

UPAYA ADAPTASI SEKTOR SUMBERDAYA AIR DAN PERTANIAN UNTUK MENGURANGI DAMPAK PERUBAHAN IKLIM¹

Oleh:
Bambang Dwi Dasanto²
Impron²

1. PENDAHULUAN

Secara umum pemanasan global diartikan sebagai peningkatan suhu di seluruh permukaan bumi baik darat maupun laut. Peningkatan suhu permukaan bumi ini dikarenakan oleh faktor alami (*natural*) dan/atau aktivitas manusia (*anthropogenic*). Gas-gas rumah kaca utama yang menyebabkan terjadinya pemanasan global, antara lain: karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), nitrous oksida (N₂O) dan halokarbon (sekelompok gas yang mengandung fluorin, klorin dan bromin). Gas-gas ini berakumulasi di atmosfer dan menunjukkan kecenderungan adanya peningkatan konsentrasi dari tahun ke tahun.

Laporan IPCC (2007) menyatakan bahwa pemanasan global terutama disebabkan oleh tingginya konsentrasi gas-gas rumah kaca (GRK) di atmosfer. Laporan ini juga menyatakan bahwa peningkatan GRK tersebut terutama diakibatkan oleh aktivitas manusia seperti penggunaan bahan bakar fosil (batu bara, minyak bumi) dan perubahan penggunaan/penutup lahan.

Pemanasan global dalam jangka panjang akan mempengaruhi sebagian atau seluruh sistem iklim bumi dan memacu terjadinya perubahan iklim. Perubahan iklim ini terutama berkaitan dengan perubahan unsur-unsur iklim, antara lain: radiasi surya, lama penyinaran surya, suhu udara, kelembaban udara, tekanan udara, evaporasi/evapotranspirasi dan presipitasi. Dampak dari perubahan iklim tersebut adalah (1) suhu udara menunjukkan kecenderungan yang semakin meningkat dari tahun ke tahun terutama setelah revolusi industri pada tahun 1880-an, (2) pergeseran waktu awal musim hujan dan perubahan distribusi serta jeluk hujan, (3) peningkatan intensitas kejadian iklim ekstrim, dan (4) kenaikan muka air laut.

Pergeseran awal musim hujan menyebabkan terjadinya pergeseran waktu tanam yang berimplikasi pada ketersediaan bibit dan pupuk. Perubahan distribusi dan jeluk hujan berdampak pada ketersediaan air antar wilayah dan waktu. Intensitas kejadian iklim ekstrim yang semakin meningkat seperti kekeringan (akibat El Nino) dan banjir (La Nina) akan berdampak pada turunnya produksi pertanian, rusaknya bangunan air akibat banjir, dan defisit air industri/domestik akibat kekeringan ataupun turunnya kualitas air akibat banjir.

2. SEKTOR SUMBERDAYA AIR DAN PERTANIAN (BDD)

Sumber daya air yang dimaksud dalam kajian ini adalah air, sumber air, dan daya air yang terkandung di dalamnya. Menurut UU No. 7 tahun 2004, air yang dimaksud adalah mencakup air permukaan dan air tanah (*groundwater*); sedangkan

¹ Disampaikan pada rapat kerja Lembaga Ekonomi Sumber Daya Alam dan Lingkungan Hidup (ELSDA Institute), 22 Desember 2008, di ELSDA Training Center, Gd. Manggala Wanabakti, Jakarta

² Staf Pengajar Departemen Geofisika dan Meteorologi, FMIPA-IPB, Bogor

sumber air adalah wadah dari adanya air baik yang di atas permukaan tanah ataupun bawah muka tanah. Daya air adalah segenap potensi yang terkandung di dalam air dan sumber air yang dapat memberikan manfaat ataupun kerugian bagi manusia dan lingkungannya. Nilai manfaat air (permukaan dan bawah permukaan) dapat dilihat dari status air (defisit atau surplus) dan kualitas airnya. Status air sangat bergantung atas jumlah ketersediaan air (*supply*) dan penggunaannya (*demand*), sedangkan kualitas air ditentukan oleh sifat fisik dan kimia airnya.

Status ketersediaan air permukaan dan air tanah dapat diketahui melalui hasil perhitungan neraca sumberdaya air (status air = ketersediaan air – kebutuhan air). Dalam analisis tersebut ketersediaan air berupa aliran mantap yaitu 25% dari aliran permukaan dan kebutuhan air merupakan akumulasi kebutuhan air domestik dan pertanian; sedangkan aliran permukaan didekati dengan besarnya curah hujan. Berdasarkan metode tersebut wilayah Indonesia yang mengalami status defisit air meliputi wilayah Jawa, Bali dan NTB (PU, 1994). Kebutuhan air yang paling dominan di ketiga wilayah tersebut adalah air pertanian kemudian air domestik.

Tabel 1
Neraca sumber daya air di Indonesia (PU, 1994 dalam Kodoatie, 2005)

No	Pulau	Hujan (mm/ th)	Luas (km ²)	juta (m ³ /tahun)				Status
				Aliran Permukaan	Aliran Mantap	Domestik	Pertanian	
1	Jawa	2,680	132,187	189,070	47,268	4,257	55,581	-12,570
2	Sumatera	2,820	473,606	691,900	172,975	1,634	21,351	149,990
3	Kalimantan	2,990	539,460	745,030	186,258	374	4,891	180,993
4	Sulawesi	2,340	190,116	542,600	135,650	497	6,498	128,655
5	Bali	2,120	5,561	5,670	1,418	107	1,408	-97
6	NTB	1,410	20,177	8,070	2,018	132	2,732	-846
7	NTT	1,200	47,866	9,570	2,393	123	1,622	648
8	Maluku	2,370	74,505	87,170	21,793	74	977	20,742
9	Irian Jaya	3,190	421,981	755,340	188,835	57	747	188,031

Tingginya kebutuhan air pertanian menunjukkan bahwa sebagian besar mata pencaharian penduduk Indonesia adalah petani (petani pemilik lahan garapan dan petani penggarap/buruh tani). Berdasarkan **Tabel 1**, petani di Pulau Jawa telah mengalami kekurangan air sebanyak 8.3×10^9 m³/tahun atau 8.3 MCM per tahun; sedangkan NTB mengalami kekurangan air 0.7×10^9 m³/tahun atau 0.7 MCM per tahun. Khusus untuk Bali, kebutuhan air pertaniannya masih dapat terpenuhi dari aliran mantap tapi menjadi defisit apabila diakumulasikan dengan kebutuhan air domestik atau rumah tangga.

Oleh karena aliran mantap atau ketersediaan air tersebut dihitung atas dasar besarnya curah hujan maka setiap pergeseran dan perubahan besarnya curah hujan akan mempengaruhi jumlah dan kuantitas airnya. Pergeseran waktu awal musim hujan

dan perubahan distribusi serta jeluk hujan tersebut merupakan dampak dari adanya perubahan iklim.

3. PERUBAHAN IKLIM

3.1. Perubahan Global (Global Change)

Perubahan global adalah perubahan dalam skala planet yang didorong oleh adanya aktivitas manusia. Perubahan ini meliputi berbagai komponen antara lain ekonomi, teknologi, iklim, penggunaan lahan, pasokan energi, produksi makanan, penyakit dan pertumbuhan penduduk. Perubahan pada satu komponen akan mempengaruhi komponen yang lain dan sifatnya dapat dua arah atau berbagai arah.

3.2. Pemanasan Global (Global Warming)

Pemanasan global akan dapat dipahami secara lebih lengkap apabila dikaitkan dengan berbagai proses maupun karakteristik alamiah yang terkait, diantaranya adalah mengenai radiasi matahari dan radiasi bumi, atmosfer bumi, interaksi antara radiasi matahari dan atmosfer bumi, efek rumah kaca, pemanasan global, dan efek umpan balik (feedbacks).

3.2.1. Radiasi matahari dan radiasi Bumi

Matahari (yang memiliki suhu permukaan sekitar 6000 K), memancarkan energi yang merupakan gelombang elektromagnetik. Spektrum elektromagnetik terdiri dari semua rentang frekuensi dan panjang gelombang. Pancaran energi matahari mencakup keseluruhan spektrum elektromagnetik, tetapi atmosfer bumi hanya transparan untuk sebagian cahaya inframerah dan ultraviolet dan keseluruhan cahaya tampak; sehingga spektrum yang sampai ke permukaan bumi terkonsentrasi pada gelombang dengan panjang antara 300–3000 nm. Sebagian besar energi radiasi matahari terletak pada selang panjang gelombang 300–3000 nm tersebut dan dikenal dengan istilah radiasi gelombang pendek (*short-wave radiation*). Ini membedakannya dengan energi radiasi yang dipancarkan oleh sebagian besar benda-benda di permukaan bumi (yang memiliki suhu permukaan sekitar 300 K) yang terletak pada selang panjang gelombang 3000–100000 nm yang dikenal dengan istilah radiasi gelombang panjang (*long-wave radiation*) atau kadang disebut radiasi terestrial atau radiasi termal.

3.2.2. Atmosfer bumi

Atmosfer terdiri partikel-partikel halus dan ringan dari tiga kelompok bahan yakni: gas (udara kering (**Tabel 2**) dan uap air), cairan (butir-butir air awan) dan aerosols (bahan padatan antara lain debu dan partikel garam laut). Bahan tersebut memiliki ukuran massa yang berbeda dan tersebar pada berbagai ketinggian, membentuk susunan yang mirip pengendapan di atmosfer (Nasir, 1997).

