

I. PENDAHULUAN

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 Townsend 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 “menaklukan” alam dengan pengembangan teknologi yang terkait dengan pemanfaatan sumberdaya alam dan lingkungan bagi peningkatan pertumbuhan ekonomi dalam kesejahteraan manusia (Turner *et al.*, 1994;17).

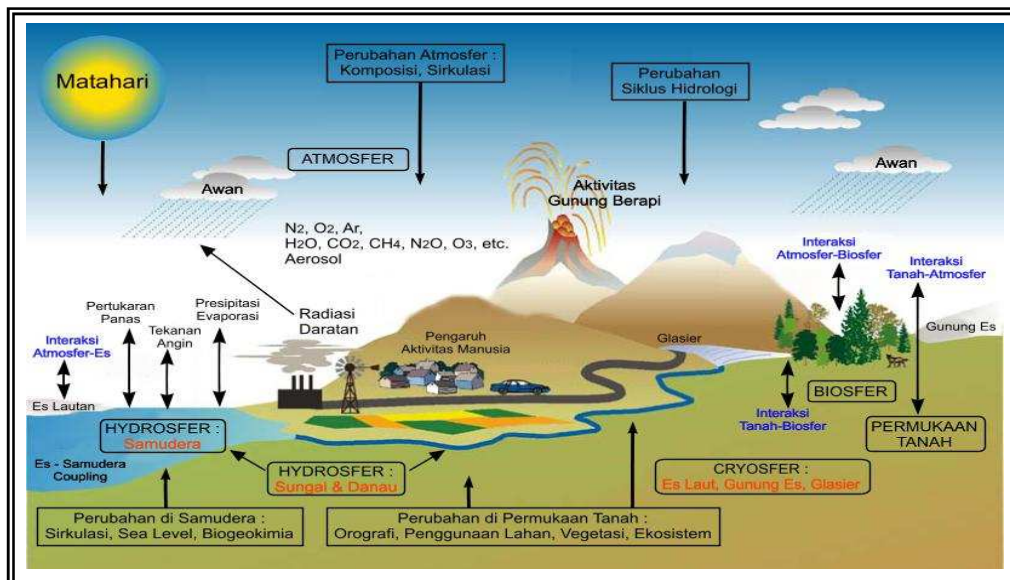
Pandangan tersebut mulai tersanggah semenjak disadari bahwa pertumbuhan ekonomi tanpa disertai dengan pengendalian pertumbuhan populasi manusia telah menimbulkan fenomena global yang merugikan dan saling terkait (Ismawan, 1999; Pearce and Warford, 1993). Fenomena global tersebut adalah “perubahan iklim (*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.

II. PERUBAHAN IKLIM

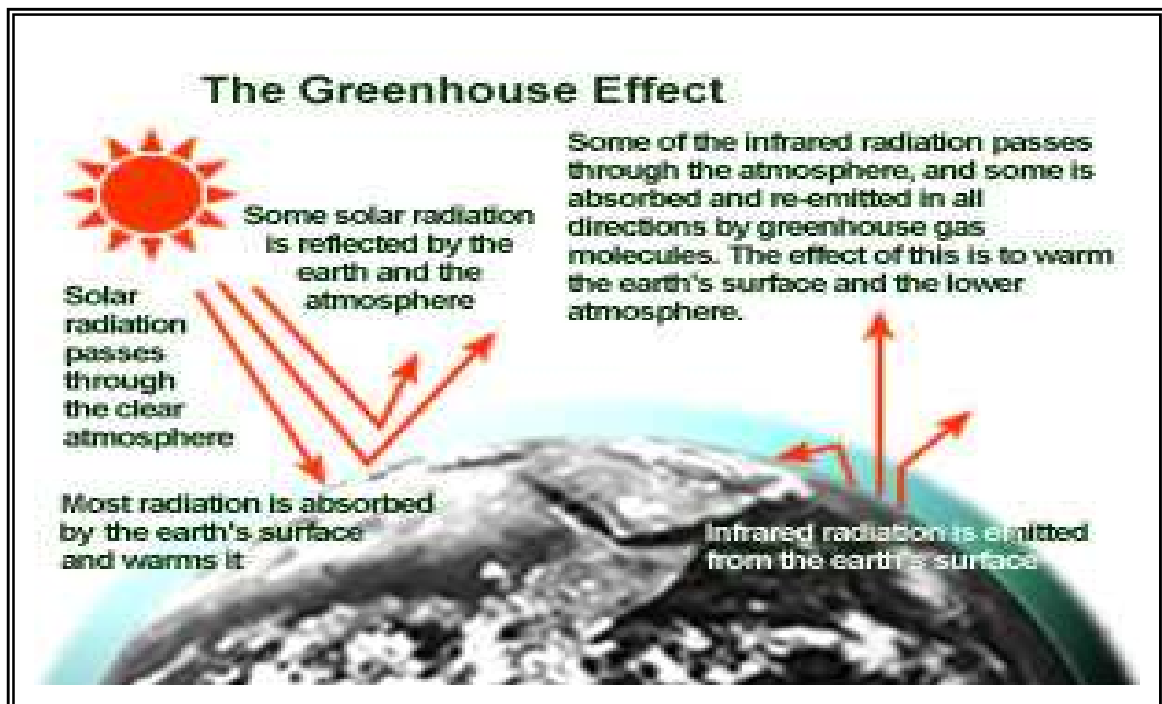
Iklim adalah rata-rata kondisi cuaca yang merupakan interaksi yang kompleks antara proses-proses fisik, kimia, biologi yang mencerminkan interaksi antara geosfer, biosfer yang terjadi pada atmosfer bumi. Karena itu iklim suatu tempat atau wilayah merupakan deskripsi statistik tentang kondisi atmosfer 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. 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.



Sumber; IPCC, 2007

Gambar 2. Suplai CO_2 dari Bumi bagi Gas Rumah Kaca

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).

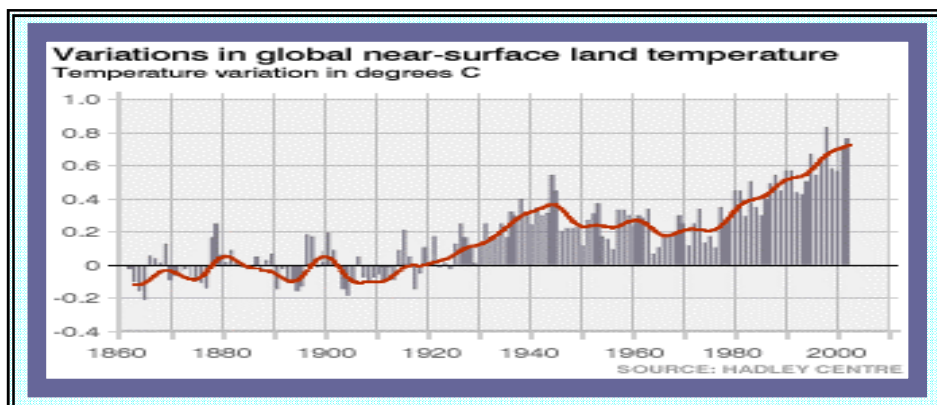
Bukti-bukti baru yang kuat menyatakan bahwa mayoritas pemanasan bumi yang diobservasi selama 50 tahun terakhir disebabkan oleh aktifitas manusia (IPCC, 2007). Dalam *The Fourth Assessment to IPCC* yang dijadwalkan terbit Februari 2007, dasar ilmiah yang menyatakan aktivitas manusia sebagai penyebab semakin kuat (Pachauri, dalam Hanley, 2006).

