



ILMU LINGKUNGAN

H.B.A Jayawardana, Fatma Sarie, Muhamad Agil, Syifa Saputra,
Rina Sugiarti Dwi Gita, Nururrahmah Hammado, Tarzan Purnomo,
Tatan Sukwika, Muhammad Juwanda, Dwi Nur Rikhma Sari, Elsa Yuniarti,
Anggraini Ratih Purwandari

Ilmu Lingkungan

H.B.A Jayawardana | Fatma Sarie | Muhamad Agil |
Syifa Saputra | Rina Sugiarti Dwi Gita |
Nururrahmah Hammado | Tarzan Purnomo | Tatan Sukwika |
Muhammad Juwanda | Dwi Nur Rikhma Sari | Elsa Yuniarti |
Anggraini Ratih Purwandari

Ilmu Lingkungan

Edisi Pertama

Copyright @ 2023

ISBN 978-623-130-331-8

273 h.

14,8 x 21 cm

cetakan ke-1, 2023

Penulis

H.B.A Jayawardana, dkk

Editor

Andi Ashari

Penerbit

Madza Media

Anggota IKAPI: No.273/JTI/2021

Kantor 1: Jl. Pahlawan, Simbatan, Kanor, Bojonegoro

Kantor 2: Jl. Bantaran Indah Blok H Dalam 4a Kota Malang

redaksi@madzamedia.co.id

www.madzamedia.co.id

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh isi dengan cara apapun, termasuk dengan cara penggunaan mesin fotocopy tanpa izin sah dari penerbit.

Kata Pengantar

Segala puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan yang maha Esa, karena atas pertolongan dan limpahan rahmatnya sehingga penulis bisa menyelesaikan buku yang berjudul Ilmu Lingkungan. Buku ini di susun secara lengkap dengan tujuan untuk memudahkan para pembaca memahami isi buku ini. Buku ini membahas tentang Pengantar Ilmu Lingkungan, Struktur Ekosistem, Daur Biogeokimia, Populailsi Dalam Ekosistem, Komunitas, Pencemaran, Pemanasan Global, Perubahan Iklim Global, Sumber Daya Alam, Keanekaragaman Hayati, Pengelolaan Lingkungan Hidup, Isu Global Lingkungan Di Indonesia..

Kami menyadari bahwa buku yang ada ditangan pembaca ini masih banyak kekurangan. Maka dari itu kami sangat mengharapkan saran untuk perbaikan buku ini dimasa yang akan datang. Dan tidak lupa kami mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penerbitan buku ini. Semoga buku ini dapat membawa manfaat dan dampak positif bagi para pembaca.

Penulis, Malang 21 Mei 2023

Daftar Isi

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
BAB 1 PENGANTAR ILMU LINGKUNGAN	1
BAB 2 STRUKTUR EKOSISTEM	23
A. Ekosistem	23
B. Jenis-jenis Ekosistem.....	25
1. Ekosistem Terestrial.....	25
2. Ekosistem Perairan	26
C. Struktur Ekosistem.....	26
1. Komponen Abiotik.....	27
2. Komponen Biotik.....	28
BAB 3 DAUR BIOGEOKIMIA	34
A. Pengertian Daur Biogeokimia.....	34
B. Jenis Daur Biogeokimia	35
1. Siklus Karbon	35
2. Siklus Nitrogen	37
3. Siklus Hidrogen dan Oksigen (Siklus Air).....	40
4. Siklus Belerang (Sulfur).....	41
5. Siklus Fosfor	42
BAB 4 POPULASI DALAM EKOSISTEM	48
A. Pendahuluan.....	48

B.	Habitat bagi Populasi.....	50
1.	Pengertian Habitat.....	50
2.	Ketersediaan Sumber Daya Alam.....	52
3.	Interaksi antar Populasi.....	53
4.	Ketersediaan Tempat Berindung.....	57
C.	Konservasi Populasi.....	58
1.	Penilaian Status Populasi.....	59
2.	Pengelolaan Habitat.....	60
3.	Pengendalian Spesies Invasif.....	61
4.	Pelestarian Satwa Liar.....	62
5.	Riset dan Pemantauan.....	63
6.	Pendidikan dan Kesadaran Masyarakat.....	64
BAB 5	KOMUNITAS	69
A.	Konsep Dasar Komunitas.....	69
B.	Organisasi pada Taraf Populasi dan Komunitas	73
1.	Populasi	73
2.	Komunitas.....	77
C.	Habitat dan Relung.....	81
D.	Komunitas Akuatik.....	84
1.	Komunitas Laut.....	84
2.	Komunitas Sungai	86
3.	Komunitas Danau	88
E.	Komunitas Terrestrial.....	91
1.	Komunitas Padang Rumput.....	91
2.	Komunitas Padang Pasir	92

	3. Komunitas Kebun.....	94
	4. Komunitas Hutan.....	96
BAB 6	PENCEMARAN.....	100
	A. Pendahuluan.....	100
	B. Pencemaran Udara	103
	C. Pencemaran Tanah.....	111
	D. Pencemaran Air.....	115
BAB 7	PEMANASAN GLOBAL.....	128
	A. Pendahuluan.....	128
	B. Pemanasan Global: Isu atau Fakta?	129
	C. Penyebab Pemanasan Global	132
	D. Efek Rumah Kaca yang ditingkatkan	136
	E. Revolusi Industri	139
	F. Siapa Penghasil Emisi Karbon?	141
	G. Dampak Pemanasan Global	142
	H. Upaya Mengurangi Laju Pemanasan Global; Kesepakatan Paris 2015: Sebuah solusi.....	144
BAB 8	PERUBAHAN IKLIM GLOBAL.....	147
	A. Pendahuluan.....	147
	B. Penyebab Perubahan Iklim.....	153
	C. Upaya Menanggulangi Perubahan Iklim	157
	D. Dampak Perubahan Iklim	160
	E. Apakah Perubahan Iklim Menyebabkan <i>El Niño</i> dan <i>La Niña</i> ?	167
	F. Penutup	174

BAB 9	SUMBER DAYA ALAM	177
	A. Definisi Sumber Daya Alam	178
	B. Klasifikasi Sumber Daya Alam.....	178
	C. Sumber Daya Alam Utama di Indonesia.....	187
	1. Tanah dan Lahan	187
	2. Energi Matahari.....	190
	3. Udara.....	191
	4. Lautan.....	192
	5. Hutan	193
	D. Kerusakan Lingkungan.....	194
	1. Sumber Daya Hutan.....	194
	2. Sumber Daya Lautan.....	195
	3. Sumber Daya Tanah	196
	E. Pengelolaan Sumber Daya Alam.....	197
BAB 10	KEANEKARAGAMAN HAYATI	203
	A. Pendahuluan.....	203
	B. Tinjauan Keanekaragaman Hayati	204
	C. Tingkat Keanekaragaman Hayati	204
	1. Keanekaragaman Hayati Tingkat Gen ...	205
	2. Keanekaragaman Hayati Tingkat Spesies.....	205
	3. Keanekaragaman Hayati Tingkat Ekosistem.....	206
	D. Keanekaragaman Fauna di Indonesia	209
	E. Keanekaragaman Flora di Indonesia	212
	F. Keanekaragaman Mikroorganisme	215
	G. Manfaat Keanekaragaman Hayati	216

