dan Emission Trading. Di sektor pengguna energi, penggunaan energi terbarukan dan melakukan konservasi merupakan mitigasi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (Sugiyono, 2006).

9.2 Perbaikan Teknologi, Bisakah Kita Memperbaiki Pemanasan Global?

Bagaimana kita bisa menghadapi pemanasan global? Kita telah melihat bahwa pemerintah perlahan-lahan mulai bertindak bersama-sama untuk mengurangi emisi karbon dioksida; namun, ada kekhawatiran tentang berapa biayanya. Oleh karena itu, ada banyak minat pada 'alternatif' atau 'teknofiks' untuk memecahkan masalah pemanasan global. Ada empat bidang utama technofix:

1. Penghilangan CO₂ dari proses industri dapat berkontribusi secara substansial untuk pengurangan CO₂ di atmosfer; namun, penelitian dan pengembangan lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan kinerja dan penerapan metode ini dalam konsep pembangunan berkelanjutan.
2. Kita dapat menggunakan lebih sedikit energi dan dengan demikian menghasilkan lebih sedikit karbon dioksida.

Adalah mungkin untuk meningkatkan efisiensi energi rata-rata sebesar 50% selama tiga dekade mendatang, meskipun ini akan membutuhkan langkah-langkah kebijakan yang keras, seperti pengenalan energi tinggi atau pajak karbon. Contohnya adalah efisiensi pembangkit listrik dapat ditingkatkan hingga 60% dengan menggunakan teknologi canggih di bidang turbin gas dan sel bahan bakar.

3. Ada sumber energi terbarukan/alternatif, yaitu sumber energi yang tidak menghasilkan karbon dioksida dalam jumlah bersih di atmosfer. Yang paling menjanjikan dalam jangka pendek adalah biomassa, yang pada tahun 2020 dapat menghasilkan sepertiga dari energi global. Ketika biomassa tumbuh menyerap karbon dioksida dari atmosfer yang hanya kembali ketika dibakar sebagai bahan bakar dan dengan demikian tidak ada peningkatan bersih karbon dioksida atmosfer. Yang paling menjanjikan untuk jangka panjang adalah energi matahari, sementara tenaga angin dianggap sebagai solusi perantara yang sangat baik, terutama di negara-negara seperti Inggris, di mana sinar matahari tidak dapat dijamin. Banyak negara juga membahas pembaruan program nuklir mereka sebagai sumber energi non-emisi karbon, tetapi masalah keselamatan dan pembuangan limbah nuklir masih tetap menjadi keberatan utama. Energi alternatif tidak lagi menjadi kewenangan LSM lingkungan; dengan pengecualian beberapa perusahaan minyak AS, dengan Exxon/ Mobil (Esso di Eropa) di urutan teratas, sebagian besar komunitas bisnis global lainnya bereaksi cepat terhadap kebutuhan akan sumber energi yang berbeda. Dalam lima tahun terakhir, perusahaan seperti Ford dan perusahaan minyak seperti BP dan Shell mulai menggelontorkan miliaran dolar untuk meneliti teknologi baru. Tenaga angin sekarang menjadi arus utama, tenaga surya sedang berkembang pesat, mobil hibrida ada di jalan.

Mobil yang menggunakan sel bahan bakar, hidrogen, dan udara terkompresi bukan lagi impian pipa.

4. Ada kemungkinan menghilangkan karbon dioksida dari atmosfer baik dengan menumbuhkan hutan baru atau dengan merangsang lautan untuk mengambil lebih banyak. Ide ini dibahas secara lebih rinci di bawah ini di bagian hipotesis besi.

Semua teknologi ini masuk akal dan kombinasinya dapat digunakan untuk memerangi pemanasan global, meskipun masing-masing memiliki kekurangan. Penghapusan karbon dioksida selama proses industri rumit dan mahal, karena CO₂ tidak hanya perlu dihilangkan, tetapi juga harus disimpan di suatu tempat. Biaya pemindahan dan penyimpanan bisa berkisar antara \$20 dan \$50 per ton CO₂. Hal ini akan menyebabkan kenaikan biaya produksi listrik sebesar 35% hingga 100%. Namun, CO₂ yang dipulihkan tidak semuanya perlu disimpan; beberapa dapat digunakan dalam peningkatan perolehan minyak, industri makanan, manufaktur kimia (memproduksi soda abu, urea, dan metanol), dan industri pengolahan logam. CO₂ juga dapat diterapkan pada produksi bahan konstruksi, pelarut, senyawa pembersih dan pengemasan, dan dalam pengolahan air limbah.