Tabel 1. Gas Rumah Kaca yang Utama dan Gambaran Umum Perubahan Iklim

| GAS | LIFE TIME (tahun) | KONSENTRASI | | GWP | SUMBER |
|--|-------------------|---|----------|-----------|-----------------------|
| | | PRA INDUSTRI | 1994 | | |
| CO ₂ | 50-200 | 280 ppm | 385 ppm | 1 | BBF & Deforestasi |
| CH ₄ | 12-17 | 700 ppb | 1720 ppb | 21 | Biologi & Pertanian |
| N ₂ O | 120 | 275 ppb | 312 ppb | 310 | Energi & Pabrik Pupuk |
| CFC ₁₂ | 102 | 0 | 505 ppt | 8500 | Industri Kimia |
| HFC | 1,5-264 | 0 | 110 ppb | 140-11700 | Proses Industri |
| CF ₄ | 50000 | 0 | 70 ppt | 6300 | Antropogenik |
| INDIKATOR | | PERUBAHAN YANG TERJADI | | | |
| INDIKATOR KONSENTRASI | | | | | |
| Konsentrasi CO ₂ di atmosfer | | 750 ppm (1000-1750) menjadi 368 ppm (2000); meningkat 31+/-34% | | | |
| Pertukaran CO ₂ di bumi | | 30 Gt C (1800-2000), tetapi selama tahun 1990-an sekitar 14-17 Gt C | | | |
| Konsentrasi CH ₄ di atmosfer | | 700 ppm (1000-1750) menjadi 1750 (2000); meningkat 151+/-25% | | | |
| Konsentrasi N ₂ O di atmosfer | | 270 ppb (1000-1750) menjadi 316 ppb (2000); | | | |
| INDIKATOR CUACA | | | | | |
| Suhu atmosfer bumi rata-rata global | | Meningkat 0,6 ± 0,2 selama abad ke-20 | | | |
| INDIKATOR FISIK | | | | | |
| Kenaikan permukaan Air Laut | | Meningkat 1-2 mm rata-rata per tahun selama abad ke-20 | | | |
| Penurunan permukaan daratan | | | | | |

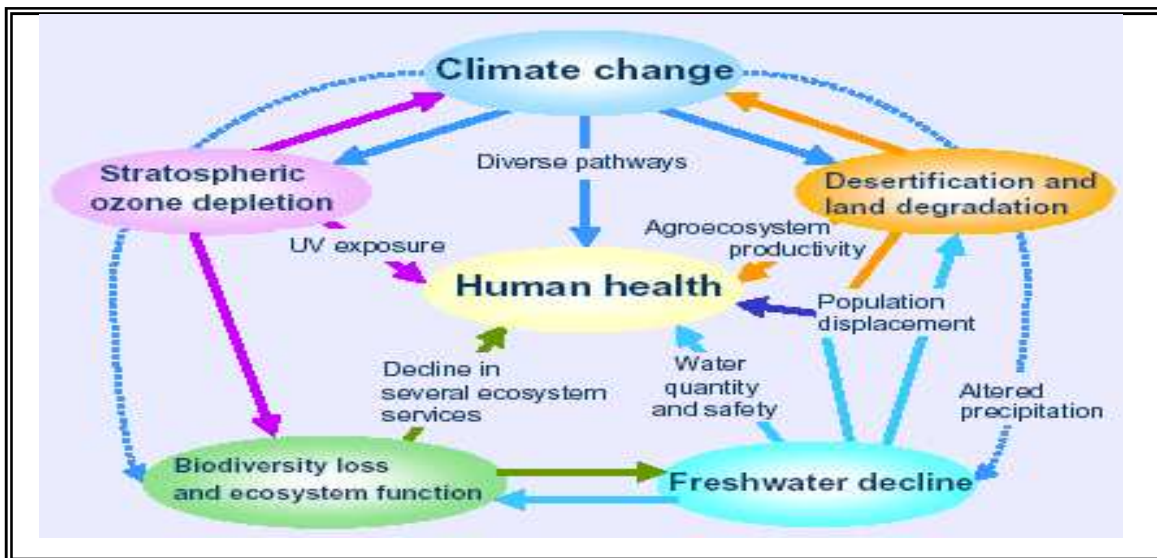
Sumber: IPCC Technical Paper V, 2002

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±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 (Gambar 3).



Gambar 3. Variasi Suhu Permukaan Bumi (IPCC: 2001)

Dalam Draft Fourth Assessment dikatakan bahwa 30 tahun terakhir adalah era paling panas dan muka laut meningkat 3 mm/tahun antara 1993 sampai dengan 2003 (Hanley, C.J., 2006). Peningkatan suhu bumi telah menyebabkan matinya atau berubahnya banyak spesies hewan dan tanaman yang lebih cepat dari prediksi sehingga membuat ahli biologi dan ekologi “terperangah” (Borenstein, 2006). Pengaruh dan keterpengaruhnya perubahan iklim terhadap kesehatan manusia, ozon, dan LULUCF dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan Perubahan Iklim dengan Kelangsungan Hidup Makhluk Hidup

Perubahan iklim juga menyebabkan pada abad XX terjadi peningkatan curah hujan di wilayah tropis sebesar 0,2-0,3%. Namun sebaliknya, di beberapa wilayah Asia dan Afrika, frekuensi dan intensitas kekeringan terobservasi meningkat pada dekade terakhir. Selanjutnya, episode hangat karena kejadian *El Nino-Southern Oscillation* (ENSO) telah terjadi lebih sering, tetap, dan lebih intensif sejak pertengahan 1970an.

Perubahan iklim terjadi sebagai akibat dari dua hal, yaitu variasi internal dalam sistem iklim dan variasi eksternal (alamiah maupun *anthropogenic*). Pengaruh faktor-faktor eksternal pada iklim dapat dibandingkan dengan menggunakan konsep *radiative forcing*, yang merupakan suatu ukuran dari pengaruh yang dimiliki suatu faktor dalam merubah keseimbangan energi yang masuk dan keluar dalam sistem atmosfer bumi, dan merupakan indeks pentingnya faktor tersebut dalam mekanisme perubahan iklim, yang dinyatakan dalam Watt per meter kuadrat ($W m^{-2}$). Bila *radiative forcing* adalah positif

maka akan cenderung memanaskan permukaan bumi, sebaliknya bila *radiative forcing* negatif akan mendinginkan permukaan bumi. Faktor-faktor alamiah seperti perubahan pada *solar output* atau aktifitas letusan gunung juga menyebabkan *radiative forcing*.

Untuk menghindari akibat-akibat yang sangat buruk bagi eksistensi manusia karena pemanasan global maka upaya-upaya penurunan emisi atau pencegahan kenaikannya telah mulai dilakukan. Disadari bahwa upaya-upaya tersebut mahal harganya. Alasan Amerika Serikat untuk menarik diri dari Protokol Kyoto adalah karena alasan ekonomi tersebut. Nicholas Stern (Lovell, J., 2006) menyatakan bahwa upaya menurunkan emisi CO₂ saat ini pada tingkat sebelum tahun 1990 akan berbiaya sebesar 1% dari total output ekonomi dunia. Namun, penundaan terhadap tindakan tersebut akan membawa konsekuensi sebesar 20% dari total output dunia.

III. DAMPAK PERUBAHAN IKLIM

3.1. Dampak Perubahan Iklim Terhadap Konsumsi Energi

Pembangunan di masa depan sangat bergantung pada ketersediaan jangka panjang energi, dalam jumlah yang meningkat, dari sumber-sumber yang dapat diandalkan, aman dan sehat ditinjau dari segi lingkungan (WCED, 1987). Tingkat kemajuan yang dicapai suatu negara umumnya sebanding dengan tingkat konsumsi energinya. Sebagai contoh, tingkat konsumsi energi rata-rata orang Indonesia sekitar 14 Giga Joule, sedangkan tingkat konsumsi energi rata-rata Amerika Serikat, Belanda, Inggris, dan Jepang berturut-turut adalah 317, 216, 164, dan 141 Giga Joule. Saat ini, sekitar 86% konsumsi energi dunia berasal dari sumber daya tak terbarukan, yaitu bahan bakar fosil (BBF) berupa minyak bumi, gas alam, dan batu bara, dan hanya 6% saja yang berasal dari sumber energi terbarukan.

Penggunaan energi merupakan sumber penyebab utama terjadinya pemanasan global, karena menghasilkan karbon dioksida, CO₂ yang merupakan gas rumah kaca. Akibat pemanasan global menyebabkan terjadinya perubahan iklim dan berdampak pada perubahan penggunaan/konsumsi energi. Dampak perubahan iklim terhadap penggunaan/konsumsi energi dapat berupa:

- Penurunan tingkat konsumsi energi untuk pemanasan ruangan dan kenaikan penggunaan energi untuk pendinginan ruangan;

- Penurunan kebutuhan energi untuk pemanasan air (seperti untuk mandi), dan kenaikan konsumsi energi untuk pendinginan/pembuatan es;
- Konsumsi energi yang lebih besar untuk proses-proses yang sensitif terhadap perubahan cuaca, seperti pemompaan untuk pengairan sawah, dan lain-lain;
- Kenaikkan konsumsi energi listrik untuk *Air Conditioner* (AC);
- Perubahan konsumsi energi pada beberapa sektor ekonomi, seperti sektor transportasi, konstruksi, pertanian dan lain-lain.

