



ADAPTASI DAN MITIGASI PERUBAHAN IKLIM DI INDONESIA

**Mila Sari, Dian Puspitasari, Bambang Suhartawan,
Yosef Adicita, Robert Tua Siregar, Suriani Nur,
Tarzan Purnomo, Firdaus, Nurul Ulfah, Sri Jumiati**

ADAPTASI DAN MITIGASI PERUBAHAN IKLIM DI INDONESIA

**Mila Sari
Dian Puspitasari
Bambang Suhartawan
Yosef Adicita
Robert Tua Siregar
Suriani Nur
Tarzan Purnomo
Firdaus
Nurul Ulfah
Sri Jumiati**



PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

ADAPTASI DAN MITIGASI PERUBAHAN IKLIM DI INDONESIA

Penulis :

Mila Sari
Dian Puspitasari
Bambang Suhartawan
Yosef Adicita
Robert Tua Siregar
Suriani Nur
Tarzan Purnomo
Firdaus
Nurul Ulfah
Sri Jumiyati

ISBN : 978-623-198-426-5

Editor : Diana Purnama Sari, S.E., M.E

Penyunting : Ari Yanto, M.Pd

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd

Penerbit : PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jl. Pasir Sebelah No. 30 RT 002 RW 001
Kelurahan Pasie Nan Tigo Kecamatan Koto Tengah
Padang Sumatera Barat

Website : www.globaleksekutifteknologi.co.id

Email : globaleksekutifteknologi@gmail.com

Cetakan pertama, Juni 2023

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

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT dalam segala kesempatan. Sholawat beriring salam dan doa kita sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis telah menyelesaikan Buku Adaptasi Dan Mitigasi Perubahan Iklim Di Indonesia ini.

Buku Ini Membahas Konsep adaptasi dan mitigasi perubahan iklim, Planet bumi dan atmosfer, Cuaca, iklim dan musim, Efek rumah kaca, Pemanasan global, Indikasi terjadinya pemanasan global di Indonesia, Dampak perubahan iklim, Adaptasi perubahan iklim, Mitigasi perubahan iklim, Manajemen perubahan iklim.

Penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyelesaian buku ini. Terutama pihak yang telah membantu terbitnya buku ini dan telah mempercayakan mendorong, dan menginisiasi terbitnya buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi masyarakat Indonesia.

Padang, Juni 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
BAB 1 KONSEP ADAPTASI DAN MITIGASI	
PERUBAHAN IKLIM	1
1.1 Pengertian Adaptasi.....	1
1.2 Pengertian Mitigasi.....	2
1.3 Konsep adaptasi dan Mitigasi.....	3
1.4 Perubahan Iklim.....	5
1.5 Dampak Perubahan Iklim.....	7
DAFTAR PUSTAKA	10
BAB 2 PLANET BUMI DAN ATMOSFER.....	13
2.1 Planet Bumi.....	13
2.1.1 Pendahuluan.....	13
2.1.2 Teori Planet Bumi.....	14
2.1.3 Struktur Bumi	16
2.2 Atmosfer	20
2.2.1 Pendahuluan.....	20
2.2.2 Struktur Vertikal Atmosfer	22
DAFTAR PUSTAKA	27
BAB 3 CUACA, IKLIM DAN MUSIM.....	29
3.1 Pendahuluan.....	29
3.2 Pengertian Cuaca, Iklim dan Musim	30
3.2.1 Cuaca.....	30
3.2.2 Iklim.....	34
3.2.3 Musim.....	36
3.3 Unsur-unsur Cuaca, Iklim dan Musim	37
3.3.1 Radiasi matahari.....	38
3.3.2 Temperatur udara.....	38
3.3.3 Kelembaban udara.....	40

3.3.4 Kecepatan Angin	40
3.3.5 Curah Hujan	40
3.4 Peranan Cuaca, Iklim dan Musim	40
3.4.1 Bidang Teknologi	41
3.4.2 Bidang Pertanian.....	41
3.4.3 Bidang Transportasi	41
3.4.4 Bidang Telekomunikasi	42
3.4.5 Bidang Pariwisata.....	42
3.4.6 Bidang Perdagangan.....	42
3.4.7 Bidang Infrastruktur.....	43
DAFTAR PUSTAKA	44
BAB 4 EEK RUMAH KACA.....	45
4.1 Pendahuluan.....	45
4.1.1 Latar Belakang.....	45
4.1.2 Tujuan Penulisan	46
4.1.3 Ruang lingkup pembahasan	47
4.2 Pengertian efek rumah kaca.....	49
4.2.1 Definisi efek rumah kaca	49
4.2.2 Penjelasan tentang mekanisme efek rumah kaca.....	50
4.2.3 Asal usul rumah kaca.....	52
4.3 Kontribusi manusia terhadap peningkatan efek rumah kaca.....	53
4.3.1 Aktivitas manusia yang berkontribusi pada peningkatan efek rumah kaca	54
4.3.2 Aktivitas manusia yang berkontribusi pada peningkatan efek rumah kaca	56
4.3.3 Pengaruh kegiatan industri, transportasi, dan pertanian pada peningkatan efek rumah kaca	58
4.4 Dampak efek rumah kaca	59
4.4.1 Dampak perubahan iklim akibat efek rumah kaca	60

4.4.2 Penjelasan tentang kenaikan suhu global dan peningkatan intensitas fenomena cuaca ekstrem.....	62
4.4.3 Dampak pada kehidupan manusia dan ekosistem.....	63
4.5 Upaya mitigasi efek rumah kaca	64
4.5.1 Pengurangan emisi gas rumah kaca	65
4.5.2 Strategi pengurangan emisi gas rumah kaca di sektor industri, transportasi, dan pertanian.....	67
4.5.3 Peran masyarakat dalam upaya mitigasi efek rumah kaca	68
4.6 Adaptasi terhadap perubahan iklim	70
4.6.1 Strategi adaptasi terhadap perubahan iklim	71
4.6.2 Upaya adaptasi terhadap dampak efek rumah kaca pada sektor pertanian, kesehatan, dan infrastruktur	72
4.6.3 Peran pemerintah dalam upaya adaptasi terhadap perubahan iklim.....	74
4.7 Kesimpulan	75
4.8 Ringkasan pembahasan	77
4.8.1 Implikasi bagi kebijakan dan tindakan masa depan	78
4.8.2 Implikasi bagi kebijakan dan tindakan masa depan	79
DAFTAR PUSTAKA	81
BAB 5 PEMANASAN GLOBAL	85
5.1 Pendahuluan.....	85
5.2 Kontribusi Indonesia Terhadap Emisi Gas Rumah Kaca	86
5.2.1 Indonesia sebagai korban Perubahan Iklim Global	88
5.2.2 Pemetaan Kerentanan	92
5.3 Mitigasi dan Adaptasi	93

5.3.1 Perkembangan Perubahan Iklim di Indonesia	96
DAFTAR PUSTAKA	98
BAB 6 INDIKASI TERJADINYA PEMANASAN GLOBAL	
DI INDONESIA	101
6.1 Pendahuluan.....	101
6.2 Pemanasan Global.....	103
6.3 Penyebab Pemanasan Global.....	105
6.3.1 Penggunaan AC	107
6.3.2 Hair spray.....	108
6.3.3 Emisi kendaraan bermotor.....	109
6.3.4 Pencemaran Industri	109
6.3.5 Penggundulan Hutan	110
6.3.6 Penggunaan listrik	111
6.3.7 Limbah pertanian dan peternakan.....	112
6.4 Indikasi Pemanasan Global di Indonesia	112
6.4.1 Terjadinya Banjir Rob.....	114
6.4.2 Kebakaran Hutan.....	116
6.4.3 Banjir Bandang dan longsor.....	116
6.4.4 Pertanian Mengalami gangguan	117
DAFTAR PUSTAKA	118
BAB 7 DAMPAK PERUBAHAN IKLIM.....	121
7.1 Pendahuluan.....	121
7.2 Perubahan Iklim	123
7.2.1 Mengapa Iklim Berubah?	123
7.2.2 Apa Penyebab Perubahan Iklim?	124
7.3 Dampak Perubahan Iklim	127
7.3.1 Apa Saja Dampak Perubahan Iklim?.....	131
7.3.2 Dampak Perubahan Iklim: Siapa yang paling menderita?.....	133
7.3.3 Dampak Perubahan Iklim: Bagaimana denga Indonesia?	134
7.4 Cara Mengatasi Dampak Perubahan Iklim	136
7.4.1 Tindakan yang Harus Dilakukan	136

7.4.2 Peran Indonesia: Kerjasama Mitigasi Perubahan Iklim.....	139
DAFTAR PUSTAKA	144
BAB 8 ADAPTASI PERUBAHAN IKLIM	147
8.1 Pendahuluan.....	147
8.2 Komponen Adaptasi Perubahan Iklim	148
8.3 Kebijakan Menghadapi Perubahan Iklim	151
8.4 Berbagai Usaha Adaptasi yang Bisa Dilakukan Masyarakat	154
8.5 Beberapa Upaya Adaptasi yang Dilakukan Oleh Pemerintah	157
8.5.1 Upaya Adaptasi di Sektor Pertanian	157
8.5.2 Upaya Adaptasi di Sektor Kelautan dan Perikanan	159
DAFTAR PUSTAKA	162
BAB 9 MITIGASI PERUBAHAN IKLIM	163
9.1 Pendahuluan.....	163
9.1.1 Latar Belakang.....	163
9.1.2 Tujuan dan manfaat	164
9.2 Konsep Dasar Mitigasi Perubahan Iklim	166
9.2.1 Definisi mitigasi perubahan iklim	167
9.2.2 Konsep suhu global rata-rata.....	167
9.2.3 Penyebab perubahan iklim.....	170
9.3 Kebijakan mitigasi dan adaptasi.....	171
9.3.1 Kebijakan mitigasi secara global.....	172
9.3.2 Kebijakan mitigasi di Indonesia.....	174
9.3.3 Adaptasi terhadap perubahan iklim.....	178
9.4 Teknologi dan inovasi sebagai bentuk mitigasi perubahan iklim	183
9.4.1 Peran sector industri secara global.....	186
9.4.2 Peran sector industri secara global.....	190
9.5 Peran Pendidikan dan kesadaran masyarakat mengenai mitigasi perubahan iklim	191

9.5.1 Pendidikan yang berhubungan dengan mitigasi perubahan iklim	191
9.5.2 Peningkatan kesadaran masyarakat terhadap mitigasi perubahan iklim	193
9.6 Studi Kasus	194
9.7 Peran lembaga internasional terhadap mitigasi perubahan iklim	198
9.8 Kesimpulan	200
9.9 Saran	200
DAFTAR PUSTAKA	202
BAB 10 PERUBAHAN IKLIM.....	207
10.1 Pendahuluan.....	207
10.2 Penyebab Perubahan Iklim.....	210
10.3 Resiko Perubahan Iklim.....	212
10.4 Upaya Penanggulangan Perubahan Iklim	215
10.5 Manajemen Perubahan Iklim	217
DAFTAR PUSTAKA	220
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Komponen dan Interaksi Sistem Iklim Bumi.....	6
Gambar 2.1. Planet Bumi Dilihat Dari Luar Angkasa	13
Gambar 2.2. Struktur Lapisan Bumi	17
Gambar 2.3. Struktur Lapisan Bagian Dalam Bumi	20
Gambar 2.4. Lapisan Atmosfer Berdasarkan Suhu	23
Gambar 2.5 Lapisan Homosfer Dan Heterosfer	25
Gambar 3.1. Cuaca Berawan.....	30
Gambar 3.2. Cuaca Cerah.....	31
Gambar 3.3. Cuaca Dingin	31
Gambar 3.4. Cuaca Panas.....	32
Gambar 3.5. Cuaca Berangin	33
Gambar 3.6. Cuaca Hujan.....	33
Gambar 3.7. Simbul Kondisi Cuaca.....	34
Gambar 3.8. Pembagian Iklim	35
Gambar 5.1. Penghasil emisi gas rumah kaca 20 terbesar: total emisi dan pangsa kumulatif (%) dari emisi global; Tahun 2004	87
Gambar 5.2. Climate change vulnerability map of Southeast Asia	93
Gambar 6.1. Pemanasan global dari efek rumah kaca	105
Gambar 6.2. Penggunaan <i>Hair Spray</i>	108
Gambar 6.3. Emisi Kendaraan bermotor	109
Gambar 6.4. Pencemaran Udara oleh Industri	110
Gambar 6.5. Penggundulan Hutan.....	111
Gambar 6.6. Pencemaran Pembangkit Listrik.....	111
Gambar 6.7. Limbah pertanian dan peternakan.....	112
Gambar 6.8. Masjid Wal Adhuna yang tenggelam di Jakarta	114

Gambar 6.9. Rumah kena Banjir air laut (rob) permanen di Semarang	115
Gambar 6.10. Dusun Simonet, Pekalongan Jawa Tengah.....	115
Gambar 7.1. Peningkatan Suhu Bumi dari Tahun ke Tahun	129

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Sifat-Sifat Dan Komponen Bumi	18
Tabel 2.2. Jenis-jenis Gas Di Atmosfer	22
Tabel 3.1. Pembagian Musim di Belahan Bumi	37
Tabel 3.2. Unsur-unsur cuaca dan iklim dan serta ukurnya.	38

BAB 1

KONSEP ADAPTASI DAN MITIGASI PERUBAHAN IKLIM

Oleh Mila Sari

1.1 Pengertian Adaptasi

Daya adaptasi terhadap perubahan iklim adalah kemampuan suatu sistem untuk menyesuaikan diri dari perubahan iklim (termasuk di dalamnya variabilitas iklim dan variabilitas ekstrem) dengan cara mengurangi kerusakan yang ditimbulkan, mengambil manfaat atau mengatasi perubahan dengan segala akibatnya. Menurut Murdiyarso (2001), adaptasi terhadap perubahan iklim adalah salah satu cara penyesuaian yang dilakukan secara spontan maupun terencana untuk memberikan reaksi terhadap perubahan iklim. Dengan demikian adaptasi terhadap perubahan iklim merupakan strategi yang diperlukan pada semua skala untuk meringankan usaha mitigasi dampak.

Adaptasi terhadap perubahan iklim sangat potensial untuk mengurangi dampak perubahan iklim dan meningkatkan dampak manfaat, sehingga tidak ada korban. Pengalaman menunjukkan bahwa banyak strategi adaptasi dapat memberikan manfaat baik dalam penyelesaian jangka pendek dan maupun jangka panjang, namun masih ada keterbatasan dalam implementasi dan keefektifannya. Hal ini disebabkan daya adaptasi yang berbeda-beda berdasarkan daerah, negara, maupun kelompok sosial-ekonomi.

Negara dengan sumberdaya ekonomi terbatas, tingkat teknologi rendah, informasi dan keahlian rendah, infrastruktur buruk, institusi lemah, ketidakadilan kekuasaan, kapasitas sumber

daya terbatas; adalah memiliki kemampuan adaptasi yang lemah dan rentan terhadap perubahan iklim. Berlaku hal yang sebaliknya bagi Negara dengan sumberdaya ekonomi tinggi, tingkat teknologi tinggi, informasi dan keahlian tinggi, infrastruktur baik, institusi kuat, berkeadilan dalam kekuasaan, kapasitas sumber daya melimpah.

1.2 Pengertian Mitigasi

Mitigasi; adalah usaha menekan penyebab perubahan iklim, seperti gas rumah kaca dan lainnya agar resiko terjadinya perubahan iklim dapat diminimalisir atau dicegah. Upaya mitigasi dalam bidang energi di Indonesia, misalnya dapat dilakukan dengan cara melakukan efisiensi dan konservasi energi, mengoptimalkan penggunaan energi terbarukan, seperti biofuels, energi matahari, energi angin dan energi panas bumi, efisiensi penggunaan energi minyak bumi melalui pengurangan subsidi dan mengoptimalkan energi pengganti minyak bumi, dan penggunaan energi Nuklir.

Contoh upaya mitigasi yang lain dalam upaya mengurangi dampak perubahan iklim terhadap sumber daya air antara lain; Teknologi Modifikasi Cuaca (TMC) dengan penaburan material semai (*seeding agent*) berupa *powder atau flare*, usaha rehabilitasi waduk dan embung, alokasi air melalui operasi waduk pola kering, pembangunan jaringan irigasi, penghijauan lahan kritis dan sosialisasi gerakan hemat air, peningkatan kehandalan sumber air baku, peningkatan pembangunan Instalasi Pengolahan Air (IPA), pengembangan teknologi pengolahan air tepat guna, pembangunan dan rehabilitasi waduk dan embung serta pembangunan jaringan irigasi.

1.3 Konsep adaptasi dan Mitigasi

Adaptasi merupakan segala upaya untuk menyesuaikan diri dengan lingkungan yang mengarah ada peningkatan daya tahan terhadap perubahan lingkungan. Tujuannya adalah untuk memperkecil risiko perubahan lingkungan yang terjadi. Beberapa tipe adaptasi bencana yang dilakukan, antara lain :

1. Adaptasi pertanian, hal ini dilakukan dengan mempersiapkan varietas tanaman yang cocok ditanam saat musim hujan, kemarau, dan iklim ekstrim.
2. Adaptasi ketersediaan air, hal ini dilakukan dengan cara mengelola sumber air dan perbaikan infrastruktur.
3. Adaptasi kesehatan, hal ini dilakukan dengan menambah unit dan fasilitas kesehatan.
4. Adaptasi wilayah perkotaan, hal ini dilakukan dengan penambahan area penghijauan atau biopori untuk membantu penyerapan air hujan.

Mitigasi merupakan segala upata untuk mengurangi risiko bencana. Pasalnya, kita semua tahu dampak lingkungan merupakan sesuatu yang tidak dapat dihindari dan merupakan bagian dari gejala alam. Jika tidak dilakukan mitigasi perubahan lingkungan, maka bisa saja bencana alam terjadi. Adapun beberapa kegiatan mitigasi bencana alam yang bisa dilakukan antara lain :

1. Membuat peta wilayah rawan bencana
2. Memasang rambu-rambu peringatan bencana
3. Membangun bangunan tahan gempa
4. Melakukan reboisasi
5. Memberikan penyuluhan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat terutama di wilayah rawan bencana.

Lingkungan hidup (*environment*) dapat diartikan sebagai kondisi atau komponen fisik-kimia (abiotik) dan biotik yang

melingkupi organisme (Allaby, 1994; Odum, 1993; Tivy and O'Here, 1985). Batasan lingkungan hidup ini memberikan gambaran adanya proses berupa interaksi antar komponen lingkungan hidup yang dijalankan oleh dan atau melalui pemanfaatan energi (daya) dan dipengaruhi oleh ruang, waktu, situasi dan keanekaan (diversitas) dari komponen yang berinteraksi (Begon, Harper dan Towsend 1986; Boughey, 1975; Odum, 1993; Siahaan, 2004).

Keseimbangan dan harmonisasi dalam lingkungan hidup terganggu akibat tingkah laku manusia dalam berinteraksi dengan lingkungan yang cenderung mengabaikan batas-batas keseimbangan yang dimiliki oleh lingkungan hidup (Boughey, 1975). Pengabaian terhadap kapasitas daya dukung alamiah lingkungan dalam mentolerir akibat-akibat yang ditimbulkan oleh kegiatan ekonomi manusia terhadap lingkungan dikarenakan adanya motivasi berupa peningkatan kesejahteraan umat manusia yang dilandasi pada pertumbuhan ekonomi yang didukung oleh pandangan atau paradigma kornopian teknosetrisme (Turner et al., 1994;30). Melalui paradigma pembangunan ini, manusia dianggap mampu “menaklukkan” alam dengan pengembangan teknologi yang terkait dengan pemanfaatan sumberdaya alam dan lingkungan bagi peningkatan pertumbuhan ekonomi dalam kesejahteraan manusia (Turner *et al.*, 1994;17).

Pandangan tersebut mulai tersanggah semenjak disadari bahwa pertumbuhan ekonomi tanpa disertai dengan pengendalian pertumbuhan populasi manusia telah menimbulkan fenomena global yang merugikan dan saling terkait (Ismawan, 1999; Pearce and Warford, 1993). Fenomena global tersebut adalah “perubahan iklim (*climate change*)”. Meningkatnya suhu rata-rata permukaan bumi menyebabkan terjadinya perubahan pada unsur-unsur iklim lainnya, seperti naiknya suhu air laut, meningkatnya penguapan di darat, serta berubahnya pola curah hujan dan tekanan udara yang pada akhirnya merubah pola iklim dunia. Peristiwa ini kemudian

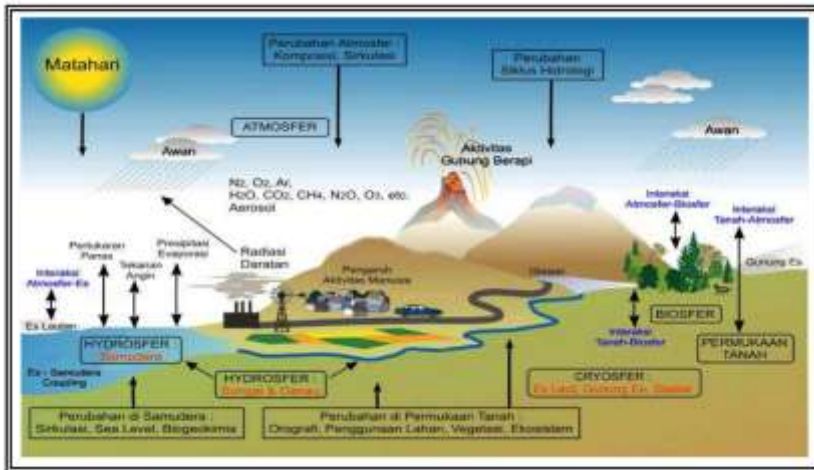
dikenal dengan Perubahan Iklim. Perubahan iklim sendiri merupakan sebuah fenomena global karena penyebabnya bersifat global, disebabkan oleh aktivitas manusia di seluruh dunia. Selain itu, dampaknya juga bersifat global, dirasakan oleh seluruh makhluk hidup di berbagai belahan dunia.

Oleh karenanya perubahan iklim yang ditandai dengan berubahnya temperatur, presipitasi dan kenaikan air laut yang selanjutnya berpengaruh terhadap kesehatan manusia, pertanian, hutan, area pesisir, sumber daya air, spesies dan area alami, permintaan energi, transportasi dan lain-lain menghendaki solusi yang bersifat global, namun dalam bentuk aksi lokal di seluruh dunia. Dengan demikian masih sangat dibutuhkan ilmu pengetahuan yang berkenaan dengan upaya-upaya adaptasi dan mitigasi terhadap perubahan iklim.

1.4 Perubahan Iklim

Iklim adalah rata-rata kondisi cuaca yang merupakan interaksi yang kompleks antara proses-proses fisik, kimia, biologi yang mencerminkan interaksi antara geosfer, biosfer yang terjadi pada atmosfer bumi. Karena itu iklim suatu tempat atau wilayah merupakan deskripsi statistik tentang kondisi atmosfer dalam jangka waktu yang panjang sehingga menggambarkan rata-rata variabel cuaca (Murdiyarso, 1999).

Menurut laporan IPCC (2001), sistem iklim merupakan sistem yang saling berinteraksi dari kelima komponen sistem yang terdapat di planet bumi. Sistem iklim yang terjadi di planet bumi merupakan sistem yang kompleks yang melibatkan interaksi dari atmosphere dengan berbagai komponen sistem iklim yang lain. Komponen sistem iklim yang lain terdiri dari lima komponen utama yaitu atmosphere, hidrosfer, Kriosfer, permukaan tanah dan biosfer (Gambar 1).



Gambar 1.1. Komponen dan Interaksi Sistem Iklim Bumi

Cuaca berubah sepanjang waktu, iklim biasanya akan sama berabad-abad jika tidak diganggu. Tetapi, bumi tidak dibiarkan sendirian. Manusia melakukan aktivitas yang signifikan sehingga merubah bumi dan iklimnya. Perubahan iklim disebabkan oleh efek gas rumah kaca (GRK), yaitu gas-gas hasil emisi yang terakumulasi di stratosfer.

Konsepsi perubahan iklim yang digunakan oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) merujuk pada “setiap perubahan dalam iklim pada suatu selang waktu tertentu, apakah diakibatkan oleh variasi alamiah atau karena aktivitas manusia” (*anthropogenic*) (IPCC, 2001). Perubahan iklim global saat ini jelas akibat meningkatnya suhu rata-rata udara dan laut, mencairnya salju dan es, serta meningkatnya permukaan air laut (IPCC, 2007).

Bukti-bukti baru yang kuat menyatakatan bahwa mayoritas pemanasan bumi yang diobservasi selama 50 tahun terakhir disebabkan oleh aktifitas manusia (IPCC, 2007). Dalam *The Fourth Assessment to IPCC* yang dijadwalkan terbit Februari 2007, dasar

ilmiah yang menyatakan aktivitas manusia sebagai penyebab semakin kuat (Pachauri, dalam Hanley, 2006).

Dalam buku *Climate Change 2001: The Scientific Basis* (IPCC, 2001), IPCC menyatakan hasil-hasil observasi yang semakin jelas memberikan suatu kumpulan gambaran akan adanya pemanasan dunia dan perubahan dalam sistem iklim. Pertama, temperatur permukaan rata-rata (rata-rata temperatur udara dan permukaan air) telah meningkat sejak tahun 1861. Sepanjang abad XX, peningkatan suhu adalah $0,6 \pm 0,2$ °C, dimana peningkatan terutama terjadi antara 1910-1945 dan 1976-2000, dimana dekade yang paling panas adalah 1990-2000 dan tahun terpanas adalah 1998.

1.5 Dampak Perubahan Iklim

Perubahan temperature regional yang telah memberikan dampak nyata secara fisik dan biologis, kemaikan temperature rata – rata 2001 – 2005 adalah $0,760^{\circ}\text{C}$ dan muka air laut global telah meningkat dengan laju rata – rata 1,8 mm/tahun dalam rentang waktu 40 tahun terakhir. Kenaikan total muka air laut yang berhasil dicatat pada awal abad 20 diperkirakan sebesar 17 cm. Laporan tersebut juga menyatakan bahwa kehiatan social-ekonomi manusia (antropogenik) memberikan kontribusi yang besar dalam peningkatan temperature tersebut, sehingga tanpa upaya yang terstruktur dan berkesinambungan, dampak yang akan terjadi pada masa mendatang akan menjadi sangat serius.

Perubahan iklim dapat dikelompokkan menjadi 4 (empat) fenomena) berikut :

1. Meningkatkan temperature udara
2. Meningkatkan curah hujan
3. Kenaikan muka air laut
4. Meningkatnya intensitas curah kejadian ekstrim yang diantaranya adalah
 - a. Meningkatnya intensitas curah hujan pada musim basah

- b. Meningkatkan frekuensi dan intensitas banjir
- c. Berkurangnya curah hujan dan debit sungai pada musim kemarau serta bertambah panjangnya periode musim kering
- d. Meningkatnya temperature yang diikuti dengan gelombang panas
- e. Menurunnya kualitas air pada musim kemarau
- f. Meningkatnya intensitas dan frekuensi badai
- g. Meningkatkan tinggi gelombang dan abrasi pantai
- h. Meningkatnya intrusi air laut

Secara garis besar, fenomena diatas telah dan akan memberikan dampak pada masyarakat (termasuk kesehatan) dan permukiman (termasuk infrastruktur), kegiatan social ekonomi (pertanian, perkebunan, kehutanan, pariwisata) dan ekosistem (lingkungan : tanah dan air).

Berkaitan dengan perubahan iklim maka upaya – upaya pembangunan yang dilakukan dapat dibedakan menjadi 2 (dua) kelompok besar, yakni upaya mitigasi dan upaya adaptasi :

1. Upaya mitigasi bertujuan untuk meningkatkan kapasitas penyerapan karbon dan pengurangan emisi gas – gas rumah kaca ke atmosfir yang berpotensi menipiskan lapisan ozon

Untuk itu, upaya mitigasi difokuskan untuk 2 sektor utama yakni : 1. sektor kehutanan sebagai sumber mekanisme carbon sink (pemeliharaan hutan berkelanjutan pencegahan deforestasi dan degradasi hutan, pencegahan illegal logging, pencegahan kebakaran hutan serta rehabilitasi hutan dan lahan), 2. Sector energi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca yang berasal dari pembangkitan energi, transportasi, industry, perkotaan dan lahan gambut.

2. Upaya adaptasi merupakan tindakan penyesuaian system alam dan social untuk menghadapi dampak negative dari perubahan iklim. Namun upaya tersebut akan sulit memberikan manfaat secara efektif apabila laju perubahan iklim melebihi kemampuan beradaptasi.

Upaya ini bertujuan untuk : 1. Mengurangi kerentanan social – ekonomi dan lingkungan yang bersumber dari perubahan iklim, 2. Meningkatkan daya tahan masyarakat dan ekosistem, sekaligus 3. Meningkatkan kesejahteraan masyarakat local.

DAFTAR PUSTAKA

- Amato, A.D., M. Ruth, P. Kirshen and J. Horwitz. 2005: Regional energy demand responses to climate change: Methodology and application to the Commonwealth of Massachusetts. *Climatic Change*, 71. 175–201.
- Anonim, 2007. Laporan Diskusi Interaktif tentang Perubahan Iklim untuk Jurnalis. CIFOR & WWF Indonesia. Jakarta.
- Cheng, G., 2005: Permafrost Studies in the Qinghai-Tibet Plateau for Road Construction. *Journal of Cold Regions Engineering*. Volume 19, Number 1, pages 19-29.
- Departemen Kelautan dan Perikanan. 2007. Survey Toponimi Pulau-Pulau Kecil Indonesia. Direktorat Pulau-Pulau Kecil, Direktorat Jenderal Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. DKP, Jakarta.
- Efek Rumah Kaca, Available on line at : <http://ms.wikipedia.org/wiki/efekrumahkaca>, di akses tanggal 25 Nopember 2007 jam 9.00 WIB.
- Hanley, C.J. New Warming Report May Shift Debate. *Greenhouse Gas Study Expands Argument for Human Causes Being Behind the Phenomenon*. Associated Press. Contra Costa Times.com. Diakses 22 November 2006.
- Hyman R., 2007: Impact of Climate Change and Variability on Transportation Systems and Infrastructure. Chapter I: Why Study Climate Change Impacts on Transportation., Draft 10/5/2007, page I-1.
- Huang, Y. J., 2006: The Impact of Climate Change on the Energy Use of the U.S. Residential and Commercial Building Sectors, LBNL-60754, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley CA.

- IPCC 2007: Climate change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B.Metz, O. R. Davison, P. R. Bosch, R. Dave, and L. A. Meyer (eds)], Cambridge: Cambridge University Press. I
- PCC. 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II IPCC, Cambridge University Press.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by Alley, R. et al. IPCC Secretariat. Switzerland.
- IUCN. 2006. The Future of Sustainability: Re-thinking Environment and Development in the Twenty-first Century. Report of the IUCN Renowned Thinkers Meeting, 29- 31 January 2006. Downloadable at www.iucn.org 1 Oktober 2007.
- June, T. Perubahan Iklim dan Lingkungan. Bahan Kuliah Perubahan Lingkungan Global (PSL 706). Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. Bogor. 2007.
- Mansur, E.T., R. Mendelsohn, and W. Morrison, 2005: A discrete-continuous choice model of climate change impacts on energy, SSRN Yale SOM Working Paper No. ES-43 (abstract number 738544), Submitted to Journal of Environmental Economics and Management.
- Murdiyarso, D. Tanpa Tahun. Strategi Nasional Antisipasi Dampak Perubahan Iklim dalam www.perpustakaanmenlh.or.id. Dikunjungi tanggal 22 November 2007.
- Orbanus N., Global Warming dan World Ocean Conference, Available on line at : <http://www.lestari-m3.org>, di akses tanggal 25 Nopember 2007 jam 9.00 WIB.

- Scott, M. J., J.A. Dirks, and K.A. Cort. 2005: The adaptive value of energy efficiency programs in a warmer world: Building energy efficiency offsets effects of climate change, PNNL-SA-45118. In: Reducing Uncertainty Through Evaluation, Proceedings of the 2005 International Energy Program Evaluation Conference, August 17-19, 2005, Brooklyn, New York.
- Sari, A.P., Sari, R.E, Butar Butar. R., 2007, Indonesia dan Perubahan Iklim: Status Terkini dan Kebijakannya. Peace, DFID Indonesia
- Sari, A.P., M.Maulidya, R.N. Butarbutar, R.E. Sari dan W.Rusmantoro. 2007. Executive Summary Indonesia and Climate Change working Paper on Current Status and Policies. DFID-World Bank. www.peace.co.id.
- Sjaifuddin. 2005. Konvensi Perubahan Iklim (UNFCCC). Dalam Perubahan Lingkungan Global. Sutamihardja, R.T.M. dan Murniwati, T. (Editor). Ersas, Jakarta.
- UNDP. 2007. Human Development Report 2007/2088: Climate Change and Development. UNDP. New York.
- Hartono, T.T., 2007, Membangun Komitmen Global untuk Sektor Kelautan dan Perikanan Indonesia, artikel opini.
- Mulyanto.H.R. 2007. Ilmu Lingkungan. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Sugandhy.A dan Hakim.R. 2007. Prinsip Dasar Kebijakan Pembangunan Berkelanjutan Berwawasan Lingkungan. Bumi Aksara.Jakarta.
- Susanta.G. dan Sutjahjo.H. 2007. Akankah Indonesia Tenggelam Oleh Pemanasan Global. Penebar Swadaya. Jakarta.

BAB 2

PLANET BUMI DAN ATMOSFER

Oleh Dian Puspitasari

2.1 Planet Bumi

2.1.1 Pendahuluan

Planet bumi merupakan planet ketiga dari tata surya (Ami dan Damayanti, 2021; Pribadi *et al.*, 2022). Nama bumi berasal dari bahasa sansekerta, yaitu *bhumi* yang memiliki arti tanah. Bumi sebagian besar tersusun atas logam dan batuan silikat, dimana sebagian besar berwujud padat dan sebagian kecilnya berwujud cair dengan suhunya yang panas (Pribadi *et al.*, 2022). Bumi memiliki bentuk bulat. Hal ini telah terbukti dari hasil pengamatan menggunakan satelit buatan dan kapal ruang angkasa (Ramadhani, 2018). Bentuk bumi dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Planet Bumi Dilihat Dari Luar Angkasa
(Sumber: Basu, 2008)

Bumi terlihat memiliki warna biru, hal ini disebabkan karena memiliki lapisan air yang berbentuk cairan di permukaannya. Bumi diperkirakan sudah memiliki usia sekitar 1000 tahun, dengan radius mencapai 6371 km. Jarak antara bumi dengan matahari diperkirakan sekitar 150 juta km (Ami dan Damayanti, 2021).

2.1.2 Teori Planet Bumi

Bumi pada awalnya berasal dari menyatunya material - material cair. Hal ini didasarkan pada bukti secara geologi dan astronomi, di mana pada dahulu kala bumi pernah berada pada kondisi yang seluruh bagiannya terdiri dari zat cair. Oleh sebab itu, proses pembentukannya sangat tergantung pada densitas. Material dengan densitas yang lebih berat akan berada dilapisan paling dalam. Dan sebaliknya, material dengan densitas paling rendah akan berada dilapisan paling luar. Hal ini didasarkan pada penelitian geofisika yang menghasilkan kesimpulan bahwa inti bumi berupa material paling padat yaitu besi dan nikel. Material dengan densitas menengah berada di permukaan bumi, sedangkan material dengan densitas paling rendah yaitu berupa gas membentuk lapisan yang disebut atmosfer (Yona *et al.*, 2017).

Selain teori diatas, terdapat juga teori yang lain seperti teori nebula oleh Kant-Laplace. Planet bumi berasal dari suatu bagian gumpalan kabut raksasa sebagai akibat adanya ledakan besar, lalu membentuk galaksi dan nebula. Nebula membeku kemudian terbentuklah galaksi Bima Sakti, dan hal ini memerlukan waktu yang sangat lama. Sistem tata surya ini terbentuk di dalam galaksi Bima Sakti. Planet bumi merupakan bagian dari tata surya dan terbentuk dari bagian kecil yang terlempar ke luar saat gumpalan kabut raksasa mulai mendingin dan memadat. Terbentuknya planet bumi melalui tiga tahapan yaitu 1). tahap permulaan bumi terbentuk, 2). tahap diferensiasi dan 3). tahap akhir. Tahap akhir terdiri dari beberapa lapisan yaitu kerak bumi, mantel (terdiri dari

mantel luar dan mantel dalam) dan inti bumi (terdiri dari inti dalam dan inti luar) (Zuhdi, 2019).

Setelah muncul teori-teori terkait pembentukan bumi, selanjutnya muncul hipotesis pembentukan permukaan bumi. Hipotesis permukaan bumi, untuk menjawab berbagai pertanyaan pada saat kita melihat gunung, lautan, daratan. Contoh pertanyaannya adalah bagaimana terbentuknya lautan dan benua? Mengapa lebih banyak gunung di pulau Sumatra daripada di pulau Kalimantan? dan pertanyaan lainnya. Berbagai hipotesis berbeda telah muncul dalam kurun waktu 200 tahun terakhir (Zuhdi, 2019). Beberapa hipotesis terkait pembentukan permukaan bumi menurut pendapat Zuhdi (2019) antara lain:

1. Bumi Statis atau Bumi Yang Diam

Keadaan bumi saat ini tidak berbeda dengan kondisi awalnya. Material pembentuk gunung tidak mengalami banyak perubahan. Hal ini juga terdapat pada cekungan di laut, benua, danau serta sungai. Perubahan-perubahan ini terdapat dalam lingkup sejarah bumi, akan tetapi secara keseluruhan dianggap tidak signifikan. Perubahan tersebut antara lain endapan pasir, kerikil dan debu yang telah diterbangkan oleh angin serta pelapukan yang kemungkinan sudah menurunkan ketinggian suatu gunung. Kemudian sungai dan gletser yang sejak dahulu telah mengisi beberapa daerah dataran rendah.

2. Bumi Berkembang

Bumi memiliki permukaan yang diibaratkan seperti lapisan tipis yang rapuh, sama halnya permukaan balon yang meluas setelah diisi udara. Setelah itu meretak karena pengembangan pada lapisan tersebut. Hal ini sama dengan bumi yang telah mengalami retak karena adanya pengembangan. Retakan tersebut kemudian menjelma sebagai cekungan laut, gunung dan benua.

3. Bumi Menyusut

Bumi diibaratkan balon yang mulai Kempis. Seperti halnya balon yang mulai mengecil, maka permukaan yang sebelumnya halus berubah mengeriput. Kerutan yang telah terbentuk berubah sebagai lautan dan pegunungan.

4. Bumi Berdenyut

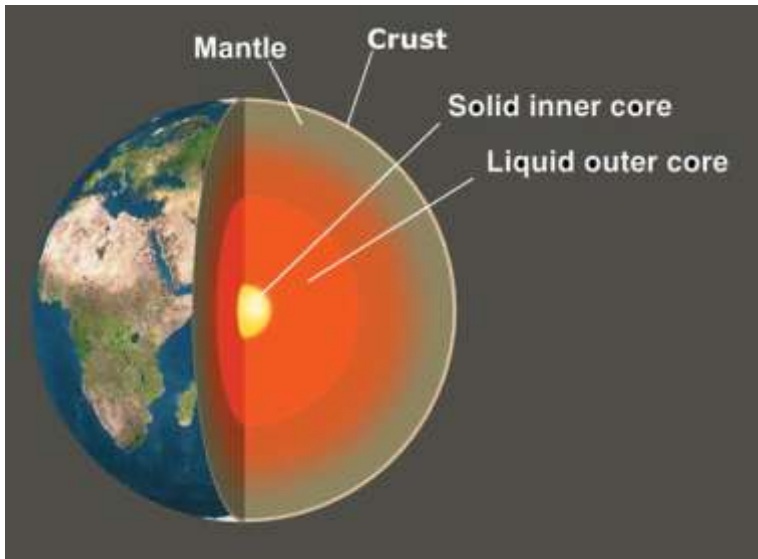
Hipotesis bumi berdenyut merupakan penggabungan dari hipotesis diatas yaitu bumi berkembang dan bumi menyusut. Bumi memiliki periode berekspansi dan kontraksi. Pemuaian berkaitan dengan pemanasan sedangkan penyusutan berkaitan dengan pendinginan. Oleh karena itu, diperlukan pemahaman terkait sejarah termal yang kompleks. Energi panas secara berkala harus dibangkitkan untuk kemudian dilepaskan.

5. Lempeng Tektonik

Hipotesis ini berkembang dengan pesat dan juga memiliki bukti. Terbentuknya permukaan bumi karena pertemuan dua lempeng dan dikenal sebagai zona subduksi. Zona ini terdapat gunung api, pegunungan dan palung laut.

2.1.3 Struktur Bumi

Planet bumi terdiri dari beberapa lapisan, antara lain: atmosfer, hidrosfer, litosfer dan biosfer (Lutgens *et al.*, 2019). Sedangkan menurut Yona *et al.* (2017), bahwa bumi terdiri dari lapisan luar (*exterior* bumi) dan lapisan dalam (*interior* bumi). Lapisan luar terdiri dari atmosfer dan hidrosfer, sedangkan lapisan dalam terdiri dari litosfer, asthenosfer, mesosfer dan central core. Earle (2015), berpendapat bahwa lapisan bumi terdiri dari kerak bumi, mantel, inti bumi bagian luar dan inti bumi bagian dalam. Struktur lapisan bumi tersaji pada Gambar 2.2, dan gambar struktur lapisan dalam bumi tersaji pada Gambar 2.3.



Gambar 2.2. Struktur Lapisan Bumi
(Sumber: Basu, 2008)

Gambar 2.2 menjelaskan bahwa struktur lapisan bumi terdiri dari tiga lapisan yaitu kerak bumi, mantel dan inti bumi. Kerak bumi atau *crust* adalah lapisan paling luar yang tipis, terdiri dari batuan dengan massa yang lebih ringan dibandingkan dengan batuan mantel yang berada dilapisan bawahnya. Memiliki densitas sekitar 2,7 gr/cc, dan tingkat ketebalan yang berbeda. Tingkat ketebalan yang berbeda menyebabkan adanya perbedaan elevasi antara benua dan samudra. Pegunungan memiliki ketebalan diatas 50 km, sedangkan samudra kurang dari 5 km (Zikri, 2018).

Bagian yang kedua adalah mantel atau *mantle*, yaitu lapisan yang menyelubungi inti bumi. Mantel sebagai bagian paling besar dari bumi, meliputi 82,3% dari volume bumi dan 67,8% dari massa bumi. Ketebalannya sekitar 2.883 km, dengan densitas berkisar 5,7 gr/cc didekat inti dan 3,3 gr/cc didekat kerak bumi. Bagian yang ketiga adalah inti bumi atau *core*, dengan letak dari

2.883 km sampai ke pusat bumi. Densitasnya sekitar 9,5 gr/cc didekat mantel bumi dan 14,5 gr/cc ke arah pusat bumi. Apabila mengacu pada nilai densitas, maka inti bumi diduga memiliki campuran dari unsur-unsur nikel (Ni) dan besi (Fe). Inti bumi dibagi menjadi dua yaitu inti dalam (*inner core*) dan inti luar (*outer core*). Inti dalam (*inner core*) yang berfase padat, berat dan sangat panas dengan kedalaman 5.140 km – 6.371 km. Inti luar (*outer core*) dengan fase cair serta sangat panas, dengan kedalaman 2.883 km – 5.140 km (Zikri, 2018).

Tabel 2.1. Sifat-Sifat Dan Komponen Bumi

Struktur Lapisan Bumi	Data Sifat Bagian Dalam Bumi		Jenis Batuan yang Ditemukan	
	Ketebalan (km)	Densitas (gr/cm ³)		
		Atas	Bawah	
Kerak Bumi	30	2,2 -	- 2,9	Batuan silisik Andesit dan basalt
Selubung/ mantel Atas	720	3,4 -	- 4,4	Peridotit, eklogit, olivin, spinel, garnet, Piroksen
Selubung/ mantel Bawah	2.171	4,4 -	- 5,6	Perovskit, oksida MgO dan SiO ₂
Inti Luar	2.259	9,9 -	- 12,2	Fe+O ₂ , sulfur, logam Ni
Inti Dalam	1.221	12,8 -	- 13,1	Fe+O ₂ , sulfur, logam Ni

Sumber: Mulyaningsih, 2018

Susunan dari lapisan-lapisan bumi menurut Yona *et al.* (2017) antara lain:

1. Atmosfer

Atmosfer adalah lapisan gas yang menyelimuti bumi. Gas tersebut antara lain nitrogen, oksigen, argon, karbondioksida dan gas-gas lain.

2. Hidrosfer

Hidrosfer sebagai lapisan air yang terdapat di permukaan bumi. Lapisan tersebut berupa air laut, danau, sungai, air tanah, salju, es dan uap air yang berada di udara.

3. Litosfer

Litosfer adalah lapisan keras dengan ketebalan sekitar 200-300 km. Lapisan litosfer yang berwujud lempengan dan mengapung di atas lapisan asthenosfer disebut lempeng tektonik.

4. Asthenosfer

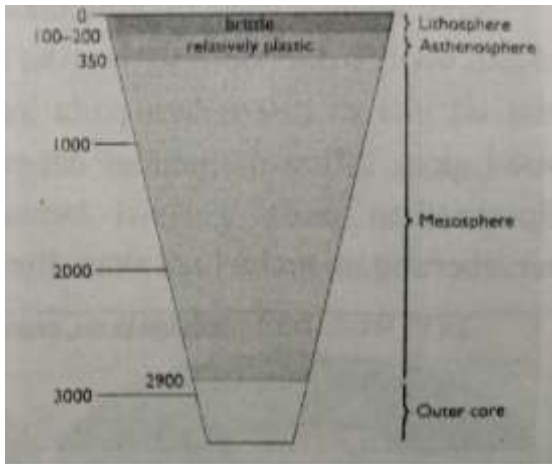
Asthenosfer terletak dibawah lapisan litosfer dan memiliki sifat lentur, yang disebabkan oleh panas.

5. Mesosfer

Mesosfer merupakan lapisan yang sangat panas dan lebih padat, jika dibandingkan lapisan asthenosfer.

6. Central Core

Central core atau disebut juga inti bumi. Terdiri dari *inner core* yang bersifat padat dan *outer core* yang bersifat lebih lunak dan lentur.



Gambar 2.3. Struktur Lapisan Bagian Dalam Bumi
(Sumber: Yona *et al.*, 2017)

2.2 Atmosfer

2.2.1 Pendahuluan

Atmosfer berasal dari bahasa Yunani, terdiri dari kata *atmos* dan *sphaira* (Tjasyono, 2012; Ramadhani, 2018). *Atmos* memiliki arti uap dan *sphaira* diartikan sebagai bulatan. Atmosfer didefinisikan sebagai lapisan uap atau gas yang menyelubungi bumi. Ketebalan dari atmosfer diperkirakan sekitar 1000 km dan dibagi menjadi beberapa lapisan (Tjasyono, 2012). Peran dari atmosfer yaitu melindungi bumi terhadap radiasi matahari yang besar terutama pada siang hari dan untuk menghalangi hilangnya panas di malam hari (Tjasyono, 2012; Ramadhani, 2018). Selain itu, juga berperan dalam menghalangi masuknya benda-benda angkasa (seperti meteor) ke dalam bumi (Ramadhani, 2018). Tanpa adanya atmosfer, maka manusia hewan dan tumbuhan akan mati (Tjasyono, 2012).

Atmosfer memiliki beberapa sifat, antara lain: 1). Tidak berwarna, tidak memiliki bau dan tidak berwujud, 2). Memiliki berat sehingga mampu menyebabkan tekanan dan 3). Bersifat

dinamis dan elastis (yaitu dapat mengembang dan mengerut). Atmosfer sebagai lapisan udara yang mengandung bermacam-macam gas (Ramadhani, 2018), yaitu gas yang tidak tampak dan tidak berwarna. Jenis-jenis gas utama dengan jumlah paling besar dari keseluruhan volume udara kering dan terdiri dari nitrogen, oksigen, argon serta karbondioksida (Tjasyono, 2012). Jenis-jenis gas yang terdapat di atmosfer tersaji pada Tabel 2.1.

Tabel 2.2. Jenis-jenis Gas Di Atmosfer

No	JENIS GAS	UNSUR GAS	FRAKSI VOLUME
1	Gas Utama	N ₂ O ₂ Ar CO ₂	78,085% 20,950% 0,930% 0,033%
2	Gas Minor		
	a. Permanen	Ne He Kr Xe	18 ppm 5 ppm 1 ppm 0,09 ppm
	b. Semi Permanen	CH ₄ CO H ₂ N ₂ O	1,5 ppm 0,1 ppm 0,5 ppm 0,25 ppm
	c. Variabel	O ₃ H ₂ S SO ₂ NH ₃ NO ₂	mencapai 10 ppm di ozonosfer; mencapai 5-50 ppb di udara bersih; dan mencapai 500 ppb pada udara terpolusi di atas tanah 0,2 ppb di atas tanah 0,2 ppb di atas tanah 6 ppb di atas tanah 100 ppb di atas tanah

Sumber: Tjasyono, 2012

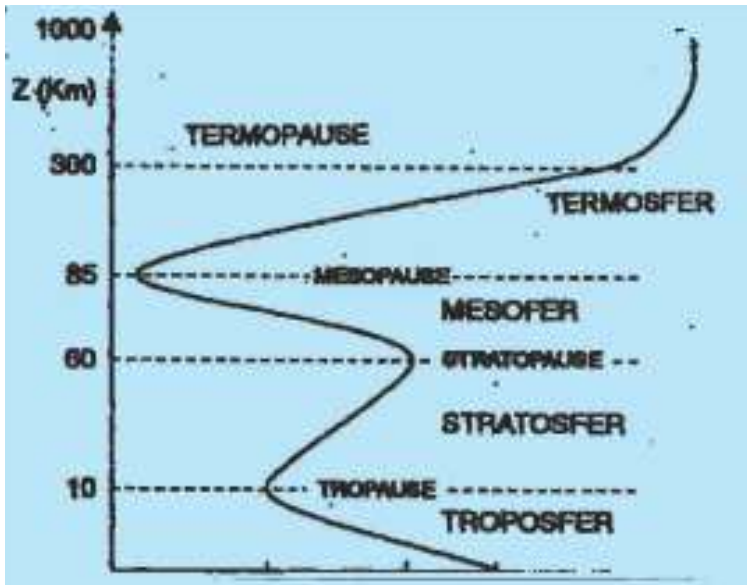
Unsur-unsur udara berdasarkan waktu tinggal di atmosfer terbagi dalam beberapa golongan yaitu gas permanen, gas semi permanen dan gas variabel. Gas permanen memiliki waktu tinggal sangat lama, sebagai contoh gas helium dengan waktu tinggal 2 juta tahun. Gas semi permanen dengan waktu tinggal beberapa bulan sampai tahun, sebagai contoh waktu tinggal gas karbondioksida yaitu 0,35 tahun. Gas variabel memiliki waktu tinggal beberapa hari sampai minggu, contohnya amoniak dengan waktu tinggal 1- 4 hari (Tjasyono, 2012).