3.2.3. Interaksi radiasi dan atmosfer

Dalam interaksi antara radiasi dengan atmosfer bumi; atmosfer memiliki sifat sebagai 'optik'. Sifat optik atmosfer ini didefinisikan oleh kemampuannya untuk menyerap (absorb, a), memantulkan (reflect, r) dan meneruskan (transmit, t) radiasi. Bila fraksi nilai a , r , dan t masing-masing besarnya antara 0 dan 1, maka $a + r + t = 1$. Di atmosfer, nilai aktual a , r , dan t ditentukan oleh komposisi atmosfer.

Tabel 2
Komposisi normal - udara kering (Stratus & Meinwaring 1984) dalam Nasir (1997)

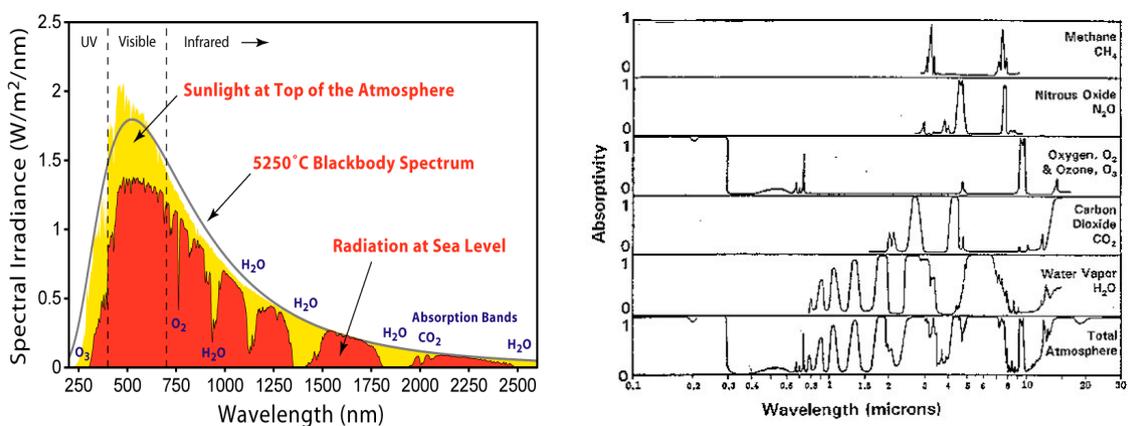
Kelompok	Nama Gas	Lambang	Konsentrasi	BM*	
A. Gas Utama	Nitrogen	N ₂	78.08 %	28.02	
	Oksigen	O ₂	20.94 %	32.00	
	Argon	Ar	0.93 %	39.88	
	Karbon Dioksida	CO ₂	0.03 % **	44.00	
B. Gas Penyerta					
1. Gas Permanen	Neon	Ne	18.00 ppm	20.18	
	Helium	He	5.20 ppm	4.06	
	Krypton	Kr	1.10 ppm	-	
	Xenon	Xe	0.086 ppm	-	
	Hidrogen	H ₂	0.52 ppm	2.02	
	Nitrous Oksida	N ₂ O	0.25 ppm**	-	
	2. Gas Tidak Permanen (Reaktif)***	Karbon Monoksida	CO	0.1 ppm	-
		Methane	CH ₄	1.4 ppm	-
		Hydro Carbon	HC	0.02 ppm	-
		Nitric Oksida	NO	(0.2-2.0) x 10 ³ ppm	-
		Nitrogen Dioksida	NO ₂	(0.5-4.0) x 10 ³ ppm	-
		Amoniak	NH ₃	(6.0-20) x 10 ³ ppm	-
		Sulfur Dioksida	SO ₂	(0.03-1.2) x 10 ³ ppm	-
		Ozone	O ₃	(0.0-05) ppm	48.00

*BM Berat molekul

** dilaporkan meningkat secara signifikan

*** beberapa juga mengalami perubahan konsentrasi

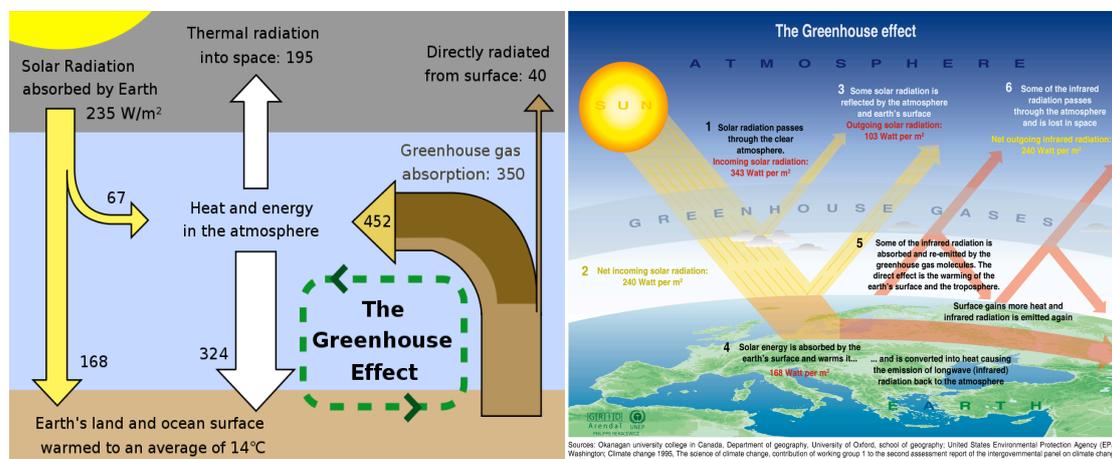
Absorpsi radiasi oleh gas-gas di atmosfer memiliki ciri selektif pada panjang gelombang tertentu, sehingga pola absorpsinya diberi istilah antara lain *absorption bands/spectra*. Gas-gas di atmosfer yang memiliki kemampuan mengabsorpsi radiasi – terutama radiasi gelombang panjang – dikenal sebagai gas-gas rumah kaca (GRK). Pola absorpsi beberapa GRK dilihat pada **Gambar 1**. Dari pola tersebut dapat dilihat, misalnya, bahwa absorpsi radiasi oleh CO₂ terjadi pada panjang gelombang 4000 – 5000 nm dan 11000 – 17000 nm.



Gambar 1. Kiri: Spektrum radiasi surya di puncak atmosfer dan gambaran absorpsi oleh beberapa GRK serta spektrum radiasi surya pada permukaan bumi (http://en.wikipedia.org/wiki/File:Solar_Spectrum.png); dan kanan: Pola absorpsi radiasi oleh beberapa gas rumah kaca di atmosfer (After J.N. Howard, 1959: *Proc. I.R.E.*, 47, 1459; and R.M. Goody and G.D. Robinson, 1951: *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* 77, 153)

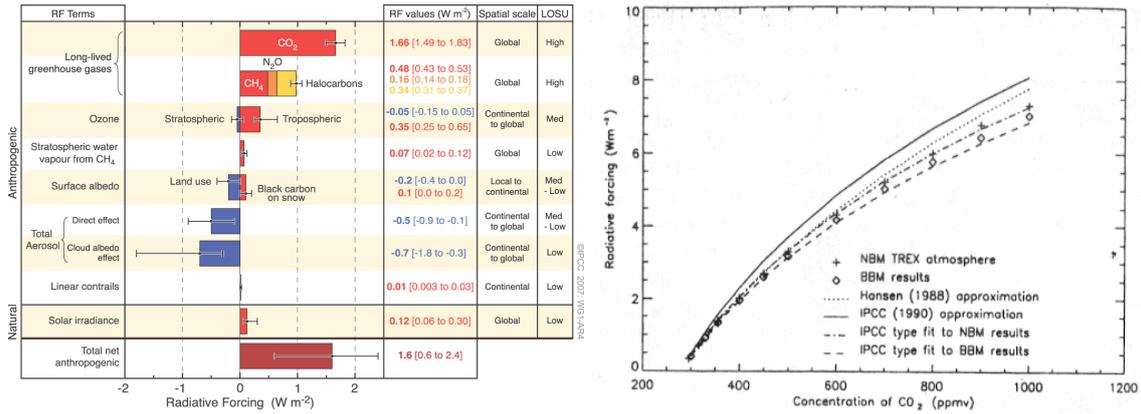
3.2.4. Efek rumah kaca

Greenhouse adalah nama generik bagi bangunan yang digunakan untuk memproteksi tanaman dari pengaruh langsung lingkungan fisik luar. Bentuk greenhouse yang paling umum adalah bangunan dengan atap dan dinding transparan dari bahan kaca, plastik, atau kasa (net). Bahan-bahan tersebut – terutama kaca – sifatnya dapat melewatkan radiasi matahari. Radiasi matahari yang sampai ke dalam greenhouse sebagian akan di refleksikan balik keluar greenhouse, sebagian lagi akan diabsorpsi oleh benda-benda yang ada di dalam greenhouse dan menyebabkan kenaikan suhu pada benda-benda tersebut. Radiasi yang diabsorpsi tersebut akan diradiasikan kembali dalam bentuk radiasi gelombang panjang. Sebagian besar gelombang panjang ini tidak dapat melewati kaca; yang terjadi adalah absorpsi dan pantulan radiasi gelombang panjang tersebut oleh kaca. Proses ini menyebabkan akumulasi energi (bahang) dan kenaikan suhu udara di dalam rumah kaca. Dari analogi proses inilah lahir istilah greenhouse effect (efek rumah kaca).