3.2. Dampak Perubahan Iklim Terhadap Keanekaragaman Hayati

Tingkat perubahan iklim sekarang melebihi semua variasi alami dalam 1000 tahun terakhir. Debat tentang iklim perubahan telah sekarang mencapai suatu langkah di mana kebanyakan ilmuwan menerima bahwa, emisi gas rumah kaca mengakibatkan perubahan iklim yang berdampak berbagai sendi-sendi kehidupan. Salah satu sendi kehidupan yang vital dan terancam oleh adanya perubahan iklim ini adalah keanekaragaman hayati (biodiversitas) dan ekosistem. Biodiversitas sangat berkaitan erat dengan perubahan iklim. Perubahan iklim berpengaruh terhadap perubahan keanekaragaman hayati dan ekosistem baik langsung maupun tidak langsung.

3.2.1. Dampak langsung perubahan iklim terhadap keanekaragaman hayati

Dampak langsung perubahan iklim terhadap keanekaragaman hayati :

a) Spesies ranges (cakupan jenis)

Perubahan Iklim berdampak pada pada temperatur dan curah hujan. Hal ini mengakibatkan beberapa spesies tidak dapat menyesuaikan diri, terutama spesies yang mempunyai kisaran toleransi yang rendah terhadap fluktuasi suhu.

b) Perubahan fenologi

Perubahan iklim akan menyebabkan pergeseran dalam siklus yang reproduksi dan pertumbuhan dari jenis-jenis organisme, sebagai contoh migrasi burung terjadi lebih awal dan menyebabkan proses reproduksi terganggu karena telur tidak dapat dibuahi. Perubahan iklim juga dapat mengubah siklus hidup beberapa hama dan penyakit, sehingga akan terjadi wabah penyakit.

c) Perubahan interaksi antar spesies

Dampak perubahan iklim akan berakibat pada interaksi antar spesies semakin kompleks (predation, kompetisi, penyerbukan dan penyakit). Hal itu membuat ekosistem tidak berfungsi secara ideal.

d) Laju kepunahan

Kepunahan telah menjadi kenyataan sejak hidup itu sendiri muncul. Beberapa juta spesies yang ada sekarang ini merupakan spesies yang berhasil bertahan dari kurang lebih setengah milyar spesies yang diduga pernah ada. Kepunahan merupakan proses alami yang terjadi secara alami. Spesies telah berkembang dan punah sejak kehidupan bermula. Kita dapat memahami ini melalui catatan fosil. Tetapi, sekarang spesies menjadi punah dengan laju yang lebih tinggi daripada waktu sebelumnya dalam sejarah geologi, hampir keseluruhannya disebabkan oleh kegiatan manusia. Di masa yang lalu spesies yang punah akan digantikan oleh spesies baru yang berkembang dan mengisi celah atau ruang yang ditinggalkan. Pada saat sekarang, hal ini tidak akan mungkin terjadi karena banyak habitat telah rusak dan hilang. Beberapa kelompok spesies yang lebih rentan terhadap kepunahan daripada yang lain. Kelompok spesies tersebut adalah :

- 1) Spesies pada ujung rantai makanan, seperti karnivora besar, misalnya harimau (*Panthera tigris*). Karnivora besar biasanya memerlukan teritorial luas untuk mendapatkan mangsa. Oleh karena populasi manusia terus merambah areal hutan dan penyusutan habitat, maka jumlah karnivora juga menurun.
- 2) Spesies lokal endemik (spesies yang ditemukan hanya di suatu area geografis) dengan distribusi yang sangat terbatas, misalnya badak Jawa (*Rhinoceros javanicus*). Sangat rentan terhadap gangguan habitat lokal dan manusia.
- 3) Spesies dengan populasi kecil yang kronis. Bila populasi menjadi terlalu kecil, maka menemukan pasangan atau perkawinan (untuk bereproduksi) menjadi masalah yang serius, misalnya Panda.
- 4) Spesies migratori adalah spesies yang memerlukan habitat yang cocok untuk mencari makan dan beristirahat pada lokasi yang terbentang luas sangat rentan terhadap kehilangan 'stasiun' habitat peristirahatannya.
- 5) Spesies dengan siklus hidup yang sangat kompleks. Bila siklus hidup memerlukan beberapa elemen yang berbeda pada waktu yang sangat spesifik, maka spesies ini rentan bila ada gangguan pada salah satu elemen hidupnya.
- 6) Spesies spesialis dengan persyaratan yang sangat sempit seperti sumber makanan yang spesifik, misal spesies tumbuhan tertentu.

e) Penyusutan Keragaman Sumber Daya Genetik

Ancaman terhadap kelestarian sumberdaya genetik juga dapat ditimbulkan oleh adanya pengaruh pemanasan global. Beberapa varian dari tanaman dan hewan menjadi punah karena perubahan iklim. Kepunahan spesies tersebut menyebabkan sumberdaya genetik juga akan hilang. Ironisnya banyak sumberdaya genetik (plasma nutfah) belum diketahui apalagi dimanfaatkan, kita menghadapi kenyataan mereka telah hilang.

3.2.2. Dampak tidak langsung perubahan iklim terhadap biodiversitas

Berbagai penyebab penurunan keanekaragaman hayati di berbagai ekosistem antara lain konversi lahan, pencemaran, eksploitasi yang berlebihan, praktik teknologi yang merusak, masuknya spesies asing dan perubahan iklim.

a) Dampak terhadap Ekosistem Hutan

Ekosistem hutan mengalami ancaman kebakaran hutan yang terjadi akibat panjangnya kemarau. Jika kebakaran terjadi secara terus menerus, spesies flora dan fauna terancam dan merusak sumber penghidupan masyarakat. Indonesia mempunyai lahan basah (termasuk hutan rawa gambut) terluas di Asia, yaitu 38 juta ha yang tersebar mulai dari bagian timur Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Jawa, sampai Papua. Tetapi luas lahan basah telah menyusut menjadi kurang lebih 25,8 juta ha (Suryadiputra, 1994). Penyusutan lahan basah dikarenakan berubahnya fungsi rawa sebesar 37,2 persen dan mangrove 32,4 persen. Luas hutan mangrove berkurang dari 5,2 juta ha tahun 1982 menjadi 3,2 juta ha tahun 1987 dan menciut lagi menjadi 2,4 juta ha tahun 1993 akibat maraknya konversi mangrove menjadi kawasan budidaya (Suryadiputra, 1994, Dahuri et al, 2001).

b) Dampak pada daerah kutub

Sejumlah keanekaragaman hayati terancam punah akibat peningkatan suhu bumi rata-rata sebesar 1°C. Setiap individu harus beradaptasi pada perubahan yang terjadi, sementara habitatnya akan terdegradasi. Spesies yang tidak dapat beradaptasi akan punah. Spesies-spesies yang tinggal di kutub, seperti penguin, anjing laut, dan beruang, juga akan mengalami kepunahan, akibat mencairnya sejumlah es di kutub.

c) Dampak pada daerah arid dan gurun

Dengan adanya pemanasan global yang menyebabkan perubahan iklim mengakibatkan luas gurun menjadi semakin bertambah (desertifikasi).

d) Dampak pada ekosistem pertanian

Perubahan iklim akan menyebabkan terjadinya perubahan cuaca, sehingga periode musim tanam menjadi berubah. Hal ini akan mengakibatkan beberapa spesies harus beradaptasi dengan perubahan pola tanam tersebut.

3.3. Dampak Perubahan Iklim Terhadap Sumber Daya Air

Perubahan iklim global yang dicirikan oleh perubahan unsur-unsur iklim seperti perubahan suhu udara permukaan bumi, curah hujan, kelembaban, kecepatan angin, evaporasi dan transpirasi akan berpengaruh secara langsung maupun tidak langsung terhadap respon hidrologi wilayah yang selanjutnya menentukan ketersediaan air untuk berbagai kebutuhan. Dengan demikian besaran dan distribusi air juga akan mengalami perubahan dan dalam jangka panjang kelestarian sumber daya air memerlukan perhatian yang serius.

Kenaikan suhu akibat perubahan iklim akan menaikkan laju penguapan tanaman, tanah, danau, sungai dan laut yang menyebabkan menipisnya ketersediaan air dan berakibat kekeringan. Kenaikan suhu yang tidak merata di seluruh bumi menimbulkan adanya tekanan rendah dan tekanan tinggi baru. Pola angin bergeser dan pola hujan berubah. Tinggi muka air laut meningkat akibat volume air laut mengembang karena temperatur naik, selain adanya pasokan baru dari gunung-gunung es di kutub yang mencair. Daerah yang berada di garis lintang tinggi dan sebagian lintang rendah dapat mengalami peningkatan presipitasi sedangkan pada daerah lintang tengah dan garis lintang rendah mengalami kurangnya curah hujan.