BAB 11	PENGELOLAAN LINGKUNGAN HIDUP	221
	A. Manajemen Lingkungan.....	221
	1. Masalah Perkembangan Ekologis.....	223
	2. Pengelolaan Lingkungan yang Berkelanjutan.....	225
	3. Industri yang Berkelanjutan.....	229
BAB 12	ISU GLOBAL LINGKUNGAN DI INDONESIA.....	234
	A. Pendahuluan.....	234
	1. Pencemaran Air.....	236
	2. Pencemaran Udara	238
	3. Pencemaran Tanah	240
	B. Kerusakan Hutan dan Penurunan Keanekaragaman Hayati	241
	1. Banjir di Indonesia.....	242
	2. Penumpukan Jumlah Sampah	245
	3. Rusaknya Ekosistem Laut.....	246
	BIODATA PENULIS	255

BAB 8

PERUBAHAN IKLIM GLOBAL

Oleh: Tatan Sukwika

A. Pendahuluan

1. Apa itu Perubahan Iklim Global?

Perubahan iklim mengacu pada perubahan suhu dan pola cuaca jangka panjang. Pergeseran ini mungkin alami (*natural*), tetapi sejak tahun 1800-an, aktivitas manusia (*anthropogenic*) telah menjadi pendorong utama perubahan iklim, terutama karena pembakaran bahan bakar fosil (seperti batu bara, minyak, dan gas), yang menghasilkan gas yang memerangkap panas.

Perubahan iklim antropogenik ditentukan oleh dampak manusia terhadap iklim Bumi sedangkan perubahan iklim alami adalah siklus iklim alami yang telah dan terus terjadi sepanjang sejarah Bumi.

2. Perubahan Iklim Antropogenik

Antropogenik adalah kata yang cukup panjang dan mungkin terlihat mengintimidasi. Memecahnya

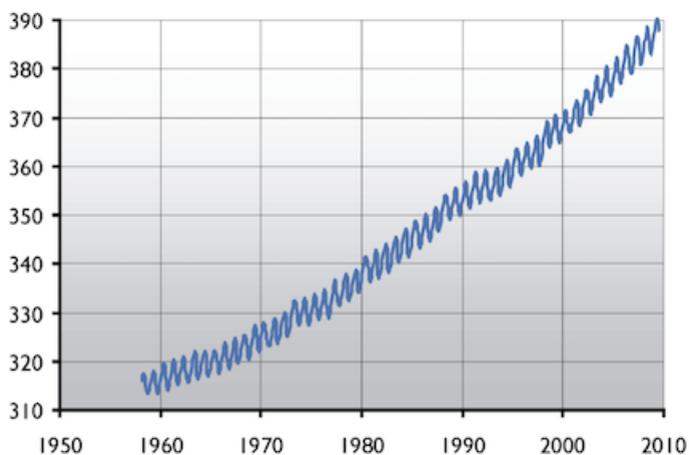
membantu menemukan definisi antropogenik yang bermakna. Pertama, lihat awalan "*anthro*". Awalan ini berarti manusia. Selanjutnya lihat akhiran "*genik*". Seperti banyak istilah ilmiah, ini berasal dari akar kata Yunani. Dalam hal ini kata Yunaninya adalah genesis, yang berarti kelahiran atau penciptaan. Menyatukan kedua bagian ini menghasilkan kata antropogenik, yang berarti ciptaan manusia. Biasanya digunakan untuk menggambarkan perubahan alam yang disebabkan oleh tindakan manusia. Salah satu contohnya adalah perusakan habitat. Misalnya, hutan dibuka untuk pertanian dan pemanenan kayu. Contoh lain adalah masuknya spesies invasif ke dalam ekosistem. Hal ini dapat terjadi secara langsung ketika manusia membawa tumbuhan atau hewan baru bersama mereka saat bermigrasi ke tempat baru. Itu juga bisa terjadi secara tidak sengaja, seperti halnya banyak spesies serangga yang telah diperkenalkan ke tempat baru saat bahan dan barang diangkut melintasi benua.

Apa itu perubahan iklim antropogenik? Istilah perubahan iklim antropogenik menunjukkan perubahan pada iklim yang disebabkan oleh aktivitas manusia. Kemampuan untuk memanipulasi atau mengubah lingkungan adalah ciri khas manusia. Manusia telah mempengaruhi alam selama ribuan tahun. Misalnya, penambangan bijih dan mineral dari bumi oleh masyarakat purba mengubah bentang alam. Ketika manusia mengembangkan pertanian, mulai bercocok tanam, dan beternak hewan peliharaan, ini memperkenalkan lebih banyak perubahan pada lingkungan alam. Ketika orang bermigrasi ke seluruh

dunia dan berkembang lebih berteknologi, perubahan yang mereka buat pada alam telah menjangkau jauh, menyentuh hampir setiap ekosistem. Bahkan atmosfer yang mengelilingi bumi telah terpengaruh oleh aktivitas manusia. Ini semua adalah efek dari perubahan iklim antropogenik yang terjadi saat ini.

Apa yang sekarang disebut perubahan iklim pernah disebut sebagai pemanasan global. Pemanasan global menggambarkan peningkatan suhu rata-rata yang diamati oleh para ilmuwan. Karena suhu bumi telah meningkat, hal itu telah menyebabkan perubahan signifikan lainnya sehingga istilah perubahan iklim diperkenalkan.

Salah satu bukti pertama perubahan iklim antropogenik adalah Kurva Keeling. Kurva Keeling adalah kumpulan data tingkat karbon dioksida atmosfer yang telah diukur sejak tahun 1958. Dinamakan untuk peneliti yang pertama kali melakukan pengukuran, Charles Keeling. Data ini menunjukkan peningkatan eksponensial jumlah karbon dioksida (CO₂) di atmosfer dari waktu ke waktu. Ada sumber karbon dioksida alami dan antropogenik. Contoh alami adalah respirasi oleh hewan. Contoh antropogenik termasuk produksi listrik dan asap transportasi.



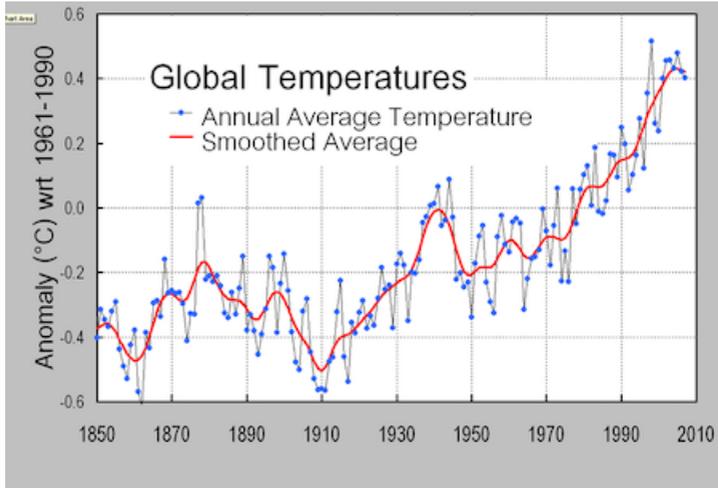
Gambar 24. Kurva *Keeling*: Peningkatan CO₂ di Atmosfer

Gambar 24 Kurva Keeling menunjukkan konsentrasi atmosfer pada sumbu y yang diukur dalam bagian per juta (ppm). Peningkatan konsentrasi karbon dioksida dikaitkan dengan aktivitas manusia, terutama pembakaran bahan bakar fosil. Pertanian dan penambahan polutan lain ke atmosfer juga berkontribusi terhadap peningkatan kadar karbon dioksida di atmosfer. Bahan bakar fosil, seperti batu bara dan minyak, semakin banyak digunakan dengan Revolusi Industri dan terus berlanjut sejak itu. Mereka adalah sumber utama dari peningkatan karbon dioksida atmosfer.