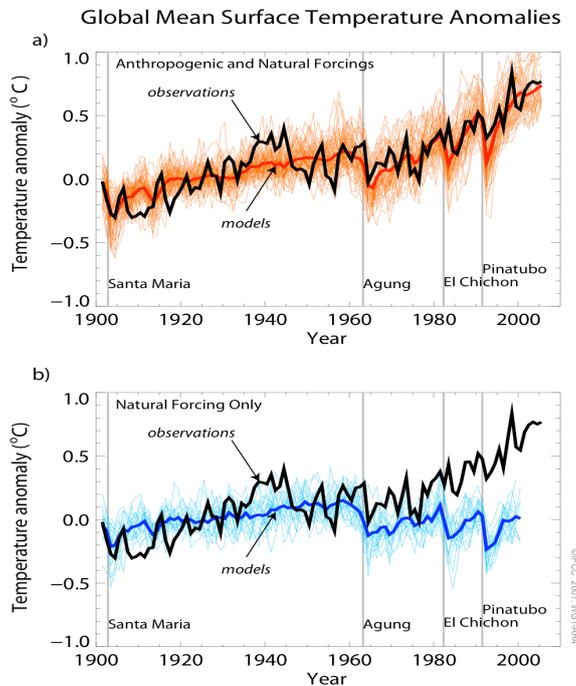
Gambar 2. Dua skema representasi fenomena efek rumah kaca. Skema pertukaran energi antara angkasa, atmosfer bumi, dan permukaan bumi. Kemampuan atmosfer untuk menangkap dan mendaurulang energi yang diemisikan bumi merupakan penentu karakteristik dari efek rumah kaca (Wikipedia).

Di atmosfer, efek rumah kaca terutama disebabkan oleh gas-gas rumah kaca utama yaitu karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), nitrous oksida (N_2O) dan halokarbon (sekelompok gas yang mengandung fluorin, klorin dan bromin). Pola absorption bands beberapa GRK mempunyai dampak terhadap radiasi matahari dan radiasi bumi. Gas-gas ini mempunyai kemampuan untuk “menangkap/capture” atau mengabsorpsi dan “mendaurulang/recycle” energi yang diemisikan oleh permukaan bumi (**Gambar 2**). Konsekuensi fisik dari proses ini adalah adanya gangguan (perturbation) kesetimbangan energi di atmosfer; dimana ukuran pengaruhnya dapat dinyatakan dengan radiative forcing (RF) dalam satuan Wm^{-2} . RF merupakan ukuran pengaruh suatu faktor dalam merubah kesetimbangan energi di sistem atmosfer bumi, dan merupakan suatu index nilai penting suatu faktor sebagai suatu mekanisme perubahan iklim potensial. Dalam IPCC, nilai RF menunjukkan perubahan relatif dari kondisi praindustri tahun 1750.



Gambar 3. Kiri: Rata-rata global nilai RF dan sebaran spasialnya pada tahun 2005 dibandingkan pada tahun 1750 serta penilaian level pemahaman ilmiah (LOSU/level of scientific understanding) {WGI Figure SPM.2}; dan kanan: Estimasi nilai RF dari GRK yang bercampur sempurna {Myhre, G., E.J Highwood, K.P Shine and F. Stordal, 1998, New Estimates of radiative forcing due to well mixed greenhouse gases, Geophys. Res Lett. 25, 2715-2718}

Rata-rata global nilai antropogenik RF pada tahun 2005 dibandingkan dengan kondisi tahun 1750 adalah 1.6 W m^{-2} , jauh melebihi natural RF yang nilainya 0.12 W m^{-2} . Pada tahun 2005, konsentrasi CO₂ sekitar 379 ppm dengan nilai RF CO₂ sekitar 1.6 W m^{-2} . Semakin tinggi konsentrasi CO₂ akan diikuti dengan semakin tingginya RF (**Gambar 3**). Berdasarkan perhitungan konvensional menggunakan rumus Stefan – Boltzman, perubahan RF global sebesar 3.7 W m^{-2} akan setara dengan perubahan 1°C. Artinya, apabila perubahan tersebut hanya akibat CO₂, maka kira-kira setara dengan yang diakibatkan oleh peningkatan konsentrasi CO₂ dua kali.



Gambar 4. Perbandingan anomali suhu rata-rata muka bumi akibat aktivitas manusia (anthropogenic) dan alami (natural) (IPCC, 2007)

Pemanasan global adalah meningkatnya suhu permukaan bumi (dekat permukaan lahan dan muka laut) secara global, kisaran peningkatan suhu global tersebut adalah $0,6 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ (IPCC, 2001). Berdasarkan data pengukuran dan tertulis dalam laporan IPCC (2001), tahun 1990-an adalah dekade terhangat sedangkan tahun 1998 adalah tahun terhangat sejak 1861. Laporan IPCC terbaru (2007) lebih tegas (*unequivocal*) menyatakan bahwa pemanasan global adalah disebabkan oleh tingginya konsentrasi gas-gas rumah kaca (GRK) di atmosfer. Peningkatan GRK tersebut sebagai akibat adanya aktivitas manusia (lihat **Gambar 4**) seperti penggunaan bahan bakar fosil (batu bara, minyak bumi) dan perubahan penggunaan/penutup lahan.

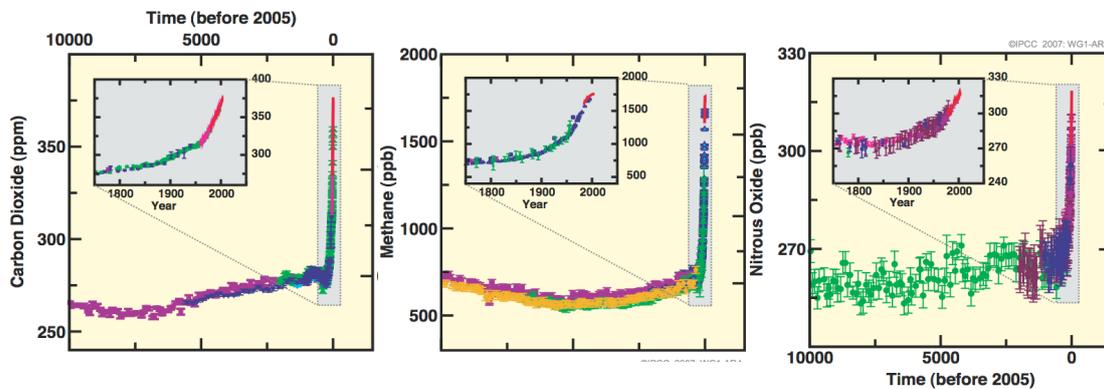
Gas-gas rumah kaca utama (*principal*) yang menyebabkan terjadinya pemanasan global adalah karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), nitro oksida (N_2O) dan halokarbon (sekelompok gas yang mengandung fluorin, klorin dan bromin). Gas-gas ini berakumulasi di atmosfer dan menunjukkan kecenderungan adanya peningkatan konsentrasi dari tahun ke tahun. Peningkatan GRK terjadi sejak tahun 1750 dan terus meningkat hingga tahun 2005; dan peningkatan ini terkait dengan aktivitas manusia yang dimulai setelah revolusi industri (pertengahan tahun 1880) hingga sekarang ini (**Gambar 5**). Bentuk-bentuk aktivitas manusia yang menyebabkan meningkatnya GRK adalah:

- Penggunaan bahan bakar fosil (misal: batu bara dan minyak bumi) untuk transportasi, pemanas dan pendingin ruang, pembuatan semen dan barang produksi lain yang menyebabkan meningkatnya CO_2 di atmosfer. Sebagai gambaran umum, pembakaran 1 lt bensin akan menghasilkan 2.4 kg CO_2 ; 1 kg kayu menghasilkan 1,8 kg CO_2 ; dan setiap kWh energi dari pembangkit berbahan bakar minyak atau gas cair akan menghasilkan 0.28 kg CO_2 .
- Pembabatan hutan menyebabkan terlepasnya CO_2 dan mereduksi jumlah CO_2 yang diserap oleh tanaman. Karbon dioksida juga dilepas dalam proses-proses alami seperti pembusukan unsur-unsur tanaman. Dekomposisi sempurna biomassa 1 kg akan menghasilkan sekitar 1.85 kg CO_2 .
- Kegiatan pertanian, distribusi gas alam dan penimbunan tanah/lahan akan meningkatkan produksi CH_4 . Metana juga dilepas dari proses-proses alami seperti halnya yang terjadi di wilayah lahan basah (*Wetland*).
- Penggunaan pupuk dan pembakaran bahan bakar fosil akan mengemisikan N_2O , sedangkan proses alami di tanah dan laut juga akan melepas N_2O .
- Penggunaan lemari pendingin dan proses industri lain akan meningkatkan jumlah gas halokarbon (CFC-11, HFC-23, CF_4) di atmosfer, dan gas ini akan menyebabkan deplesi/penyusutan ozon (O_3) di stratosfer.