Namun pada kenyataannya, sebagian besar karbon dioksida yang diambil dari proses industri harus disimpan. Diperkirakan bahwa secara teoritis dua pertiga dari CO₂ yang terbentuk dari pembakaran total cadangan minyak dan gas dunia dapat disimpan di reservoir yang sesuai. Perkiraan lain menunjukkan penyimpanan 90–400 GtC di ladang gas alam saja dan 90 GtC lainnya di akuifer. Lautan juga dapat digunakan untuk membuang karbon dioksida. Saran termasuk penyimpanan dengan pembuangan hidrat, yaitu jika Anda mencampur karbon dioksida dan air pada tekanan tinggi dan suhu rendah, itu menciptakan padatan atau hidrat yang lebih

berat daripada air di sekitarnya dan dengan demikian turun ke dasar. Hidrat ini sangat mirip dengan hidrat metana yang dibahas Bab 7.

Masalah utama dengan semua metode penyimpanan ini adalah keamanan. Karbon dioksida adalah gas yang sangat berbahaya karena lebih berat dari udara dan menyebabkan mati lemas. Contoh penting dari hal ini adalah pada tahun 1986, ketika ledakan besar CO₂ dari Danau Nyos, di sebelah barat Kamerun, menewaskan lebih dari 1.700 orang dan ternak hingga jarak 25 km. Meskipun bencana serupa pernah terjadi sebelumnya, tidak pernah ada begitu banyak orang dan hewan yang mengalami sesak napas dalam skala seperti itu dalam satu peristiwa singkat. Apa yang sekarang kami yakini terjadi adalah bahwa CO₂ terlarut dari gunung berapi terdekat merembes dari mata air di bawah danau dan terperangkap di air yang dalam oleh berat air di atasnya.

Pada tahun 1986 terjadi longsor salju yang mencampurkan air danau, mengakibatkan ledakan yang menghancurkan seluruh danau, dan semua karbon dioksida yang terperangkap dilepaskan sekaligus, membuktikan bahwa penyimpanan karbon dioksida sangat sulit dan berpotensi mematikan. Dengan penyimpanan laut, ada komplikasi tambahan bahwa laut bersirkulasi, jadi apa pun karbon dioksida yang Anda buang, sebagian darinya pada akhirnya akan kembali. Selain itu, para ilmuwan sangat tidak yakin tentang efek lingkungan pada ekosistem laut. Oleh karena itu, saat ini kami tidak memiliki perkiraan jumlah CO₂ yang dapat disimpan dengan aman.

Pada akhirnya, kombinasi peningkatan efisiensi energi dan energi alternatif adalah solusi untuk pemanasan global. Dari perspektif keselamatan dan lingkungan, penyimpanan karbon dioksida baik di bawah tanah dan/atau di laut benar-benar tidak layak, betapapun membantunya hal ini dalam jangka pendek.

Tulisan ini dibuat untuk mempelajari urgensi keberlanjutan dalam pengembangan agroindustri kelapa sawit untuk mengurangi pemanasan global. Saat ini pemanasan global harus mengurangi pengaruh buruknya bagi kita semua. Sebagai bagian dari peran dalam penciptaan pemanasan global, industri kelapa sawit harus melakukan pembangunan berkelanjutan. Berbagai alat dapat diterapkan untuk mencapainya seperti AMDAL, Ecolabelling, ISO 14000, produksi bersih dan Roundtable on Sustainable Palm Oil (RSPO). Melakukan keberlanjutan agroindustri dapat menjaga kelestarian lingkungan kita dengan tujuan akhir untuk mengurangi pemanasan global. dapat menjaga lingkungan kita tetap lestari karena dapat mengurangi pemanasan global (Kurniawan, 2012).

9.3 Hipotesis Besi

Seperti yang telah kita lihat, pemanasan global terus-menerus menjadi agenda politik, bahkan jika para politisi tidak suka menyebutkannya. Masalahnya, bagaimanapun, adalah bahwa pemotongan emisi karbon dioksida memiliki label harga ekonomi yang besar. Jadi para ilmuwan dan politisi selalu mencari perbaikan cepat atau 'technofix' untuk pemanasan global. Almarhum Profesor John Martin telah mengajukan salah satu ide paling kontroversial. Dia menyarankan bahwa banyak lautan dunia sedang dalam produksi.