Hal ini berarti perubahan iklim dapat menyebabkan terjadinya pergeseran musim di berbagai daerah, dimana musim kemarau akan berlangsung lama sehingga menimbulkan bencana kekeringan dan penggurunan. Musim hujan akan berlangsung dalam waktu singkat dengan kecenderungan intensitas curah hujan lebih tinggi dari curah hujan normal, yang berdampak bencana banjir dan tanah longsor. Terbukti bahwa di wilayah Asia Tenggara serta beberapa wilayah lainnya yang rentan badai dan angin puting beliung telah mengalami badai dahsyat, hujan lebih deras serta banyak bencana banjir. Di beberapa wilayah Indonesia juga terbukti mengalami banjir dan tanah longsor (Meiviana dkk., 2004).

Perubahan iklim juga menyebabkan peningkatan peristiwa La-Nina dan El-Nino yang berdampak pada kelebihan air di satu sisi (banjir) dan kekurangan air di sisi

lainnya (kekeringan). Sebagai contoh adalah terjadinya banjir dan kekeringan pada areal persawahan di Indonesia sebagai akibat peristiwa La-nina dan El-nino (Tabel 3.)

Tabel 3. Luas Tanaman Padi yang Terkena Bencana Banjir dan Kekeringan Tahun 1987-1997 di Indonesia

| Tahun | Keterangan | Kebanjiran (ha) | Kekeringan (ha) |
|-------|------------|-----------------|-----------------|
| 1987 | El-nino | - | 430.170 |
| 1988 | La-nina | 130.375 | 87.373 |
| 1989 | Normal | 96.540 | 36.143 |
| 1990 | Normal | 66.901 | 54.125 |
| 1991 | El-nino | 38.086 | 867.997 |
| 1992 | Normal | 50.360 | 42.409 |
| 1993 | Normal | 78.480 | 66.992 |
| 1994 | El-nino | 132.975 | 544.442 |
| 1995 | La-nina | 218.144 | 28.580 |
| 1996 | Normal | 107.385 | 59.560 |
| 1997 | El-nino | 58.974 | 504.021 |

Perubahan Iklim juga diprediksi dapat mengakibatkan kenaikan 2% hingga 3% rata-rata curah hujan tahunan Indonesia (Ratag 2001 dalam Susandi 2007). Mencairnya es dan gletser di seluruh dunia, terutama di kutub utara dan kutub selatan menyebabkan es yang menyelimuti permukaan bumi berkurang 10% sejak tahun 1960. Ketebalan es di kutub utara telah berkurang 42% dalam 40 tahun terakhir (Fred Pearce, 2001; dalam Meiviana dkk., 2004). Kejadian ini mengakibatkan meningkatnya permukaan air laut. Menurut IPCC, panel ahli untuk isu perubahan iklim, dalam 100 tahun terakhir telah terjadi peningkatan permukaan air laut setinggi 10-25 cm, sementara diperkirakan pada tahun 2100 mendatang akan terjadi peningkatan air laut 15-95 cm (Green Peace, 1998; dalam Meiviana dkk., 2004). Sebagai ilustrasi peningkatan permukaan air laut setinggi 1 meter akan menyebabkan hilangnya 1% daratan Mesir, 6% daratan Belanda, 17,5% daratan Bangladesh dan 80% atol kepulauan Marshall menghilang (Fred Pearce, 2001; dalam Meiviana dkk., 2004). Perubahan yang demikian juga menyebabkan negara-negara seperti Karibia, Fiji, Samoa, Jepang, Filipina dan Indonesia terancam tenggelam

akibat naiknya air laut (Meiviana dkk., 2004). Akibat tidak langsung adalah intrusi air laut yang kemudian dapat menyebabkan penurunan kualitas air tanah.

Peningkatan temperatur air akibat perubahan iklim juga dapat menyebabkan meningkatnya kebutuhan akan air pendingin karena polusi termal pada air. Hal ini juga mempengaruhi pola oksigen, potensial redoks, stratifikasi danau, laju pencampuran dan pertumbuhan biota air. Peningkatan temperatur air akan menurunkan kemampuan pemurnian sendiri dari sungai. Lebih jauh lagi, intensitas hujan yang tinggi dapat menyebabkan peningkatan nutrien, patogen dan racun ke dalam badan air. Berbagai penyakit juga dapat ditularkan melalui air, baik melalui air minum atau dengan mengkonsumsi tanaman yang diirigasi dengan air tercemar.

Berdasarkan penjelasan di atas, IPCC (2007), menyatakan bahwa akan terjadi fenomena dan dampak akibat perubahan iklim dalam jangka panjang, sebagai berikut:

1. Kenaikan kelembaban permukaan tanah, fluktuasi suhu siang dan malam yang tinggi berpengaruh terhadap kenaikan massa air (volume) dan beberapa sumber air.
2. Peningkatan frekuensi gelombang panas berakibat meningkatnya kebutuhan air dan menurunnya kualitas air, sebagai contoh ledakan ganggang (*blooming algae*).
3. Tingginya intensitas curah hujan di daerah berkelembaban tinggi berdampak pada menurunnya kualitas air permukaan dan air tanah sebagai contoh terjadinya kontaminasi sumber air.
4. Semakin luasnya daerah yang mengalami kekeringan sehingga semakin banyak daerah yang kekurangan air.
5. Peningkatan intensitas badai tropis yang kekuatannya dapat mengganggu penyediaan air bagi kepentingan masyarakat.
6. Peningkatan kejadian gelombang pasang yang berakibat pada menurunnya ketersediaan air bersih karena intrusi air laut.

3.4. Dampak Perubahan Iklim Terhadap Sistem Transportasi

Ada 4 faktor utama perubahan iklim yang mempengaruhi sistem transportasi yaitu: meningkatnya temperatur (*Increasing temperatures*), meningkatnya curah hujan (*Increasing precipitation*), dan naiknya permukaan laut (*Rising sea levels*) (Andrey, J. et al, 2003).

3.4.1. Peningkatan Temperatur

Peningkatan temperatur berpotensi mempengaruhi berbagai moda transportasi, terutama mempengaruhi permukaan jalanan. Pengaruh yang disebutkan adalah kerusakan

perkerasan jalan, melengkungnya rel (*rail buckling*), efisiensi bahan bakar berkurang, permukaan air dalam tanah makin rendah dan menurunnya penutupan es (Hyman R., 2007).

Kerusakan Perkerasan; Kualitas perkerasan jalan raya diidentifikasi akan menurun sebagai suatu isu potensi karena perubahan temperatur iklim. Perkerasan jalan apakah itu aspal fleksibel atau aspal beton, akan mengalami kerusakan apabila terjadi peningkatan temperatur. Temperatur akan menyebabkan bahan perkerasan jalan memuai pada suhu yang sangat panas dan menyusut pada saat temperatur dingin. Perubahan ini mengakibatkan bahan jalan cepat lelah (*fatigue*) yang pada akhirnya membuat perkerasan sering lepas, terkelupas, menipis, pecah, retak, mengembang dan berlubang dan lain-lain. Pada temperatur dingin permukaan jalan licin dan pada musim panas aspal fleksibel mencair atau meleleh sehingga aspal fleksibel sering melekat pada roda kendaraan. Lama kelainan lapisan perkerasan ini semakin menipis, sehingga untuk penyesuaian, jalan itu harus lebih sering mendapat pemeliharaan, membongkar jalan retak dan menggantinya serta dilakukan pelapisan ulang jalan dengan bahan aspal dengan kekakuan tinggi yang tahan panas.

Membengkoknya Bantalan Rel; Jalan kereta terbuat dari bentangan baja yang dapat memuai ketika temperatur sangat panas. Pemuaian ini dapat melelahkan baja rel yang menurut hukum hook apabila bahan melewati batas elastisnya dapat menyebabkan baja mudah membengkok. Pembengkokan ini lebih sering terjadi apabila temperatur iklim sering berubah-ubah antara panas dan dingin. Pada temperatur sangat panas jalan rel kereta memuai dan pada saat dingin menyusut. Menurut Peterson (2006) bahwa jarak kereta api untuk dapat melakukan pengereman makin pendek dan kecepatan kereta api akan menurun apabila terjadi pembengkokan rel. Untuk mengatasi pembengkokan rel ini maka pengawasan temperatur rel makin sering dilakukan dan pada akhirnya akan meningkatkan biaya pemeliharaan jalur kereta. Selain itu karena rel sering mengalami pemuaian rel itu menjadi lelah dan mudah rusak sehingga rel harus diganti.