GRK di atmosfer dianalogikan sebagai selimut yang menghalangi radiasi gelombang panjang yang dipancarkan oleh bumi ke atmosfer. Sebagian energi gelombang panjang tersebut akan diserap GRK – sehingga suhu atmosfer meningkat – dan ini akan meningkatkan kemampuan atmosfer untuk mengemis radiasi gelombang panjang kembali ke bumi serta menghangatkan atau meningkatkan suhu muka bumi. Berdasarkan **Gambar 5** dan **Tabel 3** menunjukkan bahwa laju pertumbuhan konsentrasi GRK tertinggi di atmosfer adalah CO_2 (1,5 ppm/tahun) sedangkan yang terendah adalah N_2O (0,8 ppb/tahun atau 0,0008 ppm/tahun). Pada tahun 2005, konsentrasi CO_2 mencapai sekitar 379 ppm. Rata-rata tahunan laju peningkatan konsentrasi CO_2 periode tahun 1995 – 2005 adalah 1.9 ppm/tahun sedangkan nilai rata-rata periode 1960 – 2005 adalah 1.4 ppm/tahun. Tingginya laju pertumbuhan karbon dioksida di atmosfer terkait dengan intensifnya penggunaan bahan bakar

fosil dan perubahan penggunaan/penutup lahan terutama hutan menjadi penggunaan lahan lain. Laporan IPCC (2007) menunjukkan bahwa emisi karbon dioksida fosil tahunan telah meningkat dari rata-rata 6,4 [6,0-6,8] GtC (23,5 [22,0-25,0] GtCO₂) per tahun dalam tahun 1990-an menjadi 7,2 [6,9-7,5] GtC (26,4 [25,3-27,5] GtCO₂) per tahun dalam tahun 2000-2005. Emisi karbon dioksida yang berhubungan dengan perubahan penggunaan/penutup lahan diestimasikan sebesar 1,6 [0,5-2,7] GtC (5,9 [1,8-9,9] GtCO₂) per tahun dalam tahun 1990-an, meskipun estimasi ini mempunyai ketidakpastian yang tinggi.

Berdasarkan **Tabel 3**, jika konsentrasi GRK di atmosfer diasumsikan tidak bertambah lagi hingga tahun 2100 maka iklim tetap terus menghangat selama periode tertentu akibat emisi yang telah dilepaskan sebelumnya. Karbon dioksida akan tetap berada di atmosfer selama 5 hingga 200 tahun sebelum alam mampu menyerapnya kembali. Jika emisi GRK terus meningkat, para ahli memprediksi, konsentrasi karbon dioksida di atmosfer dapat meningkat hingga tiga kali lipat pada awal abad ke-22 bila dibandingkan masa sebelum era industri.



Gambar 5. Konsentrasi karbon dioksida, metana dan nitro oksida lebih dari 10.000 tahun yang lalu (panel besar) dan sejak tahun 1750 (panel inset). Ukuran ditunjukkan dari sampel "ice core" (simbol dengan warna yang berlainan untuk studi yang berlainan pula) dan sampel atmosfer (garis merah). (IPCC, 2007)

Tabel 3
Gas-gas rumah kaca yang dipengaruhi oleh aktivitas manusia (IPCC, 2001)

	CO ₂ (Carbon Dioxide)	CH ₄ (Methane)	N ₂ O (Nitrous Oxide)	CFC-11 (Chlorofluoro -carbon-11)	HFC-23 (Hydrofluoro -carbon-23)	CF ₄ (Perfluoro- methane)
Pre-industrial concentration	about 280 ppm	about 700 ppb	about 270 ppb	zero	zero	40 ppt
Concentration in 1998	365 ppm	1745 ppb	314 ppb	268 ppt	14 ppt	80 ppt
Rate of concentration change ^b	1.5 ppm/yr ^a	7.0 ppb/yr ^a	0.8 ppb/yr	-1.4 ppt/yr	0.55 ppt/yr	1 ppt/yr
Atmospheric lifetime	5 to 200 yr ^c	12 yr ^d	114 yr ^d	45 yr	260 yr	>50,000 yr

^a Rate has fluctuated between 0.9 ppm/yr and 2.8 ppm/yr for CO₂ and between 0 and 13 ppb/yr for CH₄ over the period 1990 to 1999.

^b Rate is calculated over the period 1990 to 1999.

^c No single lifetime can be defined for CO₂ because of the different rates of uptake by different removal processes.

^d This lifetime has been defined as an "adjustment time" that takes into account the indirect effect of the gas on its own residence time.

3.3. Perubahan Iklim (Climate Change)

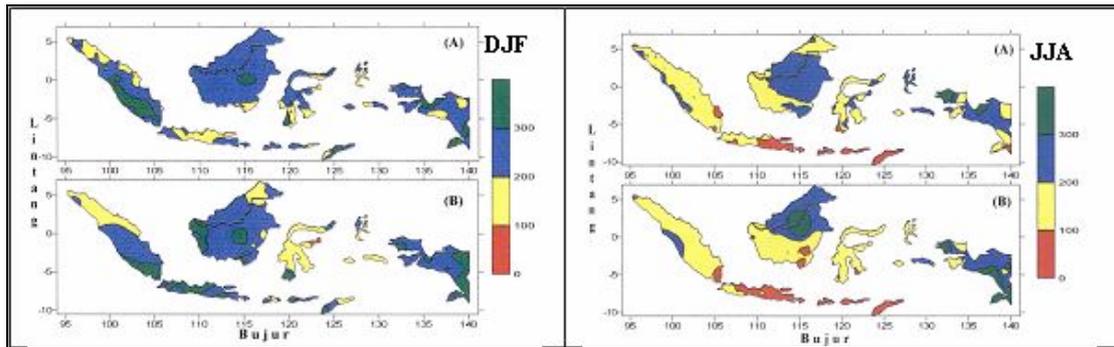
Pemanasan global dalam jangka panjang akan mempengaruhi sebagian atau seluruh sistem iklim bumi dan memacu terjadinya perubahan iklim. Perubahan iklim yang dimaksud di sini adalah adanya perubahan unsur-unsur iklim (seperti: *radiasi surya, lama penyinaran surya, suhu udara, kelembaban udara, tekanan udara, evaporasi/ evapotranspirasi dan presipitasi*) dalam jangka panjang (50-100 tahun) yang dipengaruhi oleh aktivitas manusia yang menghasilkan emisi gas rumah kaca. Berdasarkan pengertian tersebut maka variabilitas iklim musiman (musim hujan dan kemarau yang berubah mendadak), tahunan (musim kemarau atau hujan yang berubah periodisitasnya), dan dekadal (kejadian ekstrim seperti El Nino atau La Nina) adalah tidak termasuk dalam pengertian perubahan iklim. Namun, apabila dalam jangka yang lebih panjang variabilitasnya secara statistik terjadi perubahan yang konsisten, maka dapat dikatakan terjadi perubahan iklim.

Laporan IPCC (2007) menyatakan bahwa pada akhir abad ini bumi telah mengalami 2 kali periode penghangatan atmosfer yaitu pada tahun 1910-1940 ($0,35^{\circ}\text{C}$) dan 1970-2006 ($0,55^{\circ}\text{C}$). Pada periode penghangatan pertama faktor alami dan akibat aktivitas manusia terjadi secara bersamaan tapi pada periode penghangatan kedua maka faktor yang paling dominan adalah akibat aktivitas manusia (era industri). Penghangatan atmosfer karena peningkatan suhu udara akan mengakibatkan naiknya kandungan uap air di atmosfer (terutama pada lintang rendah). Uap air tersebut akan dipindahkan dari satu tempat ke tempat lain karena adanya sirkulasi lautan dan atmosfer (*atmospheric and oceanic circulation*) sehingga pada suatu wilayah mendapatkan hujan berlebih tapi di tempat lain mengalami kekurangan hujan atau kekeringan sehingga dapat dikatakan bahwa wilayah tersebut mengalami perubahan iklim terutama perubahan pola hujan. Berdasarkan data hujan observasi, kecenderungan hujan di muka bumi pada tahun 1900-2005 menunjukkan adanya pergeseran jumlah hujan (lebih basah/*wetter* atau kering/*drier*) di beberapa lokasi. Amerika Selatan dan Amerika Utara bagian timur, Eropa bagian utara dan Asia bagian tengah dan utara mengalami peningkatan jumlah hujan atau lebih basah, tetapi Sahel, Afrika bagian selatan, Mediterania dan Asia bagian selatan menjadi lebih kering (IPCC, 2007). Di wilayah utara, presipitasi yang jatuh pada saat sekarang umumnya lebih banyak yang berbentuk air hujan daripada salju (IPCC, 2007).

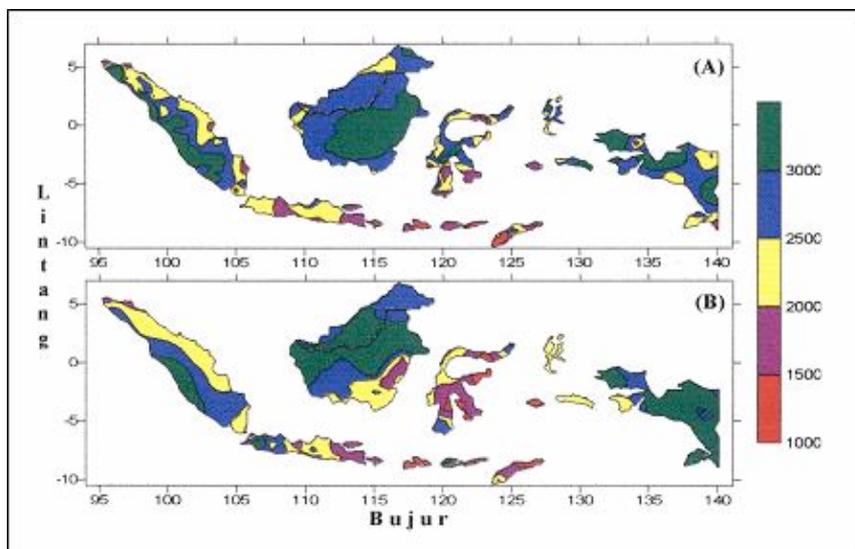
3.3.1. Perubahan hujan di Indonesia dalam periode 1930-1990

Hasil studi data observasi jangka panjang (historis) yang telah dilakukan oleh Kaimuddin (2000) menunjukkan bahwa curah hujan pada musim hujan (DJF) untuk wilayah Indonesia bagian selatan (Jawa Barat, Jawa Tengah dan Lampung) dan sebagian kawasan Indonesia timur cenderung mengalami peningkatan jumlah hujan atau bersifat lebih basah, sedangkan curah hujan pada musim kemarau (JJA) cenderung lebih kering kecuali untuk kawasan Indonesia timur yang mengalami musim kemarau yang basah (Gambar 6). Sebaliknya, untuk wilayah Indonesia bagian utara (Sumatera Utara, Kalimantan bagian utara, Sulawesi Utara) curah hujan pada musim hujan akan semakin berkurang sedangkan curah hujan pada musim kemarau akan cenderung semakin tinggi, khususnya Kalimantan bagian Utara (**Gambar 6**).