3. Contoh Dampak Antropogenik

Dampak langsung dari penambahan karbon-dioksida dan gas rumah kaca lainnya adalah peningkatan suhu global. Pengukuran suhu rata-rata Bumi berkorelasi dengan peningkatan konsentrasi

karbon dioksida ini. Korelasi antara kadar karbon dioksida dan suhu terlihat jelas dengan membandingkan Kurva Keeling dan grafik Suhu Global.



Gambar 25. Grafik Peningkatan Suhu Global Rata-rata

Periode waktu grafik suhu secara kasar adalah periode sejak dimulainya Revolusi Industri. Karbon dioksida secara alami ada di atmosfer dan disebut sebagai gas rumah kaca karena perannya dalam menghangatkan planet ini. Tanpa efek pemanasan ini, kehidupan tidak akan ada di Bumi seperti yang kita kenal. Tetapi tambahan karbon dioksida, bersama dengan gas rumah kaca lainnya dari sumber antropogenik, menyebabkan efek rumah kaca menghangatkan atmosfer bumi dengan sangat cepat, berkontribusi terhadap perubahan iklim global (Gambar 25).

Salah satu kesalahpahaman paling umum tentang iklim global adalah bahwa efek rumah kaca hanyalah

hipotesis yang perannya dalam perubahan iklim saat ini masih bisa diperdebatkan. Faktanya, efek rumah kaca adalah fakta yang dapat diamati dari apa yang terjadi di atmosfer kita. Radiasi matahari ditransmisikan ke Bumi melalui atmosfer kita. Beberapa dari radiasi ini dipantulkan kembali ke luar angkasa, tetapi beberapa radiasi dalam spektrum inframerah diserap dan dipancarkan kembali oleh gas rumah kaca di atmosfer kita. Hal ini menghangatkan permukaan planet dan ini merupakan efek yang sangat penting karena tanpanya planet akan terlalu dingin bagi kita untuk hidup di atasnya. Kartun skema di bawah ini menggambarkan hal ini. Gas rumah kaca utama adalah uap air (menyusun sekitar 2/3 dari total), karbon dioksida, dan metana. Ini semua terjadi secara alami, tetapi aktivitas manusia telah meningkatkan konsentrasi karbon dioksida dan metana melalui aktivitas industri dan penebangan hutan (Gambar 26). Beberapa gas rumah kaca yang tidak terjadi secara alami dapat terakumulasi juga ke atmosfer.

Meskipun siklus karbon alami Bumi memindahkan sejumlah besar karbon antara tanah, laut, dan atmosfer secara alami, keseimbangannya cukup halus dan jumlah yang telah ditambahkan manusia ke atmosfer sejak Revolusi Industri bertahan di atmosfer selama lebih dari 100 tahun. Artinya, dampak perubahan iklim yang kita rasakan saat ini dihasilkan dari aktivitas di masa lalu. Fakta bahwa gas rumah kaca terus dipancarkan oleh aktivitas manusia berarti kita telah berkomitmen untuk masa depan yang lebih hangat.



Gambar 26. Proses Pembentukan Efek Rumah Kaca

B. Penyebab Perubahan Iklim

Kita melihat perubahan iklim mempengaruhi planet kita dari kutub ke kutub. *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) di Amerika Serikat memantau iklim global dan berikut adalah beberapa perubahan yang dicatat NOAA (2021).

- Suhu global naik sekitar 1,8°F (1°C) dari tahun 1901 hingga 2020. Kenaikan permukaan laut telah dipercepat dari 1,7 mm/tahun hampir sepanjang abad ke-20 menjadi 3,2 mm/tahun sejak 1993.
- Gletser menyusut: ketebalan rata-rata 30 gletser yang dipelajari dengan baik telah berkurang lebih dari 60 kaki sejak 1980.

- Area yang ditutupi es laut di Kutub Utara pada akhir musim panas telah menyusut sekitar 40% sejak 1979.
- Jumlah karbon dioksida di atmosfer telah meningkat sebesar 25% sejak tahun 1958, dan sekitar 40% sejak Revolusi Industri.
- Salju mencair lebih awal dibandingkan dengan rata-rata jangka panjang.

Saat emisi gas rumah kaca menyelimuti Bumi, mereka memerangkap panas matahari. Hal ini menyebabkan pemanasan global dan perubahan iklim. Dunia sekarang memanas lebih cepat dari titik mana pun dalam catatan sejarah. Berikut beberapa sektor-sektor dari hasil giat aktivitas manusia yang berkontribusi terhadap penciptaan perubahan iklim diantaranya yaitu: penggunaan energi, peningkatan manufaktur, deforestasi tutupan lahan, penggunaan transportasi, produksi makanan, pembangunan gedung, dan pola konsumsi.

1. Menghasilkan Tenaga

Aktivitas membakar bahan bakar fosil untuk memperoleh tenaga listrik dan panas telah berkontribusi besar terbentuknya emisi global. Selama ini, sebagian besar tenaga listrik yang diproduksi hasil melalui proses pembakaran dari bahan-bahan penghasil karbon dioksida dan dinitrogen oksida seperti batu bara, minyak atau gas. Emisi yang dihasilkan membentuk gas rumah kaca dapat menyebabkan Bumi panas akibat memerangkap panas matahari. Secara global, selain bakar fosil, sumber penghasil tenaga listrik bisa diperoleh dari angin, matahari, dan sumber terbarukan lainnya. Dimana sumber-sumber alternatif penghasil

tenaga ini hanya mengeluarkan sedikit polutan ke udara atau bahkan hampir tidak ada pembentuk gas rumah kaca.

2. Manufaktur Barang

Proses produksi industri, manufaktur, pertambangan, kontruksi dan sebagian besar menggunakan bahan bakar fosil dan sektor ini menjadi salah satu penyumbang terbesar pada emisi gas rumah kaca. Bahan bakar pada umumnya adalah batu bara, minyak, dan yang bersumber dari bahan bakar fosil. Hasil dari pembakaran itu sebagai energi untuk membuat barang kebutuhan seperti pakaian, makanan, plastik, baja, besi, elektronik, semen, dan barang lainnya.

3. Menebangi Hutan

Hutan berperan menyerap dan menghancurkan karbon dioksida, sera emisi dari atmosfer. Menebang hutan untuk membuat ladang, padang rumput atau alasan lain menghasilkan emisi karena ketika pohon ditebang, karbon yang tersimpan dilepaskan. Aktivitas yang menyebabkan deforestasi, konversi lahan, alih fungsi lahan, dan penggunaan lahan lainnya menyumbang sedikitnya seperempat emisi gas rumah kaca global.

4. Menggunakan Transportasi

Sebagian besar alat moda transportasi darat (sepeda motor, mobil, truk), laut (kapal, perahu mesin), dan udara (pesawat) memakai bahan bakar fosil. Hal ini membuat transportasi menjadi sumber gas rumah kaca yang signifikan, khususnya emisi karbon dioksida. Jenis moda transportasi darat merupakan mayoritas karena mesin pembakaran internal membakar produk

berbasis minyak bumi seperti bensin. Namun demikian emisi dari kontribusi kapal dan pesawat juga terus mengalami peningkatan. Transportasi menyumbang lebih dari seperempat dari emisi karbon dioksida terkait energi dunia. Seiring pertumbuhan transportasi konsumsi energi akan meningkat secara signifikan selama beberapa tahun ke depan.