Penurunan daya angkat dan efisiensi pesawat udara; Perubahan iklim terutama temperatur dan tingkat curah hujan dapat mempengaruhi pesawat udara ketika melakukan *take off* ataupun *landing*. Pada saat pesawat udara *take off* diperlukan daya angkat pesawat udara ke udara. Apabila tekanan angin kencang maka diperlukan tambahan tenaga untuk bisa mengangkat pesawat. Akibatnya diperlukan *runway* yang lebih panjang. Selain itu diperlukan bahan bakar yang banyak untuk meningkatkan kemampuan angkat pesawat.

Perubahan Tinggi Muka Air; Perubahan tinggi muka air pada transportasi laut, danau dan sungai akan terjadi bila temperatur sangat panas karena besarnya penguapan yang terjadi. Apabila permukaan air menurun, kapal atau perahu sebagai alat angkut air akan sulit membawa beban yang lebih berat dan akan sering mengalami kandas. Makin tinggi permukaan air maka makin tinggi kemampuan kapal atau perahu mengangkut beban karena penambahan tinggi muka air tentunya akan meningkatkan daya pikul beban yang berada di atas permukaan.

3.4.2. Meningkatnya Curah Hujan

Peningkatan durasi dan intensitas curah hujan yang terjadi tentu saja akan dapat mempengaruhi stabilitas konstruksi jalan raya, jalan kereta, trotoar dan lain-lain. Dari beberapa hasil penelitian menyatakan bahwa curah hujan dapat mempengaruhi kerusakan infrastruktur jalan. Menurut laporan *Natural Resources Canada* pada tahun 2004, kerusakan infrastruktur jalan akan lebih cepat terjadi apabila siklus antara hujan dan salju lebih sering terjadi terutama di daerah yang merupakan hujan asam. Curah hujan dapat menyebabkan terbawanya sedimen ke dalam sungai sehingga mempercepat pendangkalan sungai. Untuk jembatan, pondasi jembatan dapat bergerak dan merusak jembatan.

Selain itu meningkatnya curah hujan sering menyebabkan banjir yang merusak prasarana transportasi jalan. Pada saat hujan sering sekali terjadi longsor. Bahan-bahan longsor masuk ke badan jalan sehingga jalan terputus. Kejadian ini sering terjadi di jalan-jalan utama, akibatnya perjalanan terganggu

3.4.3. Naiknya Permukaan Laut

Naiknya permukaan laut dapat merapengaruhi wilayah pantai, yang selanjutnya mempengaruhi moda transportasi laut. Apabila permukaan air naik maka terjadi pasang. Pasang ini dapat merusak jalan yang dekat dengan pantai dan merusak prasarana jalan yang ada.

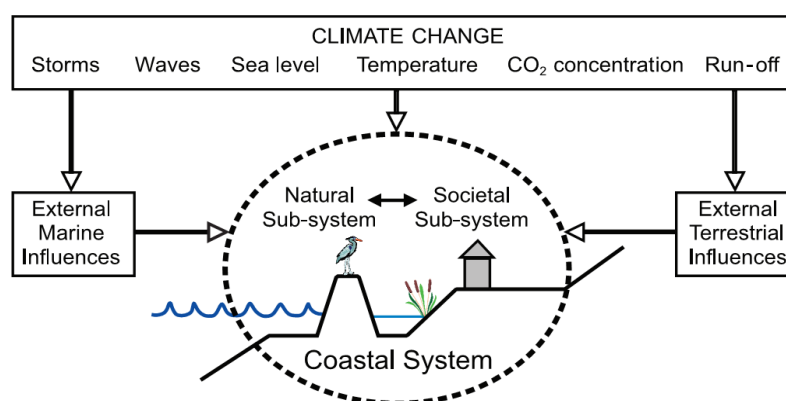
Beberapa fasilitas angkutan utama di Kota besar New York rawan terhadap efek peningkatan permukaan laut dan angin topan surges, mencakup Galangan kapal Greenville, Galangan kapal Harlem, Galangan kapal Oak Island, dan Terminal Kereta Express. Secara keseluruhan, New York City yang berada pada 600 miles tepi laut, hampir semua dapat mengalami kerusakan akibat banjir dan angin topan.

Fasilitas transportasi pada Teluk Pantai kemungkinan akan mengalami terjadinya angin topan dan banjir. Pada laporan tahunan disebutkan bahwa negara bagian Louisiana, Florida, dan Texas merupakan tiga besar negara di yang akan

mengalami kerusakan akibat angin topan dan banjir karena adanya perubahan iklim (Caldwell et al., 2004).

3.5. Dampak Perubahan Iklim terhadap Wilayah Pesisir

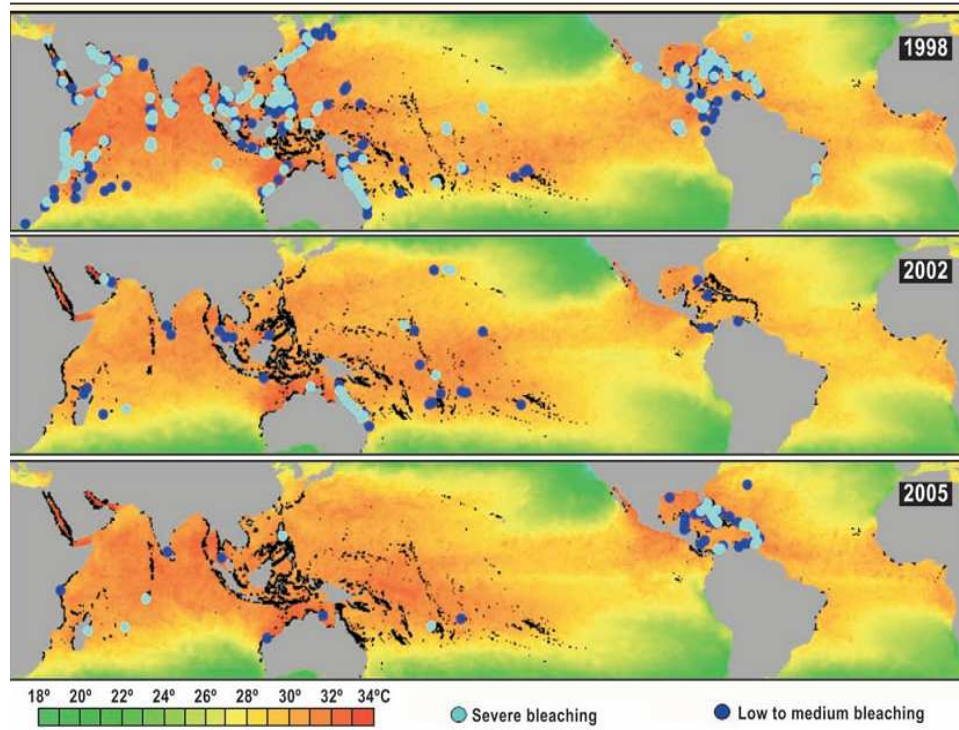
Pemanasan global, salah satu perubahan iklim global, telah diyakini berdampak buruk bagi kelangsungan hidup manusia di berbagai wilayah dunia. Wilayah pesisir adalah wilayah yang paling rentan terkena dampak buruk pemanasan global sebagai akumulasi pengaruh daratan dan lautan. Dalam ringkasan teknisnya tahun ini, *Intergovernmental Panel on Climate Change*, suatu panel ahli untuk isu perubahan iklim, menyebutkan tiga faktor penyebab kerentanan wilayah ini (TS WG I IPCC, 2007:40).



Gambar 5. Deskripsi pengaruh perubahan iklim terhadap wilayah pesisir (IPCC, 2007).