2.2.2 Struktur Vertikal Atmosfer

Atmosfer memiliki ketebalan sekitar 1000 km dan diperkirakan memiliki berat sekitar 6 miliar ton (Ramadhani, 2018). Atmosfer sebagai lapisan yang sangat tebal dan menutupi bumi dan meluas ke atas dengan massa jenis yang terus mengecil. Atmosfer dipengaruhi oleh gaya gravitasi bumi, dan akan semakin menipis seiring menjauhi bumi. Oleh sebab itu, batas atas tidak terdefinisi secara jelas. Akan tetapi, rumbai-rumbai bumi yang mencapai ketinggian 1000 km dianggap sebagai puncak atmosfer bumi. Pembagian atau penamaan atmosfer dapat berdasarkan suhu, komposisi atmosfer dan sifat radioelektrik (Tjasyono, 2012).

1. Pembagian Atmosfer Berdasarkan Suhu

Pembagian atmosfer berdasarkan suhu yaitu troposfer, stratosfer, mesosfer, dan termosfer (Tjasyono, 2012; Ramadhani, 2018). Puncak dari tiap-tiap lapisan disebut tropopause, stratopause, mesopause, dan termopause. Gambar ilustrasi dari lapisan atmosfer terdapat pada Gambar 2.4, di mana garis yang berupa titik merupakan puncak dari tiap-tiap lapisan.



Gambar 2.4. Lapisan Atmosfer Berdasarkan Suhu
(Sumber: Tjasyono, 2012)

a. Troposfer

Troposfer terdiri dari kata *tropo* yaitu berubah dan *sphaira* berarti bulatan atau lapisan, sehingga troposfer dapat diartikan lapisan yang berubah-ubah. Ketebalan lapisan troposfer sekitar 10 km (Tjasyono, 2012). Gejala cuaca seperti hujan, badai, awan terdapat di lapisan ini (Tjasyono, 2012; Ramadhani, 2018). Suhu dilapisan ini mengalami penurunan karena sedikit menyerap radiasi gelombang pendek yang berasal dari matahari. Selain itu, juga terdapat pertukaran panas dilapisan bawah troposfer, sehingga suhu menurun seiring dengan bertambahnya ketinggian. Dan sebaliknya, permukaan tanah memberikan panas yang dilepaskan oleh uap air atmosfer melalui proses konduksi, konveksi, kondensasi, serta sublimasi terhadap lapisan troposfer yang berada di atasnya (Ramadhani, 2018).

b. Stratosfer

Stratosfer berasal dari kata *strata* yang berarti lapisan dan *sphaira* yaitu bulatan. Oleh karena itu, stratosfer memiliki arti bulatan atau lapisan yang berlapis, karena di dalam lapisan ini terdapat lapisan ozon (ozonosfer) (Tjasyono, 2012). Lapisan ini disebut juga sebagai lapisan inversi atau isothermis, yaitu naiknya temperatur bersamaan dengan bertambahnya ketinggian. Hal ini dikarenakan lapisan ozonosfer menyerap radiasi ultraviolet yang berasal dari matahari (Ramadhani, 2018).

c. Mesosfer

Mesosfer terdiri dari kata *meso* dan *sphaira*. kata *meso* berarti tengah dan *sphaira* diartikan dengan bulatan (Tjasyono, 2012). Lapisan mesosfer dicirikan dengan terjadinya penurunan suhu sebesar 0,4 °C setiap 100 m. Lapisan mesosfer bagian atas dibatasi oleh mesopause. Suhu paling rendah sekitar -100 °C, dengan ketinggian sekitar 85 km (Tjasyono, 2012; Ramadhani, 2018).

d. Termosfer

Termosfer berasal dari kata *termo* dan *sphaira*. Kata *termo* artinya panas dan *sphaira* berarti bulatan, sehingga termosfer dapat diartikan sebagai lapisan panas yang menyelimuti bumi. Ketinggian lapisan termosfer sekitar 85 km sampai 300 km lapisan ini dicirikan dengan kenaikan suhu dari -100 °C sampai ratusan bahkan ribuan derajat celcius (Tjasyono, 2012).

2. Pembagian Atmosfer Berdasarkan Komposisinya

Pembagian atmosfer berdasarkan komposisinya yaitu lapisan homosfer dan lapisan heterosfer.

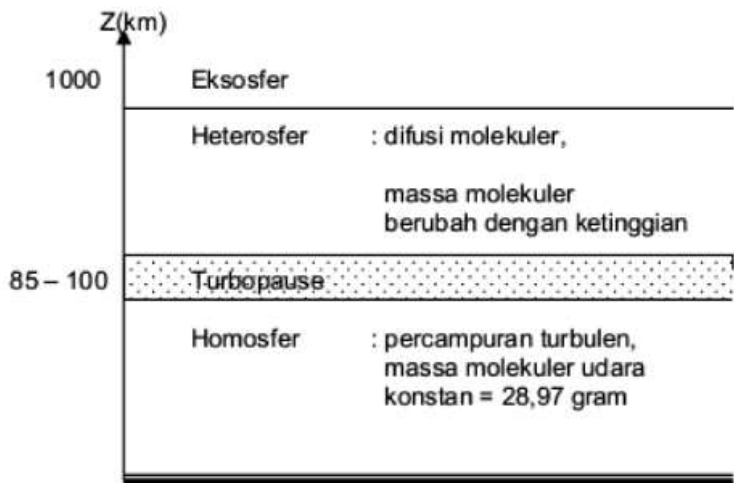
a. Lapisan Homosfer

Lapisan ini terletak diatas permukaan laut sampai mencapai ketinggian 85 km - 100 km, di mana pada

umumnya oksigen dan nitrogen berwujud molekul. Komposisi udara atau massa molekuler udara cukup konstan yaitu 28,97 gram, sebagai akibat dari percampuran turbulen. Ketinggian diatas 100 km sebagai tempat percampuran vertikal gas-gas atmosferik yang dikontrol oleh difusi molekuler sebagai akibat lintasan bebas rerata molekuler terhadap ketinggian atmosfer. Level antara percampuran turbulen dan difusi molekuler disebut turbopause (Tjasyono, 2012).

b. Lapisan Heterosfer

Lapisan ini terletak pada ketinggian 100 km - 1000 km. Ciri dari lapisan heterosfer yaitu disosiasi molekul oksigen ke atom oksigen dan disosiasi molekul nitrogen ke atom nitrogen. Hal ini menyebabkan penurunan massa molekul atmosfer dari keadaan konstan yaitu 28,97 gram menjadi 15,79 gram pada ketinggian 200 km (Tjasyono, 2012).



Gambar 2.5 Lapisan Homosfer Dan Heterosfer
(Sumber: Tjasyono, 2012)

Lapisan eksosfer sebagai batas atas dari atmosfer bumi terletak diatas lapisan heterosfer. Lapisan ini memiliki ciri adanya kebocoran atom tertentu ke ruang angkasa, terutama atom-atom ringan. Hal ini diduga disebabkan karena temperaturnya yang tinggi dan massa jenis partikel sangat rendah. Oleh sebab itu, lapisan ini dikenal juga sebagai daerah menghilang (Tjasyono, 2012).

3. Pembagian Atmosfer Berdasarkan Sifat Radioelektrik

Molekul atmosferik mengalami fotoionisasi pada lapisan dengan ketinggian diatas 50 km sampai diatas 500 km. ionisasi dapat diartikan sebagai proses terkelupasnya elektron bermuatan negatif dari suatu atom atau molekul netral untuk dapat membentuk ion bermuatan positif dan elektron bebas. Lapisan netrosfer berada dibawah ketinggian 60 km. Lapisan ionosfer terdapat pada ketinggian 60 km ke atas sampai pada level yang sangat tinggi (ditinjau dari lapisan yang berada dibawah rumbai-rumbai bumi). Beberapa molekul udara terionisasi sebagai plasma oleh radiasi dari ultraviolet, dan daerah ini disebut sebagai ionosfer. Daerah ionosfer dibagi tiga yaitu daerah D (ketinggian di antara 60 km – 80 km), daerah E (ketinggian di antara 80 km – 160 km) dan daerah F (ketinggian diatas 160 km) (Tjasyono, 2012).

DAFTAR PUSTAKA

- Ami, M.S. and Damayanti, P. 2021. *Ilmu Alamiah Dasar*. Batu: Literasi Nusantara.
- Basu, B. 2018. *Planet Earth in a Nutshell*. New Delhi: Vigyan Prasar.
- Earle, S. 2015. *Physical geology*. Columbia: CC-BY license. doi:10.1038/018266a0.
- Lutgens, F.K., Tarbuck, E.J. and Herman, R.L. 2019. *The Atmosphere An Introduction To Meteorology Fourteenth Edition*. New York: Pearson Education.
- Mulyaningsih, T. 2018. *Pengantar Geologi Lingkungan*. Yogyakarta: Akprind Press.
- Pribadi, P. et al. 2022. *Ilmu Dasar Astronomi*. Banyumas: Wawasan Ilmu.
- Ramadhani, S.P. 2018. *Bumi dan Antariksa (Konsep dan Panduan Pengajar Inovatif)*, Penerbit Yiesa Rich Foundation. Depok, Indonesia.
- Renton, J.J., Teaching Company. and Taught by: Professor John J. Renton, W.V.U. 2006. 'The nature of earth an introduction to geology', *The great courses* [Preprint].
- Tjasyono, B. 2012. *Karakteristik dan Sirkulasi Atmosfer, Meteorologi Indonesia Volume I*.
- Yona, D. et al. 2017. *Fundamental Oseanografi*. Malang: UB Press.
- Zikri, K. 2018. *Geologi Umum*. Padang: Geografi UNP.
- Zuhdi, M. 2019. *Buku Ajar Pengantar Geologi*, Penerbit Duta Pustaka Ilmu. Available at: [http://eprints.unram.ac.id/14627/1/BUKU PENGANTAR GEOLOGI.pdf](http://eprints.unram.ac.id/14627/1/BUKU_PENGANTAR_GEOLOGI.pdf)

BAB 3

CUACA, IKLIM DAN MUSIM

Oleh Bambang Suhartawan

3.1 Pendahuluan

Indonesia terletak di antara dua Benua (Asia dan Australia) dan dua Samudera (Pasifik dan Hindia) memiliki system cuaca dan iklim dengan periode yang teratur antara musim hujan dan musim kemarau. Selain itu Indonesia juga berada di daerah khatulistiwa dengan iklim tropis yang memiliki rata-rata temperatur relatif tinggi. Kondisi ini berdampak terhadap pergerakan udara berupa angin dengan kecepatan tinggi yang berhembus dari benua Asia menuju Australia melewati Indonesia yang disertai hujan lebat yang sangat ekstrim.

Faktor lain adalah letak Indonesia didominasi lautan dan berada di daerah khatulistiwa dengan intensitas cahaya matahari cukup tinggi sehingga berdampak naiknya suhu air laut dan produksi uap air yang melimpah sebagai pasokan utama awan basah dan terjadinya gelombang atmosfer. Gelombang atmosfer ini berpotensi terjadinya hujan lebat di berbagai daerah di Indonesia.

Fenomena yang dapat terjadi karena adanya cuaca ekstrim di Indonesia adalah terjadinya hujan lebat yang disertai petir dan angin kencang yang berlangsung lama dan berpotensi menyebabkan banjir dan tanah longsor. Cuaca ekstrim tersebut juga memicu terjadinya angin puting beliung yang sering terjadi di beberapa daerah di Indonesia terutama di pulau Jawa dan Sumatera.

Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) Republik Indonesia telah memberikan Langkah-langkah untuk mengantisipasi fenomena cuaca ekstrim melalui informasi dan

mitigasi serta pembentukan posko yang bertugas melakukan pemantauan terhadap informasi secara dini terjadinya bencana di berbagai daerah rawan bencana

3.2 Pengertian Cuaca, Iklim dan Musim

3.2.1 Cuaca

Cuaca adalah keadaan atmosfer pada saat tertentu dan dalam wilayah yang tertentu pula yang relatif sempit dan pada jangka waktu yang singkat. Perubahan cuaca dapat terjadi setiap saat dan berlangsung beberapa jam. Misalnya pada waktu pagi, siang, sore ataupun malam hari. Untuk diketahui oleh masyarakat umum, Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) Kementerian Perhubungan mengeluarkan ramalan atau prakiraan cuaca yang berlaku untuk waktu 24 jam.

Kondisi cuaca sangat dipengaruhi oleh perubahan udara di sekeliling bumi, saat udara memanas atau mendingin. Menurut jenisnya kondisi cuaca dibedakan menjadi enam macam yaitu :

1. Cuaca Berawan

Cuaca berawan adalah cuaca yang menunjukkan bahwa langit banyak terdapat awan yang merupakan kumpulan uap air yang terkandung dalam udara. Sedangkan uap air ini berasal dari pemanasan (evaporasi) air danau, air laut, air sungai dalam jumlah yang cukup banyak.



Gambar 3.1. Cuaca Berawan

2. Cuaca Terang

Cuaca terang adalah cuaca yang menunjukkan langit nampak sangat terang, pancaran sinar matahari sangat terang, juga nampak awan putih berlapis-lapis seperti bulu-bulu serat sutra yang halus.



Gambar 3.2. Cuaca Cerah

3. Cuaca Dingin

Cuaca dingin terjadi akibat tingginya kelembaban, suhu rendah dan tiupan angin yang terjadi pada suatu daerah.



Gambar 3.3. Cuaca Dingin

4. Cuaca Panas

Cuaca panas terjadi akibat banyaknya sinar matahari yang memanasi bumi dalam waktu yang cukup lama sehingga terasa lebih panas dari tempat lainnya. Cuaca panas ini banyak terjadi di daerah khatulistiwa seperti Indonesia.



Gambar 3.4. Cuaca Panas

5. Cuaca Berangin

Cuaca berangin disebabkan karena adanya udara bergerak dengan kencang. Pergerakan udara ini dikarenakan adanya perbedaan tekanan. Pada siang hari suhu di darat lebih tinggi dari suhu di laut sehingga terjadi angin laut karena tekanan udara di atas air laut lebih tinggi dari tekanan udara di darat. Demikian juga sebaliknya terjadinya angin darat yang terjadi di malam hari sebagai akibat suhu air laut suhunya lebih tinggi dari suhu di darat sehingga tekanan di darat lebih tinggi dari air laut dan terjadilah pergerakan udara dari darat ke laut yang dinamakan angin darat.



Gambar 3.5. Cuaca Berangin

6. Cuaca Hujan

Awan yang banyak mengandung uap air jika lataknya di atmosfer semakin tinggi maka suhu semakin rendah sehingga uap air mengembun menjadi titik-titik air dan jatuh ke bumi sebagai hujan.



Gambar 3.6. Cuaca Hujan

Mengetahui kondisi cuaca sangat penting bagi nelayan, petani, olahragawan dan pilot pesawat terbang agar aktivitasnya dapat disesuaikan. Untuk itu, pemerintah melalui Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) mengeluarkan Ramalan Cuaca

untuk waktu yang akan datang, besok, minggu depan atau bulan depan dalam bentuk symbol-simbol.

Keadaan Cuaca	Simbol
Cerah	
Cerah berawan	
Berawan	
Hujan	
Hujan disertai petir	

Gambar 3.7. Simbul Kondisi Cuaca

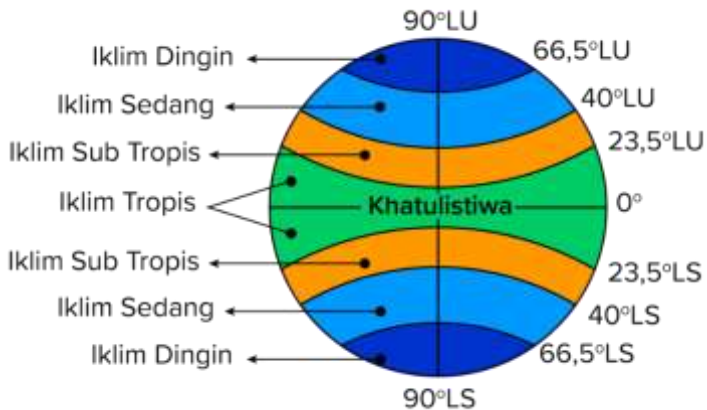
3.2.2 Iklim

Iklim adalah keadaan cuaca rata-rata dalam waktu yang cukup lama. Iklim merupakan fenomena alam yang terjadi akibat gerakan oleh gabungan beberapa unsur, yaitu radiasi matahari, temperatur, kelembaban, evaporasi, awan, hujan, tekanan udara dan angin.

Keberadaan iklim di bumi berpengaruh terhadap kehidupan manusia dan interaksinya terhadap alam sekitar, selain itu iklim juga mempengaruhi perilaku ekonomi, sosial dan budaya.

Selain berotasi selama 24 jam, bumi juga mengalami revolusi mengelilingi matahari selama 365 hari. Hal ini yang

menyebabkan terjadinya pembagian iklim di bumi yang dipengaruhi oleh keberadaan matahari sebagai berikut :



Gambar 3.8. Pembagian Iklim

Klasifikasi iklim di bumi :

1. Iklim Tropis

Iklim tropis terletak diantara garis lintang 0° - $23,5^{\circ}$ LU dan 0° - $23,5^{\circ}$ LS. Daerah ini terletak dipermukaan bumi di daerah khatulistiwa, di antara 2 garis lintang, yakni $23,5^{\circ}$ Lintang Selatan dan $23,5^{\circ}$ Lintang Utara.

Daerah tropis dapat juga disebut area hangat hangat dan lembab sepanjang tahun. Daerah tropis memiliki keragaman makhluk hidup (flora dan fauna) lebih tinggi dibanding daerah lain, bahkan umumnya tanamannya memiliki daun yang lebar, warna hijau abadi dan tidak menggugurkan daun secara serempak seluruh daun.

Iklim tropis memiliki ciri-ciri sebagai berikut :

- a. Suhu udara rata-rata relatif tinggi berkisar 20°C – 23°C , bahkan beberapa tempat mencapai 30°C karena intensitas cahaya matahari tinggi.

- b. Banyak terjadi hujan
- c. Memiliki tekanan udara yang rendah

2. Iklim Subtropis

Daerah subtropis berada pada belahan bumi utara dan selatan, yaitu $23,5^{\circ}$ LU – 35° LU dan $23,5^{\circ}$ LS – 35° LS. Iklim ini memiliki musim sebanyak 4, yakni musim gugur, semi, panas dan dingin.

3. Iklim Sedang

Daerah iklim sedang berada pada 35° – $66,5^{\circ}$ LU dan 35° – $66,5^{\circ}$ LS. Daerah iklim sedang banyak terjadi gerakan-gerakan udara siklonal, tekanan udara yang sering berubah-ubah, arah angin berubah-ubah dan tidak menentu, dan sering terjadi badai secara tiba-tiba.

4. Iklim Dingin

Iklim dingin juga disebut iklim kutub yang luasnya sekitar 20% lapisan bumi dan berada pada garis lintang $66,5$ derajat sampai 90 derajat. Daerah ini memiliki musim dingin lebih lama dibanding musim sejuk. Pada musim dingin udara kering dan tanah membeku.

3.2.3 Musim

Musim adalah suatu peristiwa yang terjadi di bumi akibat berputarnya bumi mengelilingi matahari dan berputarnya bumi pada porosnya. Perubahan musim pada daerah tropis terjadi sebanyak 2 kali setiap tahun, yaitu musim hujan dan kemarau. Sedangkan untuk daerah subtropis memiliki 4 musim, yaitu musim gugur, semi, panas dan dingin.

Tabel 3.1. Pembagian Musim di Belahan Bumi

Waktu	Belahan Bumi	
	Tropis	
April s.d. September	Musim Kemarau	
Oktober s.d. Maret	Musim Hujan	
	Sub Tropis	
	Belahan Utara	Belahan Selatan
1 Maret s.d. 31 Mei	Musim Semi	Musim Gugur
1 Juni s.d. 31 Agustus	Musim Panas	Musim Dingin
1 September s.d. 30 Nopember	Musim Gugur	Musim Semi
1 Desember 28 Februari	Musin Dingin	Musim Panas

3.3 Unsur-unsur Cuaca, Iklim dan Musim

Iklim wilayah adalah rata-rata cuaca jangka Panjang (kurang lebih 30 tahun) dari suatu wilayah. Iklim merupakan system pengelompokan kondisi iklim wilayah yang mempunyai sifat dan karakteristik sama. Berdasarkan siklus data curah hujan di suatu daerah atau wilayah, Schmidh dan Ferguson (1950) mengklasifikasi iklim menjadi empat tipe yaitu iklim basah, iklim agak basah, iklim sedang dan iklim agak kering.

Oleh karena iklim merupakan rata-rata dari cuaca, maka iklim dan cuaca terbentuk dari unsur-unsur yang sama. Berikut unsur-unsur cuaca dan iklim dan alat ukurnya :

Tabel 3.2. Unsur-unsur cuaca dan iklim dan serta ukurnya.

No	Unsur Cuaca/Iklim	Satuan	Nama Alat Ukur
1	Radiasi matahari	W.m^{-2}	Solarimeter
2	Temperatur udara	$^{\circ}\text{C}$	Thermometer
3	Kelembaban udara	%	Psychrometer/ Hygrometer
4	Kecepatan angin	m.s^{-1}	Anemometer
5	Curah hujan	mm	Penakar hujan/ Ombrometer

Penjelasan :

3.3.1 Radiasi matahari

Radiasi matahari merupakan sumber energi utama terhadap proses-proses fisika yang terjadi di atmosfer sebagai pembentuk cuaca dan iklim. Radiasi matahari juga bermanfaat bagi kehidupan di bumi untuk melakukan fotosintesis serta terjadinya rantai makanan. Permukaan matahari dengan suhu 6.000°K memancarkan energi sangat tinggi berupa gelombang electromagnet hingga mencapai bumi. Oleh karena jarak matahari ke bumi sangat jauh, sekitar 150 juta km maka intensitas energinya sampai ke puncak atmosfer tinggal 1.360 W.m^{-2} . Demikian juga keberadaan atmosfer menjadi pelindung bumi sehingga radiasi matahari di bumi kurang dari 1.000 W.m^{-2} sehingga aman bagi kehidupan di muka bumi. Selain itu lama penyinaran matahari juga menentukan besarnya energi yang dimiliki oleh bumi dan berpengaruh terhadap proses fotosintesis pada tanaman yang ada di bumi. Proses fotosintesis ini sangat sensitive bagi tumbuhan di daerah tropis.

3.3.2 Temperatur udara

Temperatur atau suhu udara adalah derajat panas dari aktivitas molekul dalam dalam atmosfer atau udara akibat radiasi matahari yang diterima bumi.

Temperatur atau suhu udara merupakan panas dan dinginnya udara yang memiliki sifat dapat menyebar dan berbeda sesuai karakteristik daerah atau lokasi. Alat yang digunakan mengukur besarnya suhu disebut thermometer. Pada daerah tropis umumnya memiliki temperature udara tinggi, sedangkan pada daerah subtropis temperaturnya sangat rendah.

Tinggi dan rendahnya temperatur udara di suatu tempat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain :

1. Sudut elevasi datangnya sinar mahari
Semakin kecil sudut datangnya sinar mahari semakin kecil intensitas cahaya yang diterima atmosfer bumi dan menyebabkan suhu bumi pun semakin rendah, kondisi ini terjadi pada atmosfer bumi yang berada di daerah kutub utara maupun selatan. Intensitas cahaya tertinggi berada di atmosfer bumi disekitar khatulistiwa, hal ini dikarenakan sudut elevasi datangnya sinar matahari besar atau mendekati 90 derajat. Kondisi ini juga menyebabkan semakin dekatnya jarak matahari terhadap bumi.
2. Lama waktu penyinaran
Sudah barang tentu semakin lama waktu penyinaran matahari terhadap bumi menyebabkan temperatur bumi semakin tinggi demikian juga temperatur atmosfer bumi.
3. Keadaan muka bumi
Muka bumi berbentuk daratan lebih cepat menerima panas matahari dibanding perairan, demikian pula muka bumi berbentuk daratan semakin cepat melepaskan panas.
4. Ketebalan awan
Semakin tebal awan yang terkandung di atmosfer semakin tinggi daya serapnya terhadap radiasi atau panasnya matahari, kondisi ini menyebabkan semakin rendahnya temperature yang diterima bumi.

3.3.3 Kelembaban udara

Kelembaban udara menunjukkan banyaknya uap air yang terkandung dalam udara. Semakin banyak uap air yang terkandung dalam udara semakin tinggi kelembabannya demikian juga semakin tinggi tekanan udaranya. Untuk besarnya kelembaban udara suatu tempat digunakan higrometer.

3.3.4 Kecepatan Angin

Pergerakan udara dari daerah yang bertekanan besar ke daerah yang memiliki tekanan lebih kecil disebut angin. Tinggi rendahnya tekanan udara ini dikarenakan perbedaan suhu udara. Semakin tinggi suhu udara semakin rendah tekanan udaranya dan semakin tinggi kelembaban udaranya.

3.3.5 Curah Hujan

Banyaknya hujan yang terjadi pada daerah selama waktu tertentu dinamakan curah hujan. Alat yang digunakan untuk mengukur besarnya curah hujan dinamakan *Rain Gauge*.

Menurut intensitasnya curah hujan dibagi kedalam empat kategori, yaitu :

No	Kriteria Curah Hujan	Curah Hujan Harian	Curah Hujan per jam
1	Sangat lebat	$> 100 \text{ mm}$	$> 20 \text{ mm}$
2	Lebat	$50 \leq 100 \text{ mm}$	$10 \leq 20 \text{ mm}$
3	Sedang	$20 \leq 50 \text{ mm}$	$5 \leq 10 \text{ mm}$
4	Ringan	$5 \leq 20 \text{ mm}$	$1 \leq 5 \text{ mm}$

3.4 Peranan Cuaca, Iklim dan Musim

Peranan cuaca, iklim dan musim bagi kehidupan di muka bumi sangat penting artinya. Cuaca dan iklim dapat mempengaruhi pola hidup dan perilaku semua kehidupan yang ada di bumi, misalnya penggunaan pakaian tebal mana kala cuacanya dingin,

penggunaan AC mana kala cuacanya panas dan masih banyak lagi contohnya.

3.4.1 Bidang Teknologi

Pemanfaatan batu bara dan minyak bumi sebagai bahan bakar semakin meningkat dengan bertambahnya kendaraan dan mesin-mesin yang senantiasa membutuhkan bahan bakar. Selain keberadaannya di bumi semakin menipis pemanfaatan batu bara dan minyak bumi semakin tidak efektif dan cenderung merusak ekosistem dunia dan berpengaruh terhadap perubahan cuaca dan iklim.

Dengan berkembangnya teknologi telah ditemukan panel surya untuk mendapatkan energi surya dengan memanfaatkan panas matahari, selain itu bagi negara-negara kincir angin telah banyak memanfaatkan energi angin untuk pembangkit listrik. Energi listrik juga dapat dihasilkan dengan memanfaatkan air sebagai penggerak dinamo pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA).

3.4.2 Bidang Pertanian

Dengan diketahui cuaca dan iklim suatu daerah maka para petani dapat merencanakan pola tanam dan jenis tanaman sesuai cuaca dan iklimnya. Kapan harus menanam dan kapan memanennya. Dengan demikian kondisi cuaca dan iklim menjadi penentu jenis tanaman yang cocok untuk di budidaya.

3.4.3 Bidang Transportasi

Cuaca dan iklim sangat menentukan kelancaran moda transportasi, baik transportasi udara, darat dan air. Misalnya suhu udara, kecepatan angin, keadaan awan dan cuaca hujan sangat berpengaruh terhadap kelancaran penerbangan pesawat. Transportasi laut sangat bergantung kepada kondisi cuaca dan iklim di sekitarnya seperti badai, arah dan kecepatan angin, gelombang dan arus air laut.

3.4.4 Bidang Telekomunikasi

Kondisi cuaca dan iklim dapat mempengaruhi kelancaran telekomunikasi karena terjadinya gangguan signal. Selain itu terjadinya badai angin dan banjir dapat merusak fasilitas telekomunikasi seperti terputusnya kabel telekomunikasi akibat badai dan banjir.

3.4.5 Bidang Pariwisata

Cuaca dan iklim juga mempengaruhi pola dan tujuan bagi wisatawan terutama pada obyek wisata alam. Saat cuaca panas wisatawan cenderung mengunjungi tempat wisata yang memberikan suasana sejuk atau dingin, misalnya tempat pemandian, pantai bahari.

Sesuai dengan iklimnya Indonesia berpotensi memiliki wisata alam flora dan fauna dengan berbagai keragaman hayati yang ada. Keberadaan keragaman hayati saat musim hujan dan musim kemarau berbeda, hal ini dikarenakan pada musim hujan berbagai flora tumbuh segar, sedang pada musim kemarau banyak yang mati.

3.4.6 Bidang Perdagangan

Di musim penghujan atau musim dingin para pedagang cenderung menjual makanan hangat yang bisa menghangatkan badan, seperti bakso, angkle. Sedangkan di musim kemarau atau musim panas para pedangan cenderung menjual makanan atau minuman dingin yang dapat menyegarkan badan, seperti es buah dan lain-lain.

Perdagangan lain yang sangat dipengaruhi oleh perubahan cuaca atau iklim misalnya pada perdagangan buah-buahan. Umumnya buah-buahan mahal saat musim hujan dan murah saat musim panas. Hal ini dikarenakan musim buah-buahan berbuah pada musim panas.

3.4.7 Bidang Infrastruktur

Cuaca dan iklim mempengaruhi pola bangunan yang ada di suatu daerah. Misalnya daerah rawan gempa lebih cocok dibangun rumah atau infrastruktur yang tahan gempa. Daerah yang rawan banjir dibangun rumah panggung. Cuaca dan iklim juga mempengaruhi pola dan perencanaan pembangunan jalan, jembatan dan pelabuhan udara.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Kalimantan Selatan, 2018. Buletin Meteorologi, Vol VI – No. 2, Banjarmasin.
- Bayong Tjasno HK. 2009. Meteorologi Indonesia Volumna I, Karakteristik dan Sirkulasi Atmosfer, Badan Meteorologi dan Geofisika, Jakarta.
- Gunardi D. Winarno, Sugeng P Haranto dan Trio Santoso. 2019. Klimatologi Pertanian, Pusaka Media, Bandarlampung.
- Handoko dkk. 2017. Klimatologi Dasar, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Harlinda Sofyan. 2018. Angin, Cuaca dan Iklim, Universitas Esa Unggul, Jakarta.
- Miftahudin. 2016. Analisis Unsur-unsur Cuaca dan Iklim Melalui Uji Mann-Kendall Multivariat, Jurnal Matematika Statistika dan Komputasi (JMSK) Unhas, Ujung Pandang.
- Norman. PLP. Riwu. Kaho. 2014. Panduan Interpretasi dan Respon Informasi Iklim dan Cuaca untuk Petani dan Nelayan, Pikul Indonesia dan ICCTF.
- Rafi'I, Suryatna. 1995. Meteorologi dan Klimatologi, Angkasa, Bandung.
- Trewarta, Glenn T. and Lyle H. Horn. 1995. Pengantar Iklim, Gajah Mada University Press.

BAB 4

EEK RUMAH KACA

Oleh Yosef Adicita

4.1 Pendahuluan

4.1.1 Latar Belakang

Efek rumah kaca merupakan salah satu isu lingkungan yang semakin menjadi perhatian di seluruh dunia, termasuk Indonesia. Istilah efek rumah kaca ini mengacu pada peningkatan suhu global yang disebabkan oleh peningkatan kadar gas rumah kaca di atmosfer. Gas rumah kaca ini sendiri berasal dari aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil dan deforestasi. Efek rumah kaca dapat menyebabkan dampak negatif pada lingkungan dan kehidupan manusia seperti perubahan iklim, kenaikan permukaan air laut, peningkatan suhu udara, dan bencana alam (Pratama, 2019).

Indonesia sendiri merupakan salah satu negara yang terdampak oleh efek rumah kaca. Meskipun Indonesia termasuk dalam negara berkembang, namun kontribusinya terhadap emisi gas rumah kaca cukup besar, terutama dari sektor deforestasi dan perkebunan kelapa sawit. Dalam hal ini, peran Indonesia dalam mengurangi emisi gas rumah kaca sangat penting untuk mencapai target perubahan iklim global (Anggraeni, 2015).

Buku ini ditulis untuk memberikan pemahaman yang lebih luas tentang efek rumah kaca, termasuk penyebab, dampak, dan solusi yang dapat dilakukan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Selain itu, buku ini juga diharapkan dapat menjadi sumber referensi bagi masyarakat, terutama para pelajar dan mahasiswa, untuk memperdalam pengetahuan mereka tentang isu lingkungan yang semakin kompleks.

Melalui buku ini, penulis juga berharap dapat meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya menjaga lingkungan dan melakukan tindakan nyata untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Selain itu, buku ini juga diharapkan dapat menjadi sumber inspirasi bagi para pembuat kebijakan dan pengambil keputusan dalam upaya mengurangi emisi gas rumah kaca dan menjaga keberlangsungan lingkungan hidup.

Dalam penulisan buku ini, penulis mengumpulkan berbagai sumber referensi dan melakukan penelitian untuk menyajikan informasi yang akurat dan terpercaya tentang efek rumah kaca. Buku ini juga dilengkapi dengan data dan grafik yang menunjukkan tren peningkatan emisi gas rumah kaca di Indonesia dan dunia serta dampak yang ditimbulkan. Dengan demikian, buku ini dapat menjadi acuan yang berguna bagi para pembaca dalam memahami dan mengatasi isu efek rumah kaca.

4.1.2 Tujuan Penulisan

Tujuan dari penulisan buku ini adalah untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai efek rumah kaca, termasuk dampak-dampaknya pada lingkungan dan masyarakat. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang masalah ini, diharapkan pembaca dapat lebih memahami pentingnya mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengambil tindakan yang diperlukan untuk melindungi bumi kita.

Selain itu, buku ini juga bertujuan untuk memberikan informasi tentang teknologi dan solusi yang tersedia untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Pembaca akan diperkenalkan dengan berbagai teknologi yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi bersih, seperti panel surya dan turbin angin, serta praktik-praktik berkelanjutan yang dapat dilakukan di rumah, di tempat kerja, dan di masyarakat.

Buku ini juga bertujuan untuk meningkatkan kesadaran pembaca tentang pentingnya tindakan kolektif dalam mengurangi emisi gas rumah kaca. Pembaca akan diberikan informasi tentang peran pemerintah, perusahaan, dan masyarakat dalam memerangi perubahan iklim, serta bagaimana mereka dapat berkontribusi secara aktif dalam mengurangi emisi gas rumah kaca melalui tindakan sehari-hari mereka.

Selain itu, buku ini juga diharapkan dapat memotivasi pembaca untuk mengambil tindakan yang lebih aktif dalam memerangi perubahan iklim dan meningkatkan kesadaran mereka tentang pentingnya menjaga lingkungan. Buku ini menyajikan informasi yang akurat, mudah dipahami, dan relevan tentang efek rumah kaca dan solusi yang tersedia, sehingga dapat membantu memperkuat kesadaran dan pemahaman tentang perubahan iklim dan lingkungan di kalangan pembaca.

Buku ini juga bertujuan untuk menjadi sumber referensi yang berguna bagi mereka yang ingin mempelajari lebih lanjut tentang efek rumah kaca dan solusi yang tersedia untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Buku ini menyajikan informasi yang lengkap dan terkini tentang topik ini, serta menyertakan referensi dan sumber daya tambahan yang dapat membantu pembaca untuk melanjutkan penelitian mereka.

4.1.3 Ruang lingkup pembahasan

Ruang lingkup dari penulisan yang berjudul "Efek Rumah Kaca" adalah sebagai berikut:

1. Pengertian efek rumah kaca dan penyebabnya
Penulisan ini akan membahas secara detail tentang apa yang dimaksud dengan efek rumah kaca dan faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya efek rumah kaca, seperti emisi gas rumah kaca dari aktivitas manusia dan pemanasan global.

2. Dampak efek rumah kaca pada lingkungan dan manusia
Penulisan ini akan menjelaskan dampak efek rumah kaca pada lingkungan dan manusia, seperti perubahan suhu dan iklim, peningkatan tingkat air laut, kekeringan, dan lain-lain. Selain itu, akan dibahas pula dampak kesehatan yang timbul akibat polusi udara yang dihasilkan dari emisi gas rumah kaca.
3. Kebijakan dan upaya mitigasi efek rumah kaca
Penulisan ini akan membahas berbagai kebijakan dan upaya mitigasi yang dilakukan oleh pemerintah dan masyarakat untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengatasi dampak efek rumah kaca, seperti penggunaan energi terbarukan, pengendalian emisi kendaraan bermotor, penanaman kembali hutan, dan sebagainya.
4. Teknologi yang digunakan untuk mengurangi efek rumah kaca
Penulisan ini akan membahas berbagai teknologi yang digunakan untuk mengurangi efek rumah kaca, seperti teknologi panel surya, kendaraan listrik, dan teknologi penangkapan dan penyimpanan karbon.
5. Peran individu dalam mengatasi efek rumah kaca
Penulisan ini akan membahas peran individu dalam mengatasi efek rumah kaca, seperti dengan melakukan praktik hidup ramah lingkungan, seperti penggunaan transportasi umum atau sepeda, pengurangan penggunaan listrik, dan memperbanyak penggunaan produk-produk yang ramah lingkungan.

Ruang lingkup yang dijelaskan di atas diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai efek rumah kaca dan berbagai aspek yang terkait dengannya.

4.2 Pengertian efek rumah kaca

Efek rumah kaca merupakan topik yang cukup penting dalam diskusi mengenai perubahan iklim dan lingkungan hidup. Konsep ini pertama kali diperkenalkan oleh Joseph Fourier pada tahun 1824 dan diperkuat oleh penelitian John Tyndall pada tahun 1859 yang menunjukkan bahwa gas-gas tertentu dapat menyerap radiasi inframerah (Berger and Tricot, 1992)(Fleming, 1999). Sejak saat itu, pengertian efek rumah kaca menjadi semakin dikenal dan dipahami oleh para ilmuwan dan masyarakat umum.

Dalam sub-bab ini, kita akan membahas secara lebih rinci mengenai pengertian efek rumah kaca, termasuk definisi dan mekanisme terjadinya efek rumah kaca. Kita juga akan melihat beberapa contoh gas rumah kaca dan sumber-sumber emisi gas rumah kaca yang signifikan. Dengan memahami pengertian dasar tentang efek rumah kaca, diharapkan pembaca dapat lebih memahami dampak dan implikasi perubahan iklim serta upaya mitigasi dan adaptasi yang dapat dilakukan.

4.2.1 Definisi efek rumah kaca

Efek rumah kaca adalah peningkatan suhu global yang disebabkan oleh peningkatan konsentrasi gas-gas seperti karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dan uap air di atmosfer yang menyebabkan penangkapan panas dari radiasi matahari dan kemudian memantulkannya kembali ke bumi (Penman *et al.*, 2006).

Menurut World Bank, efek rumah kaca adalah "proses pemanasan global yang terjadi ketika gas-gas seperti karbon dioksida, metana, dan oksida nitrat terperangkap di atmosfer dan menyebabkan suhu bumi meningkat di atas normal(Pratama *et al.*, 2013)."

Ahli lingkungan David Suzuki menyatakan bahwa efek rumah kaca terjadi ketika "gas-gas yang dilepaskan oleh aktivitas manusia terjebak di atmosfer dan menyebabkan peningkatan suhu global, yang berdampak pada cuaca ekstrem, kenaikan permukaan laut, dan kerusakan lingkungan lainnya (Tinharn, 2012).

Sementara itu, ahli iklim Michael Mann menjelaskan bahwa efek rumah kaca terjadi ketika "gas-gas rumah kaca seperti CO₂, CH₄, dan N₂O menghalangi radiasi panas yang dipancarkan dari permukaan bumi untuk meninggalkan atmosfer, sehingga menyebabkan peningkatan suhu global dan dampak yang merugikan pada lingkungan dan kesehatan manusia (Mann, Bradley and Hughes, 1998).

4.2.2 Penjelasan tentang mekanisme efek rumah kaca

Mekanisme efek rumah kaca adalah fenomena alamiah yang terjadi karena adanya beberapa gas di atmosfer yang menyerap panas yang dipancarkan oleh bumi. Fenomena ini memungkinkan suhu rata-rata di bumi tetap dalam rentang yang nyaman untuk kehidupan. Tanpa efek rumah kaca, suhu rata-rata bumi akan mencapai -18 derajat Celsius, membuatnya sangat tidak mungkin untuk menunjang kehidupan seperti yang kita kenal sekarang.

Mekanisme efek rumah kaca terjadi ketika gas-gas seperti karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dan uap air menyerap panas dari matahari dan memancarkannya kembali ke bumi, menangkap sebagian dari panas di atmosfer bumi. Seiring waktu, jumlah gas-gas tersebut di atmosfer terus meningkat, terutama karena aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil dan deforestasi. Akibatnya, suhu rata-rata bumi terus meningkat, memicu perubahan iklim dan dampak negatif lainnya (Kweku *et al.*, 2018).

Mekanisme efek rumah kaca juga terkait dengan peran penting hutan dalam menyerap karbon dioksida dari atmosfer dan mempertahankan keseimbangan ekosistem. Dengan adanya deforestasi yang terjadi secara massif di berbagai wilayah, seperti di hutan hujan Amazon dan Kalimantan, maka keseimbangan alam terganggu dan jumlah gas rumah kaca di atmosfer meningkat.

Proses terjadinya efek rumah kaca dimulai dengan sinar matahari yang masuk ke atmosfer bumi. Sebagian besar sinar matahari yang masuk tersebut diteruskan ke permukaan bumi dan kemudian dipantulkan kembali ke atmosfer dalam bentuk radiasi inframerah. Radiasi inframerah ini diabsorpsi oleh gas-gas rumah kaca yang terkandung di atmosfer, seperti karbon dioksida, metana, dan uap air, sehingga menyebabkan suhu di atmosfer menjadi lebih tinggi dari seharusnya (Mikhaylov *et al.*, 2020).

Kenaikan suhu ini mengakibatkan perubahan iklim yang dapat berdampak negatif bagi kehidupan di bumi. Beberapa dampak negatif tersebut adalah meningkatnya suhu permukaan laut, peningkatan intensitas hujan, bencana alam seperti banjir, kekeringan, dan cuaca ekstrem lainnya, serta berkurangnya sumber daya alam.

Proses terjadinya efek rumah kaca juga dapat diperjelas dengan model "tabung", yaitu ketika gas-gas rumah kaca di atmosfer menyerap radiasi inframerah dan kemudian memantulkannya kembali ke bumi, yang menyebabkan peningkatan suhu global. Dalam model ini, semakin banyak gas rumah kaca di atmosfer, semakin besar pula dampaknya terhadap peningkatan suhu global.

Selain itu, mekanisme efek rumah kaca juga terkait dengan kegiatan manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil untuk transportasi, industri, dan pembangkit listrik. Kegiatan ini menghasilkan emisi gas rumah kaca yang semakin menambah konsentrasi gas-gas tersebut di atmosfer.

Dalam jangka panjang, efek rumah kaca dapat mengubah iklim secara drastis dan memberikan dampak yang signifikan bagi kehidupan di bumi. Oleh karena itu, diperlukan upaya-upaya mitigasi dan adaptasi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca serta mengurangi dampak negatifnya bagi lingkungan dan manusia (Couto *et al.*, 2012).

Mekanisme efek rumah kaca juga terkait erat dengan siklus karbon di alam, di mana karbon dioksida yang terdapat di atmosfer diserap oleh tumbuhan dan laut, dan kemudian dilepaskan kembali melalui proses respirasi atau dekomposisi. Namun, ketika kegiatan manusia menghasilkan emisi gas rumah kaca secara lebih cepat daripada siklus alamnya, maka konsentrasi gas-gas tersebut di atmosfer akan semakin meningkat, menyebabkan efek rumah kaca yang semakin serius.

Fenomena efek rumah kaca menjadi perhatian dunia internasional dan menjadi bagian dari perdebatan mengenai dampak perubahan iklim dan upaya mitigasi yang harus dilakukan. Banyak negara telah menandatangani kesepakatan internasional untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, seperti Protokol Kyoto dan Paris Agreement (Muhamad Iqbal and Ruhaeni, 2022).

Melalui pemahaman mekanisme efek rumah kaca, kita dapat lebih memahami pentingnya upaya mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim serta pentingnya menjaga kelestarian alam sebagai sumber daya yang memelihara keseimbangan bumi.

4.2.3 Asal usul rumah kaca

Gas rumah kaca merupakan gas yang terdapat di atmosfer dan mampu menyerap dan memancarkan radiasi inframerah. Beberapa gas rumah kaca alami, seperti uap air, karbon dioksida, metana, dan ozon, telah ada di atmosfer bumi selama jutaan tahun dan berfungsi sebagai lapisan pelindung yang mengatur suhu bumi agar tetap hangat dan dapat menopang kehidupan.

Namun, pada saat ini, peningkatan aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, dan pertanian intensif telah meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer, sehingga terjadi peningkatan efek rumah kaca yang berlebihan dan menyebabkan perubahan iklim yang tidak stabil (Johnke *et al.*, 2000).

Penyebab utama gas rumah kaca buatan manusia adalah pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Saat bahan bakar fosil dibakar, karbon dioksida dan gas lainnya dilepaskan ke atmosfer. Selain itu, aktivitas pertanian, seperti pemupukan dan pemeliharaan ternak, juga menghasilkan emisi gas metana dan nitrat oksida.

Pembakaran hutan juga menjadi penyebab utama gas rumah kaca karena tanaman memerlukan karbon dioksida untuk melakukan fotosintesis. Ketika hutan dibakar, karbon dioksida yang disimpan dalam tanaman dilepaskan ke atmosfer. Deforestasi juga dapat mengurangi kemampuan alam untuk menyerap karbon dioksida dari udara.

Sekarang, manusia telah mengubah konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer pada tingkat yang belum pernah terjadi sebelumnya dalam sejarah bumi. Hal ini menyebabkan efek rumah kaca yang lebih kuat dan suhu bumi yang semakin meningkat, mengakibatkan perubahan iklim yang signifikan.

4.3 Kontribusi manusia terhadap peningkatan efek rumah kaca

Pemanasan global menjadi salah satu isu lingkungan yang paling mendesak saat ini. Temperatur rata-rata bumi terus meningkat seiring waktu, dan fenomena ini dapat membawa konsekuensi serius bagi manusia dan lingkungan. Salah satu faktor penyebab pemanasan global adalah efek rumah kaca, yaitu peningkatan suhu bumi akibat penumpukan gas-gas yang menyebabkan radiasi dari matahari terperangkap di atmosfer

bumi. Dan kontribusi manusia terhadap peningkatan efek rumah kaca adalah topik yang penting untuk dibahas.

Dalam beberapa dekade terakhir, manusia telah meningkatkan penggunaan bahan bakar fosil dan emisi gas rumah kaca lainnya yang berkontribusi pada efek rumah kaca. Kegiatan manusia seperti transportasi, industri, pertanian, dan penggunaan energi fosil lainnya secara langsung menyebabkan peningkatan emisi gas rumah kaca ke atmosfer bumi.

Sebagai hasilnya, dampak perubahan iklim dapat terlihat di seluruh dunia, seperti peningkatan suhu global, tingkat air laut yang meningkat, cuaca yang lebih ekstrem, dan perubahan pola cuaca. Oleh karena itu, penting bagi kita untuk memahami bagaimana manusia berkontribusi pada peningkatan efek rumah kaca dan bagaimana kita dapat mengurangi dampak negatifnya (Evseeva, Evseeva and Dudarenko, 2021).

Dalam pembahasan sub-bab ini, akan dijelaskan tentang kontribusi manusia terhadap peningkatan efek rumah kaca, mulai dari aktivitas manusia yang menyebabkan emisi gas rumah kaca, dampaknya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia, hingga upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan meminimalkan dampak negatifnya. Semoga pembahasan ini dapat memberikan gambaran yang jelas tentang peran manusia dalam perubahan iklim dan membantu meningkatkan kesadaran kita tentang pentingnya melindungi lingkungan bagi generasi masa depan.

4.3.1 Aktivitas manusia yang berkontribusi pada peningkatan efek rumah kaca

Efek rumah kaca merupakan fenomena alam yang terjadi secara alami, namun aktivitas manusia telah memberikan kontribusi yang signifikan dalam peningkatan efek rumah kaca. Aktivitas manusia yang berkontribusi terhadap peningkatan efek rumah kaca terdiri dari beberapa hal, di antaranya adalah emisi gas rumah kaca, deforestasi, dan penggunaan bahan bakar fosil.