Hasil analisa data curah hujan tahunan, wilayah Indonesia bagian selatan seperti Jawa Barat, DKI Jakarta dan Papua akan lebih basah. Wilayah Indonesia bagian utara seperti Kalimantan bagian utara akan lebih basah tapi sebagian Sulawesi Utara dan Maluku Utara menjadi lebih kering (lihat Gambar 7). Berdasarkan hasil studi data observasi yang telah dilakukan oleh Kaimuddin (2000) menunjukkan bahwa wilayah Indonesia telah mengalami perubahan iklim.



Gambar 6. Rata-rata jeluk hujan bulan DJF dan JJA untuk periode (A) 1931-1960 dan (B) 1961-1990 (Kaimuddin, 2000)



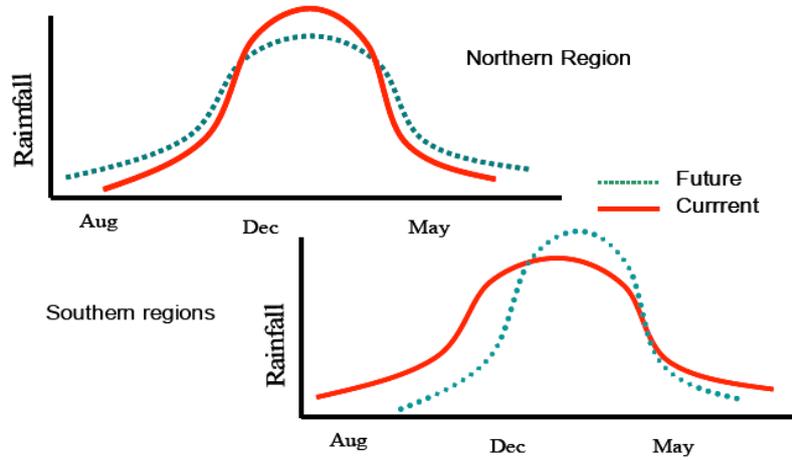
Gambar 7. Rata-rata jeluk hujan tahunan untuk periode (A) 1931-1960 dan (B) 1961-1990 (Kaimuddin, 2000)

Studi lebih lanjut yang dilakukan oleh Naylor et al (2007) menunjukkan bahwa dimasa yang akan datang wilayah Jawa dan Bali kemungkinan besar akan mengalami pergeseran pola hujan. Lama musim hujan menjadi lebih pendek dan jeluk hujan lebih tinggi dari kondisi saat ini. Dalam Indonesia Country Report (GOI, 2007b), pola curah hujan yang akan datang di wilayah Indonesia bagian utara dan selatan adalah beda. Di wilayah Indonesia bagian utara, lama musim hujan menjadi lebih panjang tetapi jeluk hujannya mengalami penurunan; sedangkan wilayah selatan diperkirakan akan mengalami pergeseran waktu hujan dan lama musim hujan yang semakin pendek tapi jeluk hujannya tinggi

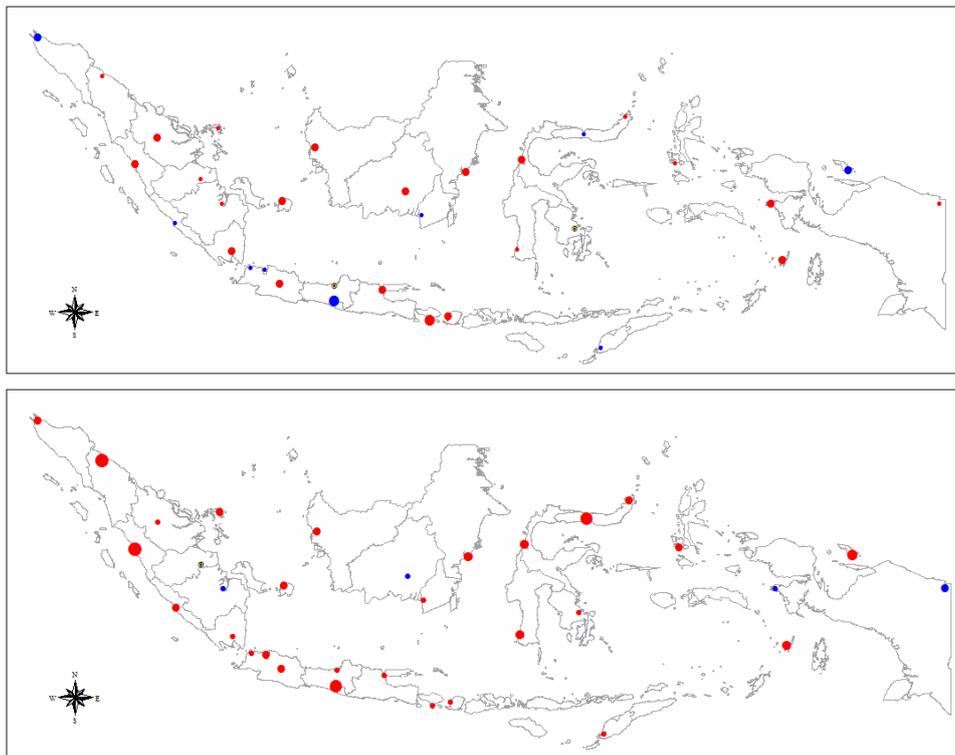
3.3.2. Perubahan suhu di Indonesia

Berdasarkan Indonesia Country Report (GOI, 2007b), Indonesia telah mengalami peningkatan suhu maksimum dan minimum yang signifikan. Laju perubahan bervariasi dari satu stasiun ke stasiun lain (Gambar 9). Laju perubahan suhu minimum tertinggi terjadi di stasiun Polonia-Medan (0.172°C per tahun) sedangkan yang maksimum terjadi di stasiun Denpasar 0.087°C per tahun. Laju

perubahan rata-ratanya adalah 0.047°C per tahun (minimum) dan 0.017°C per tahun (maksimum).



Gambar 8. Kecenderungan pola curah hujan yang akan datang di wilayah Indonesia bagian utara dan selatan (GOI, 2007b)



Gambar 9. Laju perubahan suhu maksimum dan minimum tahunan pada 33 stasiun di Indonesia (tingkat kesignifikan 5%; ● laju perubahan $< 0.04^{\circ}\text{C}$; ● antara 0.04 dan 0.07°C ; dan ● $> 0.07^{\circ}\text{C}$ (GOI, 2007b)

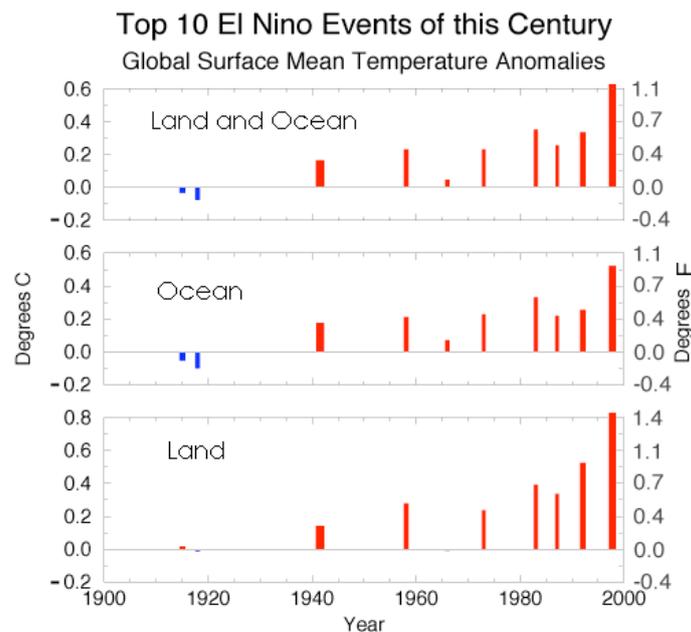
3.3.3. Kejadian iklim ekstrim

Menurut Ratag *et al.* (1998 dalam Boer, *et al.*, 2003) pada saat terjadinya pemanasan global maka frekuensi dan intensitas kejadian iklim ekstrim akan meningkat. Namun, hal tersebut masih dalam tataran penelitian yaitu hasil model, maksudnya apabila konsentrasi CO_2 dinaikkan dua kali lipat dari yang sekarang maka

diperkirakan ada perubahan frekuensi kejadian ENSO, yaitu sekali dalam 3-7 tahun menjadi sekali dalam waktu 2-5 tahun atau frekuensi kejadiannya meningkat.

ENSO adalah perpaduan dari dua fenomena iklim yaitu El Nino dan Southern Oscillation atau El Nino-Southern Oscillation. Fenomena El Nino terkait dengan perubahan arus laut di Samudera Pasifik di sekitar ekuator yang menjadi lebih hangat daripada sekitarnya dan yang berlawanan dengan kejadian itu disebut La Nina. Dan yang terkait dengan kejadian ini adalah Southern Oscillation yaitu perubahan tekanan atmosfer di belahan bumi selatan. Untuk wilayah Indonesia, pada saat El Nino biasanya mengalami musim kemarau yang berkepanjangan; sedangkan pada saat La Nina wilayah Indonesia sering mengalami banjir. Dalam kurun waktu 1844-2006, dari 43 kemarau panjang, sebanyak 37 kali berkaitan dengan El Nino.