Pertama; pemanasan global ditenggarai meningkatkan frekuensi badai di wilayah pesisir. Setiap tahun, sekitar 120 juta penduduk dunia di wilayah pesisir menghadapi bencana alam tersebut, dan 250 ribu jiwa menjadi korban hanya dalam kurun 20 tahun terakhir (tahun 1980-2000). Peneliti bidang Meteorologi di AS mencatat adanya peningkatan frekuensi badai tropis di Laut Atlantik dalam seratus tahun terakhir (KCM, 31 Juli 2007). Pada periode 1905-1930 di wilayah pantai Teluk Atlantik terjadi rata-rata enam badai tropis per tahun. Rata-rata tahunan itu melonjak hampir dua kali lipat (10 kali badai tropis per tahun) pada periode tahun 1931-1994 dan hampir tiga kali lipat (15 kali badai tropis) mulai tahun 1995 hingga 2005. Pada tahun 2006 yang dikenal sebagai “tahun tenang” saja masih terjadi 10 badai tropis di wilayah pesisir ini. Juga dilaporkan pola peningkatan kejadian badai tropis ini tetap akan berlangsung sepanjang pemanasan global masih terjadi.

Kedua; pemanasan global diperkirakan akan meningkatkan suhu air laut berkisar antara 1-3°C. Dari sisi biologis, kenaikan suhu air laut ini berakibat pada meningkatnya potensi kematian dan pemutihan terumbu karang di perairan tropis.



Gambar 6. Citra satelit tahun 1998, 2002 dan 2005 yang menunjukkan rata-rata suhu maksimum bulanan dan lokasi pemutihan terumbu karang di dunia. (Sumber: NOAA Coral Reef Watch and Reefbase dalam IPCC, 2007).

Dampak ini diperkirakan mengulang dampak peristiwa *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) di tahun 1997-1998. *World Resource Institute* tahun 2002 menyatakan suhu air laut yang meningkat 1-3°C pada saat itu telah memicu peristiwa pemutihan terumbu karang yang terbesar sepanjang sejarah. Hampir sekitar 18% terumbu karang di Asia Tenggara rusak dan hancur. Di Indonesia sendiri cakupannya mulai dari perairan Sumatera, Jawa, Bali hingga Lombok. Terjadi kematian sebanyak 90-95% terumbu karang di wilayah perairan Kepulauan Seribu dan 2 tahun setelah kejadian baru pulih 30%. El nino tahun itu juga telah menyebabkan sekitar 90% terumbu karang di Kepulauan Mentawai mengalami kematian.

Ekosistem terumbu karang di perairan Indonesia seluas 51.875km², yang setara dengan sepertiga luas pulau Jawa, terancam rusak dan hancur secara permanen jika pemanasan global terus berlangsung. Ini juga berarti terancamnya kelangsungan

berbagai macam kehidupan biota laut yang tergantung hidupnya pada ekosistem alam ini. Kerusakan terumbu karang juga berarti hilangnya pelindung alam wilayah pesisir yang akan memicu peningkatan laju abrasi pantai.

Luas terumbu karang Indonesia diduga berkisar antara 50.020 Km² (Moosa dkk, 1996 dalam KLH, 2002) hingga 85.000 Km² (Dahuri 2002). Hanya sekitar 6 persen terumbu karang dalam kondisi sangat baik, diperkirakan sebagian terumbu karang Indonesia akan hilang dalam 10-20 tahun dan sebagian lainnya akan hilang dalam 20-40 tahun. Rusaknya terumbu karang mempunyai dampak pada masyarakat pesisir, misalnya berkurangnya mata pencaharian nelayan kecil. Dampak lainnya yaitu meningkatnya suhu permukaan air laut, yang akan berpengaruh terhadap produktivitas perikanan. Hal ini akan menurunkan produksi tambak ikan dan udang serta mengancam kehidupan masyarakat pesisir pantai.

Indonesia sebagai negara kepulauan merupakan negara yang sangat rentan terhadap dampak perubahan iklim. Untuk itu pemerintah dan seluruh penduduk Indonesia harus segera mewaspadai hal ini dan menentukan langkah-langkah strategis untuk menanggulangnya. Secara umum dapat dibedakan 4 (empat) macam kemungkinan dampak kenaikan permukaan air laut (Noronha, 1991 : Soegiarto, 1991):

1. Dampak fisik; peningkatan kerusakan karena banjir dan gelombang pasang, erosi pantai dan peningkatan sedimentasi, perubahan kecepatan aliran sungai, meningkatnya gelombang laut, dan meningkatnya keamblesan (*subsidence*) tanah.
2. Dampak ekologis; hilang/mengurangnya wilayah genangan (*wetland*) di wilayah pesisir, intrusi air laut, evaporasi kolam garam, hilang/mengurangnya tanaman pesisir, hilangnya habitat pesisir, berkurangnya lahan yang dapat ditanami, dan hilangnya biomassa non-perdagangan.
3. Dampak sosio-ekonomis; terpengaruhnya lingkungan permukiman, kerusakan/hilangnya sarana dan prasarana, kerusakan masyarakat/desa pantai, korban manusia dan harta benda bila terjadi gelombang pasang, perubahan kegiatan ekonomi di wilayah pesisir, peningkatan biaya asuransi banjir, hilang/berkurangnya daerah rekreasi pesisir, meningkatnya biaya penanggulangan banjir.
4. Dampak kelembagaan/hukum; perubahan batas maritim, penyesuaian peraturan perundangan, perubahan praktek pengelolaan wilayah pesisir, perlu dibentuknya lembaga baru untuk menangani kenaikan paras laut, dan peningkatan pajak.

3.6. Dampak Perubahan Iklim Terhadap Sektor Pertanian

Perubahan iklim merupakan fenomena global, dimana dampaknya akan dirasakan secara global oleh seluruh umat manusia di seluruh belahan bumi. Dampak paling merugikan akan melanda sektor pertanian akibat pergeseran musim dan perubahan pola curah hujan. Pada umumnya semua bentuk sistem pertanian sangat sensitif terhadap variasi iklim. Terjadinya keterlambatan musim tanam atau panen akan memberikan dampak besar baik secara langsung maupun tidak langsung terhadap ketahanan pangan.

3.6.1. Meningkatnya Temperatur

Meningkatnya temperatur akan berdampak terhadap percepatan penguapan air, baik dari tanah maupun tanaman, sehingga tanaman akan rentan terhadap kekurangan air yang pada akhirnya dapat menurunkan produksi. Tidak sebatas itu, dengan naiknya temperatur akan memberikan keadaan yang kondusif bagi perkembangbiakan beberapa jenis serangga hama yang akan sangat berpotensi menurunkan tingkat produktivitas bahkan mampu menggagalkan panen.

3.6.2. Berubahnya Pola Curah Hujan

Perubahan pola curah hujan akan berdampak pada tingginya intensitas hujan dalam periode yang pendek dan akan menimbulkan banjir yang kemudian menyebabkan produksi pertanian menurun, khususnya padi karena sawah terendam air. Tingginya curah hujan juga mengakibatkan hilangnya lahan karena erosi dan longsor. Sementara itu di beberapa tempat pola curah hujan terjadi dengan intensitas rendah dalam periode kemarau yang panjang, sehingga terjadi kekeringan dimana-mana yang akhirnya berakibat terhadap rendahnya produktivitas pertanian.

3.6.3. Naiknya Permukaan Air Laut

Indonesia tidak luput dari dampak perubahan iklim dan berada pada posisi yang sangat rentan terhadap perubahan iklim, karena banyaknya pulau yang dimiliki Indonesia (Indonesia memiliki garis pantai nomor dua terpanjang di dunia (14% dari garis pantai dunia). Naiknya temperatur akan berpengaruh terhadap mencairnya salju/es di kutub yang pada akhirnya berakibat terhadap naiknya permukaan air laut. Hal ini akan menyebabkan hilangnya sejumlah pulau kecil dan abrasi yang cukup serius, sehingga terancamnya jutaan penduduk dan petani yang tinggal di daerah pesisir pantai.

Jika Indonesia dan negara lainnya tidak melakukan upaya apapun untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, maka diperkirakan pada tahun 2070 akan terjadi kenaikan permukaan laut setinggi 60 cm. Hal ini diperkirakan akan mengancam jutaan penduduk yang tinggal di pesisir pantai, khususnya sektor pertanian dimana kehidupan para nelayan yang sangat bergantung kepada kegiatan disekitar pantai. Tidak hanya berakibat terhadap petani nelayan di pantai, tetapi hal ini akan mengakibatkan intrusi yaitu meresapnya air laut ke daratan yang akan mempengaruhi salinitas tanah dan berdampak terhadap kesuburan tanah bagi para petani, sehingga produksinya menurun.