Emisi gas rumah kaca merupakan kontributor utama dalam peningkatan efek rumah kaca yang disebabkan oleh aktivitas manusia. Gas-gas ini terdiri dari karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dan nitrogen oksida (N_2O) yang berasal dari berbagai kegiatan manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil untuk transportasi dan produksi energi, serta kegiatan pertanian seperti penggunaan pupuk dan pembuangan sampah organik (Adicita, Apritama and Afifah, 2020).

Selain emisi gas rumah kaca, deforestasi atau penggundulan hutan juga memberikan kontribusi besar dalam peningkatan efek rumah kaca. Kehilangan hutan dapat mengurangi kemampuan alam dalam menyerap karbon dioksida dari atmosfer dan mengubah iklim mikro lokal serta mempercepat pemanasan global.

Penggunaan bahan bakar fosil seperti minyak, batu bara, dan gas alam juga menjadi faktor kontribusi yang signifikan dalam peningkatan efek rumah kaca. Kegiatan manusia seperti transportasi, industri, dan produksi energi menghasilkan emisi karbon dioksida yang besar dan menjadi faktor pendorong pemanasan global.

Selain itu, kegiatan pertanian dan peternakan juga memberikan kontribusi dalam peningkatan efek rumah kaca, seperti penggunaan pupuk dan metana yang dihasilkan dari proses pencernaan hewan ternak.

Dalam rangka mengurangi kontribusi manusia terhadap peningkatan efek rumah kaca, diperlukan upaya-upaya yang bersifat global seperti peningkatan penggunaan sumber energi terbarukan, pengurangan emisi gas rumah kaca, dan pelestarian hutan serta lingkungan alam lainnya. Kesadaran masyarakat juga perlu ditingkatkan untuk mengurangi penggunaan bahan-bahan yang berpotensi meningkatkan efek rumah kaca serta memperhatikan keberlanjutan lingkungan hidup (Penman *et al.*, 2006).

4.3.2 Aktivitas manusia yang berkontribusi pada peningkatan efek rumah kaca

Emisi gas rumah kaca merujuk pada pelepasan gas-gas tertentu ke atmosfer yang kemudian menangkap radiasi panas dari bumi dan menyebabkan peningkatan suhu di permukaan bumi. Gas-gas ini termasuk karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), oksida nitrous (N_2O), dan gas-gas lainnya. Emisi gas rumah kaca terjadi karena aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil, produksi industri, pertanian, dan perubahan penggunaan lahan. Ketika gas-gas ini dilepaskan ke atmosfer, mereka menumpuk di atmosfer dan membentuk lapisan yang semakin tebal, yang kemudian menangkap lebih banyak radiasi panas dari bumi (Anggraeni, 2015).

Gas rumah kaca seperti CO_2 terutama berasal dari pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak, dan gas alam untuk keperluan transportasi, pembangkit listrik, dan industri. Sementara itu, metana terutama berasal dari limbah pertanian, limbah tambang batubara, dan distribusi gas alam. Oksida nitrous, di sisi lain, berasal dari pemupukan dan penggunaan bahan bakar fosil.

Aktivitas manusia yang mempercepat peningkatan emisi gas rumah kaca telah meningkat secara dramatis sejak revolusi industri, dan akibatnya, suhu global telah meningkat sekitar 1 derajat Celsius dalam 150 tahun terakhir. Peningkatan suhu global ini dapat menyebabkan efek yang merusak, seperti kenaikan permukaan air laut, cuaca yang lebih ekstrem, dan kerusakan pada ekosistem laut dan darat.

Untuk mengatasi masalah ini, berbagai upaya harus dilakukan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Ini termasuk meningkatkan efisiensi energi, mempromosikan energi terbarukan seperti tenaga surya dan angin, mengurangi deforestasi dan kerusakan hutan, mengurangi penggunaan bahan bakar fosil, dan mengurangi emisi dari sektor pertanian dan limbah. Dengan

mengurangi emisi gas rumah kaca, kita dapat mengurangi dampak perubahan iklim dan menjaga bumi kita agar tetap berkelanjutan (U. S. Environmental Protection Agency, 2009).

Di Indonesia, pemerintah telah mengeluarkan beberapa kebijakan dan peraturan terkait pengendalian emisi gas rumah kaca. Pada tahun 2011, pemerintah Indonesia meluncurkan Roadmap Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca yang bertujuan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 26% pada tahun 2020. Selain itu, pada tahun 2016, pemerintah Indonesia menandatangani Perjanjian Paris, di mana Indonesia berkomitmen untuk mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 29% pada tahun 2030 (Presiden Republik Indonesia, 2011)(Saharjo and Yungan, 2014).

Di tingkat internasional, ada beberapa peraturan dan perjanjian yang bertujuan untuk mengendalikan emisi gas rumah kaca. Salah satunya adalah Protokol Kyoto, yang ditandatangani pada tahun 1997 dan berlaku hingga tahun 2020, di mana negara-negara yang terlibat berkomitmen untuk mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 5% dibandingkan dengan tingkat tahun 1990. Kemudian digantikan oleh Persetujuan Paris yang ditandatangani pada tahun 2015 dan berlaku hingga saat ini. Perjanjian ini menetapkan tujuan global untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan menghindari peningkatan suhu rata-rata global di bawah 2 derajat Celsius di atas tingkat pra-industri.

Pada tingkat regional, Uni Eropa telah meluncurkan *European Union Emissions Trading System* (EU ETS) pada tahun 2005, yang merupakan skema perdagangan emisi gas rumah kaca terbesar di dunia. Skema ini memungkinkan perusahaan untuk membeli dan menjual izin emisi gas rumah kaca, dengan tujuan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca secara efektif sambil mendorong investasi dalam teknologi ramah lingkungan(Erbach and Foukalová, 2022).

Dalam beberapa tahun terakhir, upaya pengendalian emisi gas rumah kaca semakin mendapatkan perhatian global, dan semakin banyak peraturan dan perjanjian yang ditetapkan untuk mengendalikan emisi gas rumah kaca di seluruh dunia. Namun, upaya untuk mengurangi emisi gas rumah kaca masih terus dihadapi oleh berbagai tantangan, seperti ketergantungan pada sumber energi fosil, pertumbuhan ekonomi yang cepat, serta kesulitan dalam memonitor dan mengukur emisi gas rumah kaca secara akurat.

4.3.3 Pengaruh kegiatan industri, transportasi, dan pertanian pada peningkatan efek rumah kaca

Efek rumah kaca (ERK) adalah fenomena alam yang terjadi ketika gas-gas seperti karbon dioksida, metana, dan gas lainnya menangkap panas di atmosfer, menyebabkan peningkatan suhu di permukaan bumi. Namun, aktivitas manusia juga memiliki andil dalam meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Tiga sektor yang paling berkontribusi dalam emisi gas rumah kaca adalah industri, transportasi, dan pertanian. Dalam tulisan ini, akan dibahas bagaimana kegiatan di sektor-sektor tersebut berkontribusi pada peningkatan ERK.

Pertama-tama, industri merupakan sektor yang memainkan peran besar dalam meningkatkan emisi gas rumah kaca. Proses pembakaran bahan bakar fosil yang digunakan dalam industri menghasilkan karbon dioksida dan gas lainnya yang terlepas ke atmosfer. Industri besar seperti industri pengolahan, produksi energi, dan industri kimia merupakan penyumbang utama emisi gas rumah kaca. Dalam industri pengolahan, proses pemanasan, pendinginan, dan transportasi bahan mentah dan produk jadi dapat menyebabkan emisi gas rumah kaca. Sementara itu, produksi energi juga merupakan sumber emisi utama, terutama dari pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar fosil.

Selain industri, sektor transportasi juga berkontribusi besar dalam emisi gas rumah kaca. Kendaraan bermotor, khususnya kendaraan dengan mesin pembakaran dalam, menghasilkan emisi karbon dioksida dan gas lainnya yang berdampak pada lingkungan. Emisi dari kendaraan bermotor merupakan sumber emisi terbesar di sektor transportasi. Meskipun ada upaya untuk mengurangi emisi dari kendaraan dengan menggunakan bahan bakar alternatif dan teknologi ramah lingkungan, namun hal ini masih belum mencapai hasil yang optimal (Finahari, Djati and Susiati, 2007; Sulistyono, 2012).

Sementara itu, sektor pertanian juga berperan dalam meningkatkan emisi gas rumah kaca. Proses pertanian seperti pembakaran lahan, penggunaan pupuk, dan metana yang dihasilkan dari aktivitas hewan ternak menyumbang pada peningkatan emisi gas rumah kaca. Pada umumnya, pertanian menyumbang sekitar 10-12% dari total emisi gas rumah kaca di seluruh dunia. Penggunaan pupuk nitrogen dan limbah ternak menghasilkan gas nitrogen oksida dan metana yang merupakan gas rumah kaca yang lebih kuat daripada karbon dioksida. Selain itu, pengolahan limbah juga menjadi faktor yang berkontribusi pada peningkatan emisi gas rumah kaca (FAO, 2021).

Namun, penting untuk dicatat bahwa sektor-sektor tersebut juga memiliki potensi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Industri dapat mengurangi emisi dengan menggunakan energi yang lebih efisien, teknologi produksi yang lebih ramah lingkungan, dan mengadopsi strategi pengelolaan limbah yang baik.

4.4 Dampak efek rumah kaca

Banyak penelitian telah menunjukkan bahwa aktivitas manusia, seperti industri, transportasi, dan pertanian, merupakan penyebab utama peningkatan emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, penting untuk memahami dampak dari kegiatan manusia pada

peningkatan efek rumah kaca, agar kita dapat mengambil tindakan yang tepat untuk mengurangi dampak buruknya.

Dalam bab ini, akan dibahas secara lebih detail mengenai dampak dari efek rumah kaca pada lingkungan dan kehidupan manusia. Sub-Bab ini akan membahas tentang efek rumah kaca pada kesehatan manusia, ekosistem, dan ekonomi. Selain itu, bab ini juga akan membahas tentang upaya-upaya yang telah dilakukan untuk mengurangi dampak efek rumah kaca, baik oleh individu maupun oleh pemerintah.

Dengan memahami dampak dari efek rumah kaca, kita dapat menyadari betapa pentingnya upaya untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengambil tindakan yang tepat untuk mengurangi dampak buruknya. Semua pihak harus berperan aktif dalam memperhatikan dampak dari kegiatan mereka pada lingkungan dan bumi, agar dapat menjaga keberlanjutan lingkungan dan kehidupan manusia. Oleh karena itu, perlu adanya kerjasama dan kolaborasi antara individu, organisasi, dan pemerintah untuk menciptakan lingkungan yang sehat dan lestari bagi kita semua.

4.4.1 Dampak perubahan iklim akibat efek rumah kaca

Perubahan iklim yang disebabkan oleh efek rumah kaca berdampak sangat besar terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Salah satu dampak yang paling terasa adalah perubahan pola cuaca, seperti naiknya suhu udara, peningkatan kelembaban, peningkatan intensitas hujan, dan peningkatan intensitas bencana alam seperti banjir, tanah longsor, dan kekeringan.

Dampak perubahan iklim juga dapat mempengaruhi kualitas udara. Penyebab utama dari pencemaran udara adalah emisi gas rumah kaca dari sektor industri, transportasi, dan pertanian. Gas-gas tersebut seperti karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dan nitrogen oksida (NO_x) dapat memicu terjadinya polusi udara, yang berdampak buruk pada kesehatan manusia seperti

penyakit pernapasan, sakit kepala, iritasi mata, dan bahkan kematian.

Selain itu, efek rumah kaca juga dapat mempengaruhi kesehatan manusia melalui perubahan pola munculnya penyakit infeksi dan penyebaran penyakit akibat vektor. Peningkatan suhu dan kelembaban dapat memicu penyebaran penyakit yang dibawa oleh vektor seperti nyamuk, lalat, dan tikus. Penyakit yang dapat disebarkan antara lain malaria, demam berdarah, chikungunya, dan leptospirosis (Evseeva, Evseeva and Dudarenko, 2021).

Perubahan iklim juga berdampak pada ketersediaan air bersih, yang sangat penting untuk kehidupan manusia dan keberlangsungan ekosistem. Peningkatan suhu dan intensitas hujan dapat mengurangi ketersediaan air bersih, karena berdampak pada siklus air dan ketersediaan sumber daya air. Kekeringan dan banjir juga dapat mempengaruhi ketersediaan air bersih dan memperburuk kualitas air.

Dampak perubahan iklim akibat efek rumah kaca juga dapat mempengaruhi produksi pangan dan pertanian, karena dapat mempengaruhi produktivitas tanaman dan ketersediaan air untuk irigasi. Peningkatan suhu dan kekeringan dapat mengurangi produktivitas pertanian, sementara peningkatan intensitas hujan dapat memicu banjir dan erosi tanah yang berdampak buruk pada lahan pertanian.

Secara keseluruhan, dampak perubahan iklim akibat efek rumah kaca sangat beragam dan kompleks. Dampak tersebut berdampak negatif pada lingkungan dan kesehatan manusia, sehingga membutuhkan tindakan serius dan kolaborasi dari semua pihak untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengurangi dampak perubahan iklim yang tidak diinginkan.

4.4.2 Penjelasan tentang kenaikan suhu global dan peningkatan intensitas fenomena cuaca ekstrem

Kenaikan suhu global dan peningkatan intensitas fenomena cuaca ekstrem adalah dampak dari efek rumah kaca yang semakin memburuk. Kenaikan suhu global dipicu oleh emisi gas rumah kaca dari berbagai kegiatan manusia, seperti industri, transportasi, pertanian, dan lain sebagainya. Akibatnya, terjadi perubahan iklim yang berdampak pada keseimbangan alam dan mengancam keberlangsungan kehidupan di bumi.

Salah satu dampak dari perubahan iklim adalah meningkatnya intensitas fenomena cuaca ekstrem, seperti banjir, kekeringan, badai, topan, dan lain-lain. Fenomena cuaca ekstrem ini dapat mengancam keselamatan dan kesehatan manusia, merusak lingkungan, dan memengaruhi keberlangsungan produksi pangan dan ekonomi.

Contoh studi kasus mengenai dampak perubahan iklim dan cuaca ekstrem dapat dilihat dari bencana banjir dan longsor di Indonesia. Seperti yang terjadi pada Januari 2020, banjir dan longsor yang terjadi di Jakarta dan sekitarnya menyebabkan banyak kerugian materiil dan non-materiil, serta mengancam keselamatan dan kesehatan warga. Kenaikan permukaan air laut juga menjadi ancaman serius bagi pulau-pulau kecil di Indonesia dan negara-negara lain di dunia.

Selain itu, peningkatan suhu global juga berdampak pada kesehatan manusia. Peningkatan suhu dapat memicu timbulnya penyakit infeksi, penyebaran serangga penyebab penyakit, dan peningkatan kadar polutan udara yang berdampak pada masalah kesehatan seperti gangguan pernapasan, kanker, dan penyakit jantung.

Studi kasus lainnya adalah peningkatan intensitas badai di Amerika Serikat. Peningkatan suhu permukaan laut menyebabkan terjadinya badai yang semakin kuat dan sering terjadi. Badai-badai ini dapat mengancam keselamatan warga dan merusak

infrastruktur, seperti yang terjadi pada Badai Katrina di Louisiana pada tahun 2005 dan Badai Sandy di New York pada tahun 2012 (Chow and Elkind, 2005).

Dari dua contoh studi kasus di atas, dapat disimpulkan bahwa perubahan iklim dan fenomena cuaca ekstrem dapat memberikan dampak yang serius bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Oleh karena itu, diperlukan upaya yang serius dari seluruh pihak untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan mencegah perubahan iklim semakin memburuk.

4.4.3 Dampak pada kehidupan manusia dan ekosistem

Efek rumah kaca memiliki dampak yang signifikan pada kehidupan manusia dan ekosistem. Dampak terbesar adalah perubahan iklim global yang dapat mempengaruhi ketersediaan air, hasil panen, dan kesehatan manusia. Selain itu, efek rumah kaca juga dapat menyebabkan kerusakan pada ekosistem seperti perubahan pola migrasi hewan, kepunahan spesies, dan peningkatan intensitas bencana alam.

Salah satu contoh dampak dari efek rumah kaca adalah peningkatan suhu global yang menyebabkan peningkatan kekeringan dan penurunan ketersediaan air. Studi kasus di Australia menunjukkan bahwa peningkatan suhu global telah menyebabkan penurunan curah hujan dan meningkatkan risiko kekeringan. Dampak ini mempengaruhi sektor pertanian dan menyebabkan kerugian ekonomi yang signifikan bagi petani. Selain itu, peningkatan suhu global juga berdampak pada kesehatan manusia dengan meningkatkan risiko terjadinya penyakit seperti demam berdarah dan malaria.

Efek rumah kaca juga dapat menyebabkan perubahan dalam pola migrasi hewan. Studi kasus di Alaska menunjukkan bahwa perubahan iklim telah mempengaruhi migrasi ikan salmon, yang menyebabkan dampak besar pada sektor perikanan. Ikan salmon memiliki peran penting dalam lingkungan Alaska, dan

perubahan pola migrasi mereka dapat mempengaruhi populasi hewan lainnya dan juga kehidupan manusia di sekitar lingkungan tersebut.

Kepunahan spesies juga merupakan dampak serius dari efek rumah kaca. Perubahan iklim yang disebabkan oleh efek rumah kaca dapat mempengaruhi ekosistem dan mengakibatkan kepunahan spesies. Studi kasus di Afrika menunjukkan bahwa perubahan iklim telah menyebabkan penurunan populasi hewan seperti gajah dan badak hitam. Kepunahan spesies ini dapat mempengaruhi keseimbangan lingkungan dan juga menyebabkan kerugian ekonomi bagi masyarakat yang mengandalkan sektor pariwisata (Sulistiyono, 2012).

Terakhir, efek rumah kaca juga dapat menyebabkan peningkatan intensitas bencana alam. Studi kasus di Amerika Serikat menunjukkan bahwa perubahan iklim telah menyebabkan peningkatan intensitas badai dan banjir yang menyebabkan kerusakan pada infrastruktur dan kesehatan manusia. Contohnya adalah Badai Katrina yang terjadi di New Orleans pada tahun 2005 dan menyebabkan kerusakan besar pada kota tersebut.

Secara keseluruhan, efek rumah kaca memiliki dampak yang signifikan pada kehidupan manusia dan ekosistem. Dampak ini mencakup perubahan iklim global, kerusakan pada ekosistem, perubahan pola migrasi hewan, kepunahan spesies, dan peningkatan intensitas bencana alam. Studi kasus di berbagai wilayah di dunia menunjukkan bahwa dampak ini telah mempengaruhi sektor pertanian, Kesehatan.

4.5 Upaya mitigasi efek rumah kaca

Efek rumah kaca telah menjadi salah satu isu lingkungan global yang paling memprihatinkan. Hal ini disebabkan oleh kecenderungan peningkatan suhu global dan perubahan iklim yang semakin terasa. Kondisi ini membutuhkan upaya mitigasi yang signifikan untuk meminimalkan dampaknya terhadap kehidupan

manusia dan lingkungan. Oleh karena itu, bab ini akan membahas upaya mitigasi yang dapat dilakukan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengurangi dampak efek rumah kaca pada lingkungan.

Upaya mitigasi efek rumah kaca melibatkan banyak sektor, termasuk industri, transportasi, pertanian, dan sektor energi. Berbagai strategi dan kebijakan telah diterapkan di berbagai negara di seluruh dunia untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Upaya ini meliputi penggunaan energi terbarukan, efisiensi energi, penggunaan transportasi umum, dan mengurangi penggunaan bahan bakar fosil di sektor industri dan pertanian.

Upaya mitigasi juga melibatkan peran penting individu dalam mengubah perilaku mereka untuk mengurangi dampak efek rumah kaca. Perubahan kecil dalam kebiasaan sehari-hari, seperti penggunaan kendaraan pribadi yang lebih sedikit, pengurangan konsumsi daging, dan penghematan energi di rumah dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam mengurangi emisi gas rumah kaca.

Sub-Bab ini juga akan membahas berbagai studi kasus di seluruh dunia yang menunjukkan keberhasilan dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dan dampak efek rumah kaca pada lingkungan dan kehidupan manusia. Dari strategi dan kebijakan pemerintah hingga proyek-proyek swasta, banyak contoh yang menunjukkan bahwa mitigasi efek rumah kaca dapat dicapai dengan tindakan yang tepat dan kolaborasi yang efektif.

Dengan demikian, Sub-bab ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang upaya mitigasi efek rumah kaca dan menginspirasi individu dan organisasi untuk mengambil tindakan nyata dalam mengurangi dampak efek rumah kaca pada lingkungan dan kehidupan manusia.

4.5.1 Pengurangan emisi gas rumah kaca

Pengurangan emisi gas rumah kaca menjadi salah satu prioritas utama di berbagai negara untuk mengatasi perubahan

iklim yang semakin mengkhawatirkan. Upaya pengurangan ini dilakukan melalui berbagai peraturan dan kebijakan yang diterapkan oleh pemerintah maupun swasta.

Salah satu peraturan yang berlaku di banyak negara adalah sistem perdagangan emisi (*emissions trading system*). Sistem ini memungkinkan perusahaan atau industri untuk membeli atau menjual hak untuk mengeluarkan emisi gas rumah kaca. Perusahaan atau industri yang berhasil mengurangi emisi gas rumah kacanya dapat menjual haknya kepada perusahaan lain yang belum berhasil mengurangi emisinya. Hal ini mendorong perusahaan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca demi mendapatkan keuntungan dari penjualan hak emisi.

Selain itu, beberapa negara juga memberlakukan pajak karbon. Pajak karbon ini dikenakan pada perusahaan atau industri yang mengeluarkan emisi gas rumah kaca. Tujuan dari pajak karbon ini adalah untuk mendorong perusahaan atau industri untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dengan cara menurunkan penggunaan bahan bakar fosil dan beralih ke sumber energi terbarukan.

Di Indonesia, terdapat beberapa peraturan dan kebijakan yang diterapkan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Salah satunya adalah Roadmap Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK) yang ditetapkan pada tahun 2011. RAN-GRK bertujuan untuk menurunkan emisi gas rumah kaca sebesar 26% pada tahun 2020 dan 41% pada tahun 2030 dari tingkat emisi yang diperkirakan akan terjadi tanpa adanya upaya pengurangan emisi.

Selain itu, pemerintah Indonesia juga mengeluarkan kebijakan mengenai penggunaan bahan bakar yang lebih ramah lingkungan seperti penggunaan bahan bakar biodiesel. Bahan bakar biodiesel ini merupakan bahan bakar yang terbuat dari sumber daya alam yang dapat diperbarui seperti minyak kelapa sawit dan minyak jarak. Penggunaan bahan bakar biodiesel ini

dapat mengurangi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor.

Namun, penerapan peraturan dan kebijakan yang bertujuan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca masih menghadapi beberapa kendala, seperti sulitnya pemantauan dan penegakan hukum terhadap perusahaan atau industri yang tidak mematuhi peraturan. Oleh karena itu, diperlukan dukungan dan kerjasama dari semua pihak untuk berhasil mengurangi emisi gas rumah kaca dan memitigasi dampak perubahan iklim yang semakin mengkhawatirkan.

4.5.2 Strategi pengurangan emisi gas rumah kaca di sektor industri, transportasi, dan pertanian

Strategi pengurangan emisi gas rumah kaca di sektor industri, transportasi, dan pertanian dapat dilakukan melalui berbagai cara, antara lain:

1. **Industri:** Salah satu strategi yang dapat dilakukan di sektor industri adalah dengan mengurangi penggunaan energi fosil dan beralih ke sumber energi yang lebih ramah lingkungan, seperti energi terbarukan. Selain itu, penggunaan teknologi yang lebih efisien dan modern dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca. Contohnya, perusahaan dapat memasang sistem penangkapan karbon dioksida atau mengurangi penggunaan bahan kimia yang menghasilkan gas rumah kaca seperti hidrofluorokarbon.
2. **Transportasi:** Strategi pengurangan emisi gas rumah kaca di sektor transportasi dapat dilakukan dengan menggunakan kendaraan yang lebih efisien dan ramah lingkungan seperti mobil listrik atau kendaraan bertenaga hibrida. Selain itu, transportasi massal seperti kereta api atau bus juga dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca. Di sisi lain, masyarakat juga dapat berkontribusi dengan menggunakan

transportasi yang lebih ramah lingkungan seperti sepeda atau berjalan kaki.

3. Pertanian: Salah satu strategi pengurangan emisi gas rumah kaca di sektor pertanian adalah dengan meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk dan pestisida yang menghasilkan gas rumah kaca. Selain itu, pemanfaatan lahan secara berkelanjutan dan praktik pertanian yang ramah lingkungan seperti agroforestry dan pertanian organik juga dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca.

Contoh implementasi dari strategi ini adalah pada sektor industri, perusahaan seperti Coca-Cola Amatil Indonesia telah melakukan investasi pada penggunaan energi terbarukan, yaitu dengan memasang panel surya di salah satu pabriknya di Bandung. Pada sektor transportasi, PT Kereta Api Indonesia (KAI) telah meluncurkan kereta listrik dan kereta bertenaga hibrida untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dari transportasi massal. Sedangkan di sektor pertanian, petani di Desa Ciburuy, Jawa Barat telah mengadopsi praktik pertanian organik untuk mengurangi penggunaan pupuk dan pestisida kimia yang menghasilkan gas rumah kaca (Subarkah, 2019).

Dengan implementasi strategi pengurangan emisi gas rumah kaca di sektor industri, transportasi, dan pertanian, diharapkan dapat mengurangi dampak negatif dari efek rumah kaca pada lingkungan dan kesehatan manusia, serta mendorong terciptanya pembangunan yang berkelanjutan.

4.5.3 Peran masyarakat dalam upaya mitigasi efek rumah kaca

Peran masyarakat sangat penting dalam upaya mitigasi efek rumah kaca karena dampak dari perubahan iklim yang disebabkan oleh efek rumah kaca tidak hanya mempengaruhi lingkungan, tetapi juga berdampak pada kehidupan manusia. Oleh karena itu,

masyarakat perlu melakukan perubahan kecil dalam kehidupan sehari-hari untuk mengurangi emisi gas rumah kaca.

Salah satu contoh peran masyarakat dalam upaya mitigasi efek rumah kaca adalah melalui pengurangan konsumsi energi listrik di rumah. Masyarakat dapat melakukan hal-hal sederhana seperti mematikan lampu saat tidak digunakan, menggunakan peralatan listrik dengan efisiensi energi, dan mengurangi penggunaan pendingin udara. Selain itu, masyarakat juga dapat menggunakan kendaraan dengan efisiensi bahan bakar yang lebih baik atau menggunakan transportasi umum untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dari kendaraan pribadi.

Selain itu, masyarakat juga dapat berperan dalam pengelolaan sampah yang lebih baik, dengan memilah sampah organik dan non-organik, mengurangi penggunaan kantong plastik, dan melakukan daur ulang. Dengan cara ini, emisi gas metana dari sampah organik yang terurai di tempat pembuangan sampah dapat dikurangi.

Contoh lainnya adalah kampanye untuk menanam pohon dan menjaga hutan. Masyarakat dapat melakukan kegiatan penanaman pohon di lingkungan sekitar mereka atau bergabung dalam program penanaman pohon yang diselenggarakan oleh pemerintah atau LSM. Selain menyerap karbon dioksida, pohon juga membantu menjaga kelembaban udara dan mengurangi dampak dari bencana alam seperti banjir dan tanah longsor.

Salah satu contoh studi kasus peran masyarakat dalam upaya mitigasi efek rumah kaca adalah di Kota Copenhagen, Denmark. Pemerintah setempat telah mengeluarkan kebijakan untuk mendorong masyarakat menggunakan sepeda sebagai alat transportasi sehari-hari. Dengan menyediakan infrastruktur yang memadai dan aman bagi pengguna sepeda, seperti jalur sepeda yang terpisah dari jalan raya dan parkir sepeda yang memadai, masyarakat di Kota Copenhagen merespons positif dan lebih banyak menggunakan sepeda untuk beraktivitas sehari-hari.

Akibatnya, emisi gas rumah kaca dari transportasi di Kota Copenhagen berhasil dikurangi sebesar 25% pada tahun 2014 (Dahal and Niemelä, 2017).

Dengan adanya kesadaran dan partisipasi aktif masyarakat dalam upaya mitigasi efek rumah kaca, diharapkan dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca secara signifikan dan memperbaiki kualitas lingkungan hidup.

4.6 Adaptasi terhadap perubahan iklim

Perubahan iklim dan dampak dari efek rumah kaca telah menjadi perhatian global yang semakin meningkat dalam beberapa dekade terakhir. Perubahan ini memengaruhi banyak aspek kehidupan, termasuk kesehatan manusia, ekosistem, dan keamanan pangan. Kita telah menyaksikan fenomena cuaca ekstrem yang semakin sering terjadi, seperti banjir, kekeringan, badai, dan musim panas yang sangat panas. Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan strategi adaptasi untuk menghadapi perubahan iklim yang tidak dapat dihindari.

Adaptasi adalah salah satu tindakan penting yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak perubahan iklim. Tujuan dari adaptasi adalah untuk membantu manusia, ekosistem, dan sektor lain untuk beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang semakin berubah. Adaptasi memungkinkan masyarakat dan komunitas untuk mempersiapkan diri dan meminimalkan dampak yang mungkin terjadi. Selain itu, adaptasi juga membantu dalam membangun ketahanan terhadap perubahan iklim yang akan terus terjadi di masa depan.

Dalam sub-bab ini, akan dibahas berbagai strategi adaptasi yang dapat dilakukan oleh masyarakat dan pemerintah untuk menghadapi perubahan iklim. Berbagai inisiatif dan program yang sedang dilakukan di seluruh dunia untuk meningkatkan adaptasi juga akan dibahas. Selain itu, beberapa contoh studi kasus tentang bagaimana adaptasi telah berhasil dilakukan di beberapa negara

juga akan dijelaskan. Dengan demikian, pembaca akan mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang pentingnya adaptasi dalam menghadapi perubahan iklim dan bagaimana strategi adaptasi dapat dilakukan di tingkat individu maupun masyarakat.

4.6.1 Strategi adaptasi terhadap perubahan iklim

Strategi adaptasi terhadap perubahan iklim adalah upaya untuk mengurangi kerentanan dan meningkatkan kapasitas dalam menghadapi dampak dari perubahan iklim. Tujuannya adalah untuk meminimalkan risiko dan dampak negatif pada kehidupan manusia, ekosistem, dan infrastruktur. Strategi adaptasi melibatkan banyak sektor, termasuk pertanian, kehutanan, perikanan, kesehatan, dan infrastruktur.

Salah satu strategi adaptasi yang umum digunakan adalah pengembangan teknologi dan infrastruktur yang tahan terhadap perubahan iklim. Ini mencakup pembangunan bangunan tahan gempa, pengembangan sistem irigasi yang lebih efisien, dan penggunaan teknologi energi terbarukan. Selain itu, strategi adaptasi juga melibatkan pengembangan sistem peringatan dini untuk bencana alam seperti banjir, kekeringan, dan badai tropis.

Di sektor pertanian, strategi adaptasi melibatkan pengembangan varietas tanaman yang tahan terhadap perubahan iklim dan penggunaan teknik pertanian yang lebih efisien dan berkelanjutan. Di sektor perikanan, strategi adaptasi melibatkan pengelolaan sumber daya laut yang lebih baik dan pengembangan budidaya ikan yang lebih efisien dan berkelanjutan. Di sektor kesehatan, strategi adaptasi melibatkan pengembangan sistem kesehatan yang lebih tanggap terhadap dampak perubahan iklim dan pengembangan program vaksinasi yang lebih efektif.

Salah satu contoh strategi adaptasi yang berhasil dilakukan adalah proyek Pembangunan Adaptasi di Daerah Aliran Sungai Citarum (PADACS) di Indonesia. Proyek ini bertujuan untuk meningkatkan kapasitas masyarakat dalam menghadapi dampak

perubahan iklim di wilayah aliran Sungai Citarum. Strategi yang dilakukan meliputi pengembangan sistem irigasi yang lebih efisien, peningkatan kapasitas petani dalam manajemen irigasi dan budidaya tanaman, pengembangan teknologi pengolahan air limbah yang lebih efektif, serta pengembangan sistem peringatan dini banjir dan kekeringan (Boer *et al.*, 2013)(BPLH Kota Bandung, 2013).

Secara keseluruhan, strategi adaptasi terhadap perubahan iklim adalah upaya yang sangat penting untuk mengurangi kerentanan dan risiko dampak perubahan iklim pada kehidupan manusia, ekosistem, dan infrastruktur.

4.6.2 Upaya adaptasi terhadap dampak efek rumah kaca pada sektor pertanian, kesehatan, dan infrastruktur

Perubahan iklim akibat efek rumah kaca berdampak luas pada berbagai sektor, termasuk sektor pertanian, kesehatan, dan infrastruktur. Oleh karena itu, diperlukan upaya adaptasi yang tepat untuk mengurangi dampak buruk dari perubahan iklim tersebut. Berikut adalah penjelasan mengenai upaya adaptasi terhadap dampak efek rumah kaca pada ketiga sektor tersebut:

1. Sektor Pertanian

Perubahan iklim berdampak pada produktivitas pertanian, baik kualitas maupun kuantitas produksinya. Beberapa upaya adaptasi yang bisa dilakukan antara lain adalah pemilihan varietas tanaman yang toleran terhadap perubahan iklim, pengaturan pola tanam yang tepat, dan penerapan teknologi pertanian yang ramah lingkungan. Contoh kasus dari upaya adaptasi pada sektor pertanian adalah di India, di mana petani mengalihkan pertanian mereka dari padi ke tanaman jagung yang lebih tahan terhadap kondisi lingkungan yang lebih kering.

2. Sektor Kesehatan

Perubahan iklim juga berdampak pada kesehatan manusia. Penyebaran penyakit seperti malaria, demam berdarah, dan infeksi saluran pernapasan yang terkait dengan iklim dapat meningkat akibat perubahan iklim tersebut. Upaya adaptasi yang bisa dilakukan di sektor kesehatan adalah dengan meningkatkan kapasitas sistem kesehatan untuk menghadapi kenaikan kasus penyakit yang terkait dengan perubahan iklim, seperti peningkatan kapasitas rumah sakit dan fasilitas kesehatan, serta meningkatkan kapasitas tenaga kesehatan. Contoh kasus dari upaya adaptasi pada sektor kesehatan adalah di Kenya, di mana program pemantauan penyakit dibuat untuk memprediksi penyebaran penyakit malaria berdasarkan faktor-faktor iklim.

3. Sektor Infrastruktur

Perubahan iklim juga berdampak pada infrastruktur, seperti kerusakan jalan dan jembatan akibat banjir dan tanah longsor. Upaya adaptasi yang bisa dilakukan di sektor infrastruktur adalah dengan merancang infrastruktur yang lebih tahan terhadap perubahan iklim, seperti jalan dan jembatan yang lebih tinggi, sistem drainase yang lebih baik, dan konstruksi bangunan yang lebih tahan terhadap bencana alam. Contoh kasus dari upaya adaptasi pada sektor infrastruktur adalah di Bangladesh, di mana infrastruktur jalan dan jembatan dibangun dengan mempertimbangkan risiko banjir dan tanah longsor yang lebih tinggi akibat perubahan iklim.

Dalam semua sektor tersebut, upaya adaptasi yang dilakukan perlu didukung oleh kolaborasi antarlembaga, termasuk antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat. Upaya adaptasi yang efektif dapat membantu mengurangi dampak buruk dari perubahan iklim, menjaga keberlanjutan sektor-sektor tersebut,

dan meningkatkan ketahanan masyarakat terhadap perubahan iklim.

4.6.3 Peran pemerintah dalam upaya adaptasi terhadap perubahan iklim

Peran pemerintah sangat penting dalam upaya adaptasi terhadap perubahan iklim, mengingat dampak dari perubahan iklim bersifat lintas sektor dan bersifat global. Beberapa upaya yang dapat dilakukan oleh pemerintah dalam hal ini antara lain:

1. Kebijakan Penanggulangan Bencana Alam: Pemerintah dapat membuat kebijakan untuk mengurangi dampak dari bencana alam akibat perubahan iklim, seperti banjir, tanah longsor, dan kekeringan. Upaya ini dilakukan melalui penyediaan informasi, pengembangan sistem peringatan dini, dan pembangunan infrastruktur untuk mengurangi risiko bencana alam.
2. Penyusunan Rencana Tata Ruang: Pemerintah dapat menentukan rencana tata ruang yang memperhitungkan dampak perubahan iklim pada lingkungan dan masyarakat. Hal ini meliputi penetapan kawasan konservasi, pengaturan pemanfaatan lahan, dan pemanfaatan sumber daya alam secara berkelanjutan.
3. Pembangunan Infrastruktur yang Tahan Terhadap Perubahan Iklim: Pemerintah dapat membangun infrastruktur yang tahan terhadap perubahan iklim, seperti jalan raya yang tahan terhadap banjir, bangunan yang tahan terhadap gempa bumi, dan sistem pengolahan air yang memperhitungkan risiko kekeringan.
4. Pengembangan Teknologi Ramah Lingkungan: Pemerintah dapat mendukung pengembangan teknologi yang ramah lingkungan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya alam. Contohnya adalah pengembangan teknologi energi

terbarukan, transportasi umum yang ramah lingkungan, dan sistem pengelolaan limbah yang efektif.

5. Penyediaan Informasi dan Pendidikan: Pemerintah dapat menyediakan informasi dan pendidikan tentang perubahan iklim, risiko yang terkait, dan upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi dampaknya. Pendidikan ini dapat diselenggarakan di sekolah, lembaga pendidikan tinggi, dan masyarakat umum.
6. Kerja Sama Internasional: Pemerintah dapat melakukan kerja sama internasional dalam upaya mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengatasi dampak perubahan iklim secara global. Hal ini meliputi partisipasi dalam perjanjian internasional seperti Protokol Kyoto dan Persetujuan Paris.

Dengan adanya peran pemerintah yang aktif dan melibatkan berbagai sektor, diharapkan dapat meningkatkan kapasitas masyarakat dalam menghadapi perubahan iklim dan mengurangi dampaknya.

4.7 Kesimpulan

Kesimpulan menjadi bagian yang penting dalam sebuah penulisan karena di sini, kita dapat merangkum seluruh isi dari tulisan tersebut. Dalam sub-bab ini, penulis akan mengevaluasi kembali seluruh tulisan yang telah dibahas dan merangkum semua poin penting yang telah disampaikan. Kesimpulan juga dapat memberikan pandangan baru atau saran-saran untuk tindakan selanjutnya yang dapat dilakukan terkait dengan topik yang dibahas.

Dalam tulisan ini, kita telah membahas secara mendalam mengenai efek rumah kaca dan dampak yang ditimbulkan pada lingkungan dan kehidupan manusia. Selain itu, kita juga telah membahas berbagai strategi yang dapat dilakukan untuk

mengurangi emisi gas rumah kaca dan melakukan adaptasi terhadap perubahan iklim yang terjadi.

Melalui sub-bab kesimpulan ini, kita akan menarik kesimpulan dan mempertegas kembali pentingnya upaya mitigasi dan adaptasi dalam menghadapi perubahan iklim yang semakin mengkhawatirkan. Kita akan menegaskan kembali bahwa setiap individu, institusi, dan pemerintah perlu berperan aktif dalam upaya-upaya ini.

Dalam sub-bab ini, penulis akan menunjukkan bahwa setiap orang memiliki peran penting dalam memerangi efek rumah kaca dan perubahan iklim. Selain itu, penulis juga dapat memberikan saran-saran praktis yang dapat dilakukan oleh setiap orang untuk membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan melakukan adaptasi terhadap perubahan iklim.

Kesimpulan dapat memberikan gambaran yang jelas tentang bagaimana perubahan iklim mempengaruhi kehidupan manusia dan lingkungan serta betapa pentingnya tindakan kita untuk melindungi bumi ini. Melalui kesimpulan, kita dapat memberikan pandangan yang optimis tentang masa depan dan bagaimana kita semua dapat berkontribusi untuk menjaga bumi agar tetap sehat dan lestari.

Dalam sub-bab kesimpulan ini, kita akan mengakhiri tulisan ini dengan harapan bahwa penulisan ini dapat memberikan wawasan dan pemahaman yang lebih baik tentang efek rumah kaca dan perubahan iklim. Selain itu, kita juga berharap tulisan ini dapat memberikan inspirasi bagi pembaca untuk melakukan tindakan nyata yang dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan menerapkan strategi adaptasi untuk menghadapi perubahan iklim yang semakin meruncing.

4.8 Ringkasan pembahasan

Efek rumah kaca adalah fenomena alamiah yang memungkinkan bumi mempertahankan suhu yang nyaman bagi kehidupan dengan menahan sebagian besar panas yang dipancarkan kembali oleh permukaan bumi. Namun, peningkatan emisi gas rumah kaca oleh manusia telah mengubah keseimbangan alamiah ini dan mempercepat pemanasan global.

Emisi gas rumah kaca terutama berasal dari sektor industri, transportasi, dan pertanian. Beberapa upaya mitigasi yang dapat dilakukan di sektor-sektor ini antara lain meningkatkan efisiensi energi, mengurangi penggunaan bahan bakar fosil, dan memperkenalkan teknologi bersih. Selain itu, masyarakat juga dapat berkontribusi dalam upaya mitigasi dengan mengadopsi perilaku ramah lingkungan.

Dampak perubahan iklim akibat efek rumah kaca sangat beragam, termasuk kenaikan suhu global, peningkatan intensitas fenomena cuaca ekstrem, kerusakan lingkungan, dan dampak kesehatan. Oleh karena itu, diperlukan upaya adaptasi untuk mengurangi kerentanan terhadap dampak perubahan iklim. Beberapa strategi adaptasi meliputi pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan, pengembangan teknologi adaptasi, dan peningkatan kapasitas masyarakat untuk mengatasi perubahan iklim.

Pemerintah memegang peran penting dalam upaya mitigasi dan adaptasi terhadap efek rumah kaca. Pemerintah dapat memberlakukan kebijakan dan regulasi yang mempromosikan energi bersih dan teknologi ramah lingkungan, serta memberikan dukungan finansial dan teknis untuk proyek-proyek mitigasi dan adaptasi. Selain itu, pemerintah dapat memperkuat sistem peringatan dini untuk fenomena cuaca ekstrem dan membangun infrastruktur yang tahan terhadap perubahan iklim.

Kesimpulannya, efek rumah kaca merupakan masalah global yang membutuhkan upaya bersama dari berbagai pihak untuk mengatasi dampaknya. Melalui mitigasi dan adaptasi yang tepat, diharapkan dapat meminimalkan dampak negatif perubahan iklim dan meningkatkan ketahanan lingkungan dan sosial.

4.8.1 Implikasi bagi kebijakan dan tindakan masa depan

Pembahasan mengenai efek rumah kaca memiliki implikasi besar bagi kebijakan dan tindakan di masa depan. Beberapa implikasi penting yang dapat ditemukan dari pembahasan ini adalah:

- a. Kebijakan mitigasi harus terus ditingkatkan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan mencegah peningkatan suhu global yang lebih tinggi di masa depan. Ini akan membutuhkan kerja sama antara negara-negara dan sektor-sektor dalam mengurangi emisi gas rumah kaca, termasuk di sektor industri, transportasi, dan pertanian.
- b. Adopsi teknologi dan inovasi baru dalam berbagai sektor industri dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan mendorong perkembangan ekonomi yang berkelanjutan. Pemerintah, bisnis, dan masyarakat harus bekerja sama untuk mengembangkan teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan.
- c. Adapun dampak perubahan iklim dan efek rumah kaca, maka penting untuk mengembangkan strategi adaptasi untuk mengatasi dampak-dampak tersebut di berbagai sektor, termasuk pertanian, kesehatan, dan infrastruktur. Pemerintah dan masyarakat perlu mempersiapkan diri untuk menghadapi perubahan iklim yang semakin parah dan mengurangi kerentanan terhadap dampak-dampak tersebut.
- d. Dalam hal ini, penting bagi pemerintah untuk meningkatkan pemahaman dan kesadaran masyarakat

mengenai dampak perubahan iklim dan efek rumah kaca serta upaya yang perlu dilakukan untuk mengatasi perubahan iklim ini. Pendidikan, informasi, dan kampanye kesadaran harus terus didorong untuk mendorong partisipasi masyarakat dalam upaya mitigasi dan adaptasi.

Dalam rangka mengatasi masalah efek rumah kaca dan perubahan iklim secara keseluruhan, kolaborasi antar sektor dan antar negara perlu terus ditingkatkan. Diperlukan upaya bersama dalam mengembangkan dan menerapkan kebijakan yang efektif untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, meningkatkan adaptasi, serta mendorong pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

4.8.2 Implikasi bagi kebijakan dan tindakan masa depan

Berikut adalah beberapa saran yang dapat saya berikan bagi pembaca tulisan mengenai topik efek rumah kaca ini bagi kepentingan adaptasi dan mitigasi perubahan iklim Indonesia:

1. Kesadaran dan partisipasi aktif masyarakat sangat penting dalam upaya adaptasi dan mitigasi perubahan iklim. Masyarakat dapat berperan aktif dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dengan cara mengurangi konsumsi energi dan sumber daya alam yang tidak terbarukan, seperti mengurangi penggunaan kendaraan bermotor dan menggunakan sumber energi terbarukan.
2. Pemerintah harus memperhatikan aspek lingkungan dalam kebijakan pembangunan dan memprioritaskan penggunaan energi terbarukan, serta menyeimbangkan kepentingan ekonomi dan lingkungan dalam pembangunan.
3. Pemerintah juga dapat mendorong pengembangan teknologi ramah lingkungan dan energi terbarukan, serta

memberikan insentif bagi perusahaan yang berinvestasi pada teknologi tersebut.

4. Penting untuk melakukan edukasi dan kampanye mengenai pentingnya mitigasi dan adaptasi perubahan iklim kepada masyarakat, termasuk para pelaku industri dan petani. Dengan begitu, mereka dapat memahami dampak dari kegiatan mereka terhadap lingkungan dan dapat mengambil tindakan yang lebih ramah lingkungan.
5. Kerjasama internasional dalam mengatasi perubahan iklim juga sangat penting. Indonesia harus memperkuat kerjasama dengan negara-negara lain dalam upaya mitigasi dan adaptasi perubahan iklim, serta memperjuangkan kepentingan Indonesia di forum internasional.
6. Pemerintah dan masyarakat Indonesia harus bersiap menghadapi dampak perubahan iklim yang tidak dapat dihindari. Oleh karena itu, diperlukan upaya adaptasi yang tepat, seperti membangun infrastruktur yang tahan terhadap bencana alam dan menyediakan fasilitas kesehatan yang memadai untuk mengatasi dampak kesehatan akibat perubahan iklim.
7. Terakhir, penting untuk terus melakukan penelitian dan pengembangan mengenai efek rumah kaca dan perubahan iklim, termasuk mengembangkan strategi mitigasi dan adaptasi yang lebih efektif. Dengan begitu, kita dapat mengurangi dampak perubahan iklim dan mengoptimalkan potensi sumber daya alam untuk kepentingan manusia dan lingkungan

DAFTAR PUSTAKA

- Adicita, Y., Apritama, M. R. and Afifah, A. S. 2020. 'Multi Criteria Decision Making pada Strategi Pengolahan Sampah Padat Perkotaan', *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, 5(2), p. 191. doi: 10.31544/jtera.v5.i2.2020.191-200.
- Anggraeni, D. Y. 2015. '94772-ID-pengungkapan-emisi-gas-rumah-kaca-kinerj', 12(2), pp. 188–209.
- Berger, A. and Tricot, C. (1992) 'The greenhouse effect', *Surveys in Geophysics*, 13(6), pp. 523–549. doi: 10.1007/BF01904998.
- Boer, R. *et al.* 2013. 'Climate Change Mitigation and Adaptation Action Plans Under Framework Water Resource Management at Citarum River Basin', (mm), p. 53.
- BPLH Kota Bandung. 2013. 'Rencana Aksi Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim dalam Kerangka Pengelolaan Sumberdaya Air DAS Citarum di Kota Bekasi', p. 68.
- Chow, E. and Elkind, J. 2005. 'Hurricane Katrina and US energy security', *Survival*, 47(4), pp. 145–160. doi: 10.1080/00396330500433449.
- Couto, N. *et al.* 2012. 'Computational Fluid Dynamics Analysis of Greenhouses with Artificial Heat Tube', *World Journal of Mechanics*, 02(04), pp. 181–187. doi: 10.4236/wjm.2012.24022.
- Dahal, K. and Niemelä, J. 2017. 'Cities' greenhouse gas accounting methods: A study of Helsinki, Stockholm, and Copenhagen', *Climate*, 5(2), pp. 1–13. doi: 10.3390/cli5020031.
- Erbach, G. and Foukalová, N. 2022. 'BRIEFING EU Legislation in Progress Review of the EU ETS "Fit for 55" package', *European Parliament*, (July).
- Evseeva, O., Evseeva, S. and Dudarenko, T. 2021. 'The impact of human activity on the global warming', *E3S Web of Conferences*, 284, pp. 1–9. doi: 10.1051/e3sconf/202128411017.