Hal ini karena kurangnya unsur hara vital, yang terpenting adalah zat besi yang memungkinkan tanaman tumbuh di permukaan air. Tumbuhan laut membutuhkan besi dalam jumlah kecil dan tanpanya mereka tidak dapat tumbuh. Di sebagian besar lautan, cukup banyak debu yang kaya zat besi yang tertiuap dari daratan, tetapi tampaknya sebagian besar wilayah Pasifik dan Samudra Selatan tidak menerima banyak debu dan karenanya tandus besi. Jadi disarankan agar kita bisa menyuburkan lautan dengan besi.

Hal ini akan mendorong produktivitas laut. Fotosintesis ekstra akan mengubah lebih banyak karbon dioksida air permukaan menjadi bahan organik. Ketika organisme mati, bahan organik turun ke dasar laut, membawa dan menyimpan karbon ekstra. Karbon dioksida air permukaan yang berkurang diisi ulang oleh karbon dioksida dari atmosfer. Jadi, singkatnya, pemupukan lautan dunia dapat membantu menghilangkan karbon dioksida atmosfer dan menyimpannya di sedimen laut dalam.

Eksperimen di laut telah menunjukkan bahwa jumlah besi yang dibutuhkan sangat besar, dan segera setelah Anda berhenti menambahkan besi ekstra, banyak dari karbon dioksida yang tersimpan ini dilepaskan. Ada juga sisi lain yang lebih gelap dari hipotesis besi ini. Tampaknya karena industrialisasi dan juga perubahan penggunaan lahan di seluruh dunia, ada sekitar 150% lebih banyak debu di atmosfer daripada 200 tahun yang lalu. Debu ekstra ini telah meningkatkan kemampuan laut untuk mengeluarkan karbon dioksida dari atmosfer. Jadi atmosfer kotor kita benar-benar membantu kita melawan pemanasan global. Namun, di bawah Protokol Kyoto negara-negara didorong untuk mulai memperluas hutan dan mencegah erosi tanah untuk menarik karbon dioksida keluar dari atmosfer.

Hal ini pada akhirnya akan menyebabkan penurunan debu. Perhitungan oleh Dr Andrew Ridgwell di University of British Columbia (Kanada) dan saya sendiri menyarankan bahwa proporsi signifikan dari karbon dioksida ekstra yang disimpan di darat di bawah Protokol Kyoto dapat dikembalikan ke atmosfer, karena penurunan debu secara keseluruhan akan mulai membatasi besi di laut dan dengan demikian produktivitas. Berkurangnya kemampuan laut untuk menyedot karbon dioksida atmosfer, selama ratusan tahun, akan menghapus keuntungan jangka pendek dari penanaman semua hutan baru tersebut.

Keterbatasan besi dalam badan air yang luas telah dikaitkan dengan penurunan produktivitas alga, meskipun mekanisme perolehan besi berbeda, dan keberadaan feritin pada banyak spesies alga yang bertindak sebagai reservoir besi internal. Oleh karena itu, pemupukan besi telah diusulkan untuk meningkatkan biomassa alga dan fotosintesis. Ini, pada gilirannya, akan mengurangi karbon dioksida di atmosfer dan meningkatkan oksigen, sehingga mengurangi pemanasan global, dan mencapai keseimbangan ekologis. Selain itu, perkembangbiakan alga diharapkan akan mengarah pada peningkatan keanekaragaman hayati, pompa biologis, produktivitas ikan, dan setelah itu, industri makanan laut.

Banyak percobaan geoengineering iklim dalam bentuk pemupukan besi laut telah dilakukan secara global untuk mencapai tujuan tersebut. Namun, reservasi tetap ada karena hasilnya tidak menjanjikan seperti yang diharapkan sebelumnya. Karena percobaan pemupukan besi skala temporal dan spasial terbatas, efek pada produktivitas ikan tetap spekulatif. Di sisi lain, efek samping juga dicatat. Tujuan utama pemupukan besi, untuk penyerapan karbon dioksida dan mitigasi pemanasan global, masih harus direalisasikan dan diverifikasi sepenuhnya. Beberapa perbaikan dan modifikasi masa depan disarankan, dan masalah hukum dibahas dalam tinjauan ini (El Semary, 2022).

BAB 10

KESIMPULAN

Jadi apa solusi untuk pemanasan global? Seperti yang telah kita lihat, kecil kemungkinan politik global akan menyelesaikan pemanasan global. Perbaikan teknologi berbahaya atau menyebabkan masalah seburuk yang ingin mereka perbaiki. Bahkan gagasan untuk menggunakan energi secara lebih efisien tampaknya agak tidak memadai ketika ada lima setengah miliar orang lagi di dunia yang bercita-cita agar penggunaan energi dinikmati oleh dunia Barat. Jadi solusi akhirnya adalah bagi umat manusia untuk mengembangkan produksi energi yang murah dan bersih, karena semua pembangunan ekonomi didasarkan pada penggunaan energi yang terus meningkat.