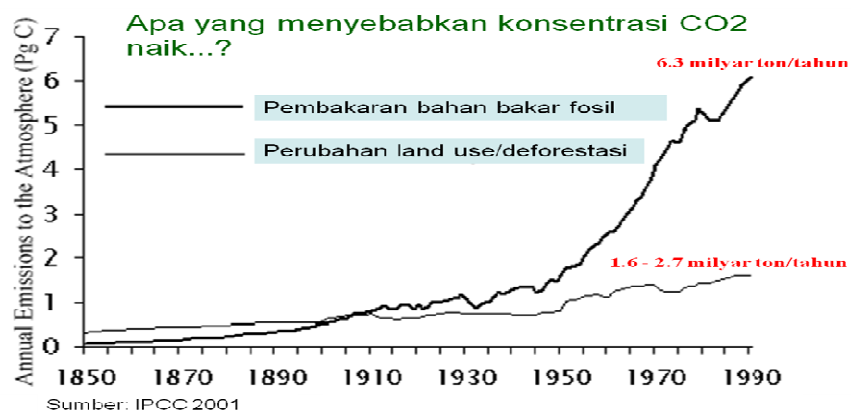
3.7. Dampak Perubahan Iklim Terhadap Hutan

Hutan sebagai salah satu ekosistem daratan berperan sebagai penyerap karbon (carbon sink). Fungsi itu diperankan melalui penyerapan gas CO₂ oleh tumbuh-tumbuhan yang hidup di ekosistem hutan dan kemudian salah satu hasilnya yaitu karbon disimpan sebagai biomassa didalam hutan. Oleh karena itu, semakin luas hutan maka semakin besar pula kapasitas *carbon sink* yang dipunyai oleh ekosistem daratan dan sebaliknya emisi GRK dan pemanasan global akan semakin berkurang.

Tren luas hutan pada saat ini menunjukkan keterkaitan antara ekosistem hutan dengan perubahan iklim. Sejak tahun 1995 hingga 2007, terdapat penambahan luas hutan di daerah temperate dan aboreal di belahan utara bumi seluas 13.9 juta km² atau bertambah sekitar 0,23%/tahun dari luas hutan semula. Pertambahan tersebut dipicu oleh menghangatnya iklim di kedua wilayah tersebut sehingga memperpanjang masa pertumbuhan vegetasi hutan.

Dampak positif bagi ekosistem hutan di wilayah temperate dan aboreal tidak terjadi di hutan tropis. Pada periode yang sama, di wilayah tropis telah terjadi pengurangan hutan seluas 19.76 juta km² atau pengurangan sebesar 1,73%/tahun dari luas hutan semula. Pengurangan hutan tropis terutama diakibatkan oleh pengalihan fungsi hutan menjadi kawasan pertanian, perkebunan, permukiman serta kebakaran hutan dan pembalakan liar (*illegal logging*). Hutan rentan terhadap perubahan iklim. Meningkatnya suhu bumi dan bertambah singkatnya siklus *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) yaitu dari siklus 10 tahunan menjadi siklus 5 tahunan berdampak buruk terhadap semakin berkurangnya hutan akibat semakin meningkatnya potensi kebakaran hutan.

Secara global, fungsi hutan dalam pengurangan emisi GRK dapat dilihat pada kontribusi berkurangnya luas hutan terhadap peningkatan emisi GRK yang diakibatkan oleh perubahan fungsi hutan (Gambar 1). Akibat perubahan penggunaan lahan atau deforestasi diketahui telah menambah 1,6 – 2,7 milyar ton/tahun konsentrasi CO₂ di atmosfer. Fenomena yang sama juga berlaku bagi Indonesia yang menunjukkan kontribusi perubahan fungsi hutan kepada konsentrasi GRK di atmosfer sangat tinggi yaitu sekitar 64% (Tabel 1). Dapat dicontohkan secara lebih rinci, pada saat terjadi kebakaran hutan yang cukup besar di Indonesia pada tahun 1997-1998 (80% terjadi pada hutan lahan gambut yang merupakan penyerap emisi karbon terbesar di dunia) telah berakibat pada dilepaskannya 156.3 juta ton karbon ke atmosfer. Angka ini setara dengan 75% total emisi karbon dunia pada saat itu.



Gambar 7. Penyebab meningkatnya konsentrasi gas CO₂

3.8. Dampak Perubahan Iklim Terhadap Kesehatan

Perubahan iklim berpotensi meningkatkan frekuensi perubahan panas dan dingin, bencana banjir dan kekeringan, bencana tanah longsor, juga dapat merubah kandungan gas di udara. Oleh karenanya perubahan iklim akan berdampak pada kesehatan manusia, karena akan dapat menyebabkan kematian, kecelakaan dan penyakit. Dampak lain dari perubahan iklim di Indonesia adalah meningkatnya frekuensi penyakit tropis, seperti malaria dan demam berdarah. Hal ini disebabkan oleh naiknya suhu udara yang menyebabkan masa inkubasi nyamuk semakin pendek. Dampaknya, nyamuk malaria dan demam berdarah akan berkembangbiak lebih cepat. Balita, anak-anak dan usia lanjut sangat rentan terhadap perubahan iklim. Terbukti tingginya angka kematian yang disebabkan oleh malaria sebesar 1-3 juta/tahun, dimana 80% nya adalah balita dan anak-anak (WHO, 1997: dalam Meiviana dkk, 2004). 1995,

diperkirakan 15 juta penduduk Indonesia menderita malaria dan 30 ribu diantaranya meninggalnya dunia (WHO, 1996).

Selain itu, kebakaran hutan yang intensitasnya meningkat pada saat musim kemarau menghasilkan kualitas udara yang buruk dan menurunkan derajat kesehatan penduduk di sekitar lokasi. Peristiwa kebakaran hutan tahun 1997 mengakibatkan sekitar 12,5 juta populasi (di delapan provinsi) terpapar asap dan debu (PM10). Penyakit yang timbul adalah asma, bronkhitis dan ISPA (Infeksi Saluran Pernafasan Akut). Menurunnya kesehatan mengakibatkan kerugian berupa hilangnya 2,5 juta hari kerja. Kebakaran hutan juga menyebabkan kematian sebanyak 527 kasus (KLH, 1998).

Intensitas hujan yang tinggi dengan periode yang singkat akan menyebabkan bencana banjir. Jika terjadi banjir maka akan mengkontaminasi persediaan air bersih. Pada akhirnya perubahan iklim juga berdampak pada mewabahnya penyakit seperti diare dan leptospirosis yang biasanya muncul pasca banjir. Sementara kemarau panjang juga berdampak pada krisis air bersih sehingga juga berdampak pada wabah diare.

IV. ADAPTASI DAN MITIGASI

4.1. 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 Murdiyarsa (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.

4.2. 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.

V. PENUTUP

Kita mungkin bertanya-tanya, "Buat apa memikirkan masalah perubahan iklim? bukankah isu perubahan iklim global yang masih pro-kontra dan bukankah isu itu milik negara-negara tertentu saja? Masih banyak yang harus kita lakukan sebelum kita mulai peduli dengan perubahan iklim." Ternyata, semakin lama semakin jelas bahwa perubahan iklim jauh lebih dekat dari apa yang dikira orang. Isu itu bukan lagi isu negara-negara maju, tetapi sudah harus menjadi kepedulian seluruh umat manusia di bumi.

Kemarau yang semakin panjang serta musim hujan yang semakin intensif – walaupun semakin pendek periodanya - merupakan bukti bahwa perubahan iklim sangat dekat dengan kehidupan kita. Kekeringan panjang serta banjir menyebabkan kerugian di banyak sektor. Ditambah dengan wilayah berhutan yang semakin gundul dan longsor terjadi di mana-mana membuat dampak perubahan iklim semakin terasa. Kerugian materi yang besar terlihat tidak seberapa dibanding nyawa yang terkorbankan. Perubahan iklim jelas menghambat pembangunan di seluruh dunia, bahkan dalam jangka paling pendek sekalipun.

Memperhatikan perubahan iklim yang berdampak luas terhadap seluruh aspek kehidupan, karenanya diperlukan berbagai upaya adaptasi dan mitigasi. Upaya adaptasi dan mitigasi yang dilakukan haruslah dikaji secara holistik dan komprehensif agar mencapai tujuan yang diinginkan, selanjutnya kebijakan dan teknologi adaptasi dan mitigasi yang dihasilkan dapat lebih mensejahterakan umat manusia tanpa adanya disfungsi. Selain itu, mulai kini masih dibutuhkan kajian-kajian yang terkait dengan perubahan iklim, sebab-sebabnya dan akibat-akibatnya agar kebenaran tentang perubahan iklim dapat lebih dibuktikan. Tidak itu saja, temuan-temuan baru bagi peningkatan daya adaptasi manusia terhadap perubahan iklim bagi kemudahan upaya mitigasi juga menjadi tantangan tersendiri.