- FAO. 2021. 'Emissions due to agriculture. Global, regional and country trends 2000–2018. FAOSTAT Analytical Brief Series No 18. Rome Cover', *No.18*, 7(1), pp. 87–98.
- Finahari, I. N., Djati, H. and Susiati, H. 2007. 'Gas CO₂ dan Polutan Radioaktif dari PLTU Batubara', *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 9(1), pp. 1–8.
- Fleming, J. R. 1999. 'Joseph Fourier, the "greenhouse effect", and the quest for a universal theory of terrestrial temperatures', *Endeavour*, 23(2), pp. 72–75. doi: 10.1016/S0160-9327(99)01210-7.
- Johnke, B. *et al.* 2000. 'EMISSIONS FROM WASTE INCINERATION: Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories', *Ipcc*, pp. 455–468.
- Kweku, D. *et al.* 2018. 'Greenhouse Effect: Greenhouse Gases and Their Impact on Global Warming', *Journal of Scientific Research and Reports*, 17(6), pp. 1–9. doi: 10.9734/jsrr/2017/39630.
- Mann, M. E., Bradley, R. S. and Hughes, M. K. 1998. 'Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries', *Nature*, 392(6678), pp. 779–787. doi: 10.1038/33859.
- Mikhaylov, A. *et al.* 2020. 'Global climate change and greenhouse effect', *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 7(4), pp. 2897–2913. doi: 10.9770/jesi.2020.7.4(21).
- Muhamad Iqbal, F. and Ruhaeni, N. 2022. 'Pengaturan Emisi Gas Rumah Kaca Berdasarkan Protokol Kyoto Dan Implementasinya Di Indonesia', *Jurnal Dinamika Global*, 7(02), pp. 223–244. doi: 10.36859/jdg.v7i02.1071.
- Penman, J. *et al.* 2006. '2006 IPCC - Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories', *Directrices para los inventarios nacionales GEI*, p. 12.

- Pratama, R. *et al.* 2013. 'The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change', *Surveys in Geophysics*, 3(1)(2), pp. 523–549. doi: 10.9734/jsrr/2017/39630.
- Pratama, R. 2019. 'Efek Rumah Kaca Terhadap Bumi', *Cetak) Buletin Utama Teknik*, 14(2), pp. 1410–4520.
- Presiden Republik Indonesia. 2011. 'Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 61 Tahun 2011 Tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca', *Sekretariat Negara : Jakarta*, (September 2011), pp. 1–60.
- Saharjo, B. H. and Yungan, A. 2014. 'Pengaruh kebijakan dalam upaya pengendalian kebakaran hutan dan lahan terhadap penurunan emisi gas rumah kaca', *Jurnal Silvikultur Tropika*, 05(2), pp. 124–130.
- Subarkah, H. R. 2019. 'Upaya Multinational Corporation (MNC) Dalam Mengatasi Perubahan Iklim (Studi Kasus: Coca- Cola Mengatasi Perubahan Iklim)', 3(December 2019), pp. 110–123. doi: 10.34010/gpsjournal.v3i2.
- Sulistiyono. 2012. 'Pemanasan Global (Global Warming) Dan Hubungannya Dengan Penggunaan Bahan Bakar Fosil', *Jurnal Forum Teknologi*, 2(2), pp. 47–56.
- Tinham, B. 2012. 'Cool solutions', *Plant Engineer*, 56(JULY-AUGUST), pp. 20–21.
- U. S. Environmental Protection Agency. 2009. 'Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2007, Chapter 8: Waste, EPA 430-R-09-004', pp. 1–458.

BAB 5

PEMANASAN GLOBAL

Oleh Robert Tua Siregar

5.1 Pendahuluan

Pembakaran bahan bakar fosil menghasilkan emisi gas rumah kaca yang bertindak seperti selimut yang menyelimuti Bumi, menjebak panas matahari dan menaikkan suhu. Contoh emisi gas rumah kaca yang menyebabkan perubahan iklim antara lain karbon dioksida dan metana. Ini berasal dari penggunaan bensin untuk mengendarai mobil atau batu bara untuk memanaskan gedung, misalnya. Pembukaan lahan dan hutan juga dapat melepaskan karbon dioksida. TPA untuk sampah merupakan sumber utama emisi metana. Energi, industri, transportasi, bangunan, pertanian, dan penggunaan lahan adalah beberapa penghasil emisi utama (Sharma and Singh, 2016).

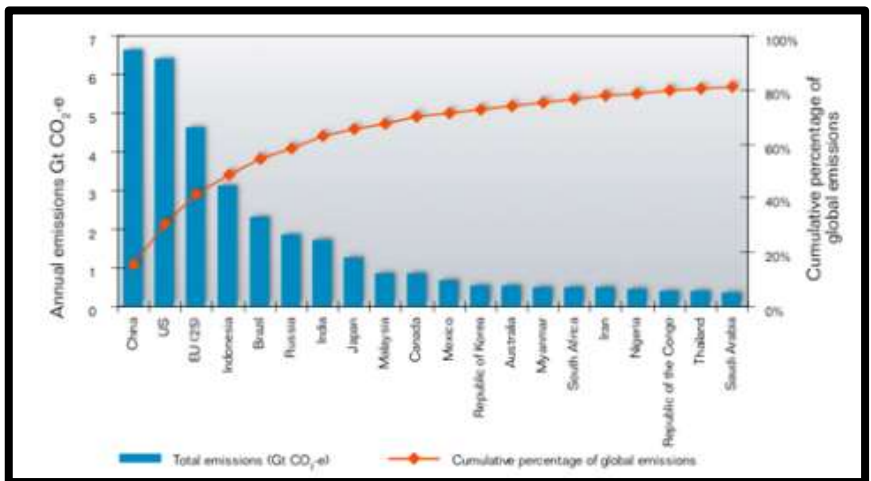
Dan emisi terus meningkat. Akibatnya, Bumi sekarang 1,1°C lebih hangat daripada di akhir tahun 1800-an. Dekade terakhir (2011-2020) adalah rekor terpanas. Banyak orang mengira perubahan iklim terutama berarti suhu yang lebih hangat. Tapi kenaikan suhu hanyalah awal dari cerita. Karena Bumi adalah sebuah sistem, di mana semuanya terhubung, perubahan di satu area dapat memengaruhi perubahan di area lainnya (Polade *et al.*, 2014). Konsekuensi dari perubahan iklim sekarang termasuk, antara lain, kekeringan hebat, kelangkaan air, kebakaran hebat, naiknya permukaan laut, banjir, pencairan es kutub, bencana badai dan penurunan keanekaragaman hayati.

Indonesia adalah negara terpadat keempat dan penghasil gas rumah kaca yang signifikan karena deforestasi dan perubahan penggunaan lahan (WRI, 2005). Indonesia terdiri dari hampir dua

juta km persegi tanah, yang sebagian besar ditutupi oleh hutan. Namun, deforestasi dan penggunaan lahan perubahan diperkirakan mencapai 2 juta hektar (ha) per tahun dan menyumbang 85% dari emisi gas rumah kaca tahunan Indonesia (WRI, 2002) ((ADB), 2021). tanah hutan Indonesia juga mendukung tingkat keanekaragaman hayati yang sangat tinggi, yang pada gilirannya, mendukung beragam kehidupan dan jasa ekosistem. Itu kombinasi kepadatan penduduk yang tinggi dan tinggi tingkat keanekaragaman hayati bersama dengan mengejutkan 80.000 km garis pantai dan 17.508 pulau, menjadikan Indonesia salah satu yang paling rentan negara terhadap dampak perubahan iklim (Hasibuan, 2014).

5.2 Kontribusi Indonesia Terhadap Emisi Gas Rumah Kaca

Indonesia melepaskan sekitar 3000 juta t CO₂ e setiap tahunnya, yaitu sekitar setengah volume emisi AS, sehingga Indonesia menjadi salah satu terbesar penghasil emisi rumah kaca seperti pada (Gambar. 5.1).



Gambar 5.1. Penghasil emisi gas rumah kaca 20 terbesar: total emisi dan pangsa kumulatif (%) dari emisi global; Tahun 2004
Sumber: Garnaut (2008) (Wijaya *et al.*, 2017)

Emisi ini mencapai 34% dari emisi global yang disebabkan oleh penggunaan lahan, perubahan penggunaan lahan dan kehutanan (LULUCF) (Measey, 2010). Indonesia memiliki kawasan hutan yang sangat luas. Sekitar 24 miliar ton karbon disimpan dalam tumbuh-tumbuhan dan tanah, dan 80% darinya, yaitu sekitar 19 Bt C, disimpan dalam hutan tegakan (status 2003). Diluar 108 juta ha kawasan hutan (tahun 2005) Indonesia hampir setengahnya dalam kondisi buruk dan terdegradasi. Luas hutan di Indonesia mengalami penurunan dalam 10 tahun (1995 sampai 2005) dari 50,2% menjadi 48,8% dari luas total luas lahan (Herzog and Billings, 2005). Kebakaran hutan menyumbang 57% dari total deforestasi dan lahan konversi. Di Indonesia kebakaran ini dapat mencakup jutaan hektar dan dapat berlangsung selama berminggu-minggu, kadang-kadang bahkan berbulan-bulan, seringkali membakar lapisan gambut yang tebal di area yang luas.

Perkembangan ini berdampak besar pada siklus karbon global, pada iklim lokal dan global regulasi, tentang keanekaragaman hayati, tanah, air, dan produktivitas laut pesisir (Shah, 2008).

Indonesia juga serius produsen dan pengguna minyak mentah, gas alam dan batubara di wilayah tersebut. Indonesia hanya menempati peringkat ekonomi terbesar ke-22 di dunia, tetapi memiliki tingkat ekonomi tertinggi keempat emisi gas rumah kaca setelah China, Amerika Serikat dan Uni Eropa (25 negara). Emisi gas rumah kaca dari sektor pertanian dan limbah sangat kecil, terutama berasal dari produksi beras. Pertanian merupakan penyumbang utama metana (CH_4) dan dinitrogen oksida (N_2O) emisi. Emisi dari sektor energi dan transportasi memang kecil, tetapi berkembang sangat pesat (Mani, Markandya and Ipe, 2008).

5.2.1 Indonesia sebagai korban Perubahan Iklim Global

Di sisi lain, Indonesia juga akan menjadi korban utama Perubahan Iklim Global. Itu kombinasi kepadatan populasi yang tinggi di beberapa pulau dan tingkat keanekaragaman hayati yang tinggi, secara bersama-sama dengan garis pantai sepanjang 80.000 kilometer dan 17.500 pulau, menjadikan Indonesia salah satu negara yang paling rentan negara terhadap dampak Perubahan Iklim. Berikut adalah beberapa masalah yang dihadapi Indonesia dengan atau harus mengatasi di masa depan:

Suhu

Para ahli memperkirakan pemanasan sekitar $0,3^\circ\text{C}$ per dekade di Indonesia selama abad ini. Sederhana ini peningkatan tetap akan menghasilkan

- a) Perubahan dalam siklus hidrologi, yaitu akan mengubah evaporasi, transpirasi, limpasan, tanah kelembaban, dan pada gilirannya, presipitasi,
- b) Permintaan air yang lebih tinggi oleh tumbuh-tumbuhan, tanaman, hewan dan manusia,
- c) Kehilangan air yang lebih tinggi ke atmosfer melalui penguapan dari reservoir,

- d) Kebutuhan listrik yang lebih tinggi untuk pendinginan, ventilasi dll.,
- e) Lebih banyak tekanan pada semua makhluk hidup dan migrasi keluar atau kepunahan spesies,
- f) Lebih banyak masalah hama dan penyakit, termasuk malaria, demam berdarah dll.,
- g) Pemanasan laut, mempengaruhi perikanan serta keanekaragaman hayati laut,
- h) Kenaikan permukaan laut (ekspansi termal badan air laut yang dikombinasikan dengan pencairan gletser dan tudung es kutub).

Curah Hujan, Kekeringan dan Banjir

Model memprediksi peningkatan curah hujan di pulau-pulau di Indonesia, dengan perubahan terbesar berada di Maluku. Borneo bisa menjadi 10 hingga 30% lebih basah pada tahun 2080-an. meningkatnya curah hujan selama musim hujan akan menyebabkan risiko banjir yang lebih tinggi (Case, Ardiansyah and Spector, 2007). Akan ada perubahan musim curah hujan: Kemungkinan besar hujan akan datang kemudian, intensitas hujan akan lebih tinggi setelah musim hujan dimulai dan kemudian akan menjadi lebih kering selama musim hujan bulan-bulan musim panas. Ini berarti musim hujan jauh lebih singkat, dengan musim kemarau hampir tanpa hujan beberapa daerah (Bose, 2016). Karena curah hujan menurun selama masa-masa kritis tahun ini, ini berarti kekeringan yang lebih tinggi risiko, akibatnya penurunan hasil panen, ketidakstabilan ekonomi dan lebih drastis orang kurang gizi (Tyler and Moench, 2012).

Intensitas Hujan

Badai hujan lebat akan menjadi lebih umum dan lebih intens di masa depan karena peningkatannya kelembaban tersedia untuk kondensasi, yang sekali lagi disebabkan oleh suhu yang lebih

tinggi (Prinz, 2009). Peristiwa hujan yang lebih intens meningkatkan risiko erosi tanah, sedimentasi dasar sungai dan waduk, banjir dan dapat memiliki dampak sosial dan ekonomi yang besar. Para ilmuwan memperkirakan untuk daerah tropis lembab curah hujan dalam peristiwa ekstrim akan naik sekitar 6 persen untuk setiap kenaikan suhu satu derajat Celcius ((ADB), 2021).

Isi Ulang Air Tanah

Peningkatan variabilitas/intensitas presipitasi dapat menurunkan resapan air tanah di daerah lembab karena kejadian hujan deras yang lebih sering dapat mengakibatkan kapasitas infiltrasi tanah

terlampaui lebih sering (Prinz, 2009). Dampak terhadap Pertanian dan Ketahanan Pangan Perubahan yang diantisipasi dalam siklus hidrologi bersamaan dengan berkurangnya kesuburan tanah dan semakin tinggi serangan hama dan penyakit akan berdampak negatif terhadap produksi pertanian. Perubahan iklim kemungkinan akan mengurangi kesuburan tanah sebesar 2 sampai 8 persen, yang mengakibatkan penurunan hasil padi yang diproyeksikan. Di sana merupakan risiko yang sangat tinggi terhadap penurunan ketahanan pangan serta berkurangnya pendapatan dari non pangan komoditas (kopi, kakao, teh, karet dll) dalam beberapa dekade mendatang (Mani, Markandya and Ipe, 2008).

Kenaikan Permukaan Laut

Perubahan iklim yang disebabkan perubahan laut membuat Indonesia sangat rentan:

- a) Indonesia adalah negara kepulauan terbesar di dunia;
- b) 17.500 pulau nya membentang lebih dari 5.000 ribu kilometer Timur ke Barat, atau seperdelapan dari lingkaran dunia;
- c) Total luas lautnya empat kali lebih besar dari luas daratan.

Hal ini dapat di Diproyeksikan, bahwa:

1. Permukaan laut rata-rata di Indonesia akan meningkat setinggi 0,9 cm per tahun selama abad ini,
2. Bentangan luas dataran pantai akan tergenang pada akhir abad ini,
3. Negara bisa kehilangan 2000 pulau pada tahun 2030,
4. Ibu kota Jakarta akan paling menderita akibat kenaikan permukaan laut seperti halnya sebagian besar teluk Jakarta
5. Tenggelam sebesar 0,8 cm per tahun karena pemompaan air tanah yang berlebihan
6. Budidaya ikan dan udang di wilayah pesisir akan terpengaruh (South *et al.*, 2007)

Hal ini menggambarkan bahwa perubahan iklim yang dikaibatkan oleh perubahan laut memberi dampak kepada wilayah pesisir. Akibatnya, ribuan buruh bisa kehilangan pekerjaan dan banyak petani akan kehilangan pekerjaan untuk mencari sumber pendapatan lain.

Lingkungan Laut

Karena perubahan iklim, air laut Indonesia akan menjadi lebih hangat 0,2 hingga 2,50C selama iniabad dan akan lebih asam. Bersamaan dengan polusi air berbasis lahan, perusakan mangrove hutan di sepanjang pantai dan penangkapan ikan berlebihan, lingkungan laut sangat menderita. Lagi dari 50% terumbu karang di sekitar Jawa dan Bali ditemukan memutih (Herzog and Billings, 2005).

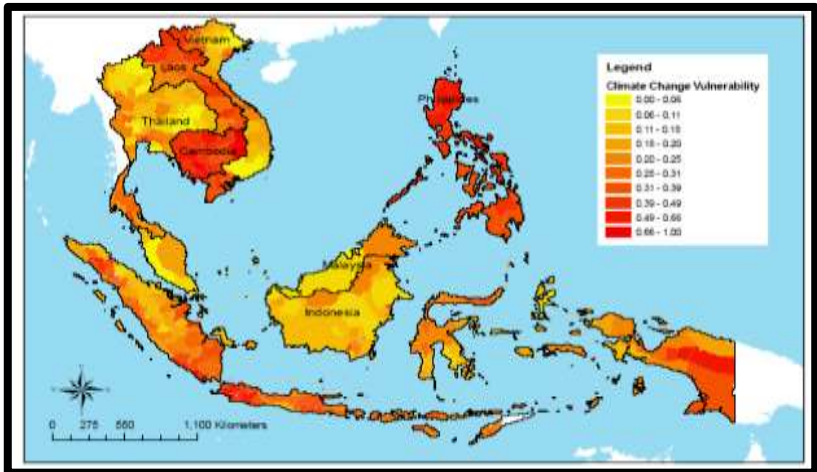
Ada sejumlah implikasi langsung dan tidak langsung dari perubahan iklim terhadap perikanan di Indonesia.

5.2.2 Pemetaan Kerentanan

Sebuah survei tentang kerentanan berbagai wilayah di Asia Tenggara terhadap dampak Iklim Global Perubahan (Gbr. 2), mengungkapkan, bahwa kabupaten Jakarta keluar sebagai daerah paling rentan di Asia Tenggara (Yusuf dan Francisco 2009). Hal ini karena kabupaten ini adalah persimpangan dari semua bahaya terkait iklim, kecuali siklon tropis. Hal ini sering terkena banjir biasa tapi yang terpenting, ini sangat sensitif karena merupakan salah satu daerah berpenduduk paling padat di Asia Tenggara. Daerah di Jawa bagian barat juga sangat rentan karena paparan yang berlipat ganda bahaya (yaitu, banjir dan tanah longsor) serta memiliki kepadatan penduduk yang tinggi. Asesmen dilakukan dengan overlay berbagai peta mengikuti asesmen kerentanan kerangka kerja Panel Antarpemerintah tentang Perubahan Iklim PBB (IPCC).

Pemetaan kerentanan meliputi:

1. Lima bahaya iklim yang berbeda: frekuensi kekeringan, banjir, dan siklon, paparan fisik tanah longsor, dan zona genangan air laut setinggi lima meter kenaikan tingkat,
2. Kepekaan manusia dan ekologi terhadap perubahan iklim, yang meliputi kepadatan penduduk,
3. Kapasitas adaptif, terdiri dari faktor sosial ekonomi, teknologi dan infrastruktur.



Gambar 5.2. Climate change vulnerability map of Southeast Asia
(Source:Yusuf,A.A.&Francisco,H.,2009)

5.3 Mitigasi dan Adaptasi

Dampak Perubahan Iklim seperti peristiwa cuaca yang lebih ekstrim dan naiknya permukaan air laut, akan terjadi memperparah berbagai masalah yang sudah ada di negeri ini. Untuk menghindari kerusakan lebih lanjut dari Indonesia, dan Kalimantan pada contoh pertama, harus menghadapi tantangan iklim perubahan dalam mengambil tindakan di semua tingkatan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, termasuk mempromosikan penggunaan sumber daya tanah dan air yang berkelanjutan, dan memasukkan adaptasi ke dalam agenda pembangunan (Nzeadibe *et al*, 2011).

Yang dibutuhkan, adalah

- a) Pelaksanaan proyek mitigasi untuk mempromosikan masyarakat rendah karbon; termasuk
 1. Pengurangan deforestasi, penuntutan penebangan liar,
 2. Pengelolaan hutan yang lebih lestari,
 3. Pengenalan sistem wanatani (cgjar 2008a),

4. Berhenti dengan tindakan hukum dan penegakan hukum pengeringan lebih lanjut dari tanah gambut,
 5. Produksi biofuel dari bahan limbah, bukan dari kelapa sawit,
 6. Strategi energi baru berdasarkan energi terbarukan (misalnya energi panas bumi, energi angin, mikrohidro dll)
- b) Komunikasi dan kesadaran publik;
 - c) Peningkatan kapasitas di sekolah, perguruan tinggi dan universitas, dan
 - d) Peningkatan pemahaman ilmiah tentang perubahan iklim.

Ada banyak program binasional dan internasional yang menawarkan dukungan kepada pemerintah nasional. UNEP mis. menawarkan bantuan melalui Program Laut Regional dan Rencana Global Aksi Perlindungan Lingkungan Laut dari Kegiatan Berbasis Darat (Glaeser, 2009).

Berkenaan dengan adaptasi berbagai bidang harus dicakup, seperti yaitu:

- a) Menghindari tenggelamnya wilayah Jakarta lebih lanjut dengan menurunkan abstraksi air dan promosi pengisian air tanah,
- b) Memperkenalkan strategi konservasi tanah untuk menghindari tanah longsor, erosi tanah dari lahan pertanian dan sedimentasi sungai dan waduk,
- c) Menerapkan strategi konservasi air dalam pertanian, yaitu untuk menghasilkan hasil panen yang sama dengan jumlah air yang lebih sedikit,
- d) Menyimpan lebih banyak air di atas atau di bawah tanah,
- e) Mempromosikan pemanenan air, yaitu mengumpulkan air hujan dari atap rumah untuk digunakan pada musim kemarau,

- f) Mengubah tanaman pertanian agar sesuai dengan kondisi baru,
- g) Membangun lebih banyak tanggul di sepanjang pantai untuk melawan kenaikan permukaan laut, dll.

Tetapi intervensi konvensional mungkin tidak cukup. Beradaptasi dengan perubahan iklim keduanya perlu dibangun di atas intervensi konvensional dan membutuhkan perubahan besar dalam pemikiran dalam perencanaan dan perancangan kota, dalam mengelola sumber daya tanah, air dan energi dan dalam melindungi lingkungan (termasuk keanekaragaman hayati). Dibutuhkan pengembangan sistem yang fleksibel atau "pintar" yang dapat mengantisipasi dan bereaksi terhadap perubahan keadaan, terutama mengingat ketidakpastian dalam dampak yang diproyeksikan (Siregar *et al.*, 2020). Standar desain baru dan kriteria juga perlu dikembangkan untuk lingkungan yang berubah, termasuk sistem hidrologi. Kapasitas adaptasi—baik sosial maupun fisik—perlu ditingkatkan untuk melindungi yang termiskin dan populasi dan ekosistem yang paling rentan dari dampak perubahan iklim.

Menurut OXFAM dalam waktu enam tahun jumlah orang yang terkena dampak krisis iklim adalah diproyeksikan meningkat sebesar 54 persen menjadi 375 juta orang, mengancam akan membanjiri kemanusiaan sistem bantuan (Prinz, 2009). Kenaikan yang diproyeksikan disebabkan oleh kombinasi dari kemiskinan yang mengakar dan orang-orang yang bermigrasi ke daerah kumuh padat penduduk yang rentan terhadap peningkatan jumlah peristiwa iklim. Ini diperparah oleh kegagalan politik untuk mengatasi risiko ini dan sistem kemanusiaan yang tidak sesuai untuk tujuan (Polade *et al.*, 2014). Pemerintah Indonesia dan semua lapisan masyarakat harus mempertimbangkan masalah ini perubahan iklim dan harus menerjemahkannya ke dalam pembuatan kebijakan dan keputusan kehidupan sehari-hari.

5.3.1 Perkembangan Perubahan Iklim di Indonesia

Indonesia telah menandatangani Protokol Kyoto pada tahun 1998 dan meratifikasinya pada tahun 2004. Sejak saat itu, banyak terjadi, terutama di bidang mekanisme pembangunan bersih (CDM), meskipun kurang begitu di bidang lainnya (Jenderal and Perubahan, 2016). Menurut para ahli internasional, kebijakan kehutanan di Indonesia adalah baik, tetapi implementasi dan penegakannya lemah (Dan and Kehutanan, 2020). Selain itu ada target yang bertentangan, mis. antara mengganti bahan bakar fosil seperti solar, dengan biofuel di satu sisi dan melindungi kawasan hutan di sisi lain. Variabilitas dan perubahan iklim semakin mengancam populasi dan infrastruktur pesisir Indonesia, serta hutan tropis dan ekosistem pesisir yang penting secara ekologis dan ekonomi.

Dengan garis pantainya yang luas dan jutaan orang yang tinggal di dataran rendah tepat di atas permukaan laut, Indonesia adalah salah satu negara paling rentan di dunia terhadap kenaikan permukaan laut. Indonesia rentan terhadap bencana terkait cuaca lainnya seperti kebakaran hutan dan lahan, tanah longsor, badai, dan kekeringan yang telah menghancurkan infrastruktur dan merusak ekosistem hutan dan pesisir, yang menyebabkan hilangnya nyawa, harta benda, jasa ekosistem, dan mata pencaharian. Sebagian besar emisi gas rumah kaca Indonesia berasal dari perubahan penggunaan lahan dan kehutanan, diikuti oleh energi, pertanian, limbah, dan proses industri.

Secara historis, produksi kelapa sawit di Indonesia telah menjadi pendorong utama deforestasi. Sebagai permintaan nasional dan internasional untuk biofuel terus meningkat, dan minyak dari kelapa sawit baik cocok untuk tujuan ini, semakin banyak perkebunan didirikan (Jenderal and Perubahan, 2016). Pada tahun 2009, biodiesel dari kelapa sawit masuk Indonesia adalah diperkirakan masuk jangkauan dari 700 juta liter, atau 2%

dari diesel konsumsi, membutuhkan sekitar 200.000 ha kelapa sawit perkebunan (Oktaviani *et al.*, 2011).

Variabilitas dan perubahan iklim semakin mengancam populasi dan infrastruktur pesisir Indonesia, serta hutan tropis dan ekosistem pesisir yang penting secara ekologis dan ekonomi. Dengan garis pantainya yang luas dan jutaan orang yang tinggal di dataran rendah tepat di atas permukaan laut, Indonesia adalah salah satu negara paling rentan di dunia terhadap kenaikan permukaan laut. Indonesia rentan terhadap bencana terkait cuaca lainnya seperti kebakaran hutan dan lahan, tanah longsor, badai, dan kekeringan yang telah menghancurkan infrastruktur dan merusak ekosistem hutan dan pesisir, yang menyebabkan hilangnya nyawa, harta benda, jasa ekosistem, dan mata pencaharian. Sebagian besar emisi gas rumah kaca Indonesia berasal dari perubahan penggunaan lahan dan kehutanan, diikuti oleh energi, pertanian, limbah, dan proses industri (Herzog and Billings, 2005).

DAFTAR PUSTAKA

- (ADB), A.D.B. 2021. *CLIMATE RISK COUNTRY PROFILE INDONESIA*.
- Bose, P.S. 2016. 'Vulnerabilities and displacements: Adaptation and mitigation to climate change as a new development mantra', *Area* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1111/area.12178>.
- Case, M., Ardiansyah, F. and Spector, E. 2007. *Climate Change in Indonesia Implications for Humans and Nature*.
- K.L.H. and Kehutanan. 2020. *Roadmap Nationally Determined Contribution (NDC) Adaptasi Perubahan Iklim*.
- Glaeser, B. 2009. *Loicz reports*.
- Hasibuan, B. 2014. *VALUASI EKONOMI LINGKUNGAN NILAI GUNAAN LANGSUNG DAN TIDAK LANGSUNG KOMODITAS EKONOMI, Oktober*.
- Herzog, T. and Billings, H. 2005. *Navigating the Numbers Greenhouse Gas Data and International Climate Policy*.
- Direktur Jenderal, D. and Perubahan, P. 2016. *PERUBAHAN IKLIM , PERJANJIAN PARIS ,*.
- Mani, M., Markandya, A. and Ipe, V. 2008. *climate change Adaptation and Mitigation In Development Programs*.
- Measey, M. 2010. 'Indonesia : A Vulnerable Country in the Face of Climate Change', *Global Majority E-Journal*, 1(1), pp. 31–45.
- Nzeadibe, T.C. et al. 2011. *WORKING PAPER SERIES | No. 57 Climate Change Awareness and Adaptation in the Niger Delta Region of Nigeria*.
- Oktaviani, R. et al. 2011. *The Impact of Global Climate Change on the Indonesian Economy*.
- Polade, S.D. et al. 2014. *The key role of dry days in changing regional climate and precipitation regimes*. Available at: <https://doi.org/10.1038/srep04364>.

- Prinz, D. 2009. 'Contributor and Victim - Indonesia ' s Role in Global Climate Change with Special Reference to Kalimantan', *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 1(Ipcc 2007), pp. 139–153.
- Shah, M.M. 2008. 'Sustainable Development', in *Encyclopedia of Ecology, Five-Volume Set*. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00633-9>.
- Sharma, D. and Singh, S. 2016. 'Instituting environmental sustainability and climate resilience into the governance process: Exploring the potential of new urban development schemes in India', *International Area Studies Review* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1177/2233865916632942>.
- Siregar, R.T. *et al.* 2020. 'Regional Development Environment : Implementation, Realization & Contribution of Revenue in Pematangsiantar Regional Development Environment : Implementation, Realization & Contribution of Revenue in Pematangsiantar', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 469, pp. 1–7. Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/469/1/012052>.
- South, T. *et al.* 2007. *Peace Agreements Digital Collection*.
- Tyler, S. and Moench, M. 2012. 'A framework for urban climate resilience', *Climate and Development* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1080/17565529.2012.745389>.
- Wijaya, A. *et al.* 2017. 'WORKING PAPER HOW CAN INDONESIA ACHIEVE ITS CLIMATE CHANGE MITIGATION GOAL ? AN ANALYSIS OF POTENTIAL EMISSIONS REDUCTIONS FROM ENERGY AND LAND-USE POLICIES', (September).

BAB 6

INDIKASI TERJADINYA PEMANASAN GLOBAL DI INDONESIA

Oleh Suriani Nur

6.1 Pendahuluan

Aktivitas manusia sehari-hari telah berkontribusi pada berbagai persoalan lingkungan. Antara lain dampak kegiatan manusia terhadap lingkungan adalah pemanasan Global. Pemanasan global merupakan efek dari pencemaran udara. Pemanasan global, kurang dapat dilihat secara nyata oleh manusia, karena berlangsung secara lama dan efeknya dirasakan secara luas. Persoalan lingkungan tidak mengenal batasan geografis dan batasan negara. Salah satu masalah lingkungan global adalah terjadinya pemanasan global. Pemanasan global penyebab perubahan iklim. Murdiyarso (2003), mengatakan bahwa pemanasan global tidak terjadi secara seketika, tetapi berangsur-angsur. Saat ini dampaknya sudah mulai dirasakan.

Revolusi industri telah menyebabkan terjadinya pencemaran udara, yang berdampak pada dunia global. Revolusi industri yang berawal sekitar 1850 telah berkontribusi pada peningkatan bahan pencemar udara. Awal revolusi industri konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer pada seperti CO₂ masih rendah. Namun seiring dengan perkembangan industri yang sangat pesat, penambahan jumlah penduduk, perubahan pola hidup manusia, gas rumah kaca juga semakin bertambah di atmosfer. Pertambahan pencemar di udara akan berpengaruh pada komposisi komponen yang ada di dalam atmosfer bumi. Para ilmuwan memprediksi bahwa gas rumah kaca yang terus meningkat

akan mengakibatkan pemanasan global. Prediksi para ilmuwan telah terbukti nyata dalam dunia global dengan berbagai indikator. Pemanasan global yang berlangsung secara luas dan akan terus meningkatkan suhu rata-rata bumi. Apabila suhu rata-rata bumi mengalami peningkatan secara signifikan, akan berdampak pada mencairnya es di kutub. Efek lanjutan adalah kota-kota yang berada di tepi laut akan tenggelam karena peningkatan permukaan air laut. Persoalan lingkungan yang terlihat sangat sederhana ini, ternyata sangat kompleks dan penyelesaiannya butuh kerjasama seluruh pimpinan negara.

Hampir setiap negara di bumi ini telah berkontribusi terhadap terjadinya pemanasan global, baik negara maju ataupun negara berkembang. Bukan hanya industri-industri dalam negara maju yang menyebabkan terjadinya pencemaran udara. Negara berkembangpun termasuk Indonesia dengan aktivitas pertaniannya serta konversi lahan hutan menjadi permukiman dan berbagai aktifitas pembangunan lainnya telah menyumbangkan gas rumah kaca pada udara.

Pembangunan Indonesia yang telah berlangsung puluhan tahun, telah banyak melakukan eksploitasi terhadap sumber daya alam baik hayati maupun non hayati. Proses produksi dan perubahan bahan baku menjadi barang jadi telah menguras sumber daya energi dengan cepat. Seiring dengan cepatnya pembangunan berbagai sektor seperti industri, pertanian, kehutanan, perhotelan dan lain-lainnya dan secepat itu pula menghasilkan bahan pencemar di udara. Semakin banyak bahan pencemar di udara semakin banyak pula persoalan lingkungan yang muncul terkait dengan persoalan udara. Salah satunya persoalan pemanasan global yang sudah memberikan banyak masalah pada penduduk bumi ini secara global.

Oleh karena itu, maka seluruh negara seharusnya bertanggung jawab pada persoalan pemanasan global ini. Berbagai organisasi dunia dan pertemuan pemimpin dunia sudah sering dilakukan. Para pemimpin negara maju dan negara berkembang

duduk bersama dalam menyepakati persoalan lingkungan. Khususnya tindakan mencegah dan mengurangi persoalan pemanasan global. Namun selalu saja tidak ada komitmen yang utuh dan kuat. Terbukti hingga saat ini belum ada kesepakatan untuk bisa meninggalkan secara total bahan bakar minyak bumi sebagai sumber energi. Padahal penggunaan bahan bakar fosil telah berkontribusi banyak dalam emisi gas rumah kaca

6.2 Pemanasan Global

Pemanasan global sudah menjadi kata yang cukup familiar di telinga masyarakat dunia. Karena berita pemanasan global sudah begitu banyak di berbagai media. Forum-forum ilmiah juga tidak ketinggalan mengangkat tema pemanasan global seperti: lokakarya, workshop dan berbagai seminar ilmiah. Semua orang wajib mengetahui tentang pemanasan global jika ingin ikut menyelamatkan bumi. Karena bumi ini merupakan satu-satunya tempat manusia melangsungkan kehidupan yang ada saat ini.

Apa yang dimaksud dengan pemanasan global?. Berbagai definisi dan pengertian pemanasan global dalam banyak referensi. Susanta (2008), mengatakan bahwa pemanasan global adalah kejadian yang diakibatkan oleh peningkatan suhu rata-rata atmosfer, air laut dan daratan. Pemanasan global merupakan peningkatan suhu rata-rata bumi. Hari (2008), mengatakan bahwa pemanasan global merupakan kejadian yang diakibatkan oleh: meningkatnya temperature rata-rata pada lapisan atmosfer, meningkatnya temperatur pada air laut, dan meningkatnya temperatur pada daratan. Sehingga dapat dikatakan bahwa Pemanasan global yaitu terjadi peningkatan suhu bumi (atmosfer, laut dan darat).

Banyak orang menyangsikan bahwa pemanasan global terjadi. Apakah pemanasan global nyata adanya di dunia ini?. Murdiyarso (2003) mengatakan bahwa telah terjadi peningkatan suhu bumi dalam kurun waktu 100 tahun terakhir dari sistem iklim

bumi dan efek-efek yang terkait. Indikasi yang menjadi bukti bahwa sistem iklim bumi terjadi peningkatan dan pertambahan panas berdasarkan laporan *Intergovern Mental Panel On Climate Change* (IPPC) 1013. Bukti-bukti tersebut antara lain kenaikan suhu di daratan, lautan, dan atmosfer., Mencairnya es di kutub. Perubahan wilayah yang tertutup salju; kenaikan permukaan air laut; serta perubahan kuantitas uap air di atmosfer.

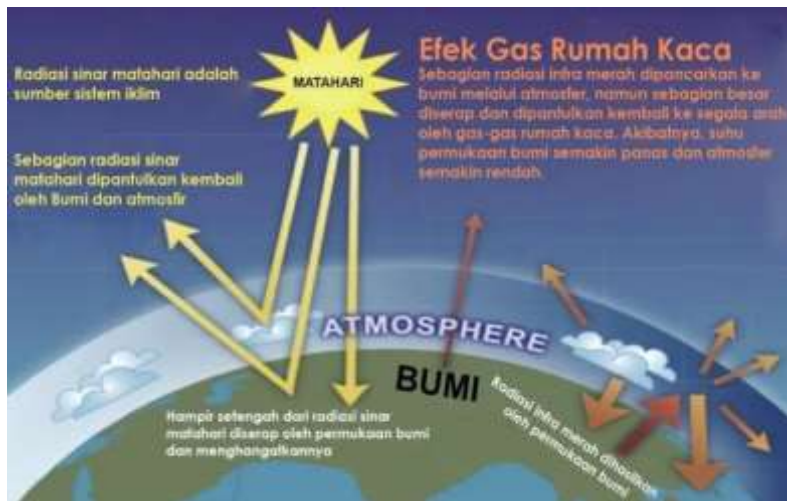
Beberapa indikasi bahwa pemanasan global sudah terjadi di Indonesia. Dulu kita sering mendapat informasi bahwa Indonesia memiliki 2 musim yang berbeda: musim hujan dan musim kemarau. Musim hujan berlangsung selama enam bulan dari Oktober hingga Maret, sedangkan musim kemarau berlangsung selama enam bulan dari April hingga September. Namun, dalam beberapa tahun terakhir, peralihan musim hujan ke musim kemarau dan sebaliknya semakin kabur. Hujan deras dapat terjadi kapan saja, tanpa mengenal waktu. Bencana banjir dan kekeringan sering terjadi di berbagai wilayah Indonesia dalam beberapa tahun terakhir. Selain itu, suhu udara yang lebih hangat pada siang hari saat cuaca cerah atau saat musim kemarau. Sebaliknya, suhu udara juga lebih dingin pada malam hari saat cuaca dingin atau saat musim hujan. Semua ini beberapa indikasi terjadinya perubahan iklim dan pemanasan global sebagaimana yang sudah teramati secara ilmiah (Hari, 2019).

Menurut *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), bahwa saat ini konsentrasi gas rumah kaca semakin meningkat akibat aktivitas manusia. Berbagai kegiatan manusia menjadi penyebab utama peningkatan suhu global rata-rata sejak pertengahan abad ke-20. Menurut model iklim yang dirujuk oleh IPCC, suhu permukaan bumi akan naik 1,1 hingga 6,4 derajat Celcius antara tahun 1990 dan 2100. Berdasarkan hasil riset dari 30 badan ilmiah dan akademik dunia. Salah satunya adalah lembaga riset di Amerika Serikat, Scripps, yang mengukur emisi Karbon dioksida di Mauna Loa Observatory dari Juli 1958 hingga

juli 2017. Menunjukkan bahwa kadar CO₂ 315 ppm (tahun 1958) dan meningkat menjadi 407,25 ppm (tahun 2017). (Perpustakaan Kementerian Lingkungan Hidup. online)

6.3 Penyebab Pemanasan Global.

Berbagai faktor yang mengakibatkan terjadinya pemanasan global. Secara umum pemanasan global akibat dari efek rumah kaca di atmosfer bumi. Efek rumah kaca terdiri atas dua yaitu secara alamiah dan akibat aktifitas manusia. Efek rumah kaca memiliki manfaat bagi kehidupan di bumi. Tanpa adanya efek rumah kaca maka bumi ini akan sangat dingin.



Gambar 6.1. Pemanasan global dari efek rumah kaca
sumber:<http://fisikazone.com>

Pernyataan Petrucci dan Harmord (1997) dalam buku Susanta (2008) bahwa efek rumah kaca sangat berkontribusi pada penetapan suhu yang tepat bagi kehidupan bumi. Dengan adanya Efek rumah kaca membuat seluruh bumi ini tidak diselimuti es abadi. Mari kita perhatikan ilustrasi gambar 6.1.

terlihat bahwa sebagian radiasi sinar matahari terperangkap dalam gas rumah kaca.

Radiasi sinar matahari masuk ke dalam bumi diserap dan sebagian dipantulkan. Sinar matahari terperangkap dalam gas-gas di atmosfer secara alamiah akan menghangatkan bumi. Namun apabila berlebihan maka akan berdampak bagi peningkatan suhu rata-rata bumi yang selanjutnya disebut pemanasan global. Gas-gas rumah kaca seperti uap air dan karbondioksida tidak melepaskan sinar infra merah ke atmosfer sehingga terperangkap menyebabkan efek rumah kaca. Susanta (2008) memaparkan dalam bukunya yang berjudul *Akankah Indonesia tenggelam?* Bahwa cahaya matahari yang masuk ke bumi berupa energi hanya sebanyak 25% energi matahari yang masuk ke bumi dipantulkan oleh awan atau partikel lain di atmosfer, 25% diserap awan, 45% diabsorpsi permukaan bumi, dan 5% lainnya dipantulkan kembali oleh permukaan bumi.

Pemanasan global telah terjadi di bumi ini sejak revolusi industri terjadi. Pencemaran udara yang mengakibatkan pemanasan global ini tidak terlihat secara langsung dan bencananya tidak secara langsung terlihat. Sehingga banyak orang menduga bahwa udara di bumi ini baik-baik saja, tidak ada persoalan berarti. Menyebabkan manusia santai saja jika orang mengatakan terjadi pencemaran udara. Hal berbeda jika air tercemar, apabila air telah mengalami pencemaran akan berubah warna, bau, kekeruhan dan sebagainya. Indikator air mengalami pencemaran, terlihat secara real dan manusia segera bereaksi untuk mengambil tindakan.

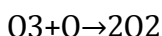
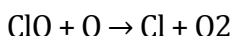
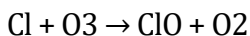
Manusia telah merasakan dampak dari hasil kegiatan sehari-hari yang tidak ramah lingkungan. Aktivitas yang kelihatan kecil tapi dilakukan setiap saat, oleh banyak orang akan berdampak besar. Ada berbagai faktor yang menyebabkan terjadinya pemanasan global, baik secara alamiah maupun karena antropogenik. Penyebab pemanasan global karena

aktivitas manusia sehari-hari antara lain : Penggunaan AC, penggunaan hair spray, emisi kendaraan bermotor, limbah industri, deforestasi, penggunaan listrik, sampah, limbah peternakan dan pertanian, dan sebagainya.

6.3.1 Penggunaan AC.

Hampir setiap rumah di perkotaan menggunakan AC (*Air Conditioning*), khususnya kalangan ekonomi menengah ke atas. Berbagai pro dan kontra yang muncul terkait penggunaan AC dan kaitan terjadinya pemanasan global. Apakah benar penggunaan AC berkontribusi pada pemanasan global?. Pendingin udara yang biasa disebut AC menggunakan freon atau gas Chlorofluorocarbon (CFC). CFC inilah yang mengikat oksigen dalam ozon sehingga tidak lagi berbentuk ozon. Ozon merupakan lapisan udara yang melindungi bumi dari sinar ultraviolet dari matahari.

Namun, gas CFC yang dapat naik ke stratosfer dapat merusak lapisan ozon. Di lapisan stratosfer yang tinggi, CFC bertemu dengan foton berenergi tinggi dari sinar matahari. Sehingga, gas pembentukannya dilepaskan. Dilansir dari Chemistry LibreTexts, klorin (Cl) dalam CFC menghancurkan begitu banyak ozon (O₃) karena bertindak sebagai katalis. Berikut adalah reaksi rusaknya ozon akibat klorin dalam CFC:



Peneliti lingkungan hidup menemukan bahwa lapisan ozon telah berlubang sebesar benua Amerika. Lubang yang terbentuk karena terlalu banyak naga save sih. Gasip sehat yang biasa disebut keren terkumpul di atas atmosfer, lalu akan berinteraksi dengan pantulan cahaya matahari sehingga kampus hapus pisan ozon. Dengan adanya lubang ozon dari radiasi Ultraviolet you Vibe dapat sampai ke bumi. Radiasi tersebut akan mengurangi kekebalan tubuh manusia terhadap penyakit terutama penyakit kulit.

Misalnya sampai Herpes malaria the BC kusta dan infeksi jamur Kandidiasis. Selain itu radiasi you Febi juga menimbulkan kerusakan lingkungan mulai dari putusRT makanan pada ekosistem akuatik di laut sampai menurunnya produktivitas tanaman juga terjadi juga terjadi kerusakan material pada bangunan dan benar benar nanya yang terbakar sinar matahari. (Susanta, 2008).

6.3.2 Hair spray.

Hair spray yang biasanya digunakan untuk menata rambut agar lebih rapi ternyata berkontribusi pada pemanasan global. Molekul CFC yang terbuat dari rantai karbon atom dengan klorin dan fluorin berfungsi untuk menyemprotkan cairan hair spray. Hampir setiap orang memberikan kontribusi terhadap penurunan kualitas lingkungan. Sebagai contoh, penggunaan hair spray untuk penampilan yang lebih kece. Ketika menyemprotkan *hair spray*, maka terlepaslah gas CFC (kloro fluoro karbon) ke atmosfer. Pada hakekatnya lingkungan mampu menetralsir tapi karena banyak orang yang dilakukan setiap hari maka berdampak besar.



Gambar 6.2. Penggunaan *Hair Spray*.

Sumber: <https://www.insider.com>.

6.3.3 Emisi kendaraan bermotor

Kendaraan bermotor sepertinya sesuatu yang ‘wajib’ saat ini. Setiap rumah minimal memiliki 1 kendaraan, bahkan ada rumah memiliki 2,3,4 atau lebih dari 10 kendaraan. Bisa dibayangkan jika banyak kendaraan yang mengeluarkan emisi setiap hari. Maka pencemaran udara tidak akan terelakkan lagi. Emisi kendaraan merupakan salah satu pemicu pemanasan global. Asap kendaraan bermotor mengandung CO₂ yang merupakan salah satu gas rumah kaca. Jika gas rumah kaca semakin meningkat terus di atmosfer maka akan menyebabkan peningkatan suhu bumi yang disebut pemanasan global.



Gambar 6.3. Emisi Kendaraan bermotor

Sumber: <https://plug.id>

6.3.4 Pencemaran Industri

Panel Antar pemerintah tentang Perubahan Iklim (IPCC) menyerukan kepada semua pihak, termasuk pelaku industri, untuk berhenti menggunakan sumber energi yang berasal dari bahan bakar fosil seperti batubara dan menggantinya dengan energi baru terbarukan (EBT). Saat ini industri sangat bervariasi seiring dengan pertambahan jumlah penduduk dan peningkatan teknologi. Hal ini akan berdampak positif dalam pemenuhan kebutuhan manusia. Namun di sisi lain peningkatan jumlah industri dengan segala turunan industri, membuat lingkungan hidup terancam. Kenapa ini

terjadi?. Karena pembangunan industri tidak dibarengi dengan peningkatan wawasan lingkungan pada para pelaku industri. Bila industri tidak memberi perlakuan (menyaring) pada buangnya khususnya buangan udara, maka dapat dipastikan akan mencemari lingkungan. Salah satu pencemaran dari industri yaitu pencemaran udara. Gas buangan dari industri merupakan salah satu penyebab pemanasan global. Bahkan banyak yang menuding bahwa industri merupakan penyumbang terbesar pada pemanasan global.



Gambar 6.4. Pencemaran Udara oleh Industri
Sumber: <https://cbinstrument.com>

6.3.5 Penggundulan Hutan

Keberadaan hutan dengan pepohonan yang banyak, membantu bumi dalam penyediaan udara segar melalui pelepasan O_2 dan menyerap CO_2 . Apabila hutan ditebang hingga habis maka pepohonan berkurang berakibat tidak ada lagi yang menyerap CO_2 . Karbon dioksida (CO_2) secara normal memang sudah ada di atmosfer, selama siklus karbon belum terganggu di atmosfer maka karbon dioksida dalam keadaan konstan. Tetapi karena aktifitas manusia maka siklus karbon terganggu. Penggundulan hutan telah berkontribusi besar dalam peningkatan gas rumah kaca di udara. Apabila gas rumah kaca meningkat, secara otomatis akan menyebabkan pemanasan global.



Gambar 6.5. Penggundulan Hutan

Sumber: <https://gdb.voanews.com>

6.3.6 Penggunaan listrik

Sekilas melihat listrik, mungkin tidak akan terlintas bahwa akan berkontribusi pada pemanasan global. Kenapa listrik ada kaitan dengan pemanasan global?. Dalam menghasilkan listrik menggunakan bahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas alam dan batu bara. Pembakaran bahan bakar fosil akan meningkatkan emisi karbondioksida di udara. Penggunaan listrik yang boros akan berakibat pada peningkatan penggunaan bahan bakar fosil pada pembangkit listrik.



Gambar 6.6. Pencemaran Pembangkit Listrik

Sumber: *foto dunia-energi.com*

6.3.7 Limbah pertanian dan peternakan

Limbah pertanian dan peternakan cukup melimpah diperdesaan, sehingga penting untuk melakukan pengelolaan. Pemicu lain terjadinya pemanasan global adalah limbah ternak dan pertanian. Limbah dari pertanian dan peternakan seperti kotoran hewan dan jerami dan sebagainya dapat menimbulkan emisi metana. Indonesia sebagai negara agraris akan berefek pada kontribusi limbah pertanian dan peternakan terhadap pemanasan global sangat tinggi. Karena gas metana dari limbah yang dihasilkan sector pertanian dan sector peternakan begitu banyak di Indonesia



Sumber: <https://static.nonublika.co.id>



Sumber: Dok. Suriani Nur, 2022

Gambar 6.7. Limbah pertanian dan peternakan

6.4 Indikasi Pemanasan Global di Indonesia

Banyak orang yang menyangka bahwa pemanasan global hanya merupakan ‘prediksi kosong’ para saintis. Kalangan ilmuwan juga terkadang masih terdapat pro dan kontra dengan mempertanyakan ‘kebenaran’ terjadinya pemanasan global. Ilmuwan yang pro menyetujui bahwa pemanasan global terjadi karena aktifitas manusia yang terus meningkatkan gas rumah kaca. Namun ilmuwan lainnya yang ‘kontra’ menyatakan bahwa pemanasan global yang terjadi bukanlah karena kontribusi manusia, melainkan siklus alamiah yang

meningkatkan temperature bumi. Namun jika ditelisik, sebenarnya antara yang 'pro' dan 'kontra' tidak ada yang perlu di perselisihkan. Sebagaimana penjelasan sebelumnya bahwa pemanasan global terjadi ada karena secara alamiah dan ada karena aktifitas manusia.