Meskipun langkah maju yang besar telah dibuat dalam energi alternatif, tampaknya tidak mungkin bahwa ini akan menghasilkan energi pada skala yang kita butuhkan dalam beberapa dekade mendatang. Karena saya sangat percaya pada kemampuan beradaptasi manusia, saya yakin ini akan tersedia sebelum akhir abad ini. Tetapi peningkatan investasi yang cukup besar diperlukan jika kita ingin beralih ke energi terbarukan pada akhir abad ini; misalnya, investasi AS saat ini dalam energi terbarukan hanya \$200 juta per tahun.

Bahkan jika teknologi energi terbarukan benar-benar tersedia, tidak ada jaminan bahwa itu akan terjangkau oleh semua negara, karena kita hidup di dunia di mana bahkan obat-obatan yang menyelamatkan jiwa pun harus dibayar untuk mencapai keuntungan maksimal. Juga tidak ada jaminan bahwa jika kita memiliki energi bebas tak terbatas, itu akan mencegah kita terus menyalahgunakan planet ini. Paul Ehrlich di Universitas Stanford, mengomentari kemungkinan energi bersih tak terbatas dari fusi dingin, menyarakannya seperti 'seperti memberikan senapan mesin kepada anak idiot'.

Kita tidak bisa menggantungkan semua harapan kita pada teknologi energi bersih, atau kemampuan kita untuk menggunakannya dengan bijak, jadi kita harus bersiap untuk yang terburuk dan beradaptasi. Jika diterapkan sekarang, banyak biaya dan kerusakan yang dapat disebabkan oleh perubahan iklim dapat dimitigasi. Ini mengharuskan negara dan wilayah untuk merencanakan 50 tahun ke depan, sesuatu yang tidak dapat dilakukan oleh sebagian besar masyarakat karena sifat politik jangka pendek. Jadi pemanasan global menantang cara kita mengatur masyarakat kita. Tidak hanya menantang konsep negara-bangsa versus tanggung jawab global, tetapi juga visi jangka pendek para pemimpin politik kita. Untuk menjawab pertanyaan tentang apa yang dapat kita lakukan tentang pemanasan global, kita harus mengubah beberapa aturan dasar kita masyarakat untuk memungkinkan kita mengadopsi pendekatan yang jauh lebih global dan jangka panjang. Saya meninggalkan Anda dengan pemikiran untuk mendesain ulang komunitas global kita dengan kata-kata yang luar biasa dari Profesor Wally Broecker dari Universitas Columbia (AS): 'Iklim adalah binatang yang pemarah, dan kami menusuknya dengan tongkat.'



38. Is global warming all bad?

Gambar 9. 5. Is global warming all bad?

Pemanasan global adalah adanya proses peningkatan suhu rata-rata atmosfer, laut dan bumi daratan. Suhu rata-rata global di permukaan bumi telah meningkat $0,74 \pm 0,18^{\circ}\text{C}$ selama seratus tahun terakhir. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) menyimpulkan bahwa sebagian besar peningkatan suhu rata-rata global sejak pertengahan abad ke 20 kemungkinan besar disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi gas-gas rumah kaca akibat aktifitas manusia. Gas-gas rumah kaca, antara lain : uap air, karbondioksida dan metana. Gas-gas ini menyerap dan memantulkan kembali gelombang radiasi yang dipancarkan bumi, sehingga panas tersebut akan tersimpan di permukaan bumi. Hal ini akan terjadi berulang-ulang dan mengakibatkan suhu rata-rata tahunan bumi terus meningkat. Ada beberapa cara yang dapat mengurangi peningkatan temperatur bumi tersebut, antara lain melalui : penambahan ruang terbuka hijau. Hubungan dengan hal tersebut, kira-kira perlu dilakukan penelitian manfaat tanaman untuk meminimalkan pemanasan global yang dewasa ini sedang mencuat. Pada penelitian ini ditinjau besarnya reduksi CO oleh berbagai jenis pohon, jenis perdu dan jenis semak secara mandiri, maupun kombinasi ketiganya. Metode yang digunakan adalah metoda eksperimental melalui teknik observasi di laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa reduksi CO terbesar untuk : a) jenis pohon yaitu tanaman Ganitri (*Elaeocarpus sphaericus*) sebesar 81,53 % (0,587 ppm); b) jenis perdu yaitu Iriansis (*Impatiens* sp) sebesar 88,61 % (0,638 ppm); c) jenis semak yaitu: *Philodendron* (*Philodendron* sp) sebesar 92,22 % (0,664 ppm); serta d) pabrik gabungan, yaitu Galinggem + Kriminil Merah dengan perbandingan 2 : 1 sebesar 79,22 % (0,244 ppm). Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa setiap tanaman mempunyai kemampuan yang berbeda dalam menyerap polutan CO, demikian pula apabila tanaman-tanaman tersebut dikombinasikan. Untuk itu, dapat dipilih jenis tanaman yang sesuai dengan maksud dan tujuan pemilihannya, kemudahan didapatnya, kemudahan dalam pemeliharaannya (Kisminingrum, 2008).