5. Memproduksi Makanan

Produksi makanan menghasilkan berbagai gas emisi seperti karbon dioksida, metana, dan gas rumah kaca lainnya. Kegiatan-kegiatan dari produksi makanan ini termasuk yang bersumber dari proses penggundulan hutan dan pengolahan pertanian, pembukaan lahan penggembalaan, pemamah biakan ternak sapi dan domba, penggunaan pupuk organik dan non-organik dan penggunaan energi bahan bakar fosil untuk pengoperasian peralatan pertanian atau kapal penangkap ikan. Proses kegiatan produksi pangan di atas dianggap sebagai kontributor utama perubahan iklim. Tidak sampai di sana, pasca kegiatan produksi pangan seperti pengemasan dan distribusi makanan juga menyumbang gas rumah kaca.

6. Menghidupkan Bangunan

Bangunan tempat tinggal dan komersial di seluruh dunia mengonsumsi lebih dari separuh listrik. Untuk memproduksi listrik menggunakan batu bara, minyak, dan gas alam. Aktivitas manusia menggunakan listrik baik untuk pemanasan dan pendinginan keduanya mengeluarkan gas rumah kaca dalam jumlah yang signifikan. Permintaan energi yang terus meningkat

untuk kebutuhan pemanasan dan pendinginan, penerangan, pertumbuhan kepemilikan AC, serta peralatan dan perangkat lainnya yang terhubung dengan listrik telah meningkatkan emisi karbon terkait energi dari bangunan tempat tinggal dan komersial.

7. Mengonsumsi Terlalu Banyak

Aktivitas rumah tangga mulai dari penggunaan rumah, listrik, mobilitas, pola makan dan minum, dan seberapa banyak konsumsi yang terbuang semuanya mempengaruhi gas rumah kaca. Demikian juga konsumsi barang seperti pakaian, elektronik, dan plastik. Emisi gas rumah kaca global disebabkan dari aktivitas rumah tangga. Gaya hidup manusia memberikan dampak gas rumah kaca yang besar. Di mana, kelompok yang terkaya memiliki kontribusi dan tanggung jawab terbesar: 1% penduduk terkaya di dunia secara kolektif mengeluarkan lebih banyak gas rumah kaca daripada 50% penduduk termiskin.

C. Upaya Menanggulangi Perubahan Iklim

Tingkat emisi GRK terus meningkat dari tahun ke tahunnya, bahkan laporan NOAA menunjukkan peningkatan di masa pandemi Covid-19. Namun, masih banyak cara untuk mengurangnya. Salah satunya adalah mengubah kebiasaan konsumsi dan gaya hidup. Berikut adalah rekomendasi kebijakan dan perangkat yang dapat diterapkan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, seperti:

1. Sektor Energi

Di sektor energi, subsidi bahan bakar fosil, pajak CO₂ bahan bakar fosil dan penggunaan energi terbarukan dapat diterapkan, tanpa melupakan harga listrik dari sumber terbarukan dan subsidi bagi produsen.

2. Sektor Transportasi

Di bidang transportasi perlu menerapkan penggunaan *biofuel*, mensyaratkan penggunaan bahan bakar yang sesuai dengan standar CO₂ pada kendaraan di jalan raya, pendaftaran kendaraan, pembebasan pajak bagi masyarakat umum, biaya jalan raya dan parkir. Selain itu, jangan lupa untuk merencanakan kebutuhan transportasi dengan meninjau peraturan tata guna lahan masa lalu dan perencanaan infrastruktur yang baik, dan terakhir berusaha memprioritaskan transportasi tidak bermotor dan angkutan umum.

3. Sektor Gedung

Menerapkan standar dan labelisasi ke berbagai perangkat alat, regulasi kode bangunan, dan sertifikasi. Selanjutnya pemerintah dapat memberikan insentif bagi perusahaan di sektor energi dalam proyek pengadaan *green product*. Selain itu, sekitar 70 persen konsumsi energi berasal dari konstruksi dan bangunan, yang menimbulkan 39 persen emisi karbon, dan diprediksi 15 tahun ke depan infrastruktur perkotaan ini akan mengimbangi percepatan proses migrasi dari desa ke kota, atau sebaliknya. Penting juga untuk meningkatkan kualitas konstruksi, menaikkan standar bangunan, dan memikirkan kembali perencanaan kota, misalnya memberikan insentif untuk *mini-grid*

solutions karena hal ini sama pentingnya dengan mengatasi emisi CF₁₁, metana, dan nitrogen oksida.

4. Sektor Industri

Berlakukannya standar untuk subsidi, kredit pajak, dan perjanjian sukarela. Sektor pertanian sebaiknya menerima insentif keuangan dan peraturan yang mempertimbangkan kemudahan mengelola lahan dan irigasi agar lebih efisien, penggunaan pupuk dan pemeliharaan tingkat karbon di dalam tanah.

5. Sektor Kehutanan

Insentif keuangan internasional dan nasional memiliki tujuan yang berbeda, seperti: konservasi kawasan hutan, pengelolaan hutan, perluasan kawasan hutan, pengendalian deforestasi atau penebangan liar, dan penegakan peraturan penggunaan lahan. Melindungi dan memulihkan hutan tropis dengan menanam satu juta pohon untuk meningkatkan ketahanan pangan, menyelamatkan keanekaragaman hayati, mengurangi emisi karbon, menyediakan mata pencaharian, dan mendukung ekonomi pedesaan. Untuk itu, perlu segera meningkatkan investasi untuk mengurangi separuh deforestasi di daerah tropis, menghentikan deforestasi global. Hingga saat ini, 168 juta hektar telah dijanjikan akan dipulihkan oleh 47 negara melalui program penanaman lebih banyak pohon khususnya di padang rumput, lahan pertanian, dan lahan gambut.

6. Sektor Pertanian dan Makanan

Menurut Laporan Kesenjangan Emisi Lingkungan PBB 2018, sistem pangan dari produksi hingga konsumsi dapat mengurangi emisi karbon hingga 6,7 gigaton.

Makanan menempati urutan kedua setelah sektor energi. Menurut organisasi PBB ini, masyarakat membutuhkan perubahan pangan global dalam 12 tahun ke depan untuk mengurangi limbah makanan dan menerapkan pola makan dan gaya hidup sehat dengan mengurangi konsumsi protein hewani. UNEP menambahkan bahwa penduduk dunia juga harus mendorong pertanian menjadi lebih ramah iklim dan tangguh, mengakhiri ketimpangan pangan saat ini yang membuat lebih dari 820 juta orang kekurangan gizi.

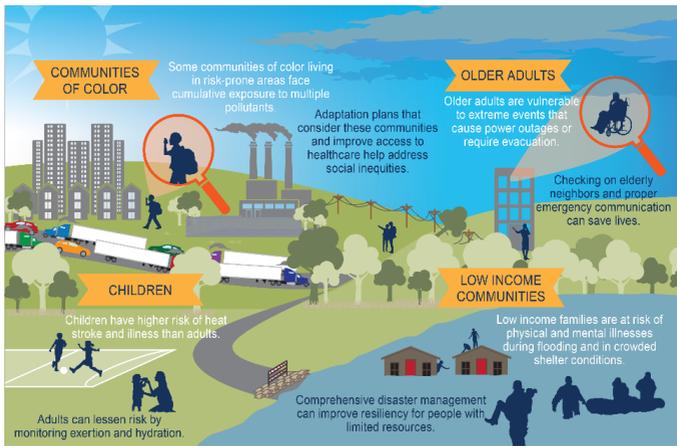
D. Dampak Perubahan Iklim

Meskipun kita sering menganggap perubahan iklim akibat ulah manusia sebagai sesuatu yang akan terjadi di masa depan, ini adalah proses yang berkelanjutan. Ekosistem dan komunitas di seluruh dunia sedang terkena dampak hari ini.