Membuat orang percaya tentang adanya pemanasan global dan diakibatkan oleh aktifitas manusia memang agak susah. Mengapa dikatakan demikian, karena tidak terlihat secara langsung perubahan yang terjadi. Butuh waktu yang lama untuk dapat melihat indikasi terjadinya bencana karena pemanasan global, sehingga mengaitkan antara satu fenomena dengan fenomena lainnya sedikit agak 'abstrak' dan terkesan 'cerita bersambung' yang agak panjang. Padahal pemaparan para ilmuwan merupakan riset ilmiah dalam waktu yang cukup lama , dilakukan secara metode ilmiah.

Saat ini secara kasat mata seluruh dunia sudah merasakan dampak dari pemanasan global. Indonesia sebagai salah satu masyarakat dunia juga telah dilanda bencana akibat dari pemanasan global. Indonesia sebagai negara kepulauan yang dikelilingi oleh perairan sangat beresiko tinggi akan dampak dari pemanasan global. Terutama terjadi peningkatan muka air laut, akan menenggelamkan banyak kota di Indonesia.

Batas musim hujan dan musim kemarau tidak jelas, terjadinya hujan ekstrim, kekeringan, longsor, banjir bandang, banjir rob di beberapa kota di pesisir pantai Indonesia. Selain itu pertanian dan perikanan mengalami gangguan karena cuaca ekstrim dan masih banyak lagi indikasi yang muncul dan terjadi di Indonesia akibat pemanasan global. Jakarta salah satu kota yang paling cepat tenggelam karena selain muka laut meningkat, Kota Jakarta diperparah dengan penurunan tanah.

Beberapa indikasi terjadinya bencana akibat pemanasan global telah muncul di Indonesia antara lain: banjir Rob, Banjir Bandang, kekeringan, longsor,

6.4.1 Terjadinya Banjir Rob

Banjir Rob terjadi karena kenaikan permukaan laut. Apabila atmosfer mengalami peningkatan suhu maka lautpun akan mengalami hal yang sama sehingga jumlah air laut juga akan meningkat dan meningkatkan muka air laut. Selain itu peningkatan muka air laut juga dipicu oleh pencairan es yang berkontribusi sekitar 30%.

Selain Kota Jakarta juga telah terlihat beberapa banjir dari air laut (rob) yang sudah permanen terjadi di Jawa barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Kalimantan, Sulawesi dan masih banyak lagi terjadi di beberapa kota di Indonesia. Beberapa contoh real dari bencana akibat pemanasan global yaitu terjadinya peningkatan muka laut di Jakarta dan diperparah penurunan tanah . Dibawah ini bukti nyata gambar masjid yang tenggelam di laut.



Gambar 6.8. Masjid Wal Adhuna yang tenggelam di Jakarta.

Sumber: CNN

Selain di Jakarta, dari berita Tribun (Jumat 5/11/21) perlihatkan juga rumah di Kota Semarang yang ditinggalkan penghuninya karena sudah terendam banjir dari air laut, dan telah rusak di hempas gelombang laut.



Gambar 6.9. Rumah kena Banjir air laut (rob) permanen di Semarang. Sumber: Tribun

Berdasarkan foto dari Benardi yang dimuat dalam berita DetikJateng terlihat Dusun Simonet Kabupaten Pekalongan Jawa Tengah terkena bencana. Tenggelamnya rumah ini dipaparkan karena pemanasan global. Ini menunjukkan bahwa pemanasan global bukan hanya terjadi di Jakarta tapi dikota lainpun juga sudah terjadi dan ini nyata ada.



Gambar 6.10. Dusun Simonet, Pekalongan Jawa Tengah
Sumber : <https://apps.detik.com/detik/>

6.4.2 Kebakaran Hutan

Salah satu indikasi terjadinya pemanasan global adalah seringnya terjadi kebakaran hutan. Indonesia seringkali mengalami kebakaran hutan, khususnya di daerah Sumatra dan Kalimantan. Hampir setiap tahun kejadian kebakaran hutan terjadi di Indonesia. Indonesia merupakan negara yang paling sering mengalami kebakaran hutan. Berdasarkan data BNPB yang diamati dari bulan Januari hingga September 2019 diperoleh data bahwa luas lahan terbakar mencapai 857 Ribu Ha untuk seluruh Indonesia (BNPB, online)

Meskipun banyak juga negara di berbagai benua mengalami kebakaran hutan yang membakar banyak permukiman warga. Tercatat kebakaran besar tahun 2020 hingga 2021 ini juga terjadi di Australia, Amerika, Afrika dan Eropa. Kebakaran hutan yang terjadi biasanya ada juga karena terbakar sendiri akibat peningkatan suhu udara. Akibat kemarau panjang beberapa tempat terkadang mengalami kekeringan dan meningkatkan resiko kebakaran hutan.

6.4.3 Banjir Bandang dan Longsor.

Pemanasan global menyebabkan cuaca ekstrem, ekstrem terjadi hujan atau ekstrem terjadi kekeringan akibat kemarau panjang. Sehingga salah satu bencana akibat pemanasan global adalah terjadinya banjir dan longsor. Berdasarkan laporan BNPB, bencana alam di Indonesia sepanjang 2022 terjadi 3.532 peristiwa. Kejadian bencana banjir merupakan bencana yang paling sering terjadi yaitu sekitar 1.524 peristiwa. Hal ini setara 43,1% dari total kejadian bencana nasional. Ada pula 1.062 peristiwa cuaca ekstrem, tanah longsor 634 peristiwa, 252 kebakaran hutan dan lahan (karhutla) 252 kejadian, gelombang pasang/abrasi 26 kejadian, serta peristiwa kekeringan 4 peristiwa. (<https://databoks.katadata.co.id>)

6.4.4 Pertanian Mengalami gangguan

Pemanasan global menyebabkan terjadi musim hujan dan musim kemarau tidak teratur, sehingga akan mempengaruhi hasil pertanian. Cuaca ekstrem akan mengancam ketahanan pangan Indonesia. Hal ini terbukti ketika musim hujan panjang banjir akan memicu gagal panen para petani. Banyak hasil pertanian mengalami kematian karena kelebihan air. Sebaliknya pada musim kemarau panjang gagal panen pun mengancam karena tanaman mengalami kekeringan akibat kekurangan air. Selain faktor kelebihan dan atau kekurangan air, tanaman juga kadang mengalami gangguan hama penyakit sebagai perubahan cuaca yang tidak menentu.

DAFTAR PUSTAKA

- Hari, Bayu Sapta. 2019. Pemanasan Global dan Perubahan Iklim. Depok: Duta
- Kementerian PUPR. 2007. Dampak Perubahan Iklim Telah Dirasakan Indonesia. <https://pu.go.id/>
- Murdiyarso, Daniel. 2003. Sepuluh Tahun Perjalanan Negosiasi Konferensi Perubahan Iklim. Kompas. Jakarta.
- Murdiyarso, Daniel. 2003. Protokol Kyoto Implikasinya Bagi Negara Berkembang. Kompas. Jakarta.
- Susanta, Gatut dan Sutjahjo, Hari. 2008. Akankah Indonesia Tenggelam Akibat Pemanasan Global. Penebar Plus. Jakarta.
- Nebraska Pratama, 2018. https://eadmin.nebraska.co.id/assets/uploads/files/blog_foto/cf9ec-blog1juli.jpg
- Joyner, Kylie. 2019. The best hair spray under \$25. <https://www.insider.com/author/kylie-joyner>
- Plug. 2020. Bahaya Polusi Udara dari Kendaraan Bermotor. <https://plug.id/assets/images/elements/logo/logo-plug.png>
- Pratama, Riza. 2019. Efek Rumah Kaca Terhadap Bumi. Fakultas Teknik. Universitas Islam Sumatera Utara. Buletin Utama Teknik Vol. 14, No. 2, Januari 2019.
- Putri, Vanya K.M. 2022. Pembangkit Listrik: Pengertian, Proses, dan Jenisnya. <https://www.kompas.com/skola/read/2022/10/06/140000769/pembangkit-listrik-pengertian-proses-dan-jenisnya>.
- PT Cakrawala Bima Instrument. 2017. Pengertian, Penyebab, Efek, & Solusi Polusi Udara. <https://cbinstrument.com/wp-content/uploads/2017/03/CAKRAWALA.png>
- https://gdb.voanews.com/292DBE17-A402-4958-84B8-3BB5B0110D84_cx0_cy6_cw0_w1023_r1_s.jpg

- CNN Indonesia "Masjid Wal Adhuna, Saksi Bisu Tenggelamnya Daratan Jakarta" selengkapnya di sini: <https://www.cnnindonesia.com/nasional/20211001155710-20-702191/masjid-wal-adhuna-saksi-bisu-tenggelamnya-daratan-jakarta>
- Arifianto, Iwan. 2021. Warga Pesisir Semarang Sebut Wilayahnya Lima Tahun Lagi Bisa Tenggelam, Ini Hasil Analisisnya <https://banyumas.tribunnews.com/2021/11/05/warga-pesisir-semarang-sebut-wilayahnya-lima-tahun-lagi-bisa-tenggelam-ini-hasil-analisisnya>.
- Robby, Benardi. Dusun Simonet Pekalongan Nyaris Tenggelam 'Direnggut' Laut Jawa <https://www.detik.com/jateng/berita/d-6389155/dusun-simonet-pekalongan-nyaris-tenggelam-direnggut-laut-jawa>.
- Cindy Mutia Annur. 2022. <https://databoks.katadata.co.id/img/logo-databoks.svg>

BAB 7

DAMPAK PERUBAHAN IKLIM

Oleh Tarzan Purnomo

7.1 Pendahuluan

Perubahan iklim merupakan perubahan pola iklim dalam kurun waktu yang relatif panjang (sekitar 30 tahun), yang terjadi karena proses alami atau akibat dari pengaruh aktivitas manusia. Perubahan iklim terjadi akibat peningkatan suhu udara yang berpengaruh terhadap variabel parameter iklim lainnya, yaitu kelembaban udara, tekanan udara, arah dan kecepatan angin, serta curah hujan. Terjadinya fenomena pemanasan global yang memicu peningkatan suhu permukaan bumi, telah menyebabkan terjadinya perubahan iklim mencakup perubahan kelembaban dan tekanan udara, arah dan kecepatan angin, serta curah hujan.

Global warming atau pemanasan global adalah fenomena terjadinya peningkatan suhu udara di permukaan bumi. Oleh karena iklim sangat dipengaruhi oleh berbagai parameter iklim seperti kecepatan dan arah angin yang sangat dipengaruhi oleh tekanan udara dan suhu udara, kelembaban udara dan curah hujan yang dipengaruhi oleh radiasi matahari. Dengan terjadinya pemanasan global, berbagai parameter iklim akan terpengaruh atau berubah sehingga secara jangka panjang iklim akan mengalami perubahan yang bersifat permanen.

Dampak pemanasan global menjadi salah satu isu yang banyak didiskusikan dalam berbagai forum kenegaraan. Terakhir, dalam forum G20 yang dilaksanakan di Bali, negara anggota G20 sepakat untuk membatasi nilai emisi gas rumah kaca agar kenaikan suhu tidak lebih dari 1.5°C sesuai Perjanjian Paris. Namun masalahnya, disisi lain, negara anggota G20 juga menjadi negara

penghasil emisi karbon terbesar di dunia. Lalu, bagaimana komitmen dunia dalam mengurangi emisi karbon dalam usaha menjaga suhu global?

Fenomena global warming telah menyebabkan terjadinya perubahan iklim yang signifikan, bahkan di beberapa kawasan dunia efek dari pemanasan global ini telah memicu terjadinya perubahan iklim yang ekstrim. Mencairnya gletser di daerah temperate dan dingin serta es di kutub, berdampak naiknya permukaan air laut, dan perubahan volume dan pola presipitasi. Akibat perubahan tersebut berpengaruh pula terhadap biosfer, ekosistem, dan habitat, serta mikrohabitat. Hal ini mempengaruhi ketersediaan habitat, makanan, dan kemampuan pola adaptasi organisme dan spesies, sehingga berdampak pada kelangsungan hidup dan kelestariannya.

Berbagai perubahan akibat terjadinya perubahan iklim telah memberi dampak pada kehidupan di bumi seperti menurunnya produktivitas lahan pertanian, hilangnya gletser dan lapisan es di kutub, timbulnya berbagai penyakit baru, bahkan punahnya berbagai spesies organisme. Disisi lain, populasi manusia terus bertambah sehingga membutuhkan pasokan bahan makanan, ruang untuk permukiman, dan berbagai industri untuk memenuhi kebutuhannya akan menyebabkan semakin banyak limbah yang dihasilkan, yang diantaranya adalah gas-gas rumah kaca sebagai penyebab terjadinya pemanasan global. Dengan demikian jika hal tersebut tidak diantisipasi sejak dini, maka akan terjadi efek domino yang berujung pada terancamnya eksistensi umat manusia. Oleh karena itu masalah gas emisi rumah kaca bukan hanya masalah di Indonesia saja, tetapi telah menjadi masalah global (Widyati, 2010).

Mengapa hal tersebut bisa terjadi?. Perubahan iklim merupakan fenomena yang sampai sekarang belum bisa dihindari atau dimodifikasi. Dengan demikian bila variabel penyebab naiknya suhu global masih terus berlangsung, maka perubahan

iklim akan terus terjadi. Hal ini akan semakin memperluas dampaknya terhadap berbagai aspek kehidupan. Semakin besar dampak iklim yang dihasilkan maka semakin besar pula upaya aktif untuk menghindari dampak negatif melalui strategi mitigasi dan adaptasi (Surmaini & Runtunuwu, 2015).

7.2 Perubahan Iklim

Perubahan iklim adalah perubahan substansi iklim bumi yang berlangsung selama jangka waktu tertentu. Akibat perubahan ini dapat merubah suhu rata-rata bumi menjadi lebih hangat, lebih panas atau kering, bahkan menjadi lebih dingin atau basah. Perubahan iklim akan terjadi apabila perubahan sistem iklim bumi dapat menyebabkan perbedaan pola cuaca dari cuaca sebelumnya, dan bertahan selama beberapa tahun, dekade, bahkan beberapa abad. Namun, perubahan iklim yang terjadi sekarang ini merupakan perubahan iklim terparah dan belum pernah terjadi sebelumnya.

Perubahan iklim dapat menyebabkan perubahan yang signifikan pada pola curah hujan, meningkatnya terjadinya cuaca buruk, suhu menjadi lebih tinggi atau menjadi lebih panas, dan naiknya permukaan laut di wilayah pesisir. Selain itu, dengan luas hutan mencapai 203 juta ha, negara ASEAN menyumbang 5,2% dari hutan global. Namun, selama 20 tahun terakhir, kebakaran hutan di ASEAN meningkat dan menyebar ke wilayah yang lebih luas. Mengakibatkan terjadinya dampak perubahan iklim yang ekstrem, seperti tanah longsor, banjir, dan kekeringan yang lebih berbahaya dari sebelumnya.

7.2.1 Mengapa Iklim Berubah?

Iklim merupakan rata-rata cuaca atau kondisi cuaca yang berlangsung selama periode waktu yang panjang. Iklim mencakup suhu rata-rata, curah hujan rata-rata dan intensitas terjadinya badai di suatu wilayah dalam jangka waktu yang lama, bahkan hingga berabad-abad, terjadi secara alami dan rumit sebagai

implikasi dari interaksi antara air, udara dan permukaan daratan (Stone, 2010). Keberadaan iklim menghasilkan suhu dan curah hujan yang memberi kehidupan bagi tumbuhan, hewan, dan manusia.

Sebenarnya iklim mengalami perubahan dari masa ke masa, baik disebabkan oleh proses alami maupun akibat aktivitas manusia. Perubahan iklim merupakan perubahan pola pada cuaca normal yang terjadi di seluruh dunia selama periode waktu yang cukup lama, yakni selama berpuluh-puluh tahun bahkan ratusan tahun (Stone, 2010). UU No.31 Tahun 2009 mendefinisikan perubahan iklim sebagai proses yang disebabkan, baik secara langsung maupun tidak langsung, oleh aktivitas manusia yang berakibat pada perubahan komposisi atmosfer secara global dan perubahan variabilitas iklim alamiah yang diamati dalam kurun waktu tertentu serta dapat dibandingkan. Secara umum, petani memahami perubahan iklim sebagai kejadian tidak tentu musim kemarau dan musim hujan yang dapat mengganggu proses pola tanam dan mengancam hasil panen (Balitbang Pertanian, 2011).

Terjadinya perubahan iklim global ditandai dengan adanya peningkatan suhu global, peningkatan kejadian cuaca ekstrem, perubahan pola curah hujan, naiknya permukaan air laut, dan mencairnya lapisan es di kutub (Stone, 2010). Secara umum perubahan iklim dipengaruhi oleh dua faktor, yakni faktor internal dan eksternal. Faktor internal merupakan proses interaksi alami antar gas-gas yang terjadi di atmosfer bumi. Sedangkan faktor eksternal merupakan pengaruh gas-gas rumah kaca yang ditimbulkan aktivitas manusia yang dapat mengganggu keseimbangan interaksi gas di atmosfer bumi.

7.2.2 Apa Penyebab Perubahan Iklim?

Perubahan iklim merupakan fenomena global yang ditandai adanya perubahan suhu dan pola curah hujan. Penyebab utama terjadinya perubahan iklim adalah meningkatnya konsentrasi gas

rumah kaca di lapisan atmosfer seperti karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dan nitrogen (N_2O). Gas rumah kaca tersebut menyerap radiasi gelombang panjang yang panas, dan seiring dengan meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca, maka suhu permukaan bumi naik. Perubahan iklim global berpengaruh terhadap pola iklim dunia, distribusi hujan, arah dan kecepatan angin. Hal tersebut secara langsung akan berdampak terhadap kehidupan di permukaan bumi, seperti berkembangnya berbagai penyakit baik pada manusia, hewan, maupun tumbuhan, kekeringan, banjir, menurunnya produktivitas tumbuhan, serta meningkatnya kejadian bencana alam (Wibowo, 2009), seperti banjir, kemarau yang ekstrim, longsor, rob, dan berbagai bencana alam lainnya (Kumalasari, 2014). Perubahan iklim tidak semata-mata terjadi karena faktor alam, tetapi juga karena akibat dari aktivitas manusia, terutama beroperasinya industri yang menghasilkan limbah gas-gas rumah kaca (Kumalasari, 2014).

Perubahan iklim global ditandai dengan meningkatnya suhu rerata di permukaan bumi sebagai akibat dari peningkatan konsentrasi gas-gas rumah kaca. Sejak abad ke-19 tercatat suhu permukaan bumi telah mengalami peningkatan sekitar $0,8^\circ\text{C}$. Peningkatan suhu diperkirakan sekitar $0,15^\circ\text{C}$ sampai $0,3^\circ\text{C}$ setiap dekade sejak tahun 1990-2005 (*Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, 2007). Perubahan iklim tersebut telah menyebabkan dampak negatif bagi kehidupan baik tumbuhan, hewan, maupun manusia seperti peningkatan curah hujan, penurunan curah hujan, atau kekeringan (Tjahjono, 2018).

Mengapa perubahan iklim berdampak negatif bagi kehidupan di bumi?. Hal ini dikarenakan perubahan iklim global sebagai dampak dari pemanasan global telah mengakibatkan tidak stabilnya atmosfer bumi di lapisan bawah terutama yang dekat dengan permukaan bumi. Terjadinya pemanasan global disebabkan oleh meningkatnya gas-gas rumah kaca yang dihasilkan oleh aktivitas industri. Pengamatan terhadap

temperatur global sejak abad 19 menunjukkan adanya perubahan rata-rata temperatur yang menjadi indikator adanya perubahan iklim. Perubahan temperatur global ini ditunjukkan dengan naiknya rata-rata temperatur hingga 0.74°C antara tahun 1906 hingga tahun 2005. Temperatur rata-rata global ini diperkirakan akan terus meningkat sekitar $1.8-4.0^{\circ}\text{C}$ di abad sekarang ini, dan bahkan menurut kajian IPCC diproyeksikan berkisar antara $1.1-6.4^{\circ}\text{C}$. (Lakhdar *et al.*, 2012). Perubahan iklim merupakan fenomena yang sampai sekarang belum bisa dihindari atau dimodifikasi. Dengan demikian bila variabel penyebab naiknya suhu global masih terus berlangsung, maka perubahan iklim akan terus terjadi. Hal ini akan semakin memperluas dampaknya terhadap berbagai aspek kehidupan. (Surmaini & Runtunuwu, 2015).

Pemanasan global berakibat terhadap kondisi bumi. Team SOS (2011) menguraikan akibat dari pemanasan global adalah:

- 1) Mencairnya es di daerah gletser dan kutub.
- 2) Bumi akan melepaskan gas-gas beracun seperti metana.
- 3) Perubahan iklim yang ekstrim sehingga akan berdampak terhadap kelangsungan hidup makhluk hidup di bumi.
- 4) Perusakan lapisan ozon secara perlahan akibat kenaikan suhu bumi.
- 5) Permukaan air laut menjadi naik akibat es mencair, sehingga memicu terjadi banjir, abrasi pantai, merusak usaha tambak, merusak pemukiman, dan pulau-pulau kecil di bumi akan tenggelam.
- 6) Iklim dan cuaca yang tidak menentu akan berdampak pada krisis air sehingga lahan pertanian kurang subur dan harga bahan pokok akan naik.
- 7) Kualitas lingkungan menurun akibat dari perubahan cuaca dan iklim yang tidak menentu. Contoh: bertambahnya jumlah nyamuk dengue dan malaria akibat lingkungan

lembab. Virus penyebab penyakit juga akan semakin berkembang dan mudah menular.

7.3 Dampak Perubahan Iklim

Perubahan iklim telah menimbulkan berbagai dampak dalam berbagai sektor, meliputi sektor perikanan, kelautan, kehutanan, pertanian, sumber daya air, lingkungan, bahkan ekonomi dan sosial. Dampak utama akibat perubahan iklim yang paling ekstrim adalah terjadinya kenaikan temperature dan pergeseran musim (Anggraini & Trisakti, 2011). Akibat perubahan iklim terjadi perubahan pada pola musim sehingga menjadi sulit diprakirakan. Di beberapa bagian dunia perubahan tersebut meningkatkan intensitas curah hujan sehingga berpotensi memicu terjadinya banjir dan tanah longsor. Sedangkan belahan bumi yang lain bisa mengalami musim kering yang berkepanjangan, karena naiknya suhu dan turunnya kelembaban.

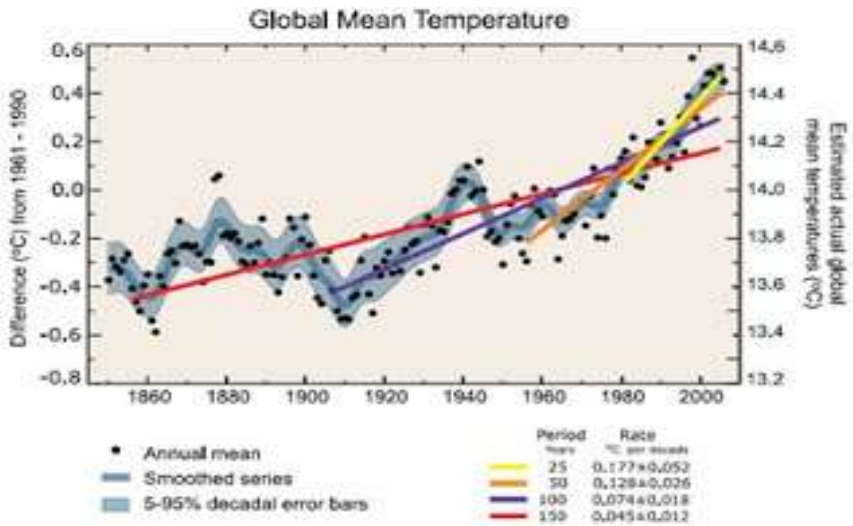
Dampak dari perubahan iklim di setiap negara berbeda-beda. Dari tahun 1975 – 2006 bencana alam terbanyak terjadi di benua Asia. Menurut perusahaan asuransi Swiss Re, 90% dari bencana terkait dampak perubahan iklim terjadi di Asia. Pola cuaca akan menjadi ekstrim – kemungkinan cuaca panas sekali, gelombang panas, dan hujan lebat akan lebih sering terjadi. Selain itu, badai siklon tropis kemungkinan lebih intensif, disertai angin kencang dan hujan deras. Dari kelompok rentan terhadap bencana, diantaranya 3,4 juta orang berasal dari kelompok masyarakat miskin, anak-anak, masyarakat adat, petani dan nelayan. Wanita merupakan proporsi terbesar dari masyarakat miskin dunia, termasuk anak-anak dan remaja perempuan, sangat rentan terhadap perubahan iklim (Bridge, 2008). Perubahan iklim memberi dampak paling berat terhadap perempuan dari kelompok sosial paling rendah (CSF, 2011). Pada setiap bencana (klimatis atau bukan) ternyata korban perempuan lebih besar daripada laki-laki dengan perbandingan 4:1. Hasil analisis terhadap bencana

yang terjadi di 141 negara membuktikan bahwa perbedaan jumlah korban akibat bencana alam berkaitan erat dengan hak ekonomi dan sosial perempuan (DTE, 2009; Rochmayanto & Kurniasih, 2013).

Di Indonesia dampak perubahan iklim, berupa menurunnya curah hujan dan peningkatan suhu di berbagai wilayah di Indonesia. Berdasarkan data curah hujan dan suhu tahun 1978-2005 telah terjadi kecenderungan penurunan curah hujan dengan peningkatan suhu sebesar 0,04-0,047°C/th (Sudarmadji, dkk, 2012; Tjahjono, 2018).

Indonesia sebagai negara kepulauan yang beriklim tropis dan berada di garis khatulistiwa sangat rentan terhadap perubahan iklim. Perubahan iklim ini dapat menyebabkan kenaikan suhu di berbagai wilayah, dan berubahnya awal dan panjang musim hujan. Perubahan frekuensi dan volume curah hujan di sebagian wilayah di Indonesia berpengaruh terhadap kelangsungan hidup berbagai varietas flora dan fauna. Meningkatnya frekuensi dan curah hujan pada musim hujan menyebabkan tingginya frekuensi kejadian banjir, sedangkan menurunnya frekuensi dan volume curah hujan pada musim kemarau akan meningkatkan risiko kekeringan. (BBPPSLP, 2008).

Hasil-hasil riset menunjukkan bahwa telah terjadi peningkatan suhu permukaan bumi sebesar 0,7°C sejak tahun 1900. Selama 30 tahun terakhir terjadi peningkatan suhu global secara cepat dan konsisten sebesar 0,2°C per dekade (**Gambar 7.1**). Sepuluh tahun terpanas terjadi pada periode setelah tahun 1990. Indikator perubahan dapat dilihat pada mekanisme fisik maupun biologis. Sebagai contoh perpindahan berbagai spesies sejauh 6 km ke arah kutub setiap dekade selama 30-40 tahun terakhir. Indikator lainnya adalah perubahan kejadian musiman seperti proses pembungaan dan bertelur yang lebih cepat 2-3 hari pada setiap dekade di daerah temperate (Root *et al.*, 2005; Subagyo, 2007).



Source: IPCC (2007)

Gambar 7.1. Peningkatan Suhu Bumi dari Tahun ke Tahun
(Sumber: Team SOS, 2011)

Dampak perubahan iklim yang dipicu oleh pemanasan global menurut IPCC dapat menyebabkan meningkatnya permukaan air laut dan meningkatnya cuaca ekstrim, diantaranya sebagai berikut:

- meningkatnya temperatur permukaan bumi antara 1,4°C sampai 5,8°C sebagai perkiraan rata-rata global dari tahun 1990 sampai tahun 2100;
- Terjadi pemanasan (ekspansi thermal) dari lautan, bersamaan dengan lelehnya gletser dan es di daratan akan menyebabkan peningkatan permukaan air laut di seluruh dunia, permukaan air laut diproyeksikan naik 0,09 - 0,88 meter antara tahun 1990 - 2100, hal ini akan berlangsung terus bahkan setelah konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer menjadi stabil;

- c. Terjadi cuaca ekstrim seperti temperature minimal yang lebih tinggi dan semakin sedikit hari-hari yang dingin, meningkatnya banjir, kekeringan, dan adanya gelombang panas.
- d. Gletser dan puncak es yang meleleh diperkirakan akan terus semakin meluas selama abad XXI, dengan ancaman gletser tropis dan subtropis dan beberapa kasus akan menghilang (Soedjajadi, 2007).

Salah satu dampak dari perubahan iklim adalah terjadinya kekeringan. Menurut Wilhite (2000) sebagai bencana alam, kekeringan berbeda dari bencana alam lainnya. Perbedaan tersebut antara lain karena sulitnya menentukan awal atau akhir kekeringan, sulitnya menetapkan batasan kekeringan sehingga kita sulit menentukan kategori kekeringan. Dampak kekeringan dapat menyebar lebih luas dibandingkan bencana lainnya, kegiatan manusia dapat memicu semakin buruknya kekeringan, seperti pertanian intensif, irigasi yang berlebihan, penggundulan hutan, eksploitasi air secara berlebih, dan erosi yang berdampak negatif pada kemampuan tanah untuk menangkap dan menahan air (Darojati, dkk., 2015).

Secara umum, kekeringan dapat ditinjau dari beberapa aspek. Dari aspek hidrometeorologi kekeringan terjadi karena berkurangnya curah hujan selama periode tertentu. Dari aspek pertanian kekeringan terjadi jika lengas tanah berkurang sehingga tanaman dapat kekurangan air. Lengas tanah adalah parameter yang menentukan potensi produksi tanaman yang berhubungan dengan kesuburan tanah. Sedangkan secara hidrologi, kekeringan ditandai dengan berkurangnya air pada sungai, waduk, atau danau (Indarto, dkk., 2014).

7.3.1 Apa Saja Dampak Perubahan Iklim?

Dampak negatif akibat perubahan iklim yang diperkirakan mampu menyebabkan dampak lainnya, adalah:

- a. Mencairnya lapisan es di kutub
- b. Kenaikan permukaan air laut
- c. Tenggelamnya pulau-pulau kecil dan pesisir pantai
- d. Rusaknya ekosistem terumbu karang
- e. Terjadi abrasi pantai
- f. Munculnya gejala alam el nino / enso
- g. Menurunnya produktivitas lahan
- h. Kekeringan dan banjir
- i. Kebakaran hutan
- j. Munculnya daerah kritis baru
- k. Menjangkitnya berbagai penyakit baru (Suwedi, 2005).

Dampak-dampak yang ditimbulkan oleh perubahan iklim tersebut diantaranya adalah:

1. Semakin banyaknya penyakit seperti tifus, malaria, demam, dan lain sebagainya
2. Meningkatnya kuantitas bencana alam seperti banjir, longsor, kekeringan, angin kencang
3. Berkurangnya ketersediaan air
4. Terjadi pergeseran musim dan perubahan pola hujan
5. Menurunkan produktivitas pertanian dan perkebunan
6. Meningkatnya temperature dapat menyebabkan kebakaran hutan
7. Terancamnya kelestarian biodiversitas dan keanekaragaman hayati
8. Kenaikan muka laut menyebabkan banjir permanen dan kerusakan infrastruktur di daerah pantai (Lakhdar *et al.*, 2012).

Berbagai dampak perubahan iklim terhadap kehidupan manusia, diantaranya adalah:

1. *Ketahanan Pangan Terancam*

Produksi pertanian dan perikanan akan berkurang akibat banjir, kekeringan, dan tekanan air, kenaikan air laut, serta angin kencang. Perubahan iklim juga akan mempengaruhi musim tanam, musim panen dan jangka waktu penanaman. Peningkatan suhu 1°C diperkirakan akan menurunkan panen padi sebesar 10%.

2. *Kepunahan Spesies*

Salah satu akibat perubahan iklim adalah gangguan pada kesinambungan wilayah ekosistem (fragmentasi ekosistem). Dampaknya, terjadi kematian terumbu karang (*coral bleaching*) akibat naiknya suhu air laut. Para peneliti memperkirakan 15%-37% dari seluruh spesies dapat menjadi punah di enam wilayah yang mewakili 20% muka bumi pada 2050.

3. *Resiko Kesehatan*

Cuaca yang ekstrem akan mempercepat penyebaran penyakit baru dan bisa memunculkan penyakit lama. Badan Kesehatan PBB memperkirakan bahwa peningkatan suhu dan curah hujan akibat perubahan iklim menyebabkan kematian 150.000 jiwa setiap tahun. Penyakit malaria, diare, dan demam berdarah diperkirakan akan meningkat di negara tropis seperti Indonesia.

4. *Krisis Air*

Di beberapa kawasan, terutama di daerah tropik kering akan terjadi krisis air akibat ketersediaan air berkurang 10%-30%. Kelangkaan air akan menimpa jutaan orang di Asia Pasifik akibat musim kemarau berkepanjangan dan intrusi air laut ke daratan.

5. *Penurunan Pertumbuhan Ekonomi*

Hilangnya lahan produktif akibat kenaikan permukaan laut, kekeringan, bencana, dan risiko kesehatan berdampak terhadap ekonomi. Diperkirakan dalam 10 atau 20 tahun mendatang

perubahan iklim akan berdampak besar terhadap ekonomi. Untuk itu dunia harus berupaya mengurangi emisi carbon dan membantu negara-negara miskin untuk beradaptasi terhadap perubahan iklim demi kelangsungan pertumbuhan ekonomi. Dibutuhkan investasi sebesar 1% dari total pendapatan dunia untuk mencegah hilangnya 5%-20% pendapatan di masa mendatang akibat dampak perubahan iklim.

6. *Dampak Sosial, Budaya dan Politik.*

Timbulnya bencana akibat perubahan iklim akan meningkatkan jumlah pengungsi di dalam suatu negara maupun antar negara. Proses mengungsi ini membuat orang menjadi miskin dan tercerabut dari akar sosial dan budayanya, terutama hubungan dengan tanah leluhur dan kearifan budaya mereka. Di sisi lain, krisis pangan, air dan sumberdaya, serta peningkatan jumlah pengungsi akan menimbulkan konflik horizontal sehingga bisa memicu konflik politik di dalam suatu negara maupun antar negara.

7.3.2 Dampak Perubahan Iklim: Siapa yang paling menderita?

Dampak perubahan iklim akan dirasakan oleh seluruh dunia. Namun, yang paling rawan terkena dampaknya adalah negara dan masyarakat miskin. Dampak perubahan iklim tidak dipikul dengan adil. Negara kepulauan kecil dan negara berkembang yang merupakan penyumbang terkecil emisi GRK, justru yang akan mengalami dampak paling besar dan paling tidak siap menghadapi perubahan iklim. Sebagai contoh, negara-negara kepulauan kecil di Pasifik hanya menyumbangkan 0,06% dari total emisi seluruh dunia, tetapi akan menjadi korban paling pertama akibat naiknya permukaan air laut. Demikian pula, masyarakat pesisir yang paling miskin yang akan menjadi korban terlebih dahulu. Diprediksi 200 juta orang akan menjadi pengungsi akibat bencana iklim pada 2050, sebagian besar di antaranya adalah

masyarakat miskin di wilayah pesisir dan kelompok petani di negara-negara berkembang.

7.3.3 Dampak Perubahan Iklim: Bagaimana dengan Indonesia?

Sampai saat ini belum ada data komprehensif mengenai dampak perubahan iklim di Indonesia. Namun beberapa data berikut mengindikasikan dampak perubahan iklim, diantaranya:

1. Suhu rerata tahunan menunjukkan peningkatan sebesar 0,3°C sejak tahun 1990.
2. Musim hujan datang lebih lambat, lebih singkat, namun curah hujan lebih intensif sehingga meningkatkan risiko terjadi banjir. Diperkirakan pada tahun 2080 sebagian Sumatera dan Kalimantan berubah menjadi 10-30% lebih basah pada musim hujan; sedangkan Jawa dan Bali 15% lebih kering.
3. Adanya variasi musiman dan cuaca ekstrim, sehingga meningkatkan risiko kebakaran hutan dan lahan, terutama di Selatan Sumatera, Kalimantan, dan Sulawesi (CIFOR, 2004).
4. Perubahan kadar penguapan air (evaporasi), dan kelembaban tanah yang akan berdampak pada sektor pertanian dan ketahanan pangan. Perubahan iklim akan menurunkan kesuburan tanah 2%- 8%, mengurangi panen padi 4% per tahun, kacang kedelai 10%, dan jagung 50%.
5. Kenaikan permukaan air laut akan mengancam wilayah dan masyarakat pesisir. Contoh Teluk Jakarta naik 57 mm per tahun. Diperkirakan pada tahun 2050, 160 km² wilayah kota jakarta akan terendam air, termasuk Kelapa Gading, Bandara Sukarno-Hatta dan Ancol (Susandi, Jakarta Post, 7 Maret 2007).
6. Di pulau Bali telah terjadi abrasi pada 140 titik dari panjang pantai 430 km. Laju kerusakan pantai di Bali

diperkirakan mencapai 3,7 Km per tahun dengan erosi ke daratan 50-100 meter per tahun (Bali Membangun, 2004). Kerusakan ini ditambah potensi dampak dari perubahan iklim diduga akan menyebabkan muka air laut naik 6 meter pada 2030, sehingga Kuta dan Sanur akan tergenang (Bali Post, 16 Agustus 2007). Hal ini mengancam keberlangsungan pendapatan dari pariwisata yang mengandalkan kekayaan dan keindahan pantai dan laut di Bali.

Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, menghadapi risiko kehilangan banyak pulau-pulau kecilnya dan penciutan kawasan pesisir akibat kenaikan permukaan air laut. Luas wilayah terestrial Indonesia akan berkurang. Dampak kenaikan muka air laut akan mengurangi lahan pertanian dan perikanan yang pada akhirnya akan menurunkan potensi pendapatan masyarakat petani dan nelayan. Kerusakan pesisir dan bencana yang terkait dengan hal itu akan mengurangi pendapatan negara dan masyarakat dari sektor pariwisata. Sementara itu, negara harus menaikkan anggaran untuk menanggulangi bencana yang meningkat, mengelola dampak kesehatan, dan menyediakan sarana bagi pengungsi yang meningkat akibat bencana. Industri di kawasan pesisir juga kemungkinan besar akan menghadapi dampak ekonomi akibat permukaan air laut naik. Semuanya akan meningkatkan beban anggaran pembangunan nasional dan daerah.

Meskipun dampak-dampak tersebut masih sering dikatakan sebagai "diperkirakan", tetapi perubahan pola cuaca, intensitas hujan dan musim kering, serta peningkatan bencana sudah mulai kita rasakan sekarang, tidak perlu menunggu hingga tahun 2030 atau 2050. Dengan demikian jika peningkatan suhu rata-rata bumi ini tidak dibatasi pada 2°C maka dampaknya akan sulit dikelola manusia maupun alam.

7.4 Cara Mengatasi Dampak Perubahan Iklim

7.4.1 Tindakan yang Harus Dilakukan

Isu perubahan iklim telah menyebabkan manusia bergerak cepat melakukan langkah mitigasi untuk menguranginya. Selain itu manusia melakukan langkah adaptasi untuk mengurangi dampak perubahan iklim bagi kehidupan (Dasanto, 2010). Konsekuensi adanya perubahan iklim adalah tantangan yang signifikan terhadap lingkungan, ekonomi global, dan kesehatan manusia dengan semua perubahan yang mempengaruhi generasi mendatang. Pembangunan berkelanjutan sangat krusial dalam kerangka mitigasi terhadap perubahan iklim. Hal ini juga berdampak terhadap generasi mendatang terhadap ancaman bahaya. Tindakan nyata dalam mitigasi bencana adalah fokus pada keadilan dan kesinambungan pembangunan dan kebijakan nasional, dengan bekerja pada berbagai tingkatan, bekerja sama secara konstruktif pada tingkat nasional dan internasional (Soedjajadi, 2007).

Upaya pencegahan pemanasan global bertujuan untuk memperlambat atau mengurangi proses pemanasan global. Upaya-upaya tersebut antara lain adalah:

- a. Mengurangi aktivitas yang menghasilkan gas rumah kaca dan penggunaan bahan perusak ozon (BPO), dengan cara:
 - 1) Mengurangi emisi gas rumah kaca dengan mengurangi pembakaran sampah di area TPA, pertanian, perkebunan, dan lainnya
 - 2) Menggalakkan pembangunan TPA *sanitary landfill* dalam usaha pengurangan emisi gas metan dan karbon
 - 3) Melarang atau membatasi penggunaan alat-alat yang menghasilkan BPO atau bahan perusak ozon
 - 4) Menciptakan dan menggalakkan penggunaan alat-alat yang ramah lingkungan
 - 5) Membangun pembangkit listrik yang ramah lingkungan (tidak menggunakan bahan bakar fosil) (PLT Air, PLT Angin, PLTS, PLTN, PLT Fuel Cell)

- 6) Menghemat penggunaan energi di bidang industri, pembangkit listrik berbahan bakar fosil, bangunan komersial, transportasi, dan rumah tangga
 - 7) Menggalakkan kendaraan bermotor berbahan bakar gas, tenaga surya, *fuell cell*, dan hybrid
 - 8) Menggalakkan penggunaan bahan bakar Gas sebagai pengganti bahan bakar kayu atau fosil
 - 9) Menggalakkan penggunaan bahan bakar ramah lingkungan
 - 10) Mewajibkan uji emisi pada setiap kendaraan dan pemasangan *catalitic converter* pada kendaraan yang menghasilkan gas buang melebihi ambang batas
 - 11) Memasang alat penyaring emisi (filter) pada berbagai cerobong yang menghasilkan GRK
- b. Mempertahankan keberadaan daerah resapan air maupun penyerap karbon dengan menjaga keberadaan daerah terbuka hijau, dengan cara:
- 1) Mencegah terjadinya penebangan hutan secara liar
 - 2) Mencegah konversi ruang terbuka hijau menjadi daerah terbangun
 - 3) Mencegah kerusakan hutan bakau
 - 4) Meningkatkan keberadaan hutan kota atau kabupaten serta lahan terbuka hijau lainnya
 - 5) Melarang pembangunan di daerah resapan air.
- c. Meningkatkan kepedulian terhadap data lingkungan laut, darat dan udara, dengan cara:
- 1) memperkuat keberadaan data lingkungan laut, darat dan udara
 - 2) Monitoring terhadap perubahan variabilitas iklim
 - 3) Monitoring terhadap perubahan garis pantai
 - 4) Monitoring terhadap kenaikan muka air laut
 - 5) Monitoring terhadap terjadinya banjir dan kekeringan di setiap wilayah

- 6) Monitoring terhadap penyusutan ketersediaan air.
- d. Melakukan perencanaan tata ruang dan wilayah berwawasan lingkungan yang mengkombinasikan perencanaan tata ruang darat, air, dan udara.
- e. Meningkatkan kepedulian masyarakat terhadap upaya memperlambat/mencegah meningkatnya pemanasan global.

Upaya penanggulangan dampak perubahan iklim akibat pemanasan global digunakan untuk mengurangi dampak atau akibat dari perubahan iklim yang sudah terjadi. Upaya-upaya tersebut antara lain adalah:

- a. Meningkatkan sarana dan prasarana penanggulangan bencana banjir dan kekeringan, meliputi:
 - 1) Penyesuaian desain dan sistem drainase dalam rangka penanggulangan banjir
 - 2) Peningkatan jumlah waduk dan sumur resapan sebagai usaha mempertahankan ketersediaan cadangan air
 - 3) Meningkatkan perangkat pemadam kebakaran baik pemadam kebakaran hutan maupun perumahan
 - 4) Peningkatan perangkat penanggulangan banjir.
- b. Merehabilitasi lahan kritis dengan cara menggalakkan penanaman pohon (reboisasi) sebagai upaya memperbanyak media penyerap gas karbon dan meningkatkan ketersediaan cadangan air.
- c. Peningkatan penanganan lingkungan dan habitat pesisir, meliputi:
 - 1) Merehabilitasi habitat hutan mangrove, terumbu karang dan padang lamun
 - 2) Peningkatan bangunan pelindung pantai dan pesisir
 - 3) Penyesuaian rtrw terhadap perubahan kondisi (lahan, infrastruktur, sosial dan lingkungan) sebagai akibat dari dampak pemanasan global.

- d. Peningkatan pelayanan kesehatan masyarakat (Suwedi, 2005).

Pelaksanaan pembangunan nasional selama ini telah menimbulkan beberapa dampak negatif berupa perubahan tata guna lahan yang berakibat hilangnya tutupan lahan. Hal ini terbukti menurunkan daya dukung lingkungan, sehingga bencana banjir dan kekeringan semakin sering terjadi, disertai bencana ikutannya seperti longsor, korban jiwa, pengungsian penduduk, gangguan kesehatan, sampai kelaparan dan anak putus sekolah (Pawitan, 2016).

Perubahan iklim global juga berdampak terhadap ketidakseimbangan jumlah air di musim kemarau dan musim hujan di kawasan Daerah Aliran Sungai (DAS). Pada saat musim kemarau, kekurangan air, sedangkan di musim penghujan terancam banjir, erosi dan tanah longsor. Penerapan pola usaha tani secara agroforestri merupakan salah satu bentuk upaya adaptasi terhadap dampak perubahan iklim global. Konservasi daerah tebing rawan longsor dapat dilakukan melalui penghijauan dengan pola tanam, variasi tanaman dengan sistem perakaran dalam yang diselengi dengan tanaman yang lebih pendek dan ringan, permukaan tanah ditanami rumput, dan disertai perbaikan drainase agar stabilitas lereng tetap terjaga (Hairiah, 2013).

7.4.2 Peran Indonesia: Kerjasama Mitigasi Perubahan Iklim

Sebagai bagian dari masyarakat dunia, Indonesia turut berperan aktif dalam mewujudkan komitmen mengurangi dampak perubahan iklim. Diantaranya turut berperan aktif dalam kerjasama Internasional. Kepedulian Internasional terhadap terjadinya pemanasan global, yaitu:

- a. Terselenggaranya Konferensi Internasional mengenai Perubahan Iklim pada tahun 1979

- b. Terbentuknya *Intergovernmental Negotiating Committee* (INC) oleh PBB pada Tahun 1990 sebagai respon dari laporan yang dipublikasikan oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC)
- c. Terselenggaranya KTT Bumi Rio de Janeiro pada Juni 1992 dengan hasil *United Nation Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC)
- d. Terselenggaranya *Conference of Parties* (COP) 1 sampai 7
 - 1) Pada COP I Tahun 1995 di Berlin
 - 2) Pada COP II Tahun 1996 di Geneva
 - 3) Pada COP III Tahun 1997 dengan hasil Kyoto Protocol
 - 4) Pada COP IV Tahun 1998 dengan hasil *Buenos Aires Action Plan* (BAPA)
 - 5) Pada COP V Tahun 1999 di Bonn- Jerman
 - 6) Pada COP VI Tahun 2000 di Den Haag – Belanda
 - 7) Pada COP VII Tahun 2001 dengan hasil *Marakech Accord*.

Kepedulian Indonesia Terhadap Pemasaran Global:

- a. Meratifikasi UNFCCC- KTT Bumi Rio de Janeiro pada tanggal 23 Agustus 1994
- b. Melaksanakan Program Kali Bersih (PROKASIH)
- c. Melaksanakan Program Langit Biru
- d. Melaksanakan Sosialisasi Konsep Pembangunan Berkelanjutan
- e. Berperan aktif di tingkat internasional dalam rangka penyusunan kebijakan bersama dalam menjaga kelestarian lingkungan (Suwedi, 2005).

Penyebab utama terjadinya perubahan iklim adalah meningkatnya dampak dari limbah (terutama gas-gas rumah kaca) yang dihasilkan dari aktivitas industri oleh manusia dalam memenuhi kebutuhannya. Untuk menangani perubahan iklim,

dibentuklah organisasi-organisasi internasional yang membahas isu perubahan iklim, diantaranya adalah IPCC dan UNFCCC. Menurut laporan IPCC (2007), pemanasan global telah terbukti dengan meningkatnya suhu rata-rata udara dan laut, mencairnya salju dan es secara cepat, serta naiknya permukaan laut. UNFCCC adalah organisasi internasional yang dibentuk pada tahun 1992 dan berlaku pada tahun 1994, yang khusus untuk menangani perubahan iklim global. Pada tahun 2015, dibentuklah *Paris Agreement* dalam naungan UNFCCC, dimana hampir seluruh negara di dunia meratifikasi *Paris Agreement*. *Paris Agreement* mengharuskan seluruh negara anggotanya untuk menyerahkan upaya terbaik mereka dalam isu perubahan iklim melalui NDC kepada UNFCCC.