Pemanasan global adalah peningkatan suhu rata-rata permukaan bumi, atmosfer, dan lautan. Pemanasan global dalam beberapa tahun terakhir telah menjadi isu internasional. Isu muncul ke permukaan karena pemanasan global berdampak sangat besar bagi dunia dan kehidupan hewan, tumbuhan dan manusia, seperti perubahan iklim dunia. Penyebab utama pemanasan global adalah pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak bumi dan gas alam, yang melepaskan karbon dioksida dan gas lainnya ke atmosfer sebagai gas rumah kaca. Salah satu alternatif untuk memperlambat pemanasan global ini adalah dengan mengganti bahan bakar fosil dengan pemanfaatan energi nuklir untuk pembangkit listrik. Sebagai perbandingan, PLTN berkapasitas 1.000 MWe sebagai pengganti PLTU dengan kapasitas

TN tidak mengeluarkan gas CO₂, sehingga pemanfaatan PLTN dapat memperlambat pemanasan global. Ditinjau dari segi ekonomi, berdasarkan pengalaman pengoperasian PLTN di negara-negara maju, terlihat bahwa biaya pembangkitan listrik PLTN lebih kompetitif dibandingkan PLTU. Mempertimbangkan aspek keselamatan, pembangkit listrik tenaga nuklir yang beroperasi di dunia, telah lulus uji teknologi. Mereka juga memiliki operasi yang sangat baik kehandalan dan sistem keamanan yang sangat baik (Finahari, 2008).

Efek rumah kaca (*Green House Effect*), diartikan sebagai naiknya suhu bumi. Naiknya suhu bumi disebabkan oleh terperangkapnya sinar matahari gelombang panjang (infra merah) oleh gas-gas rumah kaca. (GRK) yang berada di lapisan troposfer, yang merupakan lapisan atmosfer yang berada dipermukaan bumi sampai radius 10 Km ke angkasa. Naiknya suhu ini dapat menyebabkan terjadinya pemanasan global. Secara total, 29% energi matahari akan dipantulkan oleh atmosfer, 20 % di serap oleh gas-gas atmosfer, dan hanya 51% yang sampai dipermukaan bumi. GRK yang dapat menyebabkan efek rumah kaca adalah CO₂, CH₄, CFC, O₃ dan N₂O. Seberapa besar kontribusi dari masing-masing GRK tergantung kepada

lama waktu tinggal GRK di atmosfer dan besarnya nilai GWP. CO₂ menjadi fenomena belakangan ini karena kontribusinya yang sangat besar terhadap efek rumah kaca yaitu 50 % di antara GRK yang lain.

Selain itu CO₂ dihasilkan dari kegiatan manusia yang akan menambah emisi CO₂ yaitu, Penggunaan Bahan Bakar Minyak (BBM) yang tidak efisien dan peniadaan atau pengurangan vegetasi termasuk pembabatan hutan. Efek rumah kaca dapat berdampak kepada rusaknya ekosistem yang akhirnya akan memutus rantai makanan dan berpengaruh kepada seluruh kehidupan di muka bumi. Penghematan penggunaan BBM dan pengelolaan sumber daya hutan merupakan salah satu tindakan penanggulangan pemanasan global (Pratama, 2019).