Berdasarkan data dari NOAA, dari sepuluh kejadian El Nino paling parah adalah terjadi setelah tahun 1970-an yaitu setelah mulai berlangsungnya kejadian pemanasan global. **Gambar 10** menunjukkan bahwa anomali suhu paling tinggi terjadi pada tahun 1997/1998 yaitu merupakan periode tahun terpanas pada abad 20 dan pada periode tersebut Indonesia mengalami kemarau panjang sehingga berdampak pada defisit air pada berbagai sektor terutama sektor sumberdaya air dan pertanian.



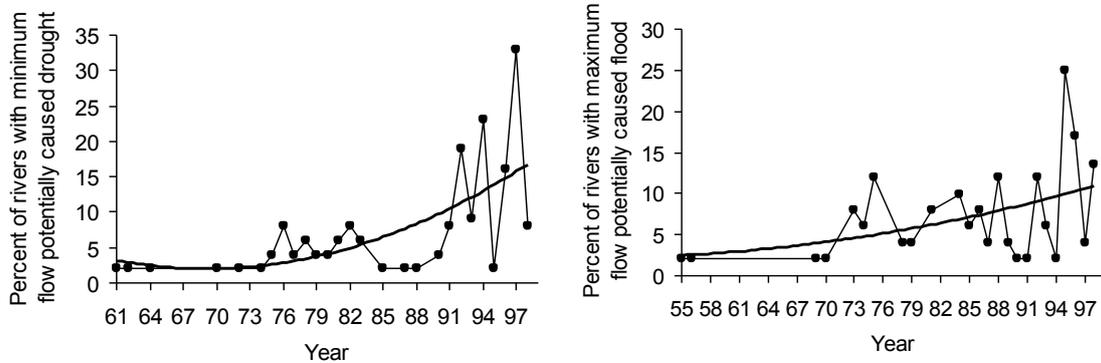
Gambar 10. Anomali suhu rata-rata permukaan bumi selama 10 kejadian El Nino pada abad ini (1914/15, 1917/18, 1940/41, 1957/58, 1965/66, 1972/73, 1982/83, 1986/87, 1991/92, and 1997/98. Sumber: NCDC/NOAA dalam GOI, 2007b)

4. DAMPAK PERUBAHAN IKLIM

4.1. Sumberdaya Air

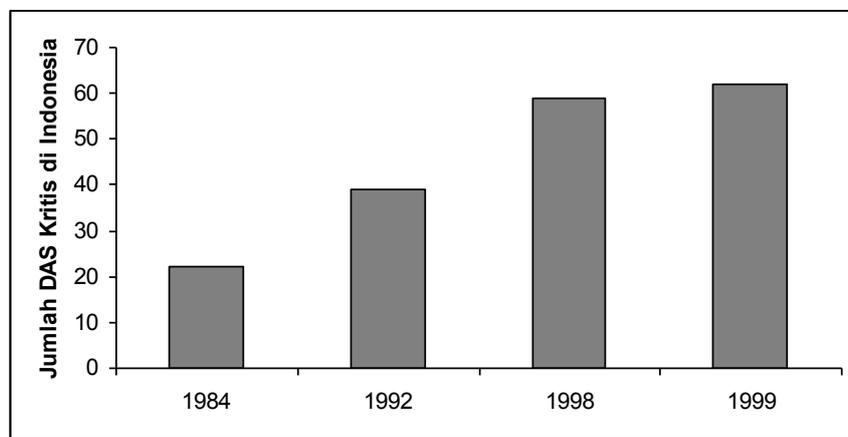
Perubahan distribusi dan jeluk hujan sebagai dampak dari adanya perubahan iklim telah menimbulkan berbagai persoalan sumberdaya air. Peningkatan jeluk hujan yang jatuh pada suatu DAS akan menyebabkan terjadinya peningkatan debit puncak/aliran maksimum, sedangkan penurunan jeluk hujan akan menyebabkan hal yang sebaliknya yaitu terjadinya peningkatan aliran rendah (*low flow*). Berdasarkan

52 aliran sungai yang melintas di Indonesia menunjukkan adanya peningkatan aliran minimum dan maksimum (**Gambar 11**). Peningkatan aliran minimum dari tahun ke tahun akan berdampak pada semakin panjangnya periode kering, sedangkan peningkatan aliran maksimum akan memacu terjadinya peristiwa banjir.



Gambar 11. *Persentase aliran minimum dan maksimum yang berpotensi menyebabkan kekeringan dan banjir di Indonesia (Boer, et al., 2008)*

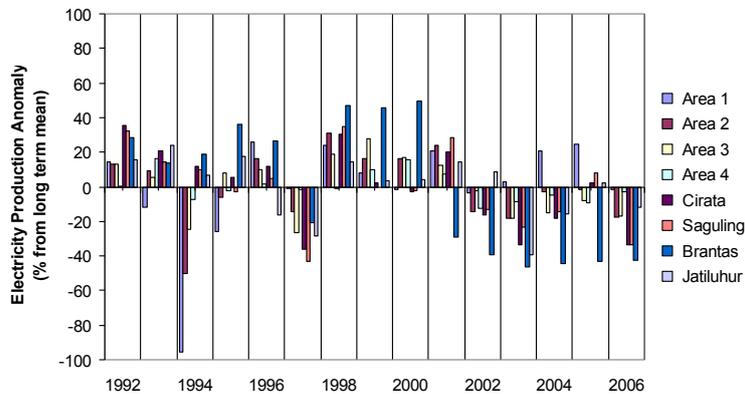
Peningkatan aliran maksimum dan minimum akan menunjukkan intensitas yang semakin tinggi apabila didukung oleh tingginya kekritisitas atau degradasi DAS. Pada tahun 1984, jumlah DAS kritis di Indonesia sebanyak 22 DAS, pada tahun 1992 meningkat menjadi 39 DAS, tahun 1998 naik lagi menjadi 59 DAS dan pada tahun 1999 menjadi 62 DAS (**Gambar 12**). Berdasarkan informasi kering dan banjir yang semakin sering terjadi maka diperkirakan jumlah DAS kritis semakin banyak.



Gambar 12. *Jumlah DAS kritis di Indonesia (diolah dari Roestam dalam KCM, 15 Agustus 2003)*

Dampak perubahan iklim yang menyebabkan turunnya jeluk hujan pada suatu DAS dan menyebabkan semakin tingginya aliran minimum akan berdampak pula pada volume air suatu waduk. Apabila waduk tersebut bersifat multi fungsi, yaitu untuk penyedia kebutuhan air irigasi, rumah tangga/domestik, dan listrik. Penurunan volume air waduk apabila dikaji dari sisi penyedia air irigasi akan berdampak pada penurunan produksi padi sebagai akibat menyusutnya lahan pertanian yang mendapat air irigasi. Dampak lain dari penurunan volume air waduk adalah turunnya produksi listrik tenaga air sebagai akibat tidak berfungsinya seluruh turbin pembangkit listrik.

Penurunan volume air waduk yang berdampak pada menyusutnya daya listrik secara signifikan umumnya terjadi pada saat yang bersamaan dengan kejadian iklim ekstrim El Nino. Data dari PLN (2007) menunjukkan bahwa selama terjadinya El Nino yaitu tahun 1994, 1997, 2002, 2003, 2004 produksi listriknya turun. Pada tahun 1994, empat dam besar yaitu Cirata, Saguling, Brantas dan Jatiluhur mengalami defisit yang sangat besar (**Gambar 13**)



Gambar 13. Anomali produksi listrik dari 1992-2006 (GOI, 2007B)

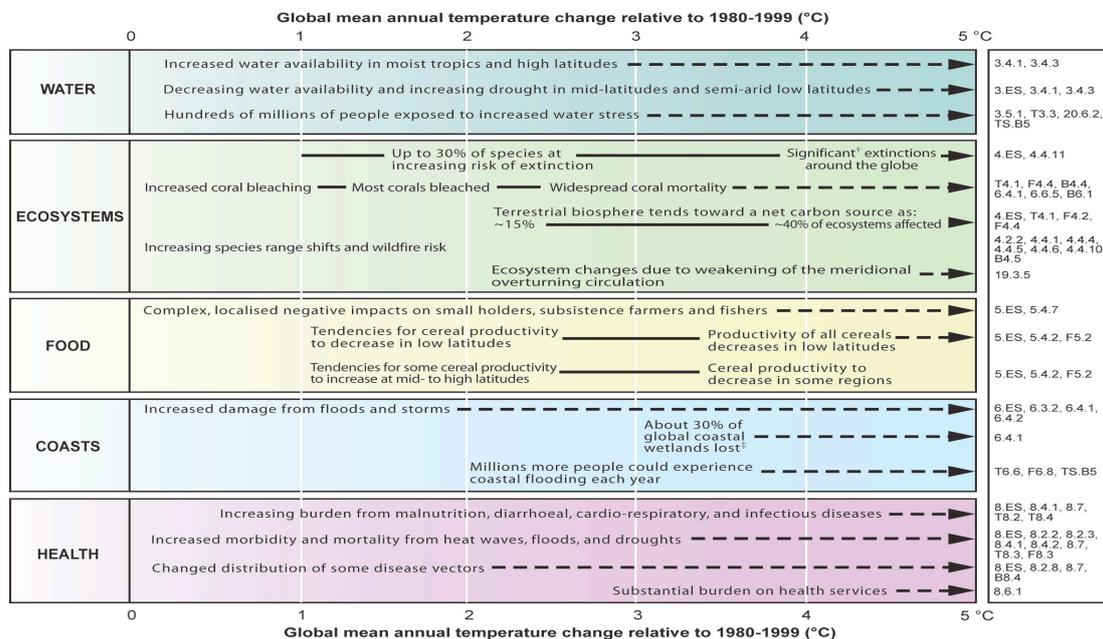
4.2. Pertanian

4.2.1. Ringkasan proyeksi dampak global (IPCC, 2007)

Analisa pada Tabel 4 dan 5 dan Gambar 14 (Parry *et al.*, 2007) secara jelas mengindikasikan adanya dampak regional yang beragam. Sebagai misal, dampak negatif akan terjadi pada produksi beberapa tanaman pangan (crops) di wilayah lintang rendah sebagai akibat adanya kenaikan sampai 2°C; sedangkan bila kenaikan suhu mencapai 4° - 5°C, maka dampak negatifnya juga akan mencakup wilayah lintang tinggi.