Negara-negara ASEAN telah meratifikasi *Paris Agreement* dan telah menyerahkan NDC masing-masing kepada Sekretariat UNFCCC. Kerjasama antar anggota ASEAN dalam mitigasi perubahan iklim untuk mengurangi dampaknya, juga diperkuat. Mengembangkan strategi jangka panjang untuk ASEAN menjadi salah satu kunci untuk menginformasikan dan memandu perencanaan kebijakan sektoral dan lintas sektoral anggota ASEAN yang sejalan dengan tujuan jangka panjang *Paris Agreement*. Oleh karena rentanitas negara ASEAN terhadap dampak perubahan iklim, ASEAN pun memiliki kemajuan yang stabil di bidang yang berhubungan dengan adaptasi perubahan iklim, seperti adanya promosi terhadap pengetahuan tentang perubahan iklim kepada masyarakat lokal. Dalam ASEAN, terdapat beberapa kelompok kerja yang membahas isu-isu penting; seperti AWGCC yang membahas isu perubahan iklim dan AWGFCC yang khusus membahas potensi dan peran hutan dalam mitigasi perubahan iklim. Selain itu, ASEAN telah merespon perubahan iklim dengan berfokus pada implementasi tindakan yang sesuai dengan ASCC Blueprint 2025. ASCC Blueprint 2025 ini akan diwujudkan oleh

negara ASEAN dengan dipandu AWGCC *Action Plan* yang memiliki aksi-aksi prioritas hingga tahun 2025 nanti.

Bagaimana kebijakan Indonesia terhadap rentannya perubahan iklim? Sebagai salah satu negara anggota ASEAN, dalam mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) berdasarkan target NDC *Paris Agreement* pemerintah Indonesia telah berkomitmen untuk mengurangi emisi GRK Indonesia sebagai upaya untuk menanggulangi perubahan iklim. Salah satu langkah Indonesia dalam mencapai target penurunan emisi GRK adalah dengan melakukan rencana aksi mitigasi di sektor energi dengan target penurunan sebesar 314,03 Mt CO₂e pada tahun 2030. Selain itu, Indonesia juga telah mengeluarkan *Long-Term Strategy for Low Carbon and Climate Resilience* (LTS-LCCR). LTS-LCCR ini memiliki peran yang penting dalam Visi Indonesia 2045. Dalam dokumen LTS-LCCR, Indonesia dikatakan masih akan menggunakan batubara sebagai sumber listrik. Hal ini dapat dilihat dengan masih adanya porsi untuk PLTU dengan menggunakan teknologi CCS/CCUS.

Dalam AWGCC *Action Plan*, terdapat 3 kegiatan yang akan dipimpin oleh Indonesia, yaitu *adaptation and resilience* (adaptasi dan ketahanan), *mitigation* (mitigasi), dan *technology transfer* (transfer teknologi). Dengan adanya AWGCC ini, Indonesia dapat bertukar informasi dengan negara ASEAN lainnya perihal isu perubahan iklim. Indonesia dan negara ASEAN lainnya, dapat berdiskusi dan fokus akan isu perubahan iklim, seperti bertukar pengalaman dan pembelajaran tentang aksi iklim dengan negara ASEAN, saling belajar tentang dampak iklim dan bagaimana pengaruhnya terhadap kesehatan, serta dapat mempromosikan dan meningkatkan ilmu tentang perubahan iklim. Selain itu, ada satu kelompok kerja di ASEAN yang dipelopori dan dipimpin oleh Indonesia, yaitu AWGFCC. Meskipun terdengar sama, namun AWGFCC dan AWGCC adalah kelompok kerja yang berbeda. Dalam AWGFCC, negara ASEAN, termasuk Indonesia, akan

mempraktikkan pengelolaan hutan lestari, termasuk aforestasi, reboisasi, serta REDD+ untuk mengutamakan potensi dan peran hutan dalam aksi mitigasi perubahan iklim.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, N., & Trisakti, B. 2011. Kajian Dampak Perubahan Iklim Terhadap Di Provinsi Kalimantan Barat. *Journal Pengideraan Jauh*, 8, 11–20.
- Bali Post, 16 Agustus 2007.
- BBPPSLP. 2008. Dampak Perubahan Iklim Terhadap Sektor Pertanian, Serta Strategi Antisipasi Dan Teknologi Adaptasi. *Pengembangan Inovasi Pertanian*, 1(2), 138–140. Retrieved from <http://pustaka.litbang.pertanian.go.id/publikasi/ip012086.pdf>
- Darojati, N. W., Barus, B., & Sunarti, E. 2015. Pemantauan Bahaya Kekeringan Di Kabupaten Indramayu. *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*, 17(2), 60. <https://doi.org/10.29244/jitl.17.2.60-68>
- Dasanto, B. D. 2010. Penilaian Dampak Kenaikan Muka Air Laut Pada Wilayah Pantai : Studi Kasus Kabupaten Indramayu. *Jurnal Hidrosfir Indonesia*, 5(2), 45–53.
- Gentur Adi Tjahjono, P. W. R. N. 2018. Dampak Perubahan Iklim Terhadap Imbangan Air Secara Meteorologis dengan Menggunakan Metode Thornthwaite Mather Untuk Analisis Kekritisian Air Di Karst Wonogiri. *Geomedia: Majalah Ilmiah Dan Informasi Kegeografian*, 13(1), 27–40. <https://doi.org/10.21831/gm.v13i1.4475>
- Hairiah, K. 2013. Perubahan Iklim Global : Penyebab dan dampaknya terhadap lingkungan dan kehidupan. Jakarta Post, 7 Maret 2007.
- Indarto, Wahyuningsih, S., Pudjojono, M., Ahmad, H., & Yusron, A. 2014. Studi Pendahuluan tentang Penerapan Metode Ambang Bertingkat... *Jurnal Agroteknologi*, Vol. 08 No. 02 2014. *Jurnal Agroteknologi*, 08(02), 112–121. Retrieved from 08/11/2016 jurnal.unej.ac.id/index.php/JAGT/article/view/3040/2446

- Kumalasari, N. R. 2014. Kapasitas Adaptasi terhadap Kerentanan dan Bencana Perubahan Iklim di Tambak Lorok Kelurahan Tanjung Mas Semarang. *Jurnal Pembangunan Wilayah & Kota*, 10(4), 476. <https://doi.org/10.14710/pwk.v10i4.8173>
- Lakhdar, R., Baffoun, N., Hammami, N., Nagi, S., Baccar, K., Drissi, S., & Kaddour, C. 2012. Aspects neuroradiologiques de la pathologie vasculaire cérébrale du peripartum nécessitant un transfert en milieu de reanimation. *Tunisie Medicale*, 90(3), 223–232.
- Pawitan, H. 2016. Terhadap Hidrologi Daerah Aliran Sungai Land Use Changes and Their Impacts on Watershed Hydrology. (August), 65–80. <https://doi.org/10.1186/1743-422X-6-186>
- PEACE, 2007. *Ringkasan Eksekutif. Indonesia dan Perubahan Iklim : Status Terkini dan Kebijakannya*.
- Ramlan, M. 2002. Pemanasan global (global warming). *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 3(1), 30–32.
- Ramadhan, T. 2017. Pemahaman Masyarakat Mengenai Dampak Pembangunan Hunian Terkait Global Warming dan Penerapan Green Building. *Pros. Temu Ilm. IPLBI*, 035–42.
- Rochmayanto, Y., & Kurniasih, P. 2013. Peranan gender Dalam Adaptasi Perubahan Iklim Pada Ekosistem Pegunungan di Kabupeten Solok, Sumatera Barat (The Role of Gender on Climate Change Adaptation in the Mountainous Ecosystem at Solok District, West Sumatera). *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*, 10(3), 203–213.
- Soedjajadi, K. 2007. Perubahan Iklim Global, Kesehatan Manusia dan Pembangunan Berkelanjutan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 3(2), 195–204.
- Subagyono, K. dan E. S. 2007. Pengelolaan Sumberdaya Iklim dan Air untuk Antisipasi Perubahan Iklim. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 8(1), 27–41.

- Stern, 2006. *Review on The Economics of Climate Change*
- Surmaini, E., & Runtunuwu, E. 2015. Upaya sektor Pertanian dalam Menghadapi Perubahan Iklim. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian*, 30(1), 1–7. <https://doi.org/10.21082/jp3.v30n1.2011.p1-7>
- Suwedi, N. 2005. Upaya Pencegahan Dan Penanggulangan Dampak Pemanasan Global. *J. Tek. Ling. P3TL-BPPT*, (2), 397–401.
- Team SOS. 2011. *Pemanasan Global Solusi dan Peluang Bisnis*. PT Gramedia Pustaka Utama.
- Wibowo, A. 2009. Peran Lahan Gambut Dalam Perubahan Iklim Global. *Tekno Hutan Tanaman*, 2(1), 19–28.
- Widyati, E. 2010. Kajian Optimalisasi Pengelolaan Lahan Gambut dan Isu Perubahan Iklim. Overview on Optimizatin of Peat Lands Management and Climate Change Issues. *Tekno Hutan Tanaman*, 4(2), 57–68. <https://doi.org/10.1007/s10556-007-0052-6>
- World Resources Institute. 2007. *Climate Analysis Indicators Tool (WRI-CAIT) Version 4.0*.

BAB 8

ADAPTASI PERUBAHAN IKLIM

Oleh Firdaus

8.1 Pendahuluan

Upaya adaptasi yang dilakukan manusia terhadap lingkungan di sekitarnya, termasuk iklim, bukanlah hal baru. Pada musim dingin di kawasan Eropa misalnya, masyarakat di sana telah lama beradaptasi dengan mengenakan pakaian tebal agar tubuh mereka tidak menggigil kedinginan diterpa suhu udara yang rendah. Hal serupa juga dilakukan masyarakat Indonesia yang bermukim di dataran tinggi atau pegunungan. Untuk menghadapi suhu udara yang dingin di malam hari, mereka menyesuaikan diri dengan mengenakan jaket atau baju tebal agar tubuh tetap dalam kondisi hangat (Edvin Aldrian, 2011).

Sebaliknya bagi masyarakat yang tinggal di kawasan pesisir atau pantai. Pakaian yang mereka kenakan biasanya terbuat dari kain tipis agar mudah menyerap keringat di siang hari. Tak ada catatan yang pasti kapan upaya-upaya adaptasi semacam itu dilakukan. Namun yang jelas, disadari atau tidak, kebiasaan beradaptasi tersebut sudah berlangsung sangat lama.

Dari beberapa contoh tersebut, jelas bahwa adaptasi adalah suatu usaha makhluk hidup untuk menyesuaikan diri terhadap kondisi lingkungan yang ada. Dalam konteks perubahan iklim, upaya adaptasi dilakukan untuk mengelola permasalahan yang tidak dapat dihindari. Singkat kata, adaptasi adalah upaya untuk mengatasi akibat yang ditimbulkan (Edvin Aldrian, 2011).

8.2 Komponen Adaptasi Perubahan Iklim

Dalam konteks perubahan iklim, dikenal dua istilah penting yang sering digunakan, yaitu adaptasi dan mitigasi perubahan iklim. Menurut UNFCCC, adaptasi diartikan sebagai upaya penyesuaian diri ke dalam sistem iklim yang berubah. Karena itu upaya pengurangan dampak atau risiko perubahan iklim, termasuk penanganan bencana, termasuk ke dalam kategori adaptasi perubahan iklim. Mengapa demikian? Hal ini disebabkan kegiatan tersebut masuk ke dalam pengertian menyesuaikan diri terhadap kondisi alam yang berubah (yang bisa saja diakibatkan oleh perubahan iklim). Menurut (IPCC, 2007), terdapat lima komponen utama kegiatan adaptasi perubahan iklim, yakni:

a. Atribusi komponen perubahan iklim terhadap kegiatan sosial ekonomi dan biosfer

Atribusi menyangkut masalah komponen yang memberi kontribusi terhadap perubahan, baik dalam konteks pemanasan global, perubahan iklim, maupun dampaknya. Terkait pemanasan global, masalah atribusi menyangkut komponen iklim dan noniklim yang berkontribusi terhadap peningkatan suhu muka Bumi seperti letusan gunung api, sinar kosmis, dan perubahan radiasi Matahari.

Dalam hal perubahan iklim, masalah atribusi utama menyangkut kontribusi perubahan lingkungan dan tutupan lahan terhadap faktor iklim. Terkait dengan dampak, atribusi menyangkut kontribusi

perubahan parameter iklim atau gas rumah kaca (GRK) yang terjadi terhadap dampak yang ditimbulkan seperti banjir kekeringan, kebakaran hutan, perubahan populasi hewan, perubahan migrasi burung, dan lain sebagainya.

b. Kajian dan studi dampak

Dampak dari perubahan iklim selalu dihubungkan dengan upaya adaptasi. Beberapa unsur pendukung upaya adaptasi sangat tergantung pada pengenalan dampak yang ditimbulkan pada objek perubahan iklim. Dampak yang terjadi dapat berupa langsung terlihat atau tidak langsung tetapi menunjukkan akibat secara perlahan. Contoh dari dampak langsung adalah perubahan pola hujan, kekeringan, banjir, kebakaran hutan, gelombang panas, angin puting beliung, dan lain-lain. Dengan memahami bahwa perubahan iklim adalah proses yang dimulai secara lambat dan laju yang pelan, saat ini semakin banyak dampak tidak langsung yang mulai dikenali.

Contoh dampak tidak langsung adalah dampak sektoral seperti pola penyakit pada manusia dan tanaman, gangguan pariwisata, infrastruktur, transportasi, dan lain sebagainya. Salah satu kesulitan terbesar dalam melihat dampak perubahan iklim adalah melakukan kajian atribusi faktor perubahan iklim terhadap dampaknya dan memisahkan pada penyebab noniklim.

c. Kerentanan terhadap perubahan iklim

Dalam beradaptasi, ternyata upaya yang sama tidak selalu menghasilkan hasil serupa pada masyarakat. Hal ini terutama disebabkan oleh dua faktor, yakni kerentanan dan kapasitas adaptasi. Kerentanan adalah ukuran ketidakberdayaan masyarakat atau komunitas terhadap upaya adaptasi karena faktor paparan atau hamparan bencana yang dihadapi dan dikombinasikan dengan faktor kesiapan komunitas tersebut untuk beradaptasi (kapasitas adaptasi). Ada kondisi dimana masyarakat siap tetapi bencana yang dihadapi sangat besar sehingga tingkat kerentanannya tinggi. Sementara itu, ada kondisi dimana kerentanan kecil karena paparan bencana yang kecil dengan kesiapan masyarakat yang tinggi. Paparan bencana

yang dimaksud adalah bencana iklim akibat dari perubahan iklim yang ditandai dengan bencana yang berhubungan dengan parameter iklim seperti curah hujan, angin, suhu, tekanan, kelembaban, dan tutupan awan. Sebagai contoh wilayah yang berubah dengan tutupan awan yang semakin tinggi menjadi rentan untuk budidaya tembakau.

d. Kapasitas adaptasi dan kajian ketahanan terhadap perubahan iklim

Kapasitas adaptasi berhubungan erat dengan daya tahan terhadap perubahan iklim dan merupakan ukuran kelenturan masyarakat dalam melakukan upaya adaptasi. Tidak ada ukuran yang universal dari kapasitas adaptasi sehingga ukuran kerentanan juga menjadi tidak seragam. Hal ini sangat berbeda dengan ukuran paparan bencana yang dapat diukur dalam satuan ilmiah. Kapasitas adaptasi menyangkut masalah sosial, ekonomi, dan budaya dengan jumlah faktor yang tidak terbatas berhubungan dengan aktivitas yang dilakukan. Sebagai contoh dalam mengkaji kerentanan perubahan

iklim terhadap pertanian di Jawa, faktor irigasi merupakan salah satu faktor dominan yang menentukan. Namun hal ini tidak berlaku di Pulau Bali karena irigasi lokal yang disebut Subak itu sudah menjadi bagian sosial budaya masyarakat yang melekat. Karena itu irigasi di Bali yang sudah melekat erat dalam adat itu bukan lagi dianggap hambatan dalam beradaptasi terhadap perubahan iklim. Beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam penghitungan kapasitas adaptasi adalah unsur income (pendapatan atau ekonomi), pendidikan, sarana kesehatan, prasarana perhubungan, dan prasarana telekomunikasi.

e. Risiko Iklim

Risiko iklim adalah faktor yang diperoleh akibat peluang terjadinya

bencana iklim dan konsekuensi yang ditimbulkan oleh kejadian iklim tersebut. Bencana iklim yang dimaksudkan dapat berhubungan dengan kondisi iklim ekstrem akibat perubahan iklim. Besarnya konsekuensi yang ditimbulkan oleh peluang terjadinya iklim ekstrem tersebut dapat dinyatakan dalam satuan keekonomian atau faktor kerugian seperti risiko hilangnya jiwa, harta benda, dan infrastruktur. Sebagai contoh, peningkatan peluang udara dengan kelembaban tinggi dapat meningkatkan risiko penurunan jam kerja buruh. Pada kasus ini, terjadi risiko iklim yang dapat dihitung dalam satuan kehilangan potensi ekonomi akibat faktor iklim.

Golongan yang paling rentan terhadap dampak perubahan iklim adalah masyarakat miskin. Mereka juga merupakan golongan yang paling terkena dampak terhambatnya pembangunan nasional. Dengan demikian, respon terhadap perubahan iklim harus mengikutsertakan program pengentasan kemiskinan. Adaptasi terhadap perubahan iklim merupakan aspek kunci yang harus menjadi agenda pembangunan nasional dalam rangka mengembangkan pola pembangunan yang tahan terhadap dampak perubahan iklim dan gangguan anomali cuaca yang terjadi saat ini sertaantisipasi dampaknya ke depan. Tujuan jangka panjang dari agenda adaptasi perubahan iklim di Indonesia adalah terintegrasinya adaptasi perubahan iklim ke dalam perencanaan pembangunan nasional.

8.3 Kebijakan Menghadapi Perubahan Iklim

Agenda adaptasi perubahan iklim harus difokuskan pada bidang yang rentan terhadap perubahan iklim, yakni: sumber daya air, pertanian, perikanan, pesisir dan laut, infrastruktur dan permukiman, kesehatan, serta kehutanan. Untuk mencapai pembangunan yang tahan terhadap risiko iklim, masing-masing bidang tersebut perlu mengenal empat hal. Pertama, tujuan

agenda adaptasi dan mitigasi perubahan iklim yang ingin dicapai terkait erat dengan tujuan pembangunan nasional, yang dapat juga diselaraskan dengan pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs) Indonesia (Kementerian PPN/Bappenas, 2020).

Kedua, kondisi yang ada pada masing-masing bidang yang difokuskan saat ini, baik biofisik, program, inisiatif yang ada, maupun institusi yang bertanggung jawab terhadap dampak perubahan iklim. Ketiga, perubahan kunci yang diperlukan pada program, investasi, atau rencana yang sudah ada. Keempat, investasi dan kegiatan tambahan atau kegiatan baru yang diperlukan. Menurut (Diposaptono, S, 2009) Dalam strategi pembangunan, agenda adaptasi untuk menghadapi anomali iklim atau variabilitas iklim saat ini dapat dilakukan dengan berbagai cara, antara lain:

1. Penguatan informasi.

2. Peningkatan basis informasi iklim di hulu

Basis informasi iklim –yang meliputi variabilitas dan perubahannya merupakan informasi dasar yang sangat dibutuhkan dalam melakukan upaya adaptasi. Dengan melihat faktor adaptasi di atas, keseluruhan unsur adaptasi memerlukan informasi iklim, baik untuk atribusi, dampak, kerentanan, maupun risiko. Jenis informasi yang diperlukan meliputi gas rumah kaca, perubahan parameter utama iklim dan tren yang terjadi, kerentanan wilayah, serta peluang kejadian ekstrem. Keseluruhan jenis informasi tersebut diperlukan dalam bentuk historis masa lampau, masa kini, serta proyeksi masa depan. Karena itu perlu adanya pengembangan sistem pengamatan cuaca, iklim, dan hidrologi khususnya di luar Jawa. Selain itu, perlu juga peningkatan kapasitas BMKG dalam membuat ramalan cuaca dan iklim yang lebih akurat mencakup seluruh wilayah di Indonesia.

3. Peningkatan kesadaran dan penyebarluasan informasi perubahan iklim dan informasi adaptasi pada berbagai tingkat masyarakat. Langkah peningkatan kesadaran tersebut harus diberikan terutama kepada masyarakat yang rentan sebagai tindakan kesiapsiagaan dini dan peningkatan kesadaran tentang bencana iklim yang semakin meningkat. Di samping itu, peningkatan kesadaran juga dilakukan dalam cara pandang masyarakat terhadap isu perubahan iklim agar tidak selalu negatif serta melihat pada sisi peluang dibandingkan dengan sisi ancaman. Informasi adaptasi dalam bentuk pengalaman nyata misalnya juga perlu disebarluaskan dalam menyikapi perubahan iklim yang telah, sedang, dan akan terjadi sehingga dapat diambil peluang positif dalam menghadapi perubahan iklim tersebut.
4. Peningkatan kapasitas pengkajian ilmiah
Pengkajian ilmiah tentang perubahan iklim dan dampaknya serta upaya pengendaliannya perlu ditingkatkan. Selain itu, perlu juga dikembangkan model proyeksi perubahan iklim jangka pendek, menengah dan panjang untuk skala lokal atau regional. Semua langkah itu diperlukan untuk menilai kerentanan dan dampak iklim serta menyusun rencana dan strategi kebijakan adaptasi terhadap perubahan iklim dalam jangka pendek, menengah, dan panjang. Upaya yang tak kalah penting lainnya adalah perlu adanya koordinasi dan sinergi riset perubahan iklim antarsektor serta sinergi antara pusat dan daerah.
5. Peninjauan kembali kebijakan-kebijakan inti
Berbagai kebijakan inti, baik secara langsung maupun tidak langsung yang akan dipengaruhi oleh perubahan iklim sebaiknya ditinjau kembali. Dari langkah tersebut, kita dapat mengidentifikasi berbagai penyesuaian yang harus dilakukan terhadap program-program yang didesain dengan mempertimbangkan arah perubahan iklim, kenaikan muka

air laut, serta perubahan kondisi sosial-ekonomi. Upaya ini dimaksudkan untuk mendapatkan kebijakan dan program yang lebih sesuai dalam menghadapi perubahan iklim.

6. Peningkatan kapasitas untuk mengintegrasikan perubahan iklim dengan pengarusutamaan adaptasi perubahan iklim ke dalam perencanaan, perancangan infrastruktur, pengelolaan konflik, dan pembagian kawasan air tanah untuk institusi pengelolaan air.
7. Pengarusutamaan adaptasi perubahan iklim ke dalam kebijakan dan program di berbagai sektor (dengan fokus pada penanggulangan bencana, pengelolaan sumber daya air, pertanian, kesehatan, dan industri).
8. Pengembangan isu perubahan iklim dalam kurikulum sekolah menengah dan perguruan tinggi.
9. Pengembangan sistem infrastruktur dan tata-ruang serta sektor-sektor yang tahan dan tanggap terhadap guncangan dan perubahan iklim. Di samping itu, perlu juga dikembangkan dan ditata kembali tata ruang wilayah, khususnya pada kawasan pantai.

8.4 Berbagai Usaha Adaptasi yang Bisa Dilakukan Masyarakat

Seluruh masyarakat, apapun profesinya, sebenarnya dapat berkontribusi dalam usaha adaptasi perubahan iklim. Semakin serius kita melakukan upaya adaptasi, kian terasa nyaman dalam menghadapi perubahan iklim. Berikut ini hal-hal praktis yang bisa dilakukan masyarakat luas dalam upaya melakukan adaptasi terhadap perubahan iklim (Kementerian Lingkungan Hidup, 2007).

a. Masyarakat umum

- a. Memanfaatkan informasi iklim dan cuaca untuk optimalisasi aktivitas dan peningkatan kapasitas adaptif.
- b. Melakukan program pengurangan risiko bencana terkait iklim seperti penghutanan kembali (reboisasi) dan

penghijauan terutama di kawasan hutan/lahan yang kritis, baik di hulu maupun di hilir (kawasan pesisir) dengan melibatkan peran serta masyarakat luas.

- c. Meningkatkan ketahanan tubuh menghadapi pergeseran musim.
 - d. Membangun infrastruktur dengan menyesuaikan risiko dampak perubahan iklim.
 - e. Membuat rumah panggung.
 - f. Membangun dam (tanggul) untuk penahan banjir dan membuat drainase untuk pengelolaan air.
 - g. Membuat resapan biopori untuk penanggulangan banjir.
 - h. Memperbaiki manajemen pengelolaan air, termasuk sistem dan jaringan irigasi.
 - i. Mengembangkan teknologi panen air, seperti membangun embung, dam, parit, dan lain sebagainya.
- b. Petani
- a. Meningkatkan pengetahuan dan informasi tentang perubahan iklim antara lain melalui Sekolah Lapang Iklim, sistem peringatan dini, dan sistem jaringan informasi iklim.
 - b. Menyesuaikan kalender tanam.
 - c. Menyesuaikan jenis komoditas yang akan ditanam.
 - d. Memilih jenis dan varietas tanaman yang lebih tahan terhadap perubahan lingkungan, antara lain tahan kekeringan, tahan genangan, berumur genjah, dan tahan terhadap air payau.
 - e. Mengembangkan jenis dan varietas tanaman yang toleran terhadap stres lingkungan. Contoh stres lingkungan adalah kenaikan suhu udara, kekeringan, genangan (banjir), dan salinitas.
 - f. Menjaga tingkat keasaman tanah dengan menambahkan kapur (*amelioran*).

- g. Menerapkan teknologi hemat air (efisiensi penggunaan air), terutama pada lahan yang rentan terhadap kekeringan.
- h. Menerapkan sistem irigasi berselang dan melakukan efisiensi penggunaan air, seperti irigasi tetes dan pemberian mulsa.
- i. Menanam lebih dari satu jenis tanaman (tumpang sari).
- j. Mengembangkan teknologi silase untuk mengatasi kelangkaan pangan musiman.
- k. Mengembangkan teknologi pengelolaan tanah dan tanaman untuk meningkatkan daya adaptasi tanaman
- l. Menerapkan teknologi pengelolaan tanah dan tanaman untuk meningkatkan daya adaptasi tanaman.
- m. Mengembangkan ternak yang adaptif terhadap lingkungan yang lebih ekstrem (kekeringan, suhu tinggi, dan genangan).
- n. Mengembangkan sistem integrasi tanaman-ternak (*crop livestock system* atau CLS) untuk mengurangi risiko dan optimalisasi penggunaan sumber daya lahan.
- o. Mengembangkan sistem perlindungan usaha tani dari kegagalan akibat perubahan iklim atau *crop weather insurance*.

c. Nelayan

- a. Meningkatkan pengetahuan dan informasi tentang perubahan iklim antara lain melalui Sekolah Lapang Iklim, sistem peringatan dini, dan sistem jaringan informasi iklim.
- b. Menanam vegetasi pantai seperti mangrove, waru laut, cemara, dan lain-lain.
- c. Menyesuaikan alat tangkap.
- d. Menyesuaikan bentuk rumah di pesisir (rumah panggung) atau membangun struktur terapung.

- e. Menanam mangrove sebagai pembatas tambak dan pelindung pantai.
- f. Melakukan wanamina (gabungan antara hutan mangrove dan budidaya ikan).
- g. Mencari akses informasi mengenai iklim dan lokasi penangkapan.
- h. Menyesuaikan pakan dan pendukung produksi tambak yang rendah emisi.
- i. Memperkuat kelembagaan nelayan untuk ketahanan menghadapi perubahan iklim Melakukan tindakan perlindungan diri di balik pulau.
- j. Membuat APO (alat pemecah ombak).

8.5 Beberapa Upaya Adaptasi yang Dilakukan Oleh Pemerintah

8.5.1 Upaya Adaptasi di Sektor Pertanian

1. Menerapkan Teknologi Pengelolaan Sumber Daya Air

- a. Teknologi panen hujan dan aliran permukaan.
Teknologi panen hujan adalah teknologi yang didasarkan atas penampungan kelebihan air pada musim hujan dan memanfaatkannya untuk musim kemarau. Dengan kata lain, teknologi ini menyimpan air di musim hujan dan menggunakannya pada musim kemarau (Kementerian Pertanian, 2011). Beberapa teknologi panen hujan dan aliran permukaan adalah:
 - 1) Teknologi embung: Embung berfungsi sebagai tempat resapan air yang dapat meningkatkan kapasitas simpanan air tanah dan menyediakan air di musim kemarau.
 - 2) Teknologi dam parit: Teknologi ini mengumpulkan atau membendung aliran air pada suatu parit (*drainage network*) dengan tujuan untuk menampung volume aliran permukaan sehingga

selain dapat digunakan untuk mengairi lahan di sekitarnya, juga dapat menurunkan kecepatan aliran (*run off*), erosi, dan sedimentasi.

- 3) Teknologi Irigasi antara lain Sumur renteng, irigasi kapiler, irigasi tetes, irigasi macak-macak, teknologi irigasi curah (*sprinkle irrigation*) dan teknologi irigasi parit (*furrow irrigation*).

2. Menerapkan Teknologi Pengelolaan Sumber Daya Lahan

Setidaknya ada tiga teknologi pengelolaan sumber daya lahan yang dapat diterapkan sebagai upaya adaptasi terhadap perubahan iklim. Ketiga teknologi tersebut adalah teknologi pengelolaan hara, teknologi budidaya lahan kering, dan pengembangan usaha tanah ramah lingkungan.

a. Teknologi pengelolaan hara

Hasil panen akan tercapai optimum jika jumlah hara yang diberikan sesuai pada waktu yang tepat untuk memenuhi kebutuhan tanaman selama masa pertumbuhannya. Strategi pengelolaan hara yang efektif dan efisien selayaknya ditujukan untuk memaksimalkan penyerapan hara, Memanfaatkan sebaik mungkin hara yang tersedia dalam bentuk jerami, sisa tanaman lain, dan pupuk kandang serta Mengukur kebutuhan nitrogen (N) pada tanaman padi dengan aplikasi teknologi bagan warna daun (BWD).

b. Teknologi budidaya lahan kering.

Teknologi budidaya lahan kering bertujuan untuk memanen air sekaligus mencegah kehilangan air permukaan dan evaporasi. Teknologi budidaya lahan kering bermanfaat untuk mengatasi kekeringan yang muncul pada musim kemarau. Beberapa jenis teknologi konservasi lahan kering adalah strip rumput, teras,

tanam lorong, tanaman penutup tanah, rorak, embung dan dam parit.

- c. Pengembangan sistem usaha tani ramah lingkungan
Sistem usaha tani ramah lingkungan dapat dilakukan melalui dua cara sebagai berikut:
 - 1) Pengelolaan tanaman terpadu (PTT): PTT merupakan upaya mengoptimalkan penggunaan sumber daya dan memanfaatkan teknologi pertanian yang ditetapkan secara partisipatif untuk meningkatkan produksi di masa mendatang.
 - 2) Sistem pertanian terpadu lahan kering iklim kering (SPTLK-IK): SPTLK-IK merupakan kegiatan usaha tani yang berbasis *zero waste* (tanpa limbah) dan *clean run off* (tanpa erosi permukaan) yang dilakukan melalui pendekatan integrasi antara tanaman pangan atau perkebunan dengan ternak sapi. Prinsip *zero waste* dilakukan dengan mengolah sampah sebagai hasil kegiatan pertanian yang digunakan untuk pakan ternak. Kotoran ternak yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai pupuk bagi tanaman. Sementara itu, prinsip *clean run off* dilakukan melalui penanaman tanaman sela di antara tanaman utama, sehingga mengurangi pengikisan tanah (erosi) di musim hujan.

8.5.2 Upaya Adaptasi di Sektor Kelautan dan Perikanan

Bagi masyarakat yang bermukim di pesisir, pemerintah memberikan tiga pilihan adaptasi terhadap perubahan iklim yakni proteksi (*protect*), mundur (*retreat*), dan akomodasi (*accomodate*) (Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2011).

1. Strategi proteksi

Strategi proteksi dapat dilakukan dengan membuat bangunan pantai yang mampu mencegah banjir air laut

(rob) agar tidak merangsek ke darat. Pola ini bertujuan melindungi permukiman, industri wisata, jalan raya, daerah pertanian, tambak, dan lain-lain dari genangan air laut. Tanggul dan bangunan pantai tidak hanya dirancang berdasarkan muka air pasang tinggi dan gelombang laut pada saat ini, tetapi juga harus memperhitungkan amblesan tanah, kenaikan muka air laut, dan gelombang laut akibat angin pada kondisi ekstrem.

Upaya proteksi lain yang dapat ditempuh adalah dengan melakukan restorasi peremajaan pantai (*beach nourishment*) dan rehabilitasi mangrove. Proses ini meliputi pengambilan material dari tempat yang tidak membahayakan dan diisikan ke tempat yang membutuhkan. Lahan hasil timbunan ini kemudian ditanami mangrove sehingga dapat meredam banjir rob yang merangsek ke darat. Fungsi lain dari hutan mangrove adalah sebagai penyerap karbon sehingga tanaman ini dapat mengurangi pemanasan global.

2. Strategi mundur

Strategi mundur bertujuan menghindari genangan air laut dengan cara merelokasi permukiman, industri, daerah pertanian, dan lain-lain ke arah daratan yang jauh dari laut. Dengan demikian kawasan tersebut tidak terjangkau air laut sebagai akibat kenaikan paras muka air laut.

3. Strategi akomodatif

Strategi ini dilakukan dengan menyesuaikan kenaikan paras muka air laut. Salah satu contohnya adalah dengan membuat rumah panggung di tepi pantai agar aman dari genangan air laut, terutama pada waktu banjir air pasang. Bagi daerah pertanian yang tergenang air laut akibat

kenaikan paras muka air laut, kawasan tersebut dapat diubah peruntukannya menjadi lahan budidaya perikanan.

DAFTAR PUSTAKA

- Diposaptono, S, B., & Firdaus Agung. 2009. *Menyiasati Perubahan Iklim di Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil*. Bogor: PT Sarana Komunikasi Utama.
- Edvin Aldrian, M.K.& B. 2011. *Adaptasi dan Mitigasi Perubahan Iklim di Indonesia*. Jakarta: Pusat Perubahan Iklim dan Kualitas Udara, BMKG.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2011. 'Modul Perubahan Iklim untuk Penyuluh Sektor Kelautan dan Perikanan'. Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2007. 'Rencana Aksi Nasional dalam menghadapi Perubahan Iklim (National action Plan to coupe Climate Change)'. Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia.
- Kementerian Pertanian. 2011. 'Modul Perubahan Iklim untuk Penyuluh sektor Pertanian'. Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Kementerian PPN/Bappenas. 2020. 'Metadata Indikator Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (TPB)/Sustainable Development Goals (SDGs) Indonesia: Pilar Pembangunan Lingkungan'. Kementerian PPN/Bappenas.

BAB 9

MITIGASI PERUBAHAN IKLIM

Oleh Nurul Ulfah

9.1 Pendahuluan

9.1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim yang selanjutnya disingkat menjadi periklim merupakan salah satu isu lingkungan terbesar di dunia saat ini. Periklim disebabkan oleh peningkatan emisi gas rumah kaca yang meningkat terus menerus di atmosfer dan menyebabkan peningkatan suhu rata-rata global. Periklim tidak hanya berdampak pada lingkungan, tetapi juga pada ekonomi dan sosial. Oleh karena itu, mitigasi periklim saat ini menjadi fokus utama sebagai salah satu upaya untuk mengurangi dampak tersebut.

Seiring dengan meningkatnya kesadaran masyarakat tentang perubahan iklim, pemerintah dan organisasi internasional telah melakukan berbagai upaya untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Misalnya, pada tahun 2015, Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa tentang Perubahan Iklim (UNFCCC) mengadopsi Perjanjian Paris untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengurangi terjadinya periklim (Penman *et al.*, 2006).

Namun, meskipun upaya-upaya tersebut telah dilakukan, mitigasi perubahan iklim masih menghadapi banyak tantangan. Salah satu tantangan terbesar adalah koordinasi dan kerja sama antara berbagai sektor dan negara, terutama karena perubahan iklim merupakan masalah global yang memerlukan tindakan bersama.

Di sisi lain, mitigasi perubahan iklim juga memiliki potensi untuk menciptakan peluang dan manfaat positif bagi masyarakat dan ekonomi. Misalnya, mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK)

dapat meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi biaya energi bagi masyarakat dan perusahaan.

Selain itu, mitigasi perubahan iklim juga dapat membuka peluang baru dalam sektor ekonomi, seperti energi terbarukan dan teknologi ramah lingkungan. Hal ini dapat meningkatkan inovasi dan menciptakan lapangan kerja baru dalam sektor-sektor ini.

Namun, masih banyak tantangan yang harus diatasi dalam mengimplementasikan mitigasi perubahan iklim. Misalnya, biaya implementasi yang tinggi dan kurangnya dukungan dari sektor-sektor yang terkena dampak, seperti industri fosil.

Oleh karena itu, untuk mencapai tujuan mitigasi perubahan iklim, perlu ada kerja sama dan koordinasi yang baik antara berbagai sektor dan negara, serta dukungan yang kuat dari masyarakat. Selain itu, diperlukan upaya yang lebih intensif dan inovatif dalam mencari solusi yang efektif dan berkelanjutan untuk mengurangi emisi GRK. Mengingat dampak negatif yang besar dari perubahan iklim, mitigasi perubahan iklim menjadi sangat penting untuk menjaga keberlangsungan hidup planet kita dan kesejahteraan manusia.

9.1.2 Tujuan dan manfaat

Tujuan dari penulisan topik "mitigasi perubahan iklim" adalah untuk memberikan pemahaman yang lebih baik tentang upaya yang dapat dilakukan untuk mencegah meningkatnya terjadi perubahan iklim sehingga diharapkan dapat meningkatkan kesadaran masyarakat dan memotivasi mereka untuk ikut serta dalam upaya mitigasi.

Selain itu, tujuannya lainnya adalah untuk menyajikan informasi mengenai strategi mitigasi periklim, termasuk kebijakan dan program yang telah atau sedang dilakukan oleh pemerintah di berbagai negara dan sector industri. Dengan menyajikan informasi yang lebih baik, diharapkan dapat

membantu pembaca dalam membuat keputusan yang lebih baik dalam mengurangi dampak negatif perubahan iklim.

Manfaat dari penulisan topik "mitigasi perubahan iklim" adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan Kesadaran Masyarakat: Penulisan ini dapat meningkatkan kesadaran masyarakat tentang perubahan iklim dan dampaknya. Dengan memahami pentingnya mitigasi perubahan iklim, masyarakat dapat lebih sadar akan tindakan mereka dan memotivasi mereka untuk lebih baik dalam mengurangi emisi gas rumah kaca.
2. Mendorong Tindakan Positif: Dengan menyajikan informasi yang terbaru tentang strategi mitigasi perubahan iklim, penulisan ini dapat mendorong tindakan positif dari masyarakat, perusahaan, dan pemerintah. Diharapkan bahwa dengan mengurangi emisi GRK yang dapat membantu mengurangi dampak negatif dari periklim.
3. Memberikan Informasi: Penulisan ini dapat memberikan informasi tentang mitigasi perubahan iklim, termasuk strateginya. Hal ini dapat membantu pembaca dalam membuat keputusan yang lebih baik dalam mengurangi dampak negatif perubahan iklim.
4. Mendorong Inovasi: Penulisan ini dapat mendorong inovasi dalam pengembangan teknologi dan solusi baru untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan memerangi perubahan iklim. Dengan mengeksplorasi dan mempromosikan teknologi dan solusi baru, diharapkan dapat membantu mengurangi biaya implementasi dan meningkatkan efektivitas mitigasi perubahan iklim.
5. Meningkatkan Keberlanjutan: Dengan mengurangi emisi gas rumah kaca, mitigasi perubahan iklim dapat membantu meningkatkan keberlanjutan dan mempromosikan pengembangan ekonomi dan sosial yang berkelanjutan. Hal ini dapat menciptakan lapangan kerja baru, meningkatkan

efisiensi energi, dan mempromosikan pengembangan teknologi ramah lingkungan.

Dalam keseluruhan, penulisan topik "mitigasi perubahan iklim" memiliki tujuan yang penting dan manfaat yang besar dalam membantu mengurangi dampak negatif perubahan iklim dan mempromosikan keberlanjutan.

9.2 Konsep Dasar Mitigasi Perubahan Iklim

Perubahan iklim merupakan isu lingkungan global yang paling serius untuk dihadapi saat ini. Peningkatan emisi gas rumah kaca disebabkan oleh kegiatan manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil dan penggunaan energi non-hijau, telah menyebabkan peningkatan suhu rata-rata permukaan Bumi dan perubahan pola cuaca yang signifikan. Untuk mengurangi dampak negatif perubahan iklim, perlu dilakukan upaya mitigasi perubahan iklim. Konsep dasar dari mitigasi perubahan iklim adalah untuk mengurangi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh kegiatan manusia dan mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan.

Dalam sub-bab ini, kita akan membahas konsep dasar mitigasi perubahan iklim, termasuk apa itu gas rumah kaca dan bagaimana mereka berkontribusi terhadap perubahan iklim, strategi mitigasi yang tersedia, serta bagaimana mitigasi perubahan iklim dapat membantu mengurangi dampak negatif perubahan iklim. Kita juga akan membahas peran penting yang dimainkan oleh pemerintah, perusahaan, dan individu dalam upaya mitigasi perubahan iklim dan bagaimana mereka dapat bekerja sama untuk mencapai tujuan mitigasi yang lebih besar. Dalam sub-bab ini, kita akan mempelajari konsep dasar mitigasi perubahan iklim dan pentingnya upaya mitigasi dalam mengatasi masalah lingkungan global yang semakin memburuk.

9.2.1 Definisi mitigasi perubahan iklim

Secara umum, mitigasi perubahan iklim merujuk pada upaya untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) dan mengurangi dampak negatifnya pada lingkungan dan kesehatan manusia dan untuk mengurangi perubahan iklim dengan mengendalikan atau mengurangi jumlah emisi GRK yang dihasilkan oleh aktivitas manusia. Selain itu juga, menurut IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), mitigasi perubahan iklim adalah strategi dan upaya untuk mengurangi dan mencegah sumber-sumber emisi GRK, serta meningkatkan penyimpanan karbon pada berbagai sistem, untuk mengurangi dampak negatif perubahan iklim (Eduardo, 2019).

Para ahli juga mendefinisikan mitigasi perubahan iklim sebagai upaya untuk mengurangi dampak negatif perubahan iklim dengan mengurangi emisi GRK dan mengurangi penggunaan energi fosil serta meningkatkan efisiensi energi dan penggunaan sumber energi yang bersih dan terbarukan. Mitigasi juga dapat mencakup praktik-praktik berkelanjutan dalam sektor pertanian, kehutanan, dan industri, serta pengelolaan limbah dan transportasi.

Dalam keseluruhan, definisi mitigasi perubahan iklim adalah upaya untuk mengurangi dampak negatif perubahan iklim dengan mengurangi emisi GRK dan meningkatkan efisiensi energi serta penggunaan sumber energi bersih dan terbarukan. Upaya ini dilakukan oleh berbagai pihak, termasuk pemerintah, perusahaan, dan individu, dalam rangka mengatasi masalah lingkungan global yang semakin memburuk.

9.2.2 Konsep suhu global rata-rata

Konsep suhu global rata-rata mengacu pada suhu rata-rata permukaan bumi di seluruh dunia dalam jangka waktu tertentu. Suhu global rata-rata dihitung dengan menggunakan data suhu dari berbagai lokasi di seluruh dunia, yang kemudian

dirata-ratakan untuk menghasilkan suhu global rata-rata. Suhu global rata-rata adalah indikator penting dalam memahami perubahan iklim. Hal ini karena suhu global rata-rata dapat membantu mengukur sejauh mana suhu permukaan bumi telah meningkat dalam jangka waktu tertentu dan apakah perubahan tersebut diakibatkan oleh aktivitas manusia atau faktor alam (Sulistyono, 2012).

Menurut laporan IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), suhu rata-rata global telah meningkat sekitar 1,1°C pada periode 1850-1900 hingga 2019, dan peningkatan ini diperkirakan akan terus berlanjut di masa depan. Peningkatan suhu global rata-rata ini disebabkan oleh peningkatan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh aktivitas manusia, terutama dari pembakaran bahan bakar fosil dan deforestasi. Peningkatan suhu ini berdampak pada perubahan pola cuaca, peningkatan permukaan air laut, peningkatan suhu permukaan laut, dan perubahan lainnya yang dapat mempengaruhi kehidupan manusia dan ekosistem global secara signifikan (Penman *et al.*, 2006).

Untuk mengukur suhu global rata-rata, digunakan data dari berbagai sumber yang meliputi stasiun cuaca, satelit, dan pengamatan di lautan. Data suhu ini kemudian dikumpulkan dan diproses dengan menggunakan metode-metode tertentu untuk menghasilkan suhu global rata-rata. Berikut adalah beberapa metode yang umum digunakan untuk mengukur suhu global rata-rata:

1. Stasiun Cuaca: Stasiun cuaca di seluruh dunia mengukur suhu udara setiap hari. Data ini kemudian dikumpulkan dan digunakan untuk menghitung suhu rata-rata di berbagai lokasi di seluruh dunia. Namun, metode ini memiliki kelemahan karena jumlah stasiun cuaca yang tersedia terbatas dan mungkin tidak merata di seluruh dunia.

2. **Satelit:** Satelit juga dapat digunakan untuk mengukur suhu permukaan bumi di seluruh dunia. Satelit dapat mengukur suhu dengan akurasi yang tinggi dan tidak terpengaruh oleh faktor-faktor seperti cuaca dan topografi. Namun, metode ini juga memiliki kelemahan karena biaya untuk meluncurkan dan mengoperasikan satelit yang cukup tinggi.
3. **Pengamatan di Lautan:** Suhu permukaan laut juga dapat digunakan untuk mengukur suhu global rata-rata. Pengukuran suhu dilakukan dengan menggunakan perangkat khusus yang terpasang di kapal atau balon udara yang diluncurkan ke laut. Data ini kemudian digunakan untuk menghitung suhu permukaan laut di seluruh dunia.
4. **Reanalisis:** Reanalisis adalah metode yang menggabungkan data dari berbagai sumber untuk menghasilkan informasi tentang kondisi iklim di masa lalu. Data suhu dari stasiun cuaca, satelit, dan pengamatan di lautan digabungkan dengan model iklim untuk menghasilkan suhu global rata-rata.

Dalam mengukur suhu global rata-rata, penting untuk menggunakan data yang lengkap dan merata di seluruh dunia, serta menggunakan metode yang valid dan akurat untuk memastikan hasil yang dapat diandalkan dan dapat digunakan sebagai acuan dalam pengambilan keputusan terkait mitigasi perubahan iklim. Oleh karena itu, pemantauan suhu global rata-rata sangat penting dalam upaya mitigasi perubahan iklim dan perlu dilakukan secara terus-menerus untuk memantau dampak dari kegiatan manusia pada lingkungan global dan mengambil langkah-langkah mitigasi yang diperlukan untuk mengurangi dampak negatif perubahan iklim (Sulistiyono, 2012; Kusumawardhani and Gernowo, 2015).

9.2.3 Penyebab perubahan iklim

Gas rumah kaca merupakan gas yang terdapat di atmosfer dan mampu menyerap dan memancarkan radiasi inframerah. Beberapa gas rumah kaca alami, seperti uap air, karbon dioksida, metana, dan ozon, telah ada di atmosfer bumi selama jutaan tahun dan berfungsi sebagai lapisan pelindung yang mengatur suhu bumi agar tetap hangat dan dapat menopang kehidupan (Soesanto, 1995).

Namun, pada saat ini, peningkatan aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, dan pertanian intensif telah meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer, sehingga terjadi peningkatan efek rumah kaca yang berlebihan dan menyebabkan perubahan iklim yang tidak stabil. Penyebab utama gas rumah kaca buatan manusia adalah pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Saat bahan bakar fosil dibakar, karbon dioksida dan gas lainnya dilepaskan ke atmosfer. Selain itu, aktivitas pertanian, seperti pemupukan dan pemeliharaan ternak, juga menghasilkan emisi gas metana dan nitrat oksida (Anggraeni, 2015).

Pembakaran hutan juga menjadi penyebab utama gas rumah kaca karena tanaman memerlukan karbon dioksida untuk melakukan fotosintesis. Ketika hutan dibakar, karbon dioksida yang disimpan dalam tanaman dilepaskan ke atmosfer. Deforestasi juga dapat mengurangi kemampuan alam untuk menyerap karbon dioksida dari udara. Sekarang, manusia telah mengubah konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer pada tingkat yang belum pernah terjadi sebelumnya dalam sejarah bumi. Hal ini menyebabkan efek rumah kaca yang lebih kuat dan suhu bumi yang semakin meningkat, mengakibatkan perubahan iklim yang signifikan (Evseeva, Evseeva and Dudarenko, 2021).

9.3 Kebijakan mitigasi dan adaptasi

Setiap negara memiliki kebijakan yang berbeda dalam menghadapi perubahan iklim sesuai dengan kondisi dan kebutuhan negara tersebut. Namun, terdapat beberapa perjanjian internasional seperti Persetujuan Paris pada Konvensi Perubahan Iklim PBB yang menjadi acuan bersama bagi seluruh negara dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dan melakukan adaptasi terhadap dampak perubahan iklim (KLHK, 2018).

Pemerintah Indonesia memiliki data dan informasi lengkap tentang perubahan iklim dan tanda-tanda yang terjadi di wilayah Indonesia. Data dan informasi tersebut didapatkan melalui observasi dan pemantauan yang dilakukan oleh lembaga-lembaga seperti Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), dan Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). Selain itu, Indonesia juga turut mengikuti konvensi internasional seperti Konvensi Kerangka Kerja Perubahan Iklim Perserikatan Bangsa-Bangsa (UNFCCC) untuk mendapatkan data dan informasi terkait perubahan iklim seperti:

- 1) Kenaikan suhu rata-rata udara dan suhu permukaan laut
- 2) Penurunan curah hujan di beberapa wilayah, sementara di wilayah lain terjadi peningkatan curah hujan yang ekstrem
- 3) Kenaikan permukaan laut yang mengancam keberlangsungan hidup pesisir dan pulau-pulau kecil
- 4) Penurunan produksi pertanian dan perikanan akibat suhu yang tidak stabil dan kondisi lingkungan yang tidak mendukung
- 5) Penyakit dan serangan hama yang semakin meluas akibat perubahan suhu dan iklim

Data-data diatas saat ini bisa didapatkan dari berbagai sumber, seperti publikasi dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

(KLHK), dan lembaga-lembaga penelitian dan akademik yang mempelajari perubahan iklim di Indonesia.