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Jainal & Ferawati Artauli. (2019). Pengaruh Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kesehatan Untuk Menambah Pemahaman Masyarakat Awam Bahaya Polusi Udara. Prosiding SNFUR-4, Pekanbaru
- Adams, J., (1995) *Risk*, UCL Press.
- Adi, I. R. (2013). Kesejahteraan Sosial (Pekerjaan Sosial, Pembangunan Sosial Dan Kajian Pembangunan). Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.
- African Union – United Nations Hybrid Operation in Darfur, (2008)
- Aldrian, E. (2007). Decreasing Trends in Annual Rainfalls Over Indonesia: A Threat For The National Water Resource. Jakarta: Badan Meteorology Dan Geofisika. Retrieved From <https://Scholar.Google.Com/Scholar?Oi=Bibs&Cluster=2604969414494181069&BtnI=1&HI=Id>
- Amiroel P. M., Pipit M. 2022. Pembangunan Green Building dalam Upaya Mitigasi Global Warming pada Kualitas Kesehatan Lingkungan Kerja.
- Ammann, Caspar, et al. (2007). "Solar Influence on Climate During the Past Millennium: Results from Ransient Simulations with The NCAR Climate Simulation Model". Proceedings Of the National Academy of Sciences of The United States of America 104 (10): 3713-3718.
- Buesseler, K.O., C.H. Lamborg, P.W. Boyd, P.J. Lam, T.W. Trull, R.R. Bidigare, J.K.B. Bishop, K.L. Casciotti, F. Dehairs, M. Elskens, M. Honda, D.M. Karl, D.A. Siegel, M.W. Silver, D.K. Steinberg, J. Valdes, B. Van Mooy, S. Wilson. (2007) "Revisiting Carbon Flux Through the Ocean's Twilight Zone." Science 316: 567-570.

- Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, And Vulnerability*, Contribution of Working Group II to The Third Assessment Report Of The Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC), Mccarthy *Et Al.* (Eds) Cambridge University Press.
- Climate Change 2001: Mitigation*, Contribution of Working Group III to The Third Assessment Report Of The Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC), Metz *Et Al.* (Eds) Cambridge University Press.
- Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Contribution of Working Group I To the Third Assessment Report of The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Houghton *Et Al.* (Eds) Cambridge University Press.
- Climate Change Impacts on The United States, Overview*, National Assessment Synthesis Team (2000) Cambridge University Press. De Carvalho, A. S. (2002) 'Climate in The New: The British Press and The Discursive Construction of The Greenhouse Effect', Ph.D. Thesis, UCL, University of London.
- Darwin P. L. 2011. Pengaruh Perubahan Iklim Terhadap Keanekaragaman Hayati Di Indonesia. Unimed, Medan.
- Depledge, J. J. (2001) 'Managing the Performance: Lessons from The Organization Of The Kyoto Protocol Negotiations', Ph.D. Thesis, UCL, University Of London.
- Drake, F. (2000) *Global Warming: The Science of Climate Change*, Arnold.
- Dyurgerov, M. B. And M. F. Meier. 2000. Twentieth Century Climate Change: Evidence from Small Glaciers. *Pnas* 97: 1406–1411.
- El Smary, N. A. (2022). Iron-Marine Algal Interactions and Impacts: Decreasing Global Warming by Increasing Algal Biomass. *Sustainability*. 14(16). 10372.

- Finahari, I. N. (2008). Energi Nuklir Sebagai Solusi Untuk Menghambat Pemanasan Global. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*. 4(1).
- Foukal P Dan Lean J., 1990. An Empirical Model of Total Solar Irradiance Variations Between 1874 And 1988, *Science*, 247, 556-558.
- Goldstein A, Turner WR, Gladstone J, Hole DG (2019) The Private Sector's Climate Change Risk 621 And Adaptation Blindspots. *Nature Climate Change* 9 18-25 (2019)
- Goosse, H., P. Y. Barriat, W. Lefebvre, M. F. Loutre and V. Zunz. 2010. Introduction to Climate Dynamics and Climate Change. Online Book Available at [Www.Climate.Be/Textbook](http://www.Climate.Be/Textbook)
- Gribbin, J. (1990) *Hothouse Earth: The Greenhouse Effect and Gaia*, Grove Weidenfeld.
- Guadalope M, Rodrigues M. (2004). Global Environmentalism and Local Politics: Transnational Advocacy Networks In Brazil, Ecuador Dan India. New York (US): State University Of Network Press.
- Harvey, L.D.D. 2000. Climate And Global Environmental Change. Prentice Hall, Harlow, UK. 240 Pp. ISBN 0582-32261-8.
- Hegerl, Gabriele C. Et Al. Understanding and Attributing Climate Change. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution Of Working Group I To the Fourth Assessment Report Of The Intergovernmental Panel On Climate 11 Change. Intergovernmental Panel On Climate Change. URL Diakses Pada 10-11-2008
- Hinzman, L.D., N.D. Bettez, W. R. Bolton, F. S. Chapin, M. B. Dyurgerov, C. L. Fastie, B. Griffith, R. D. Hollister, A.