Temperatur global naik sekitar 1,98°F *offsite link* (1,1°C) dari tahun 1901 hingga 2020, tetapi perubahan iklim mengacu pada lebih dari sekadar peningkatan temperatur. Ini juga termasuk kenaikan permukaan laut, perubahan pola cuaca seperti kekeringan dan banjir, dan banyak lagi. Hal-hal yang kita andalkan dan hargai — air, energi, transportasi, satwa liar, pertanian, ekosistem, dan kesehatan manusia — mengalami dampak perubahan iklim.

Perubahan iklim sudah berdampak pada kesehatan manusia. Perubahan pola cuaca dan iklim dapat membahayakan nyawa. Panas merupakan salah satu fenomena cuaca yang paling mematikan. Saat suhu lautan naik, angin topan semakin kuat dan basah, yang dapat

menyebabkan kematian langsung dan tidak langsung. Kondisi kering menyebabkan lebih banyak kebakaran hutan, yang membawa banyak risiko kesehatan. Insiden banjir yang lebih tinggi dapat menyebabkan penyebaran penyakit yang ditularkan melalui air, cedera, dan bahaya kimia. Seiring meluasnya jangkauan geografis nyamuk dan kutu, mereka dapat membawa penyakit ke lokasi baru.



Contoh populasi yang berisiko lebih tinggi terpapar ancaman kesehatan terkait iklim yang merugikan ditampilkan bersama dengan langkah-langkah adaptasi yang dapat membantu mengatasi dampak yang tidak proporsional. Ketika mempertimbangkan berbagai ancaman dari perubahan iklim serta paparan lingkungan lainnya, kelompok ini termasuk yang paling terpapar, paling sensitif, dan memiliki sumber daya individu dan komunitas paling sedikit untuk mempersiapkan dan menanggapi ancaman kesehatan. Teks putih menunjukkan risiko yang dihadapi oleh komunitas tersebut, sedangkan teks gelap menunjukkan tindakan yang dapat diambil untuk mengurangi risiko tersebut (EPA, 2020).

Gambar 27. Dampak Perubahan Iklim Global pada Komunitas dan Lingkungan

Kelompok yang paling rentan, termasuk anak-anak, orang lanjut usia, orang dengan kondisi kesehatan yang sudah ada sebelumnya, pekerja luar ruangan, orang kulit berwarna, dan orang dengan pendapatan rendah, berada pada risiko yang lebih tinggi karena faktor peracikan dari perubahan iklim. Tetapi kelompok kesehatan masyarakat dapat bekerja dengan komunitas lokal untuk membantu orang memahami dan membangun ketahanan terhadap dampak kesehatan perubahan iklim. Pada Gambar 4 mengilustrasikan dampak perubahan iklim global pada komunitas dan lingkungan.

Masalah yang Kompleks

Dampak perubahan iklim pada berbagai sektor masyarakat saling terkait. Kekeringan dapat membahayakan produksi pangan dan kesehatan manusia. Banjir dapat menyebabkan penyebaran penyakit dan kerusakan ekosistem dan infrastruktur. Masalah kesehatan manusia dapat meningkatkan kematian, berdampak pada ketersediaan pangan, dan membatasi produktivitas pekerja. Dampak perubahan iklim terlihat di setiap aspek dunia tempat kita tinggal. Namun, dampak perubahan iklim tidak merata di seluruh negara dan dunia — bahkan dalam satu komunitas, dampak perubahan iklim dapat berbeda antar lingkungan atau individu. Ketidaksetaraan sosial ekonomi yang berlangsung lama dapat membuat kelompok yang kurang terlayani, yang seringkali memiliki paparan bahaya tertinggi dan sumber daya paling sedikit untuk merespons, menjadi lebih rentan.

Proyeksi masa depan yang terkena dampak perubahan iklim tidak dapat dihindari. Banyak masalah dan solusi

tautan di luar situs yang kita ketahui sekarang, dan penelitian yang sedang berlangsung terus memberikan yang baru. Para pemantau NOAA yakin masih ada waktu untuk menghindari hasil yang paling negatif dengan membatasi pemanasan di luar lokasi dan mengurangi emisi hingga nol secepat mungkin. Mengurangi emisi gas rumah kaca akan membutuhkan investasi dalam teknologi dan infrastruktur baru, yang akan memacu pertumbuhan lapangan kerja. Selain itu, menurunkan emisi akan mengurangi dampak berbahaya bagi kesehatan manusia, menyelamatkan nyawa yang tak terhitung jumlahnya dan miliaran dolar dalam pengeluaran terkait kesehatan.

Berikut beberapa fenomena dampak Perubahan Iklim yang telah dan masih terjadi.

1. Suhu Lebih Panas

Dengan meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca, suhu permukaan bumi juga meningkat. Dekade terakhir, 2011-2020, adalah rekor terpanas. Setiap dekade sejak 1980-an lebih hangat dari yang terakhir. Hampir semua wilayah daratan mengalami hari yang lebih panas dan gelombang panas. Suhu yang lebih tinggi memicu munculnya peningkatan penyakit yang berhubungan dengan panas seperti malaria, kolera, demam berdarah, dan pneumonia. Tidak hanya itu, naiknya temperatur membuat lebih sulit untuk bekerja di luar ruangan. Lebih mencemaskan lagi, kebakaran hutan lebih mudah menyala dan menyebar lebih cepat saat kondisi lebih hangat. Pada waktu yang bersamaan, suhu Arktik telah dan terus menghangat setidaknya dua kali lebih cepat dari rata-rata global.

2. Badai yang Lebih Parah

Badai yang merusak menjadi lebih intens dan lebih sering terjadi di banyak daerah. Saat suhu naik, lebih banyak uap air menguap, yang memperburuk curah hujan ekstrem dan banjir, menyebabkan badai yang lebih merusak. Frekuensi dan luasnya badai tropis juga dipengaruhi oleh pemanasan laut. Badai seperti itu sering menghancurkan rumah dan merusak aset masyarakat, menyebabkan kematian dan kerugian ekonomi yang sangat besar.

3. Meningkatnya Kekeringan

Perubahan iklim mengganggu pola ketersediaan air dan langka di lebih banyak wilayah. Pemanasan global memperburuk kelangkaan air di daerah yang sudah gersang, meningkatkan risiko kekeringan pertanian akan mempengaruhi tanaman dan kekeringan ekologis sehingga meningkatkan kerentanan ekosistem. Kekeringan juga dapat menyebabkan badai pasir dan debu dahsyat yang dapat membawa miliaran ton pasir melintasi benua. Pertambahan kawasan gurun selain mengurangi lahan yang tersedia untuk menanam makanan juga banyak orang terancam sulit mendapatkan cukup air secara teratur.

4. Lautan yang Hangat dan Naik

Lautan menyerap sebagian besar panas yang disebabkan oleh pemanasan global. Tingkat pemanasan laut telah meningkat secara signifikan di semua kedalaman laut selama dua dekade terakhir. Saat lautan menghangat, volumenya meningkat karena air mengembang saat menghangat. Mencairnya

permafrost (lapisan es) juga menyebabkan kenaikan permukaan laut, mengancam masyarakat pesisir dan pulau. Lautan juga menyerap karbon dioksida dan menjauhkannya dari atmosfer. Tetapi lebih banyak karbon dioksida membuat lautan lebih asam dan membahayakan kehidupan laut dan terumbu karang.