9.3.1 Kebijakan mitigasi secara global

Persetujuan Paris masih digunakan hingga saat ini dan dianggap sebagai salah satu perjanjian internasional yang paling penting dalam upaya mitigasi perubahan iklim global. Setiap negara yang telah meratifikasi persetujuan ini diwajibkan untuk menurunkan emisi gas rumah kaca dan mengambil langkah-langkah lain untuk mengurangi dampak perubahan iklim. Pada bulan November 2021, COP26 (*The United Nations Climate Change Conference of the Parties*) diadakan di Glasgow, Skotlandia, dengan tujuan untuk memperkuat dan meningkatkan upaya mitigasi global untuk mencapai tujuan Persetujuan Paris (UNFCCC, 2021).

Persetujuan Paris adalah perjanjian kerangka kerja global untuk mengatasi perubahan iklim yang disepakati oleh 195 negara di Konferensi Perubahan Iklim Perserikatan Bangsa-Bangsa (UNFCCC) pada tahun 2015 (Delbeke *et al.*, 2019). Isi dari Persetujuan Paris membahas mengenai poin-poin berikut:

1. Mekanisme penyesuaian: Persetujuan Paris juga memuat mekanisme untuk membantu negara-negara menghadapi dampak perubahan iklim yang sudah tidak terhindarkan (adaptasi) dan meningkatkan ketahanan terhadap dampak perubahan iklim.
2. Penegakan hukum: Persetujuan Paris memuat mekanisme penegakan hukum yang berbasis pada kerjasama internasional dan transparansi.
3. Peran masyarakat sipil: Persetujuan Paris mendorong peran masyarakat sipil dalam mengatasi perubahan iklim dan memberikan ruang partisipasi bagi mereka dalam proses pengambilan keputusan terkait perubahan iklim.
4. Revisi secara berkala: Persetujuan Paris memuat mekanisme untuk merevisi NDCs secara berkala untuk menyesuaikan

dengan kondisi terkini dan kemajuan teknologi mitigasi perubahan iklim.

Isi dari Persetujuan Paris ini bersifat global dan mengikat semua negara anggota Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB). Setiap negara diharapkan berpartisipasi dalam upaya mengurangi emisi gas rumah kaca dan meningkatkan ketahanan terhadap dampak perubahan iklim, sesuai dengan kontribusi nasional yang disampaikan. Sejauh ini, beberapa negara telah mengambil tindakan dalam rangka mencapai tujuan-tujuan yang tercantum dalam Persetujuan Paris, namun masih banyak yang harus dilakukan. Beberapa contoh tindakan yang telah diambil oleh negara-negara termasuk:

- a. Meningkatkan penggunaan energi terbarukan seperti energi surya dan energi angin.
- b. Meningkatkan efisiensi energi pada sektor transportasi dan industri.
- c. Memperkuat sistem pengukuran, pelaporan, dan verifikasi (MRV) emisi gas rumah kaca.
- d. Mengurangi deforestasi dan meningkatkan penghijauan melalui program restorasi hutan dan pengelolaan lahan yang berkelanjutan.
- e. Meningkatkan akses ke teknologi rendah karbon dan keuangan hijau untuk negara-negara berkembang.
- f. Namun, terdapat perbedaan dalam tingkat kemajuan dan komitmen antara negara-negara yang berbeda. Secara keseluruhan, masih banyak pekerjaan yang harus dilakukan untuk mencapai tujuan mitigasi perubahan iklim yang ditetapkan dalam Persetujuan Paris.

Perbedaan dan keterkaitan antara beberapa kebijakan internasional terkait perubahan iklim:

- a. Perjanjian Paris: untuk membatasi kenaikan suhu global di bawah 2 derajat Celsius di atas level praindustri, dan berusaha untuk membatasi kenaikan suhu di bawah 1,5 derajat Celsius. Perjanjian ini dianggap sebagai tonggak sejarah dalam upaya mengatasi perubahan iklim global.
- b. Protokol Kyoto: untuk mengurangi emisi gas rumah kaca di negara maju dan negara berkembang. Protokol ini mensyaratkan negara-negara maju untuk mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 5,2% dibandingkan dengan tingkat emisi pada tahun 1990.
- c. UNFCCC: UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) untuk mencapai pengurangan emisi gas rumah kaca secara global. Konvensi ini menjadi dasar bagi berbagai perjanjian internasional terkait perubahan iklim.
- d. IPCC: IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) menyediakan informasi ilmiah dan teknis mengenai perubahan iklim yang dapat digunakan oleh para pembuat kebijakan.
- e. Komite Antar-Pemerintah tentang Perubahan Iklim Nasional: menyampaikan hasil dan rekomendasi IPCC kepada para pembuat kebijakan di tingkat nasional.
- f. ISO 14001: memberikan pedoman untuk perusahaan dalam mengelola dampak lingkungan dari operasi mereka. Salah satu tujuan ISO 14001 adalah membantu perusahaan dalam mengurangi dampak lingkungan dari operasinya dan meningkatkan kinerja lingkungan secara keseluruhan.

9.3.2 Kebijakan mitiasi di Indonesia

Perjanjian Paris menjadi acuan Indonesia dalam merumuskan kebijakan perubahan iklim. Indonesia merupakan salah satu negara yang ikut menandatangani perjanjian tersebut

pada 22 April 2016 di New York, Amerika Serikat. Dalam perjanjian ini, Indonesia berkomitmen untuk mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 29% dengan upaya sendiri dan sebesar 41% dengan bantuan internasional pada tahun 2030, dibandingkan dengan kondisi bisnis seperti biasanya (Masripatin *et al.*, 2016).

Saat ini Indonesia memiliki peraturan yang berkaitan dengan mitigasi perubahan iklim. Peraturan tersebut adalah Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup yang mengatur tentang mitigasi dan adaptasi perubahan iklim. Selain itu, pemerintah Indonesia juga telah menetapkan Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK) yang memuat strategi dan kebijakan untuk menurunkan emisi gas rumah kaca di Indonesia. Selain UU no 32 tahun 2009, juga ada beberapa peraturan terkait seperti

- a. Peraturan Pemerintah Nomor 46 Tahun 2015 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca.
- b. Peraturan Presiden Nomor 16 Tahun 2015 tentang Kebijakan Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca.
- c. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 12 Tahun 2015 tentang Rencana Umum Energi Nasional.
- d. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.20/MENLHK/SETJEN/KUM.1/6/2018 tentang Pedoman Pengelolaan Perubahan Iklim.

Selain itu, terdapat pula beberapa kebijakan dan program lain yang dilakukan oleh pemerintah Indonesia dalam rangka mitigasi perubahan iklim, seperti Program Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (PENGELOLAAN GRK), Program Penanaman Mangrove, Program Percepatan Penanaman Hutan Tanaman Industri (HTI), dan lain sebagainya. Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) adalah dokumen perencanaan strategis dalam penyediaan energi nasional yang mencakup sektor energi

primer, sekunder, dan akhir. RUEN bertujuan untuk menjamin ketersediaan energi yang memadai, terjangkau, berkelanjutan, dan terjamin keamanannya. Dokumen ini merumuskan tujuan nasional, sasaran, dan strategi dalam penyediaan energi yang mengakomodasi kebutuhan pembangunan ekonomi, sosial, dan lingkungan hidup.

RUEN mencakup berbagai aspek, termasuk kebijakan energi, energi terbarukan, penghematan energi, teknologi energi bersih, dan peran masyarakat dalam pengelolaan energi. RUEN juga berupaya untuk mempercepat diversifikasi energi dan meningkatkan efisiensi energi, sehingga Indonesia dapat mengurangi ketergantungannya pada energi fosil yang semakin terbatas. RUEN juga menyajikan target-target mitigasi emisi gas rumah kaca (GRK) yang harus dicapai pada tahun-tahun tertentu. RUEN juga menetapkan strategi dan program-program untuk mencapai target tersebut, misalnya melalui pengembangan energi terbarukan, efisiensi energi, dan teknologi bersih.

Indonesia juga memiliki berbagai kebijakan lainnya terkait mitigasi perubahan iklim. Di antaranya adalah:

- a. Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK) tahun 2020-2024
- b. Rencana Aksi Nasional Adaptasi Perubahan Iklim (RAN-API) tahun 2018-2022
- c. Rencana Induk Percepatan Pembangunan Ekonomi Hijau (RIPPEH) 2014-2025
- d. Rencana Energi Nasional (REN) 2019-2038
- e. Rencana Strategis Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2020-2024
- f. Program Indonesia Emisi Hijau (PROKIH) tahun 2019-2023
- g. Gerakan Menuju 100 Juta Pohon (G100JP)
- h. Pembentukan Badan Nasional Perubahan Iklim (BNPI)

Kebijakan-kebijakan tersebut bertujuan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, meningkatkan adaptasi perubahan iklim, dan mempercepat pembangunan ekonomi hijau di Indonesia. Beberapa kebijakan perubahan iklim di Indonesia masih berjalan hingga saat ini, seperti Penyusunan NDC (*Nationally Determined Contributions*) Indonesia dan Rencana Aksi Nasional Perubahan Iklim 2018-2023. Namun, beberapa kebijakan lainnya masih memerlukan pembaruan dan implementasi yang lebih baik untuk mencapai tujuan mitigasi perubahan iklim yang ditetapkan (KLHK, 2017)

Implementasi kebijakan perubahan iklim di Indonesia masih menghadapi beberapa tantangan (KLHK, 2017). Meskipun beberapa kebijakan telah diadopsi dan dilaksanakan, namun masih terdapat kendala dalam implementasinya, seperti:

- a. Kurangnya koordinasi dan sinergi antara instansi terkait dalam pelaksanaan kebijakan perubahan iklim.
- b. Masih rendahnya kesadaran masyarakat terhadap pentingnya mengurangi emisi gas rumah kaca dan menjaga lingkungan.
- c. Terbatasnya akses dan penggunaan teknologi yang ramah lingkungan.
- d. Masih adanya kegiatan pembangunan yang tidak memperhatikan aspek lingkungan dan perubahan iklim.

Meskipun demikian, pemerintah Indonesia terus berupaya untuk memperbaiki dan meningkatkan implementasi kebijakan perubahan iklim dengan mengadopsi kebijakan baru dan meningkatkan koordinasi antara instansi terkait. berikut adalah beberapa contoh kendala dalam implementasi kebijakan perubahan iklim di Indonesia:

- a. Penerapan kebijakan yang kurang tegas: Meskipun pemerintah telah menetapkan beberapa kebijakan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, beberapa kebijakan

tersebut kurang tegas dalam penerapannya sehingga kurang efektif. Contohnya adalah kebijakan pembatasan kendaraan di Jakarta yang masih sering dilanggar.

- b. Kendala ekonomi: Banyak industri di Indonesia masih menggunakan bahan bakar fosil yang lebih murah dibandingkan energi terbarukan. Kendala ekonomi ini membuat penggunaan energi terbarukan masih terbatas, meskipun sudah ada insentif untuk mempromosikan penggunaannya.
- c. Kurangnya aksesibilitas: Meskipun pemerintah telah mempromosikan transportasi publik yang ramah lingkungan, aksesibilitas terhadap transportasi publik yang berkualitas masih kurang di beberapa wilayah. Ini membuat orang lebih memilih kendaraan pribadi yang lebih nyaman dan mudah diakses.
- d. Kurangnya kesadaran masyarakat: Salah satu kendala utama adalah kurangnya kesadaran masyarakat mengenai perubahan iklim dan dampaknya. Ini membuat sulit bagi pemerintah untuk mengimplementasikan kebijakan yang membutuhkan partisipasi dan kesadaran masyarakat seperti daur ulang dan penghematan energi.
- e. Kendala-kendala ini masih menjadi tantangan dalam implementasi kebijakan perubahan iklim di Indonesia. Namun, dengan upaya yang terus menerus, diharapkan dapat mencapai target-target yang ditetapkan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan melindungi lingkungan hidup.

9.3.3 Adaptasi terhadap perubahan iklim

Beberapa contoh perubahan iklim yang terjadi di Indonesia dalam 5 tahun terakhir ini antara lain:

- a. Kenaikan suhu global: Berdasarkan data dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Indonesia

mengalami peningkatan suhu global sekitar 0,3-0,5 derajat Celsius setiap dekade.

- b. Penurunan hutan: Luas hutan di Indonesia menurun sebesar 840 ribu hektar dalam kurun waktu 2015-2020, menurut data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Penurunan ini dapat mempercepat laju perubahan iklim.
- c. Banjir dan longsor: Bencana banjir dan longsor terjadi lebih sering dan lebih hebat dalam beberapa tahun terakhir. Hal ini disebabkan oleh perubahan iklim yang memengaruhi pola cuaca dan curah hujan di Indonesia.
- d. Kekeringan: Di beberapa wilayah Indonesia, kekeringan juga menjadi masalah serius yang mempengaruhi produksi pertanian dan kehidupan sehari-hari masyarakat.
- e. Naiknya permukaan air laut: Naiknya permukaan air laut di Indonesia menjadi masalah yang semakin serius, terutama bagi daerah pesisir dan pulau-pulau kecil.
- f. Musim kemarau yang lebih panjang: Musim kemarau di Indonesia semakin panjang dan memperburuk kekeringan yang terjadi.
- g. Perubahan siklus tanam: Perubahan iklim juga mempengaruhi siklus tanam di Indonesia, dengan adanya pergeseran musim tanam dan panen. Hal ini dapat mempengaruhi produksi pangan dan kesejahteraan petani.
- h. Peningkatan intensitas badai: Beberapa wilayah Indonesia mengalami peningkatan intensitas badai dalam beberapa tahun terakhir, yang dapat memicu bencana alam dan memperburuk kondisi lingkungan (Santoso, 2015)(KLHK, 2020)

Perubahan iklim dapat memengaruhi pola cuaca dan curah hujan di berbagai daerah di Indonesia. Beberapa daerah yang

mengalami perubahan cuaca dan curah hujan yang sangat drastis antara lain:

- a. Pulau Jawa: Beberapa wilayah di Pulau Jawa seperti Jakarta, Bogor, Depok, Tangerang, dan Bekasi sering mengalami banjir dan longsor pada saat musim penghujan. Selain itu, terdapat peningkatan suhu udara di beberapa daerah di Pulau Jawa.
- b. Pulau Sumatera: Beberapa daerah di Pulau Sumatera juga mengalami perubahan cuaca dan curah hujan yang signifikan, seperti Aceh, Medan, dan Palembang yang mengalami peningkatan suhu udara yang tinggi. Sementara itu, Lampung, Bengkulu, dan Jambi mengalami kekeringan pada saat musim kemarau.
- c. Kalimantan: Beberapa daerah di Kalimantan seperti Banjarmasin, Samarinda, dan Balikpapan sering mengalami banjir dan longsor pada saat musim penghujan. Selain itu, terdapat peningkatan suhu udara yang tinggi pada beberapa daerah di Kalimantan.
- d. Sulawesi: Beberapa daerah di Sulawesi seperti Makassar dan Manado mengalami peningkatan suhu udara yang tinggi, serta sering mengalami bencana alam seperti banjir dan longsor pada saat musim penghujan.
- e. Papua: Beberapa daerah di Papua seperti Jayapura dan Timika mengalami peningkatan suhu udara yang tinggi, serta sering mengalami bencana alam seperti banjir dan longsor pada saat musim penghujan (Runtunuwu and Syahbuddin, 2007; Indonesia, 2016)(Julismin, 2013).

Perubahan cuaca dan curah hujan yang ekstrem ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti peningkatan suhu global, peningkatan intensitas hujan, perubahan musim hujan dan kemarau, serta aktivitas manusia seperti deforestasi dan urbanisasi. Berikut adalah beberapa data konkret tentang curah

hujan di Indonesia dalam 5 tahun terakhir yang dikutip dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) ([BMKG] Meteorology Climatology and Geophysics Council, 2019):

- a. Pada tahun 2017, Indonesia mengalami musim hujan yang lebih pendek dan musim kemarau yang lebih panjang dibandingkan tahun-tahun sebelumnya. Hal ini menyebabkan kekeringan dan kebakaran hutan di beberapa wilayah.
- b. Pada tahun 2018, beberapa wilayah di Indonesia mengalami banjir dan tanah longsor akibat curah hujan yang tinggi. Misalnya, di Jakarta pada Januari 2018 terjadi banjir yang cukup parah dan menimbulkan kerugian besar.
- c. Pada tahun 2019, curah hujan di Indonesia cenderung normal, namun terdapat beberapa wilayah yang mengalami kekeringan. Hal ini menyebabkan berkurangnya produksi padi dan hasil pertanian lainnya.
- d. Pada tahun 2020, Indonesia mengalami musim kemarau yang cukup panjang dan curah hujan yang rendah di beberapa wilayah. Hal ini berdampak pada kekeringan, kebakaran hutan, dan penurunan produksi hasil pertanian.
- e. Pada tahun 2021, beberapa wilayah di Indonesia mengalami banjir dan tanah longsor akibat curah hujan yang tinggi. Misalnya, di Kalimantan Selatan pada Januari 2021 terjadi banjir bandang yang cukup parah dan menimbulkan kerugian besar.

Meskipun data ini tidak menunjukkan adanya tren yang jelas dalam perubahan curah hujan di Indonesia dalam 5 tahun terakhir, namun terdapat peristiwa ekstrem seperti banjir, kekeringan, dan kebakaran hutan yang dapat dihubungkan dengan perubahan iklim dan pola cuaca yang tidak menentu.

Ada beberapa cara adaptasi yang dapat kita lakukan dalam menghadapi perubahan iklim, di antaranya:

- a. Menghemat dan menggunakan sumber daya alam secara bijaksana, seperti air, listrik, dan bahan bakar. Berdasarkan data yang ada, rata-rata penggunaan air per orang per hari di Indonesia sekitar 150liter. Namun, batasan maksimum penggunaan air tergantung pada kondisi setempat, seperti ketersediaan sumber daya air dan kebutuhan air untuk berbagai sektor.
- 1) Pertumbuhan penduduk: Jumlah penduduk Indonesia terus meningkat setiap tahunnya, sehingga permintaan akan air pun semakin meningkat.
 - 2) Perkembangan industri: Dalam beberapa dekade terakhir, Indonesia mengalami pertumbuhan industri yang pesat. Industri ini membutuhkan air dalam jumlah yang besar untuk proses produksinya.
 - 3) Perubahan pola hidup: Pola hidup masyarakat Indonesia yang semakin modern juga berpengaruh pada peningkatan penggunaan air. Contohnya, semakin banyaknya rumah tangga yang menggunakan air untuk keperluan sehari-hari seperti mandi, mencuci, dan memasak.
 - 4) Kebiasaan masyarakat: Beberapa kebiasaan masyarakat seperti menghabiskan air saat mandi atau mencuci tangan, atau mengalirkan air terus-menerus saat mencuci piring juga berpengaruh pada peningkatan penggunaan air.
- b. Meningkatkan efisiensi penggunaan energi dengan menggunakan teknologi hemat energi dan ramah lingkungan, seperti penggunaan lampu hemat energi, kendaraan listrik, dan panel surya.
- c. Menanam pohon dan mengembangkan taman kota untuk mengurangi suhu udara dan mengurangi emisi gas rumah kaca.

- d. Memperkuat sistem pengelolaan air untuk menghadapi kekeringan dan banjir.
- e. Meningkatkan kesadaran dan pemahaman masyarakat mengenai perubahan iklim, serta mengedukasi masyarakat tentang tindakan yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak perubahan iklim.
- f. Memperkuat sistem peringatan dini dan mitigasi bencana untuk mengurangi dampak bencana alam yang disebabkan oleh perubahan iklim.
- g. Meningkatkan kegiatan penelitian dan pengembangan teknologi yang ramah lingkungan, seperti teknologi pengelolaan sampah dan daur ulang, serta teknologi pengolahan air limbah.
- h. Mendorong penggunaan produk-produk yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, serta memperkuat pasar untuk produk-produk tersebut.
- i. Mendorong pemerintah dan sektor swasta untuk berinvestasi dalam teknologi dan infrastruktur yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.
- j. Meningkatkan kerja sama internasional untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengurangi dampak perubahan iklim secara global.

9.4 Teknologi dan inovasi sebagai bentuk mitigasi perubahan iklim

Terdapat beberapa contoh teknologi dan inovasi yang dapat digunakan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengatasi dampak perubahan iklim di Indonesia, antara lain:

- a. Energi terbarukan: Pemanfaatan energi terbarukan seperti energi surya, angin, dan air dapat mengurangi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari pembangkit listrik berbasis bahan bakar fosil. Contohnya adalah panel surya, turbin angin, dan hidroelektrik dapat digunakan untuk

menghasilkan energi listrik tanpa emisi gas rumah kaca. Salah satu contoh penggunaan energi terbarukan di Indonesia adalah Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Sidrap di Sulawesi Selatan yang menggunakan teknologi kincir angin dengan kapasitas 75 MW (Muhajir and Sinaga, 2021)(Riasa *et al.*, 2020)

- b. Pertanian berkelanjutan: Pertanian berkelanjutan dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dengan menerapkan teknik pertanian yang ramah lingkungan dan mengurangi penggunaan pupuk dan pestisida sintetis, seperti Pertanian organik dapat mengurangi penggunaan pupuk dan pestisida kimia yang dapat menyebabkan emisi gas rumah kaca. Selain pertanian organik, juga ada pertanian yang memanfaatkan teknologi *vertikal farming* yang sudah mulai diaplikasikan di beberapa daerah di Indonesia, seperti di Jakarta, Bandung, dan Bali. Di Jakarta, ada beberapa perusahaan yang menggunakan teknologi vertikal farming untuk menanam sayuran, seperti Urban Farm dan Hydro Green. Di Bandung, ada beberapa kampus yang juga menerapkan teknologi ini, seperti Institut Teknologi Bandung (ITB) dan Universitas Pendidikan Indonesia (UPI). Di Bali, ada beberapa hotel dan restoran yang menggunakan teknologi ini untuk memproduksi sayuran yang digunakan dalam masakan mereka (Nur'aini and Krisdianto, 2017).
- c. Transportasi berkelanjutan: Penggunaan transportasi berkelanjutan seperti transportasi umum, sepeda, dan jalan kaki dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dari kendaraan bermotor. Saat ini, penetrasi mobil listrik di Indonesia masih sangat rendah. Walaupun demikian pemerintah Indonesia sedang mendorong penggunaan mobil listrik melalui beberapa program dan insentif, seperti penghapusan Pajak Penjualan atas Barang Mewah

(PPnBM) untuk mobil listrik dan peningkatan infrastruktur pengisian daya listrik. Hal ini diharapkan dapat mendorong peningkatan permintaan dan produksi mobil listrik di Indonesia di masa mendatang. (Sulistyono, 2012)

- d. Green building: Pembangunan gedung yang ramah lingkungan dengan teknologi hemat energi seperti penggunaan bahan bangunan yang ramah lingkungan, pencahayaan alami, dan penggunaan sistem pendingin dan pemanas yang efisien dapat mengurangi emisi gas rumah kaca.
- e. Pengolahan limbah: Pengolahan limbah dengan teknologi yang ramah lingkungan seperti pengolahan limbah organik menjadi pupuk atau biogas dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dari limbah. Selain itu juga teknologi pengelolaan sampah seperti daur ulang, pengomposan, dan pembakaran sampah dapat mengurangi volume sampah yang dibuang ke tempat pembuangan akhir dan mengurangi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari pembusukan sampah di tempat pembuangan akhir (Adicita, Apritama and Afifah, 2020)(Adicita and Afifah, 2022).
- f. Teknologi hijau di industri: Penerapan teknologi hijau di industri dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dari proses produksi.
- g. Pengelolaan air: Pengelolaan air yang efisien dan ramah lingkungan dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dengan mengurangi penggunaan energi untuk memompa dan mengolah air. Saat ini sudah ada teknologi desalinasi air laut dapat membantu mengatasi masalah kekurangan air di daerah kering dan mengurangi tekanan pada sumber daya air tanah(Adicita *et al.*, 2022).
- h. Pemanfaatan gas metana: Pemanfaatan gas metana dari sumber-sumber seperti tempat pembuangan sampah,

limbah pertanian, dan limbah peternakan dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dan juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi.

- i. Sistem transportasi cerdas: Penggunaan sistem transportasi cerdas seperti traffic management, smart parking, dan transportasi berbasis aplikasi dapat mengurangi kemacetan dan waktu perjalanan, sehingga dapat mengurangi emisi gas rumah kaca. Selain itu juga, Kendaraan listrik, sepeda dan kendaraan ramah lingkungan lainnya dapat mengurangi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh kendaraan bermesin bakar.
- j. Teknologi blockchain: Penggunaan teknologi blockchain dapat digunakan untuk meningkatkan transparansi dan akuntabilitas dalam sistem perizinan dan pengawasan, sehingga dapat mempercepat dan memperkuat implementasi kebijakan terkait mitigasi perubahan iklim (Parung *et al.*, 2021).

Perlu diingat bahwa teknologi dan inovasi hanya merupakan salah satu aspek dari upaya mitigasi perubahan iklim. Pengurangan emisi gas rumah kaca dan pengurangan dampak perubahan iklim juga membutuhkan upaya dari berbagai sektor, termasuk kebijakan, edukasi, dan partisipasi masyarakat.

9.4.1 Peran sector industri secara global

Program Mission Zero dari Interface merupakan program yang bertujuan untuk menciptakan lingkungan bisnis yang berkelanjutan dan menghilangkan dampak lingkungan dari operasional perusahaan. Program Mission Zero ini telah berjalan sejak tahun 1994 dan berhasil mengurangi emisi karbon perusahaan hingga 96%, penggunaan air hingga 87%, serta mengurangi penggunaan energi hingga 44%. Program ini memiliki beberapa elemen, antara lain:

- a. Mengurangi Emisi Karbon: Interface berkomitmen untuk mengurangi emisi karbon pada proses produksi dan mengganti bahan baku yang tidak ramah lingkungan dengan bahan baku yang lebih ramah lingkungan.
- b. Mengurangi Penggunaan Energi: Interface berupaya untuk mengurangi penggunaan energi melalui penggunaan teknologi yang lebih efisien, pemilihan sumber energi yang ramah lingkungan, dan melakukan konservasi energi di seluruh aspek operasional perusahaan.
- c. Mengurangi Penggunaan Air: Interface berkomitmen untuk mengurangi penggunaan air dalam proses produksi dan memastikan bahwa limbah cair yang dihasilkan sesuai dengan standar lingkungan.
- d. Pengelolaan Bahan Kimia: Interface berupaya untuk menggunakan bahan kimia yang lebih aman dan ramah lingkungan dalam proses produksi, serta memastikan bahwa limbah bahan kimia yang dihasilkan dikelola dengan baik.
- e. Pengelolaan Limbah: Interface berkomitmen untuk mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan dan memastikan bahwa limbah yang dihasilkan diolah dengan cara yang ramah lingkungan.
- f. Desain Produk Ramah Lingkungan: Interface memprioritaskan desain produk yang ramah lingkungan dan mudah didaur ulang (UNCC, 2023)

Selain Interface, Electrolux juga memiliki program yang berfokus pada mitigasi perubahan iklim dan pengurangan emisi gas rumah kaca. Program tersebut bernama "Better Living Program" dan bertujuan untuk mencapai emisi nol pada tahun 2050. Electrolux melakukan upaya untuk meningkatkan efisiensi energi pada produk-produknya dan juga menggunakan sumber energi terbarukan dalam proses produksinya. Selain itu, Electrolux juga melakukan pengurangan limbah dan pemakaian bahan baku

yang ramah lingkungan dalam proses produksi. Program ini diluncurkan pada tahun 2019 dan terus diimplementasikan oleh Electrolux secara global(Electrolux, 2019).

Perusahaan lainnya yang sudah berkomitmen terhadap perubahan iklim adalah Patagonia, perusahaan pakaian outdoor yang berbasis di Amerika Serikat. Patagonia telah lama berkomitmen untuk menjaga keberlangsungan lingkungan dan menerapkan praktik bisnis yang bertanggung jawab secara sosial dan lingkungan. Program Worn Wear adalah salah satu program yang diluncurkan oleh perusahaan outdoor gear Patagonia yang bertujuan untuk mendorong konsumen untuk memperbaiki produk-produk outdoor mereka yang rusak daripada membuangnya dan membeli yang baru. Tujuan akhir dari program ini adalah untuk mengurangi limbah tekstil dan emisi karbon yang dihasilkan oleh industri pakaian. Program ini menyediakan layanan perbaikan gratis untuk produk Patagonia yang rusak, bahkan jika produk tersebut sudah terlalu tua atau tidak lagi diproduksi. Selain itu, mereka juga menyediakan layanan jual beli produk Patagonia bekas yang masih dalam kondisi baik.

Selain layanan perbaikan dan jual beli, Patagonia juga memberikan sumber daya dan tutorial online untuk membantu konsumen memperbaiki produk mereka sendiri. Mereka juga mengadakan acara-acara Worn Wear Tour di berbagai tempat untuk mengedukasi konsumen tentang pentingnya memperbaiki produk outdoor mereka dan memberikan layanan perbaikan gratis. Program Worn Wear Patagonia telah sukses dalam mempromosikan konsep "memperbaiki daripada membuang" dan mengurangi limbah tekstil yang dihasilkan oleh industri pakaian. Program ini telah menjadi contoh bagi industri pakaian lainnya untuk mengambil langkah serupa dalam meminimalkan dampak lingkungan dari produk mereka.

Pada tahun 2016, Patagonia menjadi perusahaan pertama yang mendaftarkan diri untuk status "Benefit Corporation" di California, yang menandakan bahwa mereka memiliki komitmen yang kuat terhadap dampak sosial dan lingkungan. Selain itu, Patagonia juga terus memperbaiki proses produksi mereka untuk mengurangi dampak lingkungan, termasuk menggunakan bahan-bahan ramah lingkungan dan memperbaiki efisiensi energi.

Patagonia juga terlibat dalam kampanye aktivisme lingkungan, termasuk mendukung perlindungan lahan publik, mempromosikan pengurangan emisi gas rumah kaca, dan mendukung gerakan divestasi fosil. Dalam hal keuangan, Patagonia juga telah mempraktikkan pendekatan yang berkelanjutan dengan memperkenalkan program "Worn Wear", yang memperbaiki dan memperbaharui pakaian yang sudah tidak terpakai daripada membuangnya ke tempat pembuangan sampah. Semua upaya ini telah membuat Patagonia menjadi salah satu perusahaan yang paling berkomitmen terhadap perubahan iklim dan lingkungan, serta menjadi teladan bagi industri lainnya (Kammen *et al.*, 2019).

Selain itu juga Unilever yang merupakan perusahaan multinasional dan aktif dalam mengembangkan program-program untuk mendukung prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan. Salah satu program tersebut adalah Sustainable Living Plan (Rencana Hidup Berkelanjutan) yang diluncurkan pada tahun 2010. Sustainable Living Plan Unilever bertujuan untuk mengurangi dampak lingkungan dari kegiatan bisnis Unilever, serta meningkatkan kesejahteraan masyarakat melalui produk dan layanan yang inovatif dan ramah lingkungan. Beberapa fokus utama program ini antara lain adalah:

1. Mengurangi dampak lingkungan: Unilever berkomitmen untuk mengurangi jejak karbon, penggunaan air, dan limbah yang dihasilkan dari kegiatan bisnisnya. Salah satu cara yang dilakukan adalah dengan mengurangi penggunaan bahan-bahan kimia berbahaya dan bahan-bahan non-daun kelapa

sawit dalam produk-produknya. Menumbuhkan ekonomi yang berkelanjutan: Unilever berkomitmen untuk membangun rantai pasokan yang berkelanjutan, memperkuat ekonomi lokal, dan meningkatkan kesejahteraan petani dan pekerja di seluruh dunia.

2. Mendorong perilaku berkelanjutan: Unilever berusaha untuk mendorong perilaku konsumen yang lebih berkelanjutan dengan menyediakan informasi dan edukasi mengenai penggunaan produk-produk yang ramah lingkungan (Unilever, 2021).

9.4.2 Peran sector industri secara global

Dalam rangka mengurangi dampak perubahan iklim, perusahaan-perusahaan tersebut telah melakukan beberapa inisiatif seperti pengurangan emisi gas rumah kaca, pengelolaan limbah yang baik, penggunaan energi terbarukan, dan investasi pada teknologi modern. Di Indonesia, Unilever telah meluncurkan berbagai inisiatif untuk mendukung program Sustainable Living Plan, seperti mengurangi penggunaan energi dan air dalam proses produksi, serta menggunakan bahan-bahan daur ulang dan bahan-bahan yang ramah lingkungan dalam produk-produknya. Selain itu, Unilever juga berkomitmen untuk memperkuat hubungan dengan petani dan pengusaha lokal untuk meningkatkan kesejahteraan mereka dan memperkuat ekonomi lokal. Selain itu juga ada sektor pertambangan yang juga telah memperlihatkan komitmen terhadap perubahan iklim, antara lain:

- 1) PT Bintang Alumina Indonesia: memprioritaskan aspek lingkungan dan telah melakukan investasi pada teknologi modern untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengurangi dampak lingkungan lainnya.
- 2) PT Dinamika Sejahtera Mandiri: melakukan investasi pada teknologi pengolahan bijih bauksit dengan teknologi

- modern yang ramah lingkungan, termasuk penggunaan energi terbarukan untuk kegiatan operasionalnya.
- 3) PT Aneka Tambang Tbk: memiliki program yang disebut dengan "Green Mining" yang bertujuan untuk mengurangi dampak lingkungan dari kegiatan pertambangan bauksit, seperti penggunaan teknologi modern dan pengelolaan limbah yang baik.

9.5 Peran Pendidikan dan kesadaran masyarakat mengenai mitigasi perubahan iklim

Saat ini, isu perubahan iklim telah menjadi topik yang semakin sering dibahas di dalam kurikulum pendidikan formal di banyak negara. Banyak sekolah dan perguruan tinggi yang telah memperkenalkan program dan pelajaran mengenai perubahan iklim dan upaya mitigasi. Beberapa universitas bahkan telah menawarkan program studi atau jurusan khusus yang berkaitan dengan perubahan iklim.

Di Indonesia sendiri, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan telah menetapkan kurikulum 2013 yang memuat materi tentang perubahan iklim dan lingkungan hidup. Selain itu, terdapat beberapa universitas yang memiliki program studi yang berfokus pada lingkungan dan perubahan iklim, seperti Universitas Gadjah Mada dan Institut Teknologi Bandung.

Namun, meskipun isu perubahan iklim sudah mulai diperkenalkan dalam pendidikan formal, masih diperlukan upaya yang lebih besar untuk meningkatkan kesadaran dan pemahaman masyarakat mengenai pentingnya upaya mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim.

9.5.1 Pendidikan yang berhubungan dengan mitigasi perubahan iklim

Pendidikan yang mencakup pengetahuan tentang perubahan iklim dan upaya mitigasinya sangat penting untuk meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya menjaga

lingkungan dan mendorong perubahan perilaku individu dan kelompok dalam kehidupan sehari-hari. Melalui pendidikan, masyarakat dapat memahami dampak perubahan iklim terhadap kehidupan manusia dan alam, serta peran mereka dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dan memitigasi dampak perubahan iklim. Pendidikan dapat diberikan dalam berbagai bentuk, seperti di sekolah, perguruan tinggi, media massa, dan kampanye kesadaran lingkungan (Abdulghaffar and Williams, 2021).

Selain itu, pendidikan juga dapat membantu membangun kemampuan dan keterampilan masyarakat dalam mengembangkan teknologi dan inovasi yang ramah lingkungan, serta mengembangkan kebijakan dan program yang lebih efektif untuk mengatasi perubahan iklim. Dengan memahami dan mengambil tindakan yang tepat, masyarakat dapat berkontribusi pada upaya mitigasi perubahan iklim yang lebih luas dan berkelanjutan. Pada tahun 2013, pemerintah Indonesia meluncurkan Kurikulum 2013 yang menempatkan isu lingkungan hidup dan perubahan iklim sebagai salah satu tema utama di dalamnya. Kurikulum ini menekankan pada pengembangan karakter peserta didik yang mencakup aspek sosial, etika, lingkungan hidup, dan globalisasi. Selain itu, kurikulum ini juga mengintegrasikan pendidikan lingkungan hidup dan keberlanjutan ke dalam semua mata pelajaran, sehingga menjadi lebih holistik dan terintegrasi. Dalam kurikulum tersebut, materi tentang perubahan iklim dan lingkungan hidup diharapkan dapat meningkatkan kesadaran dan tanggung jawab peserta didik terhadap masalah lingkungan hidup dan perubahan iklim.

Beberapa inisiatif telah dilakukan di Indonesia untuk memasukkan isu perubahan iklim ke dalam kurikulum pendidikan, seperti pengembangan kurikulum berbasis lingkungan hidup dan program-program yang diselenggarakan oleh organisasi non-

pemerintah. Selain itu, pemerintah Indonesia telah mengeluarkan kebijakan dan program-program yang mendukung integrasi isu perubahan iklim dalam pendidikan, seperti program Green School dan program pemerintah yang disebut "Pendidikan Lingkungan Hidup dan Perubahan Iklim" (Arwan, Juwitas Febrianti., 2021).

9.5.2 Peningkatan kesadaran masyarakat terhadap mitigasi perubahan iklim

Menjaga dan meningkatkan kesadaran masyarakat mengenai isu perubahan iklim merupakan hal yang sangat penting untuk mencapai tujuan mitigasi. Pendidikan memang menjadi salah satu faktor yang dapat membentuk kesadaran masyarakat, terutama dalam memahami pentingnya menjaga lingkungan dan cara-cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak perubahan iklim. Pemerataan pendidikan memang sangat penting dalam meningkatkan kesadaran masyarakat. Namun, selain itu juga diperlukan dukungan dan kebijakan dari pemerintah dan perusahaan-perusahaan untuk memfasilitasi kegiatan-kegiatan terkait mitigasi perubahan iklim. Berikut beberapa cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat:

- 1) Edukasi dan Kampanye - Pemerintah atau lembaga-lembaga yang terkait dengan isu perubahan iklim dapat menyelenggarakan kampanye dan edukasi tentang perubahan iklim dan dampaknya bagi lingkungan dan kehidupan manusia. Kampanye tersebut dapat melibatkan media massa, sosial media, serta kegiatan-kegiatan yang terkait dengan isu perubahan iklim.
- 2) Program Pendidikan - Pendidikan mengenai perubahan iklim dan lingkungan hidup dapat diajarkan di sekolah-sekolah sebagai salah satu mata pelajaran atau program ekstra kurikuler. Pendidikan yang benar-benar menyentuh praktik dan bisa dirasakan hasilnya akan lebih mempengaruhi kesadaran masyarakat.

- 3) Penggunaan Media Sosial - Media sosial merupakan salah satu media yang sangat efektif untuk menyampaikan informasi dan mengedukasi masyarakat. Masyarakat bisa membentuk komunitas lingkungan di media sosial dengan cara men-share pengetahuan, informasi, pengalaman, foto, dan video terkait lingkungan.
- 4) Kerjasama dengan Komunitas Lokal - Melibatkan komunitas lokal dalam kegiatan-kegiatan terkait perubahan iklim dapat meningkatkan kesadaran masyarakat. Komunitas lokal dapat melakukan kegiatan-kegiatan seperti mengadakan diskusi, workshop, dan aksi-aksi nyata untuk melestarikan lingkungan hidup.
- 5) Penggunaan Teknologi - Teknologi dapat digunakan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat. Misalnya dengan aplikasi pengukur emisi karbon, yang dapat membantu masyarakat untuk memantau emisi karbon yang dihasilkan dari kegiatan sehari-hari (Njoku, 2016; Abbasi and Nawaz, 2020).

9.6 Studi Kasus

Perubahan iklim merupakan masalah global yang semakin mendesak untuk diatasi. Dalam upaya mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengatasi dampak perubahan iklim, banyak negara dan industri telah melakukan upaya mitigasi yang beragam. Dalam studi kasus ini, kita akan mengeksplorasi beberapa contoh upaya mitigasi perubahan iklim yang telah dilakukan di berbagai negara dan sektor, serta melihat hasil yang telah dicapai. Melalui studi kasus ini, diharapkan kita dapat belajar dari pengalaman-pengalaman sukses dalam mitigasi perubahan iklim dan mendorong adopsi solusi yang lebih berkelanjutan di masa depan. Berikut beberapa contoh negara yang sudah berkomitmen terhadap mitigasi perubahan iklim.

- a. Jerman: Negara ini telah memimpin dalam penggunaan energi terbarukan, terutama tenaga angin dan surya. Pada tahun 2020, sekitar 50% dari kebutuhan listrik Jerman dipasok dari energi terbarukan.
- b. Denmark: Negara ini telah berhasil membangun sistem listrik yang sangat efisien dan berkelanjutan dengan energi angin sebagai sumber utama. Pada tahun 2020, sekitar 47% dari kebutuhan listrik Denmark dipasok dari energi terbarukan.
- c. Swedia: Negara ini sudah memasang banyak panel surya dan turbin angin di sepanjang pantai untuk memasok kebutuhan listriknya. Pada tahun 2020, sekitar 57% dari kebutuhan listrik Swedia dipasok dari energi terbarukan. Selain itu juga Swedia telah menetapkan target netral karbon pada tahun 2045, yang berarti bahwa emisi gas rumah kaca yang dihasilkan harus setara dengan emisi yang dapat diserap oleh hutan, tanah, atau teknologi penangkapan karbon dan telah menerapkan kebijakan untuk mengurangi emisi transportasi seperti meningkatkan penggunaan mobil listrik dan infrastruktur sepeda.
- d. Islandia: Negara ini telah berhasil menciptakan sistem energi yang hampir 100% didasarkan pada sumber energi terbarukan, terutama tenaga hidro dan geotermal. Pada tahun 2020, Islandia memasok hampir seluruh kebutuhan listriknya dari energi terbarukan.
- e. Norwegia: Negara ini adalah produsen energi hidro terbesar di dunia, dan hampir 98% dari kebutuhan listrik Norwegia dipasok dari energi terbarukan, terutama hidro dan energi angin.
- f. Kanada: Negara ini memiliki sejumlah besar sumber daya alam yang digunakan untuk menghasilkan energi terbarukan, termasuk tenaga air, surya, dan angin. Pada

tahun 2020, sekitar 68% dari kebutuhan listrik Kanada Jerman: Jerman menargetkan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 55% pada tahun 2030 dibandingkan dengan level tahun 1990. Untuk mencapai target ini, Jerman mengambil beberapa tindakan seperti meningkatkan efisiensi energi, mempromosikan mobil listrik, dan membangun infrastruktur energi terbarukan seperti tenaga angin dan tenaga surya. Jerman juga sudah berhasil mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 35% pada tahun 2020 dibandingkan dengan level tahun 1990.

- g. China: China telah menetapkan target netral karbon pada tahun 2060 dan berencana untuk mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 18% pada tahun 2025 dibandingkan dengan level tahun 2015. China juga telah mengambil beberapa tindakan seperti meningkatkan efisiensi energi, mengurangi emisi kendaraan bermotor, dan membangun infrastruktur energi terbarukan seperti tenaga surya dan tenaga angin.

Selain itu ada Kota Copenhagen yang berada di Denmark. Kota ini memiliki target untuk menjadi kota karbon netral pada tahun 2025. Kota ini sudah berhasil mencapai 61% produksi energi terbarukan pada tahun 2018 dan juga telah membangun jaringan sepeda yang sangat luas sehingga mendorong masyarakat untuk bersepeda dan mengurangi penggunaan kendaraan bermotor. Copenhagen memang dikenal sebagai salah satu kota terdepan dalam upaya mitigasi perubahan iklim. Beberapa upaya yang telah dilakukan oleh kota ini adalah:

- 1) Produksi energi terbarukan: Copenhagen sudah mencapai 61% produksi energi terbarukan pada tahun 2018 dengan memanfaatkan tenaga angin, biomassa, dan energi panas bumi.

- 2) Jaringan sepeda yang luas: Copenhagen memiliki jaringan sepeda yang sangat luas dengan sekitar 350 km jalur sepeda yang terpisah dari jalan raya. Hal ini memudahkan masyarakat untuk bersepeda dan mengurangi penggunaan kendaraan bermotor.
- 3) Transportasi umum yang ramah lingkungan: Copenhagen juga memiliki sistem transportasi umum yang ramah lingkungan, seperti kereta api listrik dan bus berbahan bakar biogas.
- 4) Bangunan hijau: Kota ini memiliki banyak bangunan hijau yang memanfaatkan teknologi bangunan berkelanjutan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca.
- 5) Program pengurangan sampah: Copenhagen memiliki program pengurangan sampah yang berhasil mengurangi sampah yang dihasilkan sebesar 45% selama 10 tahun terakhir.

Dengan upaya-upaya tersebut, Copenhagen berhasil meraih penghargaan sebagai kota terberkelanjutan dunia pada tahun 2014 dan 2016. Tidak hanya itu, kota ini juga berhasil mencapai target untuk mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 50% pada tahun 2025, 25 tahun lebih cepat dari target global yang ditetapkan oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa (Confederation of Danish Industry, 2014).

Ada juga Kota Curitiba yang berada di Brazil. Curitiba telah menerapkan sistem transportasi umum yang efisien seperti bus rapid transit dan mempromosikan penggunaan sepeda dengan membangun infrastruktur yang baik. Ini telah membantu mengurangi emisi transportasi dan polusi udara di kota.

Sedangkan California, Amerika sudah mulai mempromosikan mobil listrik dan mengurangi emisi gas rumah kaca dari kendaraan. Pada tahun 2018, lebih dari 5% kendaraan di California adalah kendaraan listrik atau kendaraan berbahan bakar

alternatif. California juga memiliki target untuk mencapai 100% listrik terbarukan pada tahun 2045 (Bedsworth *et al.*, 2018).

Ini hanyalah beberapa contoh praktis upaya mitigasi perubahan iklim yang sudah dilakukan di berbagai negara atau daerah dan hasil yang dicapai. Masih banyak upaya-upaya lainnya yang sedang atau telah dilakukan oleh berbagai negara dan daerah di dunia.

9.7 Peran lembaga internasional terhadap mitigasi perubahan iklim

Berikut adalah 6 lembaga internasional yang memiliki peran dalam mitigasi perubahan iklim dan upaya yang dilakukan dalam lima tahun terakhir:

- a. Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) - PBB merupakan organisasi internasional yang terdiri dari 193 negara. Salah satu peran utama PBB dalam mitigasi perubahan iklim adalah melalui Konvensi Perubahan Iklim Perserikatan Bangsa-Bangsa (UNFCCC). Di bawah UNFCCC, dilakukan upaya-upaya seperti pertemuan tahunan para pihak, pengembangan mekanisme perdagangan karbon, dan dukungan terhadap negara-negara berkembang untuk mengurangi emisi.
- b. Bank Dunia - Bank Dunia memiliki program untuk mendukung negara-negara dalam mengurangi emisi gas rumah kaca, mendorong investasi dalam energi terbarukan, dan meningkatkan efisiensi energi. Bank Dunia juga memberikan pinjaman dan hibah untuk proyek-proyek yang berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim.
- c. Bank Investasi Eropa (EIB) - EIB memiliki program untuk mendukung investasi dalam proyek-proyek yang berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim seperti energi terbarukan, transportasi berkelanjutan, dan efisiensi energi. EIB juga memperkenalkan pedoman baru untuk

- menghilangkan dukungan keuangan pada proyek-proyek yang berkaitan dengan energi fosil pada tahun 2021.
- d. Dana Moneter Internasional (IMF) - IMF memperkenalkan program untuk mengurangi subsidi bahan bakar fosil yang merupakan salah satu penyebab utama emisi gas rumah kaca. IMF juga menyarankan negara-negara untuk memberlakukan pajak karbon atau sistem perdagangan karbon untuk mendorong pengurangan emisi.
 - e. Organisasi untuk Kerja Sama dan Pembangunan Ekonomi (OECD) - OECD memiliki program untuk mendukung negara-negara dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dengan memberikan rekomendasi kebijakan dan dukungan teknis. OECD juga memperkenalkan pedoman untuk investasi yang ramah lingkungan pada tahun 2021.
 - f. Uni Eropa - Uni Eropa memiliki target untuk mencapai nol emisi karbon pada tahun 2050. Upaya yang dilakukan Uni Eropa antara lain meningkatkan penggunaan energi terbarukan, mengurangi penggunaan energi fosil, dan meningkatkan efisiensi energi. Uni Eropa juga memperkenalkan Undang-Undang Iklim pada tahun 2021 yang menetapkan target emisi karbon netral dan target pengurangan emisi karbon sebesar 55% pada tahun 2030.

Selain itu, lembaga internasional juga melakukan kampanye dan program untuk meningkatkan kesadaran masyarakat akan perubahan iklim dan urgensi untuk mengambil tindakan. Contohnya adalah kampanye "Race to Zero" yang dilakukan oleh PBB untuk mendorong perusahaan dan organisasi lainnya untuk mencapai nol emisi karbon pada tahun 2050.

9.8 Kesimpulan

Terdapat beberapa poin penting yang menjadi fokus, di antaranya kebijakan, teknologi, peran industri, dan keterkaitan dengan isu sosial. Berbagai negara dan lembaga internasional telah berkomitmen untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan memitigasi dampak perubahan iklim dengan menciptakan kebijakan dan program yang berkelanjutan. Teknologi juga turut menjadi bagian penting dalam mitigasi perubahan iklim, seperti teknologi energi terbarukan dan teknologi pengolahan bijih yang ramah lingkungan. Industri juga turut berperan dengan melakukan komitmen dalam penerapan praktik berkelanjutan, seperti penurunan emisi gas rumah kaca, pengurangan penggunaan air, dan penerapan green mining.