- Ida Nurul H., Suryanto. 2015. Pengaruh Perubahan Iklim Terhadap Produksi Pertanian Dan Strategi Adaptasi Pada Lahan Rawan Kekeringan. Usm, Sukarakarta.
- Junaedi, Ahmad. (2008). Kontribusi Hutan Sebagai Rosot Karbon Dioksida. *Info Hutan* 5(1)
- Karsidi, Ravik. 2001. Peran Sosial LSM Dalam Era Otonomi Daerah. Dalam Makalah Tidak Diterbitkan. Diakses Tanggal 2 Januari 2012 Melalui [Http://Si.Uns.Ac.Id/](http://Si.Uns.Ac.Id/).
- Kurniawan, W. (2012). Urgensi Pembangunan Agroindustri Kelapa Sawit Berkelanjutan Untuk Mengurangi Pemanasan Global. *Jurnal Teknik Industri*. 2(1). 74-83.
- Kusminingrum, N. (2008). Potensi Tanaman Dalam Menyerap CO₂ Dan CO Untuk Mengurangi Dampak Pemanasan Global. *Jurnal Permukiman*. 3(2). 96-105.
- Kvenvolden, K.A. And Barnard, L.A., 1983. Hydrates Of Natural Gas in Continental Margins. In Watkins, J.S., And Drake, C.L., Eds., Studies in Continental Margin Geology: American Association Of Petroleum Geologists Memoir 34, P. 631-640
- Le Galès, P. (2002) European Cities. Social Conflicts and Governance. Oxford: Oxford University Press.
- Leo Peskett, How Did Forests Fare in Nairobi, <https://www.Odi.Org/Comment/66-Did-Forests-Fare-Nairobi>, Diakses Pada Tanggal 5 Juni 2019
- M. Djazim Syaifullah. (2015). Suhu Permukaan Laut Perairan Indonesia Dan Hubungannya Dengan Pemanasan Global) Peneliti UPT Hujan Buatan, Badan Pengkajian Dan Penerapan Teknologi (BPPT).
- Marengo, J.A., 2004. Characteristics And Spatio-Temporal Variability of The Amazon River Basin Water Budget. *Clim. Dyn.* 24, 11-22.

- Mcallister, Lesley. (2012). Cap And Trade. University Of California, Davis, Chapter 11
- Mcmahon, S. M., Parker, G. G. Dan D. R. Miller. (2010). Evidence For a Recent Increase In Forest Growth. Proc. Natl Acad. Sci. Usa 107, Pg. 3611–3615
- Meine Van Noordwijk. (2008). Agroforestri Sebagai Solusi Mitigasi Dan Adaptasi Pemanasan Global: Pengelolaan Sumber Daya Alam Yang Berkelanjutan Dan Fleksibel Terhadap Berbagai Perubahan, Bogor.
- Mendelsohn, Robert. (2009). The Impact of Climate Change on Agriculture in Developing Countries. Journal Of Natural Resources Policy Research. Vol. 1, No. 1. Pg. 5 – 19
- Newell, P. And D. Levy (Eds.). (2005). The Business of Global Environmental Governance. London: The MIT Press.
- Nur Febrianti. (2018). Hubungan Pemanasan Global Dengan Kondisi Suhu Udara Daan Curah Hujab Dii Indonesia, LAPAN, Bandung.
- OECD. (2015), The Economic Consequences of Climate Change, OECD Publishing, Paris.
<http://dx.doi.org/10.1787/9789264235410-En>
 Padang.
- Parsons, L.S. And W. H Lear. 2001. Climate Variability and Marine Ecosystem Impacts: A North Atlantic Perspective. Progress In Oceanography 49: 167–188.
- Porter, G. And J. Brown. (1996). Global Environmental Politics. Colorado, Oxford: Westview Press
- Pratama, R., & Parinduri, L. (2019). Penaggulangan Pemanasan Global. *Buletin Utama Teknik*, 15(1), 91-95.
- Pratama, Riza. (2019). Efek Rumah Kaca Terhadap Bumi.Sumatera Utara : Buletin Utama Teknik