Tabel 4.

Contoh proyeksi dampak global perubahan iklim (terutama akibat perubahan suhu dan – bila berlaku – juga akibat perubahan level air laut dan konsentrasi CO₂ di atmosfer) pada abad 21 (Parry *et al.*, 2007)



Dalam laporan Working Group II Third Assessment Report (TAR; IPCC, 2001), disebutkan bahwa perubahan iklim dan variabilitas iklim akan mempengaruhi (berdampak pada) sektor pangan, serat, dan kehutanan secara global akibat pengaruh kenaikan suhu dan konsentrasi CO₂ terhadap pertumbuhan tanaman, perubahan presipitasi dan transpirasi, serta peningkatan kejadian iklim/cuaca ekstrem, juga terkait dengan bertambahnya tekanan gulma, dan hama penyakit tanaman.

4.2.3. Ringkasan beberapa adaptasi sektoral (IPCC, 2007)

Berdasarkan **Tabel 7**, opsi/strategi adaptasi yang dapat dilakukan pada sektor pertanian mencakup penyesuaian waktu tanam dan varietas tanaman, melakukan relokasi pertanian ke wilayah yang lebih sesuai, meningkatkan pengelolaan lahan, misalnya melalui pengendalian erosi dan melindungi tanah/lahan dengan penanaman pohon.

Tabel 7
Contoh adaptasi sektoral yang direncanakan (IPCC, 2007)

Sector	Adaptation option/strategy	Underlying policy framework	Key constraints and opportunities to Implementation (Normal font = constraints; <i>italics = opportunities</i>)
Water {WGII 5.5, 16.4; Tables 3.5, 11.6,17.1}	Expanded rainwater harvesting; water storage and conservation techniques; water reuse; desalination; water-use and irrigation efficiency	National water policies and integrated water resources management; water-related hazards management	Financial, human resources and physical barriers; <i>integrated water resources management; synergies with other sectors</i>
Agriculture {WGII 10.5, 13.5; Table 10.8}	Adjustment of planting dates and crop variety; crop relocation; improved land management, e.g. erosion control and soil protection through tree planting	R&D policies; institutional reform; land tenure and land reform; training; capacity building; crop insurance; financial incentives, e.g. subsidies and tax credits	Technological and financial constraints; <i>access to new varieties; markets; longer growing season in higher latitudes; revenues from 'new' products</i>
Infrastructure/ settlement (including coastal zones) {WGII 3.6, 11.4; Tables 6.11, 17.1}	Relocation; seawalls and storm surge barriers; dune reinforcement; land acquisition and creation of marshlands/wetlands as buffer against sea level rise and flooding; protection of existing natural barriers	Standards and regulations that integrate climate change considerations into design; land-use policies; building codes; insurance	Financial and technological barriers; <i>availability of relocation space; integrated policies and management; synergies with sustainable development goals</i>
Human health {WGII 14.5, Table 10.8}	Heat-health action plans; emergency medical services; improved climate-sensitive disease surveillance and control; safe water and improved sanitation	Public health policies that recognise climate risk; strengthen health services; regional and international cooperation	Limits to human tolerance (vulnerable groups); knowledge limitations; financial capacity; <i>upgraded health services; improved quality of life</i>
Tourism {WGII 12.5, 15.5, 17.5; Table 17.1}	Diversification of tourism attractions and revenues; shifting ski slopes to higher altitudes and glaciers; artificial snow-making	Integrated planning (e.g. carrying capacity; linkages with other sectors); financial incentives, e.g. subsidies and tax credits	Appeal/marketing of new attractions; financial and logistical challenges; potential adverse impact on other sectors (e.g. artificial snow-making may increase energy use); <i>revenues from 'new' attractions; involvement of wider group of stakeholders</i>
Transport {WGII 7.6, 17.2}	Realignment/relocation; design standards and planning for roads, rail and other infrastructure to cope with warming and drainage	Integrating climate change considerations into national transport policy; investment in R&D for special situations, e.g. permafrost areas	Financial and technological barriers; <i>availability of less vulnerable routes; improved technologies and integration with key sectors (e.g. energy)</i>
Energy {WGII 7.4, 16.2}	Strengthening of overhead transmission and distribution infrastructure; underground cabling for utilities; energy efficiency; use of renewable sources; reduced dependence on single sources of energy	National energy policies, regulations, and fiscal and financial incentives to encourage use of alternative sources; incorporating climate change in design standards	Access to viable alternatives; financial and technological barriers; <i>acceptance of new technologies; stimulation of new technologies; use of local resources</i>

Note:
Other examples from many sectors would include early warning systems.

Kebijakan untuk mendukung aplikasi opsi/strategi adaptasi mencakup, a.l. kebijakan penelitian dan pengembangan (R&D), reformasi institusi, reformasi agraria, pelatihan, peningkatan kapasitas, asuransi tanaman, dan insentif finansial. Hambatan yang mungkin timbul: keterbatasan teknik dan finansial, akses terhadap varietas baru, pasar; sedangkan oportunitas yang mungkin muncul mencakup: masa tanam yang lebih lama di wilayah lintang tinggi, dan keuntungan dari produk “baru”

4.2.4. Ringkasan beberapa opsi mitigasi sektoral (IPCC, 2007)

Beberapa pilihan teknologi dan praktek mitigasi pada sektor pertanian (**Tabel 8**) a.l.: peningkatan manajemen tanaman untuk meningkatkan simpanan karbon; restorasi lahan gambut dan lahan terdegradasi; meningkatkan teknik budidaya padi dan manajemen manur untuk menurunkan emisi gas metan, manajemen pemupukan nitrogen untuk menurunkan emisi N₂O, mengembangkan tanaman bioenergi pada lahan yang tidak berkompetisi dengan lahan untuk tanaman pangan, meningkatkan efisiensi energi, dan meningkatkan hasil tanaman.

Tabel 8
Beberapa contoh teknologi mitigasi sektoral, kebijakan dan ukuran tindakan, hambatan dan kesempatan (IPCC, 2007, WGIII)

Sector	Key mitigation technologies and practices currently commercially available. Key mitigation technologies and practices projected to be commercialised before 2050 shown in <i>italics</i> .	Policies, measures and instruments shown to be environmentally effective	Key constraints or opportunities (Normal font = constraints; <i>italics</i> = opportunities)
Energy Supply (WGIII 4.3, 4.4)	Improved supply and distribution efficiency; fuel switching from coal to gas; nuclear power; renewable heat and power (hydropower, solar, wind, geothermal and bioenergy); combined heat and power; early applications of carbon dioxide capture and storage (CCS) (e.g. storage of removed CO ₂ from natural gas); CCS for gas, biomass and coal-fired electricity generating facilities; advanced nuclear power; advanced renewable energy, including tidal and wave energy, concentrating solar, and solar photovoltaics	Reduction of fossil fuel subsidies; taxes or carbon charges on fossil fuels Feed-in tariffs for renewable energy technologies; renewable energy obligations; producer subsidies	Resistance by vested interests may make them difficult to implement <i>May be appropriate to create markets for low-emissions technologies</i>
Transport (WGIII 5.4)	More fuel-efficient vehicles; hybrid vehicles; cleaner diesel vehicles; biofuels; modal shifts from road transport to rail and public transport systems; non-motorised transport (cycling, walking); land-use and transport planning; second generation biofuels; higher efficiency aircraft; advanced electric and hybrid vehicles with more powerful and reliable batteries	Mandatory fuel economy; biofuel blending and CO ₂ standards for road transport Taxes on vehicle purchase, registration, use and motor fuels; road and parking pricing Influence mobility needs through land-use regulations and infrastructure planning; investment in attractive public transport facilities and non-motorised forms of transport	Partial coverage of vehicle fleet may limit effectiveness Effectiveness may drop with higher incomes <i>Particularly appropriate for countries that are building up their transportation systems</i>
Buildings (WGIII 6.5)	Efficient lighting and daylighting; more efficient electrical appliances and heating and cooling devices; improved cook stoves; improved insulation; passive and active solar design for heating and cooling; alternative refrigeration fluids, recovery and recycling of fluorinated gases; integrated design of commercial buildings including technologies, such as intelligent meters that provide feedback and control; solar photovoltaics integrated in buildings	Appliance standards and labelling Building codes and certification Demand-side management programmes Public sector leadership programmes, including procurement Incentives for energy service companies (ESCOs)	Periodic revision of standards needed <i>Attractive for new buildings. Enforcement can be difficult</i> Need for regulations so that utilities may profit <i>Government purchasing can expand demand for energy-efficient products</i> <i>Success factor: Access to third party financing</i>
Industry (WGIII 7.5)	More efficient end-use electrical equipment; heat and power recovery; material recycling and substitution; control of non-CO ₂ gas emissions; and a wide array of process-specific technologies; advanced energy efficiency; CCS for cement, ammonia, and iron manufacture; inert electrodes for aluminium manufacture	Provision of benchmark information; performance standards; subsidies; tax credits Tradable permits Voluntary agreements	<i>May be appropriate to stimulate technology uptake. Stability of national policy important in view of international competitiveness</i> Predictable allocation mechanisms and stable price signals important for investments Success factors include: clear targets, a baseline scenario, third-party involvement in design and review and formal provisions of monitoring, close cooperation between government and industry
Agriculture (WGIII 8.4)	Improved crop and grazing land management to increase soil carbon storage; restoration of cultivated peaty soils and degraded lands; improved rice cultivation technique and livestock and manure management to reduce CH ₄ emissions; improved nitrogen fertiliser application techniques to reduce N ₂ O emissions; dedicated energy crops to replace fossil fuel use; improved energy efficiency; improvements of crop yields	Financial incentives and regulations for improved land management; maintaining soil carbon content; efficient use of fertilisers and irrigation	<i>May encourage synergy with sustainable development and with reducing vulnerability to climate change, thereby overcoming barriers to implementation</i>
Forestry/forests (WGIII 9.4)	Afforestation; reforestation; forest management; reduced deforestation; harvested wood product management; use of forestry products for bioenergy to replace fossil fuel use; tree species improvement to increase biomass productivity and carbon sequestration; improved remote sensing technologies for analysis of vegetation/soil carbon sequestration potential and mapping land-use change	Financial incentives (national and international) to increase forest area; to reduce deforestation and to maintain and manage forests; land-use regulation and enforcement	Constraints include lack of investment capital and land tenure issues. <i>Can help poverty alleviation.</i>
Waste (WGIII 10.4)	Landfill CH ₄ recovery; waste incineration with energy recovery; composting of organic waste; controlled wastewater treatment; recycling and waste minimisation; bioconverters and bioreactors to optimise CH ₄ oxidation	Financial incentives for improved waste and wastewater management Renewable energy incentives or obligations Waste management regulations	<i>May stimulate technology diffusion</i> Local availability of low-cost fuel Most effectively applied at national level with enforcement strategies