Namun, tidak bisa dipungkiri bahwa perubahan iklim juga erat kaitannya dengan isu sosial, seperti kemiskinan, ketimpangan sosial, dan hak asasi manusia. Dampak perubahan iklim dapat memperburuk keadaan masyarakat yang sudah terpinggirkan dan memperkuat kesenjangan sosial. Oleh karena itu, mitigasi perubahan iklim harus dilakukan secara holistik dengan memperhatikan isu sosial lainnya. Upaya mitigasi perubahan iklim juga harus memperhatikan kebutuhan dan keterlibatan masyarakat, termasuk dalam penyusunan kebijakan dan program-program mitigasi perubahan iklim. Dengan mengakomodasi isu sosial, upaya mitigasi perubahan iklim dapat menjadi lebih inklusif dan berkelanjutan, serta dapat membawa dampak positif bagi masyarakat yang lebih luas.

9.9 Saran

Beberapa hal dapat dilakukan di Indonesia untuk upaya mitigasi perubahan iklim yaitu:

- 1) Meningkatkan penggunaan energi terbarukan: Indonesia memiliki potensi besar dalam penggunaan energi terbarukan seperti angin, matahari, dan geothermal.

- Pemerintah dapat mendorong penggunaan energi terbarukan dengan memberikan insentif bagi perusahaan dan masyarakat yang menggunakan energi terbarukan.
- 2) Menjaga ketersediaan air bersih: Indonesia memiliki masalah dalam ketersediaan air bersih di beberapa daerah. Pemerintah dapat mengadopsi teknologi pengolahan air bersih yang efektif dan ramah lingkungan. Selain itu, diperlukan juga kampanye dan program edukasi kepada masyarakat mengenai pentingnya menjaga kebersihan dan ketersediaan air bersih.
 - 3) Meningkatkan kesadaran masyarakat akan perubahan iklim: Kesadaran masyarakat akan perubahan iklim masih perlu ditingkatkan. Pemerintah, lembaga pendidikan, dan media massa dapat bekerjasama dalam memberikan informasi dan edukasi tentang perubahan iklim dan upaya mitigasinya.
 - 4) Meningkatkan efisiensi energi: Pemerintah dan industri dapat meningkatkan efisiensi energi dalam produksi dan penggunaan energi. Hal ini dapat dilakukan dengan mengadopsi teknologi ramah lingkungan dan mengurangi penggunaan energi fosil.
 - 5) Meningkatkan kebijakan lingkungan yang berkelanjutan: Kebijakan lingkungan yang berkelanjutan perlu diterapkan dalam semua sektor, termasuk industri, transportasi, dan pertanian. Pemerintah dapat memberikan insentif kepada perusahaan yang menerapkan kebijakan lingkungan yang berkelanjutan dan juga memperketat pengawasan terhadap perusahaan yang tidak mematuhi peraturan lingkungan

DAFTAR PUSTAKA

- [BMKG] Meteorology Climatology and Geophysics Council. 2019. 'Catatan Kondisi Iklim, Kualitas Udara, dan Gas Rumah Kaca di Indonesia'.
- Abbasi, Z.A.K. and Nawaz, A. 2020. 'Impact of Climate Change Awareness on Climate Change Adaptions and Climate Change Adaptation Issues', *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 36(3). Available at: <https://doi.org/10.17582/journal.pjar/2020/33.3.619.636>.
- Abdulghaffar, N.A. and Williams, I.D. 2021. 'Development of sustainable waste management in higher education institutions', *AIMS Environmental Science*, 8(3), pp. 238–254. Available at: <https://doi.org/10.3934/environsci.2021016>.
- Adicita, Y. *et al.* 2022. 'Water Hyacinth Management Due to Eutrophication in Water Bodies Around Pasir Panjang Village, Batam City', pp. 114–122.
- Adicita, Y. and Afifah, A.S. 2022. 'Analisis Sistem Pemilihan dan Daur Ulang Sampah Rumah Tangga di Daerah Perkotaan Menggunakan Pendekatan Life Cycle Assessment (LCA)', *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(2), pp. 406–413. Available at: <https://doi.org/10.14710/jil.20.2.406-413>.
- Adicita, Y., Apritama, M.R. and Afifah, A.S. 2020. 'Multi Criteria Decision Making pada Strategi Pengolahan Sampah Padat Perkotaan', *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, 5(2), p. 191. Available at: <https://doi.org/10.31544/jtera.v5.i2.2020.191-200>.
- Anggraeni, D.Y. 2015. '94772-ID-pengungkapan-emisi-gas-rumah-kaca-kinerj', 12(2), pp. 188–209.
- Arwan, Juwitas Febrianti, et al. 2021. 'Jurnal Pendidikan Lingkungan dan Pembangunan Berkelanjutan', *Analisis Banjir di DKI Jakarta*, 22(1), pp. 23–38.

- Bedsworth, L. *et al.* 2018. 'California's Fourth Climate Change Assessment Statewide Summary Report', *California's Fourth Climate Change Assessment*, (October), p. 133. Available at: <http://www.copenhagenconsensus.com/publication/post-2015-consensus-climate-change-assessment-galiana><http://www.copenhagenconsensus.com/publication/post-2015-consensus-climate-change-assessment-galiana>.
- Confederation of Danish Industry. 2014. 'Climate adapted cities. Solutions from Copenhagen'.
- Delbeke, J. *et al.* 2019. 'The paris agreement', *Towards a Climate-Neutral Europe: Curbing the Trend*, pp. 24–45. Available at: <https://doi.org/10.4324/9789276082569-2>.
- Eduardo, C.B. 2019. 'Re Fi Nem E Nt To Th E 2006 2 I Pcc G U I Deli N E S Fo R 3 Nati O N Al G Re Enh O Us E G As 4 I Nven T O Ri Es', pp. 1–15. Available at: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/05/01_2019rf_OverviewChapter.pdf.
- Electrolux. 2019. 'Better Living Report'.
- Evseeva, O., Evseeva, S. and Dudarenko, T. 2021. 'The impact of human activity on the global warming', *E3S Web of Conferences*, 284, pp. 1–9. Available at: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128411017>.
- Indonesia, P. of R. 2016. 'Government Regulation Number 16 of 2016 concerning Implementation of Paris Agreement to The United Nations Framework Convention on Climate Change', *Republic of Indonesia*, p. 71.
- Julismin. 2013. 'Dampak dan perubahan iklim di Indonesia', *Geografi*, 5(1), pp. 40–46.
- Kammen, D.M. *et al.* 2019. 'Patagonia's Path to Carbon Neutrality by 2025', *Patagonia's Path to Carbon Neutrality by 2025* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.4135/9781526464521>.

- KLHK. 2017. 'Strategi Implementasi NDC', *Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan* [Preprint]. Available at: http://ditjenppi.menlhk.go.id/reddplus/images/adminppi/dokumen/strategi_implementasi_ndc.pdf.
- KLHK. 2018. *Pedoman Penentuan Aksi Mitigasi Perubahan Iklim*.
- KLHK. 2020. 'Roadmap Nationally Determined Contribution (NDC) Adaptasi Perubahan Iklim', 4, pp. 763–773.
- Kusumawardhani, I.D. and Gernowo, R. 2015. 'ANALISIS PERUBAHAN IKLIM BERBAGAI VARIABILITAS CURAH HUJAN DAN EMISI GAS METANA (CH₄) DENGAN METODE GRID ANALYSIS AND DISPLAY SYSTEM (GrADS) DI KABUPATEN SEMARANG', *Youngster Physics Journal*, 4(1), pp. 49–54.
- Masripatin, N. *et al.* 2016. *Perubahan Iklim, Perjanjian Paris dan Nationally Determined Contribution*. Available at: ditjenppi.menlhk.go.id.
- Muhajir, F. Al and Sinaga, N. 2021. 'Tinjauan Pemanfaatan Energi Bayu Sebagai Pembangkit Listrik di Provinsi Sulawesi Selatan', *Jurnal Teknika*, 15(10), pp. 55–61.
- Njoku, C. 2016. 'Awareness of Climate Change and Sustainable Development Issues among Junior Secondary School (JSS) Students in Port Harcourt Metropolis, Nigeria', *International Journal of Curriculum and Instruction Chimezie Njoku / International Journal of Curriculum and Instruction*, 8(2), pp. 29–40.
- Nur'aini, A.D. and Krisdianto, J. 2017. 'Urban Farming dalam Kampung Vertikal sebagai Upaya Efisiensi Keterbatasan Lahan', *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 6(2). Available at: <https://doi.org/10.12962/j23373520.v6i2.25786>.

- Parung, J. *et al.* 2021. 'Penggunaan Teknologi Blockchain, Internet Of Things Dan Artificial Intelligence Untuk Mendukung Kota Cerdas'. Available at: [http://repository.ubaya.ac.id/id/eprint/41036%0Ahttp://repository.ubaya.ac.id/41036/6/Full version-Block chain dan AI untuk mendukung Smart Cities](http://repository.ubaya.ac.id/id/eprint/41036%0Ahttp://repository.ubaya.ac.id/41036/6/Full%20version-Block%20chain%20dan%20AI%20untuk%20mendukung%20Smart%20Cities) - edited.pdf.
- Penman, J. *et al.* 2006. '2006 IPCC - Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories', *Directrices para los inventarios nacionales GEI*, p. 12. Available at: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.
- Riasa, I.P. *et al.* 2020. 'Pengaruh PLTB Sidrap Terhadap Sistem Kelistrikan Sulawesi Selatan', *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 19(1), p. 27. Available at: <https://doi.org/10.24843/mite.2020.v19i01.p04>.
- Runtunuwu, E. and Syahbuddin, H. 2007. 'Perubahan Pola Curah Hujan dan Dampaknya Terhadap Periode Masa Tanam persoalan global yang melibatkan banyak negara dan Latitude perubahan pola hujan yang mengakibatkan pergeser- waktu singkat dengan kecenderungan intensitas beberapa Organisme Pengganggu', *Jurnal Tanah dan Iklim*, 26, pp. 1–12.
- Santoso, W.Y. 2015. 'Kebijakan Nasional Indonesia dalam Adaptasi dan Mitigasi Perubahan Iklim', *Hasanuddin Law Review*, 1(3), p. 371. Available at: <https://doi.org/10.20956/halrev.v1n3.116>.
- Soesanto, S.S. 1995. '151980-ID-gas-rumah-kaca'. Media Litbangkes, pp. 27–28.
- Sulistiyono. 2012. 'Pemanasan Global (Global Warming) Dan Hubungannya Dengan Penggunaan Bahan Bakar Fosil', *Jurnal Forum Teknologi*, 2(2), pp. 47–56. Available at: <http://ejurnal.ppsdmmigas.esdm.go.id/sp/index.php/swarapatra/article/view/60/49>.

- UNCC. 2023. 'From mission zero to climate take back: How interface is transforming its business to have zero negative impact global', p. 3961. Available at: <https://unfccc.int/climate-action/momentum-for-change/climate-neutral-now/interface>.
- UNFCCC. 2021. 'COP 26 Glasgow Climate Pact Advance unedited version Decision', *Cop26*, pp. 1–8. Available at: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cop26_auv_2f_cover_decision.pdf.
- Unilever. 2021. 'Unilever Sustainable Living Plan 2010 to 2020. Summary of 10 years' progress', (March 2021), pp. 1–39. Available at: <https://assets.unilever.com/files/92ui5egz/production/16cb778e4d31b81509dc5937001559f1f5c863ab.pdf/USLP-summary-of-10-years-progress.pdf>.

BAB 10

MANAJEMEN PERUBAHAN IKLIM

Oleh Sri Jumiwati

10.1 Pendahuluan

Fenomena pemanasan global yang mengakibatkan perubahan iklim berdampak menunjukkan bahwa sejak tahun 1850 tercatat adanya 12 tahun terpanas berdasarkan data temperatur permukaan global. Kenaikan temperatur total dari tahun 1850-1899 sampai dengan tahun 2001-2005 adalah $0,76^{\circ}\text{C}$. Permukaan air laut rata-rata global telah meningkat dengan laju rata-rata 1,8 mm per-tahun dalam rentang waktu antara tahun 1961-2003. Kenaikan total permukaan air laut yang berhasil dicatat pada abad ke-20 diperkirakan 0,17 m. Kegiatan manusia ikut berperan dalam pemanasan global sejak pertengahan abad ke-20. Pemanasan global akan terus meningkat dengan percepatan yang lebih tinggi pada abad ke-21 apabila tidak ada upaya menanggulangnya (Surmaini, Runtunuwu, dan Las, 2011).

Konvensi Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) sendiri mengungkapkan perubahan iklim disebabkan oleh aktivitas manusia baik itu secara langsung maupun tidak langsung hingga kemudian mengubah variabilitas iklim alami dan komposisi dari atmosfer global pada suatu periode waktu yang dapat diperbandingkan. Komposisi atmosfer global ini diantaranya komposisi material atmosfer bumi berupa Gas Rumah Kaca (GRK) yang terdiri dari Nitrogen, Karbon Dioksida, Metana, dan lain sebagainya. Pada dasarnya, GRK dibutuhkan untuk menjaga suhu bumi tetap dalam keadaan stabil. Meski demikian konsentrasi GRK kemudian kian meningkat dan membuat lapisan atmosfer menjadi semakin tebal. Penebalan pada lapisan atmosfer ini kemudian

menyebabkan panas bumi menjadi terperangkap di atmosfer dan menumpuk (Kindangen, Calvyn, Deislie., Grevo, 2022).

Negara-negara di dunia menandatangani Persetujuan Paris yang menjadi dokumen perjanjian global mengenai kewajiban negara untuk turut serta melakukan kontribusi penurunan kenaikan suhu global. Persetujuan Paris bersifat mengikat secara hukum dan diterapkan oleh semua negara dengan prinsip tanggung jawab bersama yang dibedakan dan berdasarkan kemampuan masing-masing, dan memberikan tanggung jawab kepada negara maju untuk menyediakan dana, peningkatan kapasitas, dan alih teknologi kepada negara berkembang (Widyaningsih, 2017). Persetujuan Paris dimaksudkan untuk menguatkan respon global terhadap ancaman perubahan iklim dengan tujuan menahan kenaikan suhu rata-rata global di bawah 2°C dan melanjutkan upaya untuk menekan kenaikan suhu ke 1,5°C yang merupakan usulan yang dianjurkan oleh negara terbelakang dan negara berkembang (Efendi, Karunian, Arsani, 2018).

Pemerintah Indonesia telah menandatangani Persetujuan Paris pada 22 April 2016 dan meratifikasinya menjadi Undang-Undang Nomor 16 tahun 2016 tentang Pengesahan Paris Agreement To The United Nations Framework Convention On Climate Change (Persetujuan Paris Atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa mengenai Perubahan Iklim). Indonesia terletak di wilayah geografis yang sangat rentan terhadap dampak perubahan iklim. Secara umum kenaikan suhu rata-rata di wilayah Indonesia diperkirakan sebesar 0,5-3,9°C. Topik perubahan iklim bumi menjadi isu internasional. Persetujuan Paris (Paris Agreement) yang merupakan bagian dari Konvensi Kerangka Kerja Perubahan Iklim Perserikatan Bangsa-Bangsa atau *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) kemudian dinegosiasikan oleh 195 perwakilan negara-negara pada Konferensi Perubahan Iklim PBB ke-21 di

Paris, Perancis yang ditandatangani oleh 197 negara dan diratifikasi oleh 195 negara, termasuk Indonesia (Perdinan, 2014).

Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional (NDC) Indonesia mencakup aspek mitigasi dan adaptasi. Sejalan dengan ketentuan Persetujuan Paris, NDC Indonesia ditetapkan secara berkala. Pada periode pertama, target NDC Indonesia adalah mengurangi emisi sebesar 29% dengan upaya sendiri dan menjadi 41% jika ada kerja sama internasional dari kondisi tanpa aksi (*business as usual*) pada tahun 2030. Topik perubahan iklim juga menjadi isu utama yang pada pertemuan G20 Indonesia tahun 2022. Isu perubahan iklim menjadi salah satu agenda pembahasan global bersamaan dengan pembahasan kebijakan terkait bencana alam dan dampak pandemi COVID-19 (Hardenta, dan Rahmawan 2022).

Perubahan iklim saat ini telah menjadi perbincangan umum di segala tempat, baik dari sisi masyarakat umum maupun dunia. Dampak perubahan iklim juga telah dirasakan hampir semua lini komponen masyarakat. Baik masyarakat yang tinggal di perkotaan maupun di pedesaan. Anomali cuaca, badai, longsor, banjir bandang, banjir rob, suhu ekstrem dan berbagai bencana lainnya frekuensinya semakin meningkat. Perubahan iklim adalah perubahan yang terjadi secara signifikan mengenai pola cuaca yang dihitung berdasarkan angka statistik dalam rentang waktu puluhan hingga ratusan tahun lamanya (Jumiyati, Hadid, et al., 2021).

Menurut Enviromental Protection Agency (EPA), perubahan iklim adalah perubahan iklim secara signifikan yang terjadi pada periode waktu tertentu. Dengan kata lain, perubahan iklim juga bisa diartikan sebagai perubahan suhu yang drastis, curah hujan, pola angin, dan lain sebagainya. Perlu diketahui bahwa suhu bumi berubah satu derajat dalam tempo 100 tahun terakhir. Banyak faktor yang mempengaruhi terjadinya perubahan iklim seperti proses biologis, radiasi sinar matahari, tekanan tektonik, erupsi gunung berapi, dan masih banyak lagi. Sedangkan Iklim

merupakan rata-rata cuaca yang juga menjadi penanda keadaan atmosfer dalam suatu kurun waktu tertentu (Elsa, 2022).

Iklim juga dapat didefinisikan sebagai ukuran variabilitas kuantitas serta rata-rata yang relevan dari sebuah variabel tertentu yaitu curah hujan, temperatur, atau angin pada suatu periode tertentu, yang umumnya merentang dari bulan hingga tahunan atau bahkan hingga jutaan tahun. Iklim sendiri berubah secara terus menerus karena adanya interaksi antara suatu komponen dan faktor eksternal misalnya saja pada erupsi vulkanik, variasi sinar matahari, serta faktor-faktor yang disebabkan oleh kegiatan manusia seperti pada perubahan penggunaan lahan serta bahan bakar fosil (Faisol, 2022).

10.2 Penyebab Perubahan Iklim

Menurut Paramitha dan Wongkar (2022), perubahan iklim telah mengacaukan keseimbangan suhu bumi dan memiliki efek luas pada manusia dan lingkungan. Penyebab perubahan iklim global adalah sebagai berikut:

1. Efek Rumah Kaca

Gas Rumah Kaca sebagai penyebab perubahan iklim pertama dan berasal dari gas-gas rumah kaca. Beberapa gas di atmosfer Bumi sendiri turut berperan dalam hal ini, misalnya pada kaca di rumah yang memerangkap panas matahari kemudian menghentikannya agar tidak bocor kembali ke angkasa. Sebagian besar gas-gas tersebut terjadi secara alami, meski berbagai aktivitas manusia disekitarnya meningkatkan konsentrasinya di atmosfer, khususnya pada metana, karbon dioksida (CO_2), gas berfluorinasi CO_2 dan dinitrogen oksida sebagai gas rumah kaca yang paling umum diproduksi oleh aktivitas manusia serta bertanggung jawab atas 64% pemanasan global buatan manusia. Saat ini konsentrasinya di atmosfer adalah 40% lebih tinggi jika dibandingkan dengan saat awal industrialisasi. Gas rumah kaca lainnya sendiri

dipancarkan dalam jumlah yang lebih kecil, tetapi mereka memerangkap panas jauh lebih efektif dibanding CO₂, serta dalam beberapa kasus ribuan kali lebih kuat.

2. Peningkatan Emisi

Peningkatan emisi yang diakibatkan oleh ulah manusia, misalnya saja pada pembakaran minyak, batu bara, dan gas yang akan menghasilkan dinitrogen oksida dan karbon dioksida. Hal ini juga disebabkan oleh kegiatan deforestasi atau penebangan hutan. Keberadaan pohon berperan membantu mengatur iklim dengan menyerap CO₂ dari atmosfer. Oleh karena itu, pada saat terjadi penebangan, karbon yang tersimpan di pohon akan dilepaskan ke atmosfer dan menambah efek rumah kaca di bumi. Selain itu peningkatan emisi juga disebabkan oleh meningkatnya jumlah peternakan, khususnya ternak sapi dan domba, dimana keduanya menghasilkan metana dalam jumlah besar saat mencerna makanan. Selain itu, pupuk yang mengandung nitrogen juga menghasilkan emisi nitro oksida, Gas-gas ini berfluorinasi hingga kemudian menghasilkan efek pemanasan yang sangat kuat.

3. Pemanasan Global

Aktivitas pemanasan global yang menjadi penyebab perubahan iklim lainnya berasal dari pembangkit listrik dan instalasi industri lainnya sebagai penghasil CO₂ utama. Suhu rata-rata global saat ini sendiri adalah 0,85°C lebih tinggi jika dibandingkan dengan akhir abad ke-19. Para ilmuwan iklim terkemuka mengemukakan pendapatnya mengenai penyebab pemanasan global yang berasal dari aktivitas manusia yang diamati sejak pertengahan abad ke-20. Peningkatan 2°C dibanding suhu pada masa pra-industri ini dinilai para ilmuwan sebagai ambang batas. Oleh sebab itu, hingga saat ini banyak negara telah menekankan kepada warganya tentang pentingnya menjaga pemanasan global dibawah 2°C.

4. Perubahan Orbit Bumi

Perubahan orbit bumi merupakan penyebab terjadinya perubahan iklim. Dalam kurun waktu 800.000 tahun terakhir, terdapat siklus alami dalam iklim Bumi di antara zaman es serta periode interglasial yang lebih hangat. Usai zaman es terakhir di 20.000 tahun yang lalu, suhu global kemudian naik rata-rata sekitar 3°C – 8°C dalam kurun waktu 10.000 tahun terakhir. Peneliti juga menghubungkan kenaikan suhu dalam 200 tahun terakhir ini dengan kenaikan level CO_2 di atmosfer. dalam kurun waktu 800.000 tahun terakhir.

Kenaikan suhu hanyalah awal dari perubahan iklim. Konsekuensi dari perubahan iklim saat ini antara lain, kekeringan ekstrim, kelangkaan air, kebakaran ekstrim, naiknya permukaan laut, banjir, pencairan es kutub, badai dahsyat dan penurunan keanekaragaman hayati. Perubahan iklim dapat mempengaruhi kesehatan kita, kemampuan untuk menanam pangan, perumahan, keselamatan dan pekerjaan. Kondisi seperti kenaikan permukaan laut dan intrusi air asin telah meningkat ke titik di mana seluruh komunitas harus pindah, dan kekeringan yang berkepanjangan menempatkan orang pada risiko kelaparan. Di masa depan, jumlah “pengungsi iklim” diperkirakan akan meningkat.

10.3 Resiko Perubahan Iklim

Menurut Wahyudin, Sampara, dan Baharuddin (2020), pola cuaca merupakan suatu bagian penting dalam kehidupan yang akan mempengaruhi tanaman, dan pangan, air yang kita konsumsi, tempat tinggal, serta berbagai aktivitas dan kesehatan manusia. Karenanya perubahan iklim benar-benar akan berdampak serius terhadap kehidupan manusia. Beberapa resiko perubahan iklim adalah sebagai berikut:

1. Kepunahan Ekosistem

Kemungkinan terjadinya kepunahan ekosistem yaitu pada spesies hewan dan tumbuhan adalah 20-30 persen hal ini terjadi jika pertambahan CO₂ di atmosfer serta kenaikan suhu rata-rata global meningkat 1,5-2,5°C, yang dapat meningkatkan tingkat keasaman laut. Hal ini kemudian akan berdampak negatif terhadap keberadaan organisme laut, seperti terumbu karang, hingga berbagai spesies yang hidupnya bergantung pada organisme tersebut.

2. Pangan dan Hasil Hutan

Diperkirakan produktivitas pertanian yang berada di daerah tropis akan mengalami penurunan jika terjadi kenaikan suhu rata-rata global di antara 1-2 derajat Celcius, yang dapat meningkatkan resiko bencana kelaparan. Meningkatnya frekuensi banjir serta kekeringan kemudian akan memberi dampak buruk terhadap produksi lokal utamanya pada penyediaan pangan pada area tropis dan subtropis. Jika perubahan iklim terjadi, maka hasil panen akan turut menurun pula, baik dari segi kuantitas maupun kualitas. Berkurangnya kesuburan tanah sehingga tidak dapat lagi dimanfaatkan sebagai lahan pertanian.

Terjadinya perubahan iklim akan memberi dampak yang buruk pada kondisi hutan, tak hanya itu jumlah makanan serta produk hutan pun akan terus mengalami penurunan. Selain itu, fungsi hutan dalam hal pengatur sistem hidrologi dan penyaring air akan kian melemah. Kuantitas air tanah juga akan berkurang dengan kualitas air yang terus menurun. Dengan terus berkurangnya keanekaragaman hayati, sistem alami tak lagi berjalan secara efektif. Tanaman akan kian menderita dikarenakan perubahan iklim yang juga meningkatkan jumlah penyakit dan hama. Hutan berperan dalam mencegah terjadinya polusi air hingga menghambat terjadinya erosi. Hutan membantu menyimpan pasokan air

dan akan menyerap air hujan pada musim penghujan dan membantu melepaskannya di musim kemarau. Hutan berfungsi sebagai rumah bagi banyak hewan liar, mulai dari serangga, burung, hingga berbagai tanaman.

3. Pesisir dan dataran rendah

Daerah pantai akan kian rentan terhadap naiknya permukaan air laut dan erosi pantai. Kerusakan pesisir ini sendiri kemudian akan diperparah oleh berbagai tekanan manusia di daerah pesisir. Diperkirakan pada tahun 2080 nanti jutaan orang akan terkena banjir setiap tahun diakibatkan oleh naiknya permukaan air laut. Resiko terbesar yang akan dihadapi adalah padat penduduknya area di dataran rendah dengan tingkat adaptasi yang rendah. Selain itu sesungguhnya penduduk yang paling terancam ialah yang berada di Afrika dan Asia serta para penduduk yang bermukim di pulau-pulau kecil.

4. Sumber dan Manajemen air tawar

Hingga saat ini rata-rata ketersediaan air di daerah subpolar, aliran air sungai dan daerah tropis basah diperkirakan akan mengalami peningkatan sekitar 10-40 persen. Sementara pada daerah subtropis dan daerah tropis yang kering, air kemudian akan mengalami pengurangan sekitar 10-30% hingga akhirnya berbagai daerah yang kini mengalami kekeringan kemudian akan semakin menjadi parah kondisinya.

5. Industri, permukiman dan masyarakat

Industri, permukiman serta masyarakat yang kian rentan umumnya berada di daerah bantaran sungai dan pesisir serta mereka yang tingkat perekonomiannya terkait erat dengan keberadaan sumber daya yang sensitif terhadap iklim, serta tinggal di daerah-daerah yang sering dilanda berbagai bencana ekstrim, dimana urbanisasi biasanya kemudian berlangsung dengan sangat cepat. Komunitas dengan tingkat ekonomi

rendah sangat rentan karena memiliki kapasitas adaptasi yang terbatas, dan kehidupannya sangat tergantung pada sumberdaya, yang keberadaannya sangat mudah terpengaruh oleh iklim.

6. Kesehatan

Penduduk dengan kapasitas adaptasi yang rendah akan kian rentan terhadap berbagai penyakit yang melanda, seperti gizi buruk, diare, dan berubahnya pola distribusi pada penyakit-penyakit yang ditularkan dari berbagai hewan khususnya serangga. Membatasi kenaikan suhu global tidak lebih dari 1,5°C akan membantu menghindari dampak iklim terburuk dan mempertahankan iklim yang layak huni. Namun jalur emisi karbon dioksida saat ini dapat meningkatkan suhu global sebanyak 4,4°C pada akhir abad ini.

10.4 Upaya Penanggulangan Perubahan Iklim

Upaya dan peluang untuk mengurangi tingkat emisi gas rumah kaca, salah satunya adalah dengan perubahan pola konsumsi dan gaya hidup. Berikut ini beberapa upaya penanggulangan berbasis sektor, sebagai berikut:

1. Sektor Energi

Pada sektor energi yang bisa dilakukan adalah mengurangi subsidi bahan bakar fosil, menerapkan pajak karbon yang digunakan untuk bahan bakar fosil, serta menggalakan kebiasaan menggunakan energi terbarukan, tak lupa penetapan harga listrik bagi energi terbarukan, juga subsidi bagi para produsen.

2. Sektor Transportasi

Pada sektor transportasi adalah dengan menggalakan penggunaan biofuel, mewajibkan penggunaan bahan bakar dengan standar CO₂ untuk alat-alat transportasi di jalan raya, tarif penggunaan jalan dan parkir serta merancang kebutuhan transportasi melalui regulasi penggunaan lahan dan

perencanaan infrastruktur yang baik. Selanjutnya adalah berupaya lebih memilih menggunakan transportasi tak bermotor serta menggunakan fasilitas angkutan umum.

3. Sektor Gedung

Pada sektor gedung dengan menerapkan standar dan label terhadap berbagai peralatan, regulasi gedung dan sertifikasi serta pengadaan insentif yang diberikan kepada perusahaan di bidang energi. Sekitar 70% penggunaan energi, berasal dari konstruksi dan bangunan yang menyumbang 39% dari emisi karbon dioksida. Selain itu, dalam kurun waktu 15 tahun mendatang infrastruktur perkotaan ini akan dibangun, seiring dengan semakin cepatnya proses migrasi dari desa ke kota (atau sebaliknya). Selanjutnya yang tidak kalah pentingnya adalah mengatasi emisi metana dan nitrooksida yang diinduksi oleh manusia hingga kemudian menemukan solusi yang lebih cerdas untuk pemanasan, pendinginan, dan pengelolaan limbah.

4. Sektor Industri

Pada sektor industri dilakukan dengan memberlakukan standar pada subsidi, pajak untuk kredit juga perjanjian sukarela. Pada sektor pertanian sendiri sebaiknya diberikan insentif finansial serta regulasi yang akan memudahkan dalam memperbaiki manajemen lahan, irigasi yang efisien, penggunaan pupuk serta upaya mempertahankan kandungan karbon dalam tanah.

5. Sektor Kehutanan

Pada sektor kehutanan melalui insentif finansial dalam skala internasional maupun nasional yang memiliki berbagai tujuan untuk mempertahankan lahan hutan, manajemen hutan, memperluas area kehutanan, hingga mengurangi deforestasi atau penebangan liar yang kerap terjadi. Regulasi pemanfaatan lahan serta penegakan regulasi untuk melindungi dan memulihkan hutan tropis. Penanaman pohon untuk

peningkatan ketahanan pangan, menyelamatkan keanekaragaman hayati, membantu mengurangi CO₂, membuka mata pencaharian serta menolong ekonomi pedesaan. Perlunya peningkatan investasi untuk mengurangi separuh pembabatan hutan tropis pada tahun 2020, menghentikan deforestasi secara global pada tahun 2030 serta mengumpulkan sekitar US\$ 50 miliar per tahun dalam mencapai target 350 juta hektar hutan serta restorasi bentang alam di tahun 2030. Pentingnya penanaman lebih banyak pohon di padang rumput juga lahan tanah pertanian serta upaya pemulihan lahan gambut.

6. Sektor Pertanian dan Makanan

Manusia membutuhkan transformasi pangan global dalam 12 tahun ke depan, di mana limbah makanan dikurangi, serta menjalankan diet dan pola hidup sehat melalui penurunan asupan protein hewani. Penduduk dunia juga perlu memberi insentif pada pertanian agar lebih tanggap terhadap iklim dan berkelanjutan. Aksi iklim membutuhkan investasi keuangan yang signifikan oleh pemerintah dan bisnis. Salah satu langkah penting bagi negara-negara industri untuk memenuhi komitmen mereka untuk menyediakan \$100 miliar per tahun kepada negara-negara berkembang sehingga mereka dapat beradaptasi dan bergerak menuju ekonomi yang lebih hijau (Jumiyati, Possumah, *et al.* 2021).

10.5 Manajemen Perubahan Iklim

Pemanasan global mengakibatkan perubahan iklim dan kenaikan frekwensi maupun intensitas kejadian cuaca ekstrim. Pemanasan globa dapat menyebabkan terjadi perubahan yang signifikan dalam sistem fisik dan biologis seperti peningkatan intensitas badai tropis, perubahan pola presipitasi, salinitas air laut, perubahan pola angin, mempengaruhi masa reproduksi hewan dan tanaman, meningkatkan frekuensi serangan hama dan wabah

penyakit, serta mempengaruhi berbagai ekosistem yang terdapat di daerah dengan garis lintang yang tinggi (termasuk ekosistem di daerah Artuka dan Antartika), lokasi yang tinggi, serta ekosistem pantai.

Upaya yang sistematis dan terintegrasi untuk meningkatkan ketahanan terhadap perubahan iklim dan perbaikan kondisi lingkungan lokal dan global sangat diperlukan. Penanganan perubahan iklim dalam konteks pembangunan membutuhkan manajemen perubahan iklim secara efektif, dan pada saat bersamaan mengantisipasi dampak perubahan iklim global jangka panjang secara komprehensif. Juga membutuhkan pendekatan lintas sektor baik pada tingkat nasional, regional maupun lokal. Dalam menghadapi perubahan iklim, peningkatan ketahanan sistem dalam masyarakat untuk mengurangi resiko bahaya perubahan iklim dilakukan melalui upaya adaptasi dan mitigasi.

Adaptasi merupakan tindakan penyesuaian sistem alam dan sosial untuk menghadapi resiko dari perubahan iklim. Namun upaya tersebut akan sulit memberi manfaat secara efektif apabila laju perubahan iklim melebihi kemampuan beradaptasi. Oleh karena itu, adaptasi harus diimbangi dengan mitigasi, yaitu upaya mengurangi sumber maupun peningkatan gas rumah kaca, agar supaya proses pembangunan tidak terhambat dan tujuan pembangunan berkelanjutan dapat tercapai. Dengan demikian, generasi yang akan datang tidak terbebani oleh ancaman perubahan iklim secara lebih berat (Firdaus, dan Wandira, 2020). Indonesia berkomitmen untuk menurunkan emisi karbon atau CO₂ sebesar 29% (skenario *unconditional*) dan 41% (skenario *conditional*) di tahun 2030 dengan syarat adanya bantuan dari internasional, khususnya negara-negara maju dalam hal bantuan pembiayaan, transfer teknologi dan *capacity building*. Seperti yang diketahui bersama, sebagai negara yang sedang berkembang menjadi negara industri, penggunaan energi berbahan bakar fosil serta pengalihan fungsi hutan, yang mana

keduanya berkontribusi besar dalam tingginya emisi karbon, tidak dapat dihindarkan dalam pembangunan di Indonesia . Zulkarnain (2013).

Terdapat empat prinsip utama yang dijadikan sebagai landasan dalam manajemen perubahan iklim di Indonesia. Pendekatan pertama adalah penerapan Pendekatan Lanskap (*Landscape Approach*). Melalui Pendekatan Lanskap, solusi yang komprehensif dan menyeluruh akan tercipta dengan mengintegrasikan perspektif dari sisi ekosistem daratan, pesisir dan laut. Pendekatan kedua adalah dengan memperkuat dan menyelaraskan upaya tradisional maupun upaya inovatif dalam memitigasi dan beradaptasi dengan perubahan iklim. Ketiga, Indonesia akan menjadikan perubahan iklim sebagai aspek pertimbangan dalam setiap perencanaan pembangunan. Sedangkan yang keempat, Indonesia akan meningkatkan kualitas manajemen sumber daya alam demi memastikan ketahanan pangan, air dan energi.

Perubahan iklim merupakan ancaman terbesar dalam ketahanan pangan, air dan energi. Sehingga mitigasi dan adaptasi merupakan dua konsep yang terintegrasi dan sangat esensial. Dalam hal mitigasi, Indonesia akan fokus pada penanganan di dua sektor, yaitu sektor lahan dan kehutanan dan sektor energi. Fokus terhadap kedua sektor tersebut didasarkan pada fakta bahwa keduanya merupakan kontributor utama emisi karbon di Indonesia. Adanya aktifitas manusia seperti pembersihan lahan perkebunan untuk dijadikan pemukiman atau pembakaran dan penebangan hutan menyebabkan berubahnya siklus karbon dan menyebabkan lebih banyak CO₂ yang diemisikan dibanding yang diserap.

DAFTAR PUSTAKA

- Surmaini E., Runtunuwu E., dan Las, I. 2011. 'Upaya Sektor Pertanian Dalam Menghadapi Perubahan Iklim', *Jurnal Litbang Pertanian*, 30(1), pp. 1-7.
- Kindangen, G., Calvyn F.A.S., Deislie R.H.K., Grevo S.G. 2022. 'Estimasi Kandungan Karbon Biomasa Pneumatofor *Avicennia marina*', *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, 9(3), pp. 141-147.
- Widyaningsih, G.A. 2017. 'Membedah Kebijakan Perencanaan Ketenagalistrikan di Indonesia', *Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia*, 5 (1), pp. 117-136.
- Efendi, A., Karunian, A.Y., Arsani, N.L.P.C. 2018. 'Inkonsistensi Kebijakan Energi Di Indonesia: Kaitannya Terhadap Pemberlakuan Standar Emisi Gas Buang Euro 4', *Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia*, 5 (1), pp. 1-23.
- Perdinan, P. 2014. 'Perubahan Iklim Dan Demokrasi: Ketersediaan Dan Akses', *Jurnal Hukum Lingkungan*, 1 (1), pp. 109-132.
- Hardenta, A.D., dan Rahmawan, A.B. 2022. 'Manifestasi Partisipasi Publik dalam Doktrin Kepercayaan Publik bagi Pemenuhan Komitmen Perubahan Iklim Indonesia', *Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia*, 9 (1), pp. 157-186.
- Jumiyati, S., Hadid, A., *et al.* 2021. 'Climate-smart agriculture: Mitigation of landslides and increasing of farmers' household food security', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 708(1).
- Elsa, H.U., 2022. 'menimbang Kesiapan Penerapan Carbon Pricing di Indonesia dengan Studi pada Kanada, Britania Raya, dan Australia', *Jurnal Pajak Indonesia*, 6(2), pp. 410-435.

- Faisol, A., Paga, B.O., Edowai, D.N. 2022. 'Pemutakhiran Zona Iklim Schmidt –Ferguson Melalui Pemanfaatan Data Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations untuk Mendukung Pengembangan Pertanian di Provinsi Papua Barat', Prosiding Seminar Nasional Pembangunan dan Pendidikan Vokasi Pertanian Politeknik Pembangunan Pertanian Manokwari, 23 Juli 2022, pp. 546-556.
- Paramitha, Y. dan Wongkar, E.L.T. 2022. 'Membangun Resiliensi dari Bawah: Perempuan dengan Disabilitas dan Keadilan Iklim di Indonesia', *Jurnal Perempuan*, 27(3), pp. 191-201.
- Wahyudin, Sampara, S. dan Baharuddin, H. 2020. 'Kebijakan Hukum Lingkungan Terhadap Penanggulangan Krisis Iklim di Indonesia', *Kalabbirang Law Journal*, 2(2), pp. 78-99.
- Jumiyati, S., Possumah, N., *et al.* 2021. 'Eco-friendly utilization to increase income and efficiency of Banggai yam farming in the Banggai Islands, Central Sulawesi, Indonesia', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 797(1).
- Firdaus, A.Y. dan Wandira, P.A. 2020. 'Diplomasi Lingkungan Hidup Indonesia: Isu Mitigasi Perubahan', *JPPI (Jurnal Penelitian Pendidikan Indonesia)*, 8(3), pp. 540-545.
- Zulkarnain. 2013. 'Analisis Penetapan Kriteria Kawasan Hutan', *Jurnal Agrifor*, XII(2), pp. 96–109.

BIODATA PENULIS



Mila Sari, S.ST, M.Si

Dosen STIKES Dharma Landbouw Padang

Penulis dilahirkan di Pilubang, 13 Mei 1989. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kesehatan, Universitas Fort De Kock Bukittinggi. Menyelesaikan pendidikan D3 dan D4 pada Jurusan Kesehatan Lingkungan Politeknik Kesehatan Kemenkes Padang dan melanjutkan S2 pada Jurusan ilmu Lingkungan Universitas Negeri Padang. Penulis menekuni bidang ilmu lingkungan dan kesehatan lingkungan. Penulis dapat dihubungi melalui email : milasari111326@gmail.com atau nomor telepon 081374464054

BIODATA PENULIS



Dian Puspitasari, S.Kel., M.Si.

Dosen Program Studi Budidaya Perairan
Fakultas Pertanian Universitas Asahan

Penulis lahir di Semarang tanggal 14 April 1986. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Budidaya Perairan Fakultas Pertanian, Universitas Asahan. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Ilmu Kelautan dan melanjutkan S2 pada Program Studi Manajemen Sumber Daya Pantai. Mata kuliah yang pernah diampu adalah Oseanografi Umum, Biologi Laut, Toksikologi Akuakultur. Penelitian yang pernah dilakukan yaitu pengaruh infusa daun mangrove *Excoecaria agallocha* terhadap infeksi bakteri *Aeromonas hydrophyla* pada ikan nila yang dibiayai oleh DIKTI.

BIODATA PENULIS



Drs. Bambang Suhartawan, M.MT

Dosen Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Sains dan Teknologi Jayapura

Penulis lahir di Blitar tanggal 13 Pebruari 1964. Penulis adalah dosen tetap dengan status PNS-DPK pada Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP) Universitas Sains dan Teknologi Jayapura. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Kimia Jurusan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Cenderawasih Jayapura pada tahun 1989. Pendidikan Pasca Sarjana diperoleh dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya jurusan Manajemen Teknik Lingkungan pada tahun 2002. Penulis meniti karir berawal sebagai Guru SMA pada tahun 1990, tahun 2008 pindah ke Dinas Pendidikan Pemuda dan Olahraga Provinsi Papua sebagai Kepala Seksi Teknologi dan Informasi Pendidikan, tahun 2011 mendapat kepercayaan sebagai Kepala Dinas Pendidikan dan Pengajaran Kabupaten Keerom, tahun 2014 sebagai Staf Ahli Bupati Bidang Pembangunan di kabupaten yang sama, tahun 2017 sebagai sekretaris Dinas Pemuda dan Olahgara Kabupaten Keerom, tahun 2018 kembali

mendapat kepercayaan sebagai Kepala Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Kabupaten Keerom dan baru tahun 2021 mutasi sebagai Dosen PNS berstatus diperbantukan di Universitas Sains dan Teknologi Jayapura hingga saat ini.

BIODATA PENULIS



Yosef Adicita, M.Sc.

Dosen Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Universitas Universal Batam

Penulis lahir di Bekasi tanggal 31 Januari 1989. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik, Universitas Universal. Menyelesaikan pendidikan S1 dan S2 di Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Penulis selain berprofesi sebagai pengajar juga menekuni Penelitian pada bidang Infrastruktur dan dampak Lingkungan.

Penulis juga merupakan Koordinator bidang profesi IATPI (Ikatan Ahli Teknik Penyehatan Lingkungan Indonesia) Provinsi Kepulauan Riau dengan masa bakti 2019-2024. Penulis yang memiliki keahlian bidang energi terbarukan dan infrastruktur lingkungan ini juga Aktif sebagai Tutor dan pembicara internal mengenai edukasi pemanfaatan Infrastruktur lingkungan bagi pembangunan masyarakat.

BIODATA PENULIS



Ir.Drs.Robert Tua Siregar M.Si.Ph.D.

Dosen Program Studi Doktor Ilmu Manajemen
Fakultas Ekonomi Universitas Prima Indonesia

Robert Tua Siregar, lahir di Pematangsiantar pada tanggal 18 November 1967. Ia menyelesaikan kuliah dan mendapat gelar Sarjana Teknik Manajemen Industri pada 06 Januari 1992, dan Sarjana Sospol pada 04 November 1992. Ia merupakan alumnus Jurusan Teknik Manajemen Industri Fakultas Teknik Universitas Sisingamangaraja XII Medan dan Sosiologi Fakultas Sospol Univ. Sumatera Utara Indonesia Medan. Pada tahun 1998 mengikuti Program Tugas Belajar pada Magister Perencanaan Pembangunan Wilayah dan Pedesaan dan lulus pada tahun 2001 dari Universitas Sumatera Utara Indonesia Medan. Pada tahun 2007 menjalani Tugas Belajar Doktor Falsafah Bidang Urban & Regional Planning pada University Of Malaya. Sejak tahun 1994 menjadi dosen pada perguruan tinggi swasta di Pematangsiantar, dan pada tahun 2012 beralih fungsi status dari Pegawai Pemerintahan menjadi Dosen DpK di Universitas Swasta Pematangsiantar dan ditempatkan di Program Pascasarjana Ilmu Perencanaan Wilayah dan Kota dan Fakultas Ekonomi pada program studi studi pembangunan. Saat ini

Dosen di Program S3 dan S2 Univ.Prima Indonesia Medan.
roberttuasiregar@unprimdn.ac.id

BIODATA PENULIS



Dr. Suriani Nur, S.T., M.Si.

Dosen tetap Prodi Pendidikan Guru Madrasah Ibtidaiyah (Prodi PGMI) Fakultas Tarbiyah. Institut Agama Islam Negeri Bone (IAIN Bone).

Dosen tetap Prodi Pendidikan Guru Madrasah Ibtidaiyah (Prodi PGMI) Fakultas Tarbiyah. Institut Agama Islam Negeri Bone (IAIN Bone). Menyelesaikan pendidikan S2 Program Studi Pengelolaan Lingkungan Hidup UNHAS Tahun 2003. Pendidikan S3 Program Studi Pendidikan Kependudukan dan Lingkungan Hidup (PKLH) UNM.) selesai Tahun 2017.

BIODATA PENULIS



Dr. Tarzan Purnomo, M.Si.

Dosen Program Studi Biologi
Fakultas MIPA Universitas Negeri Surabaya

Dr. Tarzan Purnomo, M.Si., lahir di Mojokerto, Jawa Timur tanggal 5 Mei 1965. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Surabaya sejak 1992. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pendidikan Biologi FPMIPA IKIP Surabaya (1991), S2 Program Studi Biologi, Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada Yogyakarta (1998), dan Program Doktor (S3) Lingkungan Pesisir dan Lautan, Program Pascasarjana Universitas Brawijaya Malang (2011). Mengikuti *Postdoctoral Programe* Marine Ecology di Victoria University of Wellington, New Zealand (2013). Penulis menekuni bidang Ekologi, Ekologi Perairan, Ekologi Laut, Biologi Perairan, Ilmu Lingkungan, Konservasi Sumber Daya Alam, Manajemen Ekosistem Perairan, serta Ekologi Pesisir dan Kelautan.

BIODATA PENULIS



Ir. Firdaus, ST., M.Si., M.T, IPM.

Dosen Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar

Penulis lahir di Samarinda, pada tanggal 27 November 1987. Menyelesaikan pendidikan sarjana di jurusan Teknik Perencanaan Wilayah dan Kota UIN Alauddin Makassar Tahun 2010, program magister Perencanaan dan Pengembangan Wilayah Universitas Hasanuddin Tahun 2016, program profesi insinyur di Universitas Muslim Indonesia pada Tahun 2019 dan kembali menyelesaikan pendidikan magister Rekayasa Infrastruktur dan Lingkungan di Universitas Fajar Makassar Tahun 2022. Telah mengikuti berbagai pendidikan dan pelatihan lingkungan dan tata ruang antara lain Diklat AMDAL A, Diklat AMDAL B, Diklat Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS), Pelatihan Rencana Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (RPPLH) dan Pelatihan Rencana Detail Tata Ruang. Penulis memiliki sertifikat keahlian kualifikasi utama bidang perencanaan wilayah dan kota, insinyur professional madya dan lisensi anggota tim penyusun AMDAL. Ia saat ini bekerja sebagai dosen pada Program Studi Perencanaan Wilayah dan kota Universitas Muhammadiyah Makassar dengan kemampuan di bidang pengembangan wilayah,

pengelolaan lingkungan dan perencanaan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil, selain sebagai dosen ia juga bekerja sebagai seorang konsultan profesional pada proyek-proyek pemerintah dan swasta di bidang penataan ruang, pengembangan kebijakan dan pengelolaan lingkungan hidup.

BIODATA PENULIS



Nurul Ulfah, M.T

Dosen Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan
Teknik Mesin Politeknik Negeri Batam

Penulis lahir di Padang tanggal 8 Mei 1992. Penulis adalah dosen tetap pada Program Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan Politeknik Negeri Batam. Menyelesaikan pendidikan S1 dan S2 di Institut Teknologi Bandung. Penulis selain berprofesi sebagai pengajar juga menekuni Penelitian pada bidang produksi, emisi di bidang perkapalan dan dampak Lingkungan.

BIODATA PENULIS



Dr. Sri Jumiya, S.P., M.Si

Staf Dosen Program Studi Magister Ilmu Pertanian

Penulis lahir di Luwuk, Sulawesi Tengah pada tanggal 17 Oktober 1968. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Magister Ilmu Pertanian, Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Palu. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Budidaya Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Tadulako (UNTAD) Palu dan melanjutkan pendidikan S2 pada Program Magister Pengembangan Wilayah Pedesaan juga di UNTAD Palu, kemudian menyelesaikan pendidikan S3 pada Program Doktor Ilmu Kehutanan di Universitas Mulawarman (UNMUL) Samarinda. Selain mengajar Penulis aktif melakukan pengembangan kompetensi untuk menunjang pelaksanaan Tri Dharma Perguruan Tinggi di bidang pengabdian dan penelitian serta publikasi terkait masalah lingkungan dan sumberdaya alam baik tingkat nasional maupun internasional.