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.
- Anggadiredja, J.T., S.P. Nugroho, I.Suhardi dan A.Karsidi. 2004. Peran Teknologi dalam Pengelolaan Sumberdaya Air dan Mitigasi Bencana di Indonesia dalam Prosiding Seminar Nasional Hari Air Sedunia 2004. Jakarta.
- Andrey, J. and B.N. Mills, 2003: Chapter 9 - Climate Change and the Canadian Transportation System: Vulnerabilities and Adaptations. In: *Weather and Transportation in Canada*, Department of Geography, University of Waterloo, Ontario, Canada.
- Anonim, 2007. Laporan Diskusi Interaktif tentang Perubahan Iklim untuk Jurnalis. CIFOR & WWF Indonesia. Jakarta.
- BAPPENAS. 1993. Biodiversity Action Plan for Indonesia. Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. Jakarta.
- Barrett, Byrd Associates, 2004: *Weathering The Changes*. Transportation Professional (Bba Linden House, Linden Close, Tunbridge Wells, Kent, United Kingdom), Arctic Science Committee, Oslo, Norway. Northern Printing, Anchorage Alaska.
- Bayong T., 1999. *Klimatologi Umum*. Penerbit ITB. Bandung.
- Brown, BE. (1997). Coral Bleaching : Causes and Consequences. *Coral Reef S.* 16. Suppl : S129 – S136.
- Brown BE., Dunne, RP., Goodson MS., and Douglas, AE. (2002). Experience Shapes the Susceptibility of a Reef Coral to Bleaching. Department of Marine Sciences and Coastal Management, University of Newcastle. *Coral Reefs* 21 : 119 – 126.
- Caldwell at al, 2004: *The Potential Impacts of Climate Change on Transportation*. Climate Change Impact on the United States Report.
- 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.
- Dahuri, R., J. Rais, S.P. Ginting dan M.J. Sitepu, 2001., *Pengelolaan Sumber Daya Pesisir dan Lautan Secara Terpadu*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Departemen Kelautan dan Perikanan. 2007. *Survey Toponimi Pulau-Pulau Kecil Indonesia*. Direktorat Pulau-Pulau Kecil, Direktorat Jenderal Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. DKP, Jakarta.

- Douglas, A.E., (2003) Coral Bleaching, How and Why ? Marine Pollution Bulletin, 46 : 385 – 392.
- Efek Rumah Kaca, Available on line at : <http://ms.wikipedia.org/wiki/efekrumahkaca>, di akses tanggal 25 Nopember 2007 jam 9.00 WIB.
- Forest Watch Indonesia, 2001, Potret Keadaan Hutan Indonesia, Bogor, Indonesia : Forest Watch Indonesia dan Washington DC: Global Forest Watch
- 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.
- IPCC. 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II IPCC, Cambridge University Press.
- IPCC. 2001. Climate Change 2001 : The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by Houghton, J.T. et al. Cambridge University Press. Cambridge. UK.
- 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.
- Loveland, J.E. and G.Z. Brown, 1990: Impacts of Climate Change on the Energy Performance of Buildings in the United States, U.S. Congress, Office of Technology Assessment, Washington, DC, OTA/UW/UO, Contract J3-4825.
- 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.
- Meiviana, A., D.R. Sulistiowati dan M.H. Soejachmoen. 2004. Bumi Makin Panas: Ancaman Perubahan Iklim di Indonesia. Yayasan Pelangi. Jakarta.
- Murdiyarso, D. 2003. Sepuluh Tahun Perjalanan Negosiasi Konvensi Perubahan Iklim. Kompas, Jakarta.
- 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.
- Rosenthal, D.H., H.K. Gruenspecht, and E.Moran, 1995: Effects of global warming on energy use for space heating and cooling in the United States, Energy Journal 16(2), 77-96.
- Sailor, D.J., and A. A. Pavlova, 2003: Air conditioning market saturation and long-term response of residential cooling energy demand to climate change, Energy, 28(9), 941-951.
- Scott, M. J., et al., 1993: The Effects of Climate Change on Pacific Northwest Water-Related Resources: Summary of Preliminary Findings, Pacific Northwest Laboratory, PNL-8987, Richland, Washington.
- Scott, M.J., D. L. Hadley, and L. E.Wrench, 1994: Effects of climate change on commercial building energy demand, Energy Sources, 16(3), 339-354.
- 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.
- Sarwoko, A dan I. Anshori. 2003. Keterpaduan Pengelolaan Sumberdaya Air Untuk Pendayagunaan Yang Berkelanjutan dalam Prosiding Seminar Bappenas FAO Menggagas Pengelolaan Sumberdaya Air Berkelanjutan. FAO-Bappenas, Jakarta.
- Sjaifuddin. 2005. Konvensi Perubahan Iklim (UNFCCC). Dalam Perubahan Lingkungan Global. Sutamihardja, R.T.M. dan Murniwati, T. (Editor). Ersas, Jakarta.
- Zimmerman,R., 2002b: Global Warming, Infrastructure, and Land Use in the Metropolitan New York Area: Prevention and Response. In: Global Climate Change and Transportation: Coming to Terms. Eno Transportation Foundation, pages 55-63.
- UNDP. 2007. Human Development Report 2007/2088: Climate Change and Development. UNDP. New York.
- Panayotou, T. 1994. Economy and Ecology in Sustainable Development dalam SPES (Ed.) Economy and Ecology in Sustainable Development. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- _____. 1993. Green Markets: The Economic of Sustainable Development. ICS Press. San Fransisco.
- Glowka, L. 1996. Determining Access to Genetic Resources and Ensuring Benefit-sharing: legall and institutional considerations, IUCN Environmental Policy and Law Paper.
- Hartono, T.T., 2007, Membangun Komitmen Global untuk Sektor Kelautan dan Perikanan Indonesia, artikel opini.
- Kementerian Lingkungan Hidup, 1997, Agenda 21 Indonesia: A National Strategy for Sustainable Development, Jakarta, KLH dan UNDP.
- Kementerian Lingkungan Hidup, 2002, Dari Krisis Menuju Keberlanjutan: Meniti Jalan Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia (Tinjauan Pelaksanaan Agenda 21), Jakarta: KLH. Ministry of National Development Planning (BAPPENAS), 1993,

Biodiversity Action Plan, Jakarta:Ministry of National Development Plan/National Development Planing

- KLH. 1989. Keanekaragaman Hayati untuk Kelangsungan Hidup Bangsa. Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Mittermeier, R.et.al. 1997. Megadiversity: Earth's Biologically Wealthiest Nations.Raven, P. and E. O. Wilson. 1992. A Fifty-Year Plan for Biodiversity Surveys. Science 258: 1099-1100.
- MNLH and KONPHALINDO. 1995. An Atlas of Biodiversity in Indonesia.
- Mulyanto.H.R. 2007. Ilmu Lingkungan. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Primack, R. B, 1998, Biologi Konservasi, Yayasan Obor Indonesia, Jakarta.
- Rifai, M. 1994. A Discourse on Biodiversity Utilization in Indonesia. In: Tropical Biodiversity. IFABS, Jakarta.
- Smith.R.L dan Smith.T.M. 2000. Element of Ecology, 4th Ed. Benjamin Cumming Science Publishing. Sanfransisco-California. USA.
- Sittenfeld, Ana. 1997. Biodiversity Prospecting Frameworks. Paper presented at the management course supported by the Government of Japan, ISNAR and IBS.
- Sugandhy.A dan Hakim.R. 2007. Prinsip Dasar Kebijakan Pembangunan Berkelanjutan Berwawasan Lingkungan. Bumi Aksara.Jakarta.
- Stiling. P.D. 1992. Ecology: Theory and Application. 2nd.Ed. Prentice Hall International Inc. New Jersey.
- Susanta.G. dan Sutjahjo.H. 2007. Akankah Indonesia Tenggelam Oleh Pemanasan Global. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Soegiarto, A. 1991. Peranan Perairan Air Laut Indonesia pada Isu Perubahan Iklim Global dengan Tekanan Pembahasan pada Kenaikan Paras Laut dan Pengembangan Wilayah Pesisir. Pidato Penerimaan Jabatan Guru Besar Luar Biasa Ilmu Oseanografi pada Institut Pertanian Bogor, 12 Oktober 1991. IPB, Bogor.