5. Kehilangan Spesies

Perubahan iklim mengancam keberlanjutan hidup spesies baik di darat maupun di laut. Risiko ini meningkat dengan meningkatnya suhu. Diperburuk oleh perubahan iklim, dunia kehilangan spesies dengan kecepatan 1.000 kali lebih besar daripada waktu mana pun dalam sejarah manusia yang tercatat. Satu juta spesies terancam punah dalam beberapa dekade mendatang. Kebakaran hutan, cuaca ekstrem, dan serangan hama dan penyakit adalah beberapa di antara banyak ancaman terkait perubahan iklim. Beberapa spesies akan dapat pindah dan bertahan hidup, tetapi yang lain tidak.

6. Makanan Tidak Cukup

Perubahan iklim dan peningkatan kejadian cuaca ekstrim merupakan salah satu penyebab meningkatnya kelaparan dan kekurangan gizi di seluruh dunia. Sektor Perikanan, tanaman pangan, dan ternak dapat hancur atau produktivitas menjadi menurun. Saat lautan menjadi lebih asam, sumber daya laut yang memberi makan miliaran orang terancam. Perubahan lapisan salju dan es di sebagian besar Kutub Utara telah mengganggu pasokan makanan dari penggembalaan, perburuan, dan penangkapan ikan. Tekanan panas

yang tinggi dapat mengurangi air dan padang rumput untuk penggembalaan, mengurangi hasil dan mempengaruhi kualitas ternak.

7. Lebih Banyak Risiko Kesehatan

Perubahan iklim merupakan ancaman terbesar bagi kesehatan manusia. Dampak iklim sudah merugikan kesehatan melalui polusi udara, penyakit, peristiwa cuaca ekstrem, eksodus atau pemindahan paksa, tekanan mental, dan meningkatnya kelaparan dan malnutrisi di tempat-tempat di mana orang tidak bisa tumbuh atau mendapatkan akses makanan yang cukup. Faktor lingkungan merenggut nyawa sekitar 13 juta orang setiap tahun. Perubahan pola cuaca meningkatkan penyakit, dan peristiwa cuaca ekstrem meningkatkan kematian dan mempersulit sistem ketahanan kesehatan untuk mengimbangnya.

8. Kemiskinan dan Pengungsian

Perubahan iklim bisa membuat orang tetap dalam kemiskinan. Banjir dapat menyapu daerah kumuh perkotaan, menghancurkan rumah dan mata pencaharian. Panas dapat membuat sulit untuk bekerja di luar. Kekurangan air dapat mempengaruhi tanaman. Selama dekade terakhir (2010-2019), rata-rata 23,1 juta orang mengungsi akibat peristiwa terkait cuaca setiap tahun, membuat banyak orang lebih rentan terhadap kemiskinan. Mayoritas pengungsi berasal dari kawasan yang paling rentan dan paling tidak siap beradaptasi dengan dampak perubahan iklim.

E. Apakah Perubahan Iklim Menyebabkan *El Niño* dan *La Niña*?

El Niño dan *La Niña* adalah fenomena alam. Bagaimana *El Niño* dan *La Niña* mengubah cuaca? Suhu global meningkat sekitar 0,2°C selama episode *El Niño*, dan turun sekitar 0,2°C selama *La Niña*. *El Niño* berarti air yang lebih hangat menyebar lebih jauh, dan tetap lebih dekat ke permukaan. Ini melepaskan lebih banyak panas ke atmosfer, menciptakan udara yang lebih basah dan lebih hangat.

El Niño dan *La Niña* adalah nama untuk pola angin dan suhu yang kompleks di Samudera Pasifik. Angin di lautan dapat mengambil salah satu dari tiga fase. Fase Netral, di mana pola angin bertiup dari timur ke barat. Fase *El Niño*, di mana tiupan angin melambat atau bahkan berhenti. Dan Fase *La Niña*, di mana pola anginnya berhembus lebih kuat.

Jika menganalogikan Samudra Pasifik yang menutupi sepertiga Bumi, sebagai bak mandi berisi air dingin dengan kipas angin di dekat keran air. Putar buka keran air panas selama beberapa detik dan nyalakan kipas angin, dan angin sepoi-sepoi akan meniup aliran air hangat dari keran ke ujung bak mandi. Pada tahun-tahun normal (fase), beginilah cara angin mendorong panas dari Amerika Selatan ke Asia.

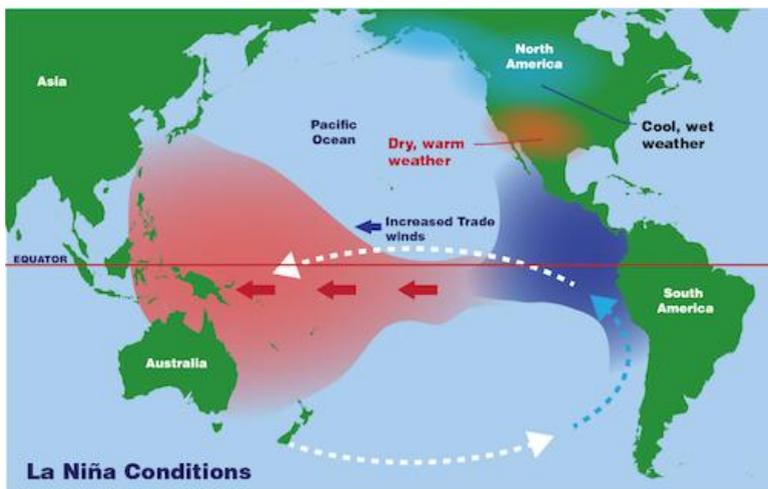
Namun, selama *El Niño*, perubahan panas dan tekanan membuat kipas berhenti bertiup. Air panas mengalir kembali ke keran, menyisakan lebih banyak air hangat di tengah bak—atau sekitar lautan dan dekat Amerika Selatan.—Itu membuatnya lebih mungkin menguap dan membentuk awan hujan dalam jumlah besar di tempat-

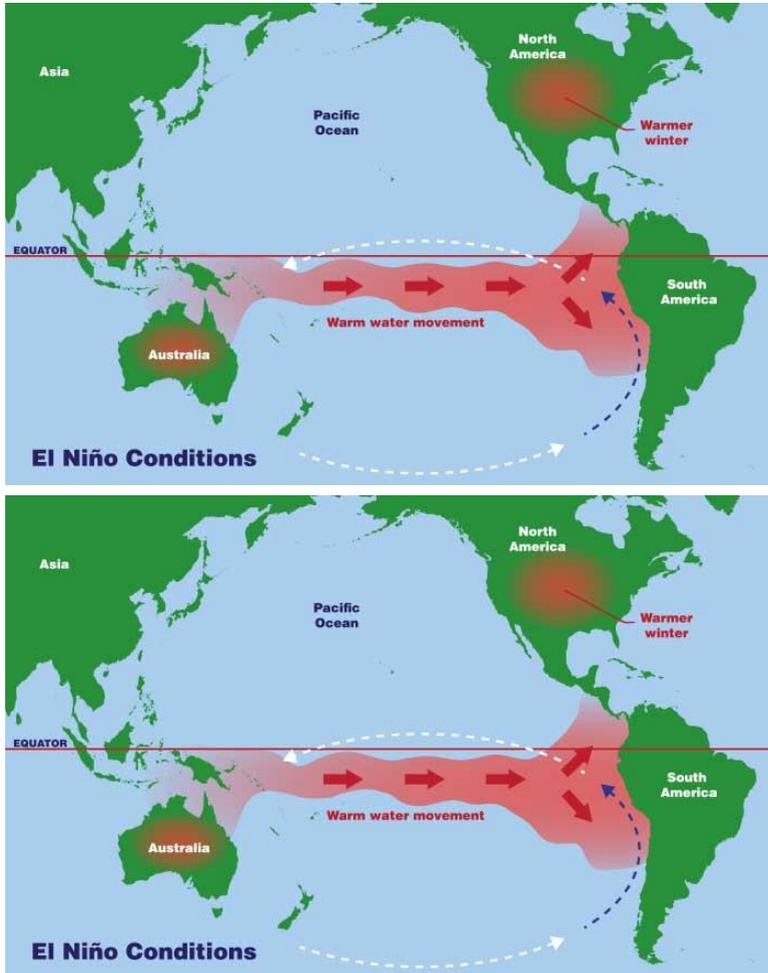
tempat yang biasanya cukup kering atau jarang dijatuhkan air hujan dari awan.