- Princen T, Finger M. (1994). *Environmental Ngos in World Politics: Linking the Local And The Global*. New York (US): Routledge
- Pulungan, Muhammad Aqil. (2022). *Prediksi Kenaikan Muka Air Laut Dan Genangan Rob Di Kecamatan Medan Belawan*
- Ramli Utina. (2009). *Pemanasan Global: Dampak Dan Upaya Meminimalisasinya*
- Reza Pahlevi, 2022. *Daftar Negara Paling Skeptis Dengan Pemanasan Global*.
- Riant Nugroho. (2014), *Kebijakan Publik Di Negara-Negara Berkembang*. Yogyakarta, Pustaka Pelajar.
- Santoso, W. Y. (2015). *Kebijakan Nasional Indonesia Dalam Adaptasi Dan Mitigasi Perubahan Iklim. Hasanuddin Law Review*. 1(3). 371-390.
- Satyanta Parman. 2010. *Deteksi Perubahan Garis Pantai Melalui Citra Penginderaan Jauh Di Pantai Utara Semarang Demak, Unnes*. Semarang.
- Sloan, E.D., *Clathrate Hydrates of Natural Gases*. Maracel Bekker Inc., New York, 1990. P. 1-641 Soedjajadi Keman. 2007. *Perubahan Iklim Global, Kesehatan Manusia Dan Pembangunan Berkelanjutan*. Unair, Surabaya.
- Song Yang, Zhenning Li and Jin-Yi Yu Et Al. *El Nino–Southern Oscillation and Its Impact in The ~changing Climate*. GEOSCIENCES 2018.
- Stocker, Thomas F.; Et Al. *Sea Ice. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution Of Working Group I To the Third Assessment Report of The Intergovernmental Panel on Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change. URL Diakses Pada 11-11-2008

- Stoker, G. (2000) 'Urban Political Science and The Challenge of Urban Governance', In J. Pierre (Ed.), *Debat-Ing Governance. Authority, Steering and Democracy*. Oxford: Oxford University Press, Pp.91–109.
- Sudibya, Alfian, Dkk. (2022).Pemanfaatan Biochar Dalam Menurunkan Emisi Kerbon Di Hutan Industri. *Journal Of Science, Teknologi, And Virtual Culture* Vol.2
- Sugiyono, A. (2006). Penanggulangan Pemanasan Global Di Sektor Pengguna Energi. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*. 7(2). 15-19.
- Sulistiyono. (2012).Pemanasan Global Dan Hubungannya Dengan Penggunaan Bahan Bakar Fosil. *Jurnal Ppsdmmigas.Esdm.Go.Id*.
- Tjasyono, B., 2004. *Klimatologi*. Penerbit ITB.
- Trenberth, K.E. 2011. Attribution Of Climate Variations and Trends to Human Influences and Natural Variability. *Interdisciplinary Reviews: Climate Change* (1)
- Vardoulakis S, Dear K, Hajat S, Heaviside C, Eggen B, Dan AJ. Mcmichael (2014). Comparative Assessment of The Effects of Climate Change on Heat- And Cold-Related Mortality In The United Kingdom And Australia. *Environ Health Perspect*. 122 Pg. 1285-1292
- Vivi Triana, 2008. Pemanasan Global, *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, Universitas Andalas,
- W., Davis J. (1996). "The Alliance of Small Island States (AOSIS): The International Conscience". *Asia-Pacific Magazine*.
- Wide, R., Hakim, M., & Barlian, E. (2020). ADAPTASI DAN MITIGASI PEMANASAN GLOBAL. *Jurnal Kependudukan Dan Pembangunan Lingkungan*, 1(3). 21-32.

- Winker And K. Yoshikawa. 2005. Evidence and Implications of Recent Climate Change In Northern Alaska And Other Arctic Regions. *Climate Change* 72: 251-298.
- Wu, Qimin, Kedong Shi and Lei Zhang. (2009). "The Leaders' Meeting of The Forum on Energy Security and Climate Change of Economic Powers Was Held: Dai Bingguo Attended And Explained China's Position On Behalf Of President Hu Jintao". *People's Daily*: 3 (Highlights) [In Chinese, Article Title Translated by The Author of This Paper].
- Zaidi, Syed Haider Ali, Xin Yu Wang, Sardar Ahmed, Saif UR Rehmen, Muhammad Sajid, Muhammad Hossein Foroozanfar, And Muhammad Ashraf Ali. (2017). "Brexit: A Review of Impact on Future of United Kingdom Outside European Union." *International Journal of Modern Research in Management* 14-33.
- Zhang Y, Wallace JM, Battisti D (1997) ENSO-Like interdecadal Variability: 1900–93. *J Climate* 10:1004–102.