Efek *El Niño* membentang tinggi di atas Samudra Pasifik dan melintasi Bumi. Di mana awan tinggi menyodok atmosfer dan memicu gelombang sehingga mengganggu iklim di mana-mana. Dampaknya mengubah jalur aliran angin kencang jauh di atas permukaan tanah yang membawa hujan pada kondisi suhu hangat

El Niño peristiwa dikaitkan dengan pemanasan di Pasifik tropis bagian tengah dan timur. Sedangkan, kejadian *La Niña* adalah kebalikannya. Secara visualisasi Kondisi *La Niña* dan *El Niño* ditunjukkan pada Gambar 5.

La Niña adalah pola cuaca yang terjadi di Samudera Pasifik. Dalam pola ini, angin kencang meniup air hangat di permukaan laut dari Amerika Selatan hingga Indonesia. Saat air hangat bergerak ke barat, air dingin dari kedalaman naik ke permukaan dekat pantai Amerika Selatan.





Gambar 28. Kondisi *La Nina* dan *El Nino*

Berikut proses terjadinya *La Niña*: (a) Angin di Samudra pasifik menguat (penurunan suhu bagian pasifik bagian timur), fenomena angin pasat timur yang bertiup dan menguat di sepanjang Samudra pasifik. (b) Massa air hangat terbawa ke arah pasifik barat akibat angin kencang. (c) *Upwelling* (suhu permukaan laut mengalami penurunan

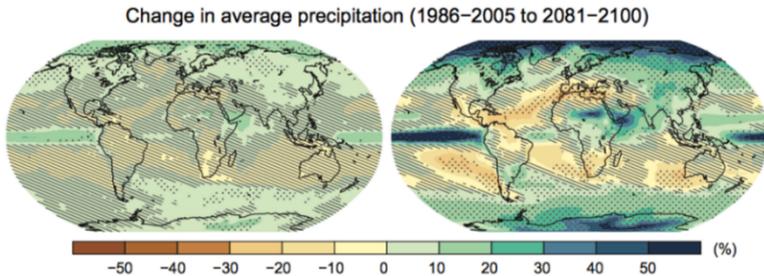
dibanding suhu normal sebelumnya, karena massa air hangat terbawa ke arah pasifik barat lebih banyak maka akibatkan massa air dingin di pasifik timur bergerak ke atas dan menggantikan massa air hangat yang berpindah ke pasifik barat tersebut.

La Niña disebabkan oleh interaksi antara Samudra Pasifik dan atmosfer di atasnya. Namun, itu dapat memiliki efek pada cuaca di seluruh dunia. Perubahan atmosfer ini dapat menyebabkan lebih banyak aktivitas petir di Teluk Meksiko dan di sepanjang Pantai Teluk. Juga, kondisi lingkungan selama La Niña dapat menyebabkan lebih banyak siklon tropis (Paeth et al., 2008)—termasuk badai—terbentuk di daerah tropis yang dalam (misalnya dekat pulau-pulau di Karibia, hingga bagian barat Indonesia).

Beberapa dampak dari La Niña yaitu: (a) Menguatnya angin pasat timur. (b) Menguatnya sirkulasi *monsoon* (sangat mempengaruhi pola cuaca di wilayah tropis berkaitan dengan musim hujan dan kemarau). (c) Di wilayah pasifik bagian timur akumulasi curah hujan menjadi berkurang (akhirnya cuaca lebih dingin dan juga kering). (d) Terjadinya potensi hujan yang turun di sepanjang perairan pasifik ekuatorial barat (Indonesia, Malaysia, bagian Utara Australia—akhirnya cuaca lebih hangat dan juga lembab).

Bencana utama yang disebabkan oleh fenomena *La Niña* adalah bencana hidrometeorologi meliputi potensi bencana banjir, longsor, banjir bandang, angin kencang, puting beliung, hingga terjadinya badai tropis. Pergeseran alami angin Samudra Pasifik yang terus menerus dapat

mendorong suhu global lebih tinggi lagi dan mendatangkan malapetaka pada cuaca di seluruh dunia.



Gambar 29. Model Iklim Memproyeksikan Curah Hujan dan Perubahan Badai Periode 1986 – 2100

Sumber: IPCC (2013)

Pola peristiwa presipitasi dan badai, termasuk hujan dan salju juga cenderung berubah. Namun, beberapa dari perubahan ini kurang pasti dibandingkan dengan perubahan suhu. Proyeksi menunjukkan bahwa perubahan curah hujan dan badai di masa depan akan bervariasi menurut musim dan wilayah. Beberapa daerah mungkin memiliki lebih sedikit curah hujan, beberapa mungkin memiliki lebih banyak curah hujan, dan beberapa mungkin memiliki sedikit atau tidak ada perubahan. Jumlah curah hujan yang turun dalam peristiwa presipitasi yang tinggi cenderung meningkat di sebagian besar wilayah, sementara jalur badai diproyeksikan bergeser ke arah kutub (IPCC, 2013). Model iklim memproyeksikan curah hujan dan perubahan badai pada Gambar 29. Pada gambar diketahui Proyeksi perubahan curah hujan rata-rata tahunan global untuk skenario emisi rendah (kiri) dan skenario emisi tinggi (kanan). Daerah biru dan hijau diproyeksikan mengalami peningkatan curah hujan pada

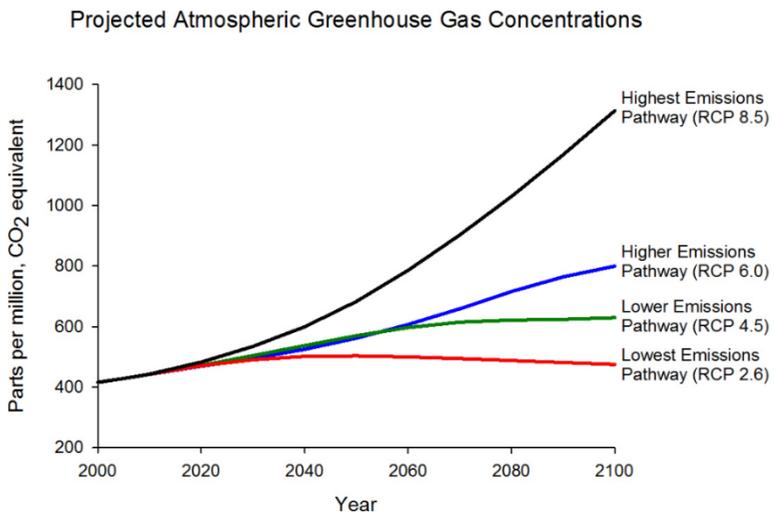
akhir abad ini, sedangkan daerah kuning dan coklat diproyeksikan mengalami penurunan.

Berdasarkan data *Intergovernmental Panel on Climate Change* atau IPCC disebutkan oleh Xu, & Powell (2012) bahwa efek dari peristiwa *El Niño* dan *La Niña* yang ekstrem kemungkinan akan lebih parah saat planet ini memanas atau terjadi pemanasan secara global. Karena udara yang lebih hangat dapat menyerap lebih banyak kelembaban, peristiwa *El Niño* yang sama berarti lebih banyak hujan yang turun secara lokal (Ludescher et al., 2021). Udara dapat menampung 7% lebih banyak uap air untuk setiap 1 derajat Celcius planet ini memanas. Dengan membakar bahan bakar fosil dan menghancurkan hutan, umat manusia telah memanaskan planet ini 1,2 derajat Celcius sejak Revolusi Industri.

Emisi gas rumah kaca saat ini akan mempengaruhi iklim jauh di masa depan. Banyak gas rumah kaca bertahan di atmosfer untuk jangka waktu yang lama. Akibatnya, meskipun emisi berhenti meningkat, konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer akan terus meningkat dan tetap tinggi selama ratusan tahun. Selain itu, jika kita menstabilkan konsentrasi dan komposisi atmosfer saat ini tetap stabil (yang akan membutuhkan pengurangan dramatis emisi gas rumah kaca saat ini), suhu udara permukaan akan terus menghangat. Ini karena lautan, yang menyimpan panas, membutuhkan waktu puluhan tahun untuk sepenuhnya merespons konsentrasi gas rumah kaca yang lebih tinggi. Tanggapan laut terhadap konsentrasi gas rumah kaca yang lebih tinggi dan suhu yang lebih tinggi

akan terus berdampak pada iklim selama beberapa dekade hingga ratusan tahun mendatang (IPCC, 2013).

Karena sulit untuk memproyeksikan emisi jauh di masa depan dan faktor manusia lain yang memengaruhi iklim, para ilmuwan menggunakan berbagai skenario dengan menggunakan berbagai asumsi tentang kondisi ekonomi, sosial, teknologi, dan lingkungan di masa depan. Pada Gambar 7 menunjukkan proyeksi konsentrasi gas rumah kaca untuk empat jalur emisi yang berbeda. Jalur teratas mengasumsikan bahwa emisi gas rumah kaca akan terus meningkat sepanjang abad ini. Jalur bawah mengasumsikan bahwa emisi mencapai puncaknya antara tahun 2010 dan 2020, kemudian menurun setelahnya.



Gambar 30. Proyeksi Konsentrasi Gas Rumah Kaca untuk Empat Jalur Emisi yang Berbeda

Sumber: IPCC (2013)

F. Penutup

Konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer akan terus meningkat kecuali miliaran ton emisi tahunan kita berkurang secara substansial. Peningkatan konsentrasi diharapkan dapat: meningkatkan suhu rata-rata bumi, mempengaruhi pola dan jumlah presipitasi, kurangi lapisan es dan salju, serta *permafrost*, menaikkan permukaan laut, meningkatkan keasaman lautan, meningkatkan frekuensi, intensitas, dan/atau durasi kejadian ekstrem, pergeseran karakteristik ekosistem, meningkatkan ancaman terhadap kesehatan manusia. Perubahan ini akan berdampak pada pasokan makanan, sumber daya air, infrastruktur, ekosistem, dan bahkan kesehatan kita sendiri.

Permukaan laut naik dan lautan menjadi lebih hangat. Kekeringan yang lebih lama dan lebih intens mengancam tanaman, satwa liar, dan pasokan air tawar. Dari beruang kutub di Kutub Utara hingga kura-kura laut di lepas pantai Afrika, keragaman kehidupan planet kita terancam oleh perubahan iklim.

Perubahan iklim menimbulkan ancaman mendasar terhadap tempat, spesies, dan mata pencaharian masyarakat yang harus dilindungi. Untuk mengatasi krisis ini secara memadai, kita harus segera mengurangi polusi karbon dan bersiap menghadapi konsekuensi pemanasan global, yang sudah kita alami. Upaya pengendalian dimulai dari kesadaran dan kepedulian, serta komitmen semua pemangku kepentingan untuk: membantu manusia dan alam beradaptasi dengan perubahan iklim, memerangi

perubahan iklim melalui gerakan-gerakan mengurangi emisi karbon.

DAFTAR PUSTAKA

- [EPA] United States Environmental Protection Agency. (2020) *Climate Change Science: Future of Climate Change*. Url: <https://climatechange.chicago.gov/climate-change-science/future-climate-change>
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis Exit*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the IPCC. NY, USA: Cambridge University Press.
- Ludescher, J., Martin, M., Boers, N., Bunde, A., Ciemer, C., Fan, J., ... & Schellnhuber, H. J. (2021). *Network-based forecasting of climate phenomena*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 118(47), e1922872118.
- [NOAA] National Oceanic and Atmospheric Administration U.S. Department of Commerce. (2021). *Climate change impacts* Url: <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/climate/climate-change-impacts>
- Paeth, H., Scholten, A., Friederichs, P., & Hense, A. (2008). Uncertainties in climate change prediction: El Niño-Southern Oscillation and monsoons. *Global and Planetary Change*, 60(3-4), 265-288.
- Xu, J., & Powell, A. M. (2012). Uncertainty estimation of the global temperature trends for multiple radiosondes, reanalyses, and CMIP3/IPCC climate model simulations. *Theoretical and Applied Climatology*, 108, 505-518.



Tatan Sukwika

Tatan Sukwika, Telah menyelesaikan program sarjana ilmu Agribisnis Universitas Djuanda tahun 1999, program magister sains ilmu Perencanaan Pembangunan Wilayah dan Pedesaan berhasil diselesaikannya pada tahun 2003 di IPB University, dan penulis meraih gelar doktor ilmu Pengelolaan Sumber daya Alam dan Lingkungan tahun 2016 dari IPB University.

Profesi karir sebagai dosen tetap pada program studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Sahid Jakarta dan profesi non-karir sebagai auditor lingkungan, asesor nasional Beban Kerja Dosen (BKD), mentor aplikasi lingkungan berkelanjutan, editor jurnal nasional dan reviewer (38 verified peer reviews by Publons, Web of Science) jurnal internasional. Penulis memiliki kepakaran dibidang ilmu lingkungan, planologi dan sosial ekonomi. Dalam mewujudkan karir sebagai konsultan profesional, penulis pun aktif sebagai peneliti dibidang kepakarannya tersebut. Beberapa penelitian yang telah dilakukan didanai oleh internal perguruan tinggi

dan juga beberapa kementerian dan lembaga setingkat pemerintah. Selain peneliti, penulis juga aktif menulis buku di IKAPI dan artikel pada jurnal nasional terakreditasi dan internasional bereputasi (h-indeks Scopus = 3 dan h-indeks Google Scholar = 11). Atas dedikasi dan kerja keras dalam menulis artikel, Universitas Sahid Jakarta memberikan penghargaan sebagai salah satu penulis Karya Ilmiah Terbaik Tahun 2022.