Kebijakan yang perlu diambil agar mitigasi berjalan efektif: insentif finansial dan peraturan untuk meningkatkan pengelolaan lahan, menjaga kadar karbon dalam tanah, efisiensi penggunaan pupuk dan irigasi. Oportunitas implementasi: ada rangsangan sinergi dengan pembangunan berkelanjutan dan penurunan kerentanan terhadap perubahan iklim.

Pada tahap sekarang pemanfaatan tanaman (pada sektor pertanian dan kehutanan) sebagai penyerap CO₂ atmosfer merupakan pilihan yang murah dan mudah diterapkan. Kemampuan sektor pertanian sebagai opsi tindakan mitigasi perubahan iklim terutama dikaitkan dengan karakteristik tanaman yang mampu bertindak sebagai penyerap CO₂ melalui proses fotosintesis. Satu kilogram biomassa tanaman yang terbentuk dari hasil fotosintesis tersebut menyerap 1.6 – 2.7 kg CO₂ dari atmosfer sekitar. Sebagai gambaran, produksi biomassa tahunan di daerah tropika untuk tanaman tahunan adalah sekitar 75 – 80 ton/ha/tahun; tanaman pangan sekitar 30 ton/ha/tahun; hutan hujan tropis 35 – 50 ton/ha/tahun (Hall, 1980). Artinya, bila

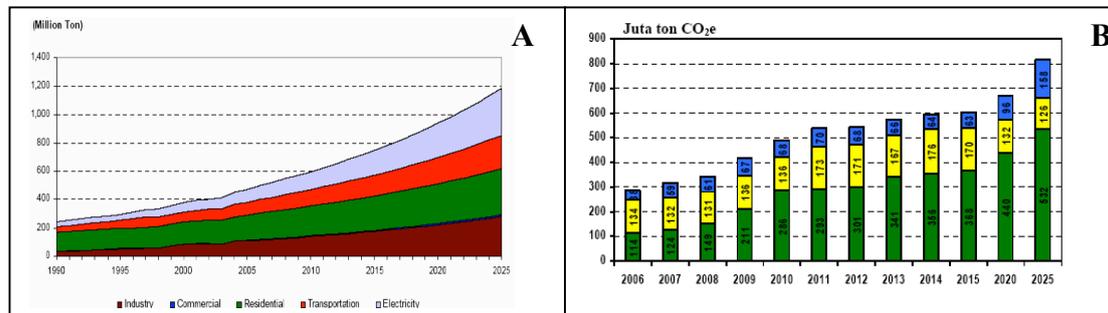
diambil rata-rata 1 kg biomassa \equiv 2 kg CO₂, maka potensi serapan oleh tanaman di wilayah tropika berkisar antara 60 – 160 ton CO₂/ha/tahun

5. ADAPTASI PERUBAHAN IKLIM

5.1. Mitigasi pada Sektor Energi dan LULUCF

Pengertian mitigasi dalam kaitan dengan kajian perubahan iklim adalah suatu tindakan yang bertujuan untuk menurunkan konsentrasi gas-gas rumah kaca di atmosfer. Mitigasi menurut GOI (2007a) adalah suatu usaha untuk menanggulangi atau mencegah terjadinya perubahan iklim yang semakin buruk, sedangkan adaptasi merupakan suatu teknik penyesuaian pola hidup dan sarananya terhadap perubahan iklim. Mitigasi dalam kajian ini dititik beratkan pada sektor energi dan LULUCF

Konsumsi energi di Indonesia sebagian besar bertumpu pada minyak bumi yaitu lebih dari 50%. Gas alam (26%) dan yang terendah adalah jenis energi terbarukan yang baru mencapai 0.2%. Total emisi karbondioksida yang dihasilkan adalah sekitar 258.67 juta ton (GOI, 2007a). Apabila hal ini tidak dikendalikan maka jumlah CO₂ yang akan dilepaskan pada tahun 2025 meningkat menjadi sekitar 1200 juta ton CO₂ (**Gambar 15**), dan untuk mengatasainya melalui upaya bauran energi (mix energy). Jika upaya konversi energi ini berhasil maka pada tahun 2025 jumlah CO₂ yang akan dilepas ke atmosfer sekitar 800 juta ton atau turun sebesar 400 juta ton CO₂.



Gambar 15. Proyeksi emisi CO₂ dari sektor energi tanpa upaya bauran energi (A) dan dengan upaya bauran energi (B) (Sumber: GOI, 2007a)

Upaya konversi energi tersebut dikatakan sebagai upaya mitigasi, dan bentuk upaya yang lain adalah memaksimalkan pemanfaatan energi baru dan terbarukan serta peralihan bahan bakar (fuel switching) dari bahan bakar yang menimbulkan emisi besar ke arah bahan bakar yang lebih bersih. Di negara maju, metode carbon capture and storage (CCS) telah digunakan pada beberapa pembangkit listrik batubara.

Upaya mitigasi berikutnya adalah pada sektor LULUCF. Berdasarkan data Departemen Kehutanan, pada akhir tahun 1960 atau awal 1970-an luas kawasan hutan Indonesia adalah 144 juta ha (GOI, 2007a). Namun, pada beberapa puluh tahun berikutnya kawasan hutan tersebut telah mengalami penyusutan seluas 23.45 juta ha sehingga yang tersisa hanya 120.55 juta ha. Dari luasan tersebut, 53,9 juta ha diantaranya terdegradasi dengan berbagai tingkatan yang tersebar pada hutan konservasi (11,4 juta ha), hutan lindung (17,9 juta ha), dan hutan produksi (24,6 juta

ha) (GOI, 2007a). Tahun kerusakan hutan paling parah di Indonesia adalah pada rentang waktu 1997 hingga 2000 (**Gambar 16**).

Konversi penutupan vegetasi hutan menjadi penggunaan lain akan menyebabkan turunnya kemampuan hutan untuk menyerap karbon dari atmosfer. Penggunaan kayu hutan untuk berbagai keperluan akan menimbulkan limbah kayu dan apabila dibakar akan menyebabkan sejumlah karbon yang tersimpan di dalam kayu dilepas ke atmosfer. Berdasarkan hal tersebut setiap pemanfaatan yang berlebih terhadap hasil hutan yang berupa kayu akan memacu meningkatnya CO₂ di atmosfer.

Upaya untuk mengurangi LULUCF atau mitigasi pada sektor kehutanan dapat dipilah jadi 5 (GOI, 2007a):

- a. Penanggulangan *illegal logging*
- b. Rehabilitasi hutan dan lahan, serta konservasi hutan
- c. Restrukturisasi sektor kehutanan terutama industri dan percepatan pembangunan hutan tanaman (HTI dan HTR)
- d. Pemberdayaan masyarakat di sekitar hutan
- e. Pemantapan status dan batas kawasan hutan

5.2. Adaptasi pada Sektor Sumberdaya air dan Pertanian

Menurut laporan Rencana Aksi Nasional dalam Menghadapi Perubahan Iklim (2007) tindakan adaptasi perubahan iklim melingkupi area atau sektor yang rentan terhadap perubahan iklim yaitu Sumberdaya air, Pertanian, Kelautan-Pesisir-dan Perikanan, Infrastruktur, Kesehatan dan Kehutanan. Khusus pada tulisan ini karena keterbatasan waktu dan bahan maka uraian hanya dititik beratkan pada sektor sumberdaya air dan pertanian.

Agenda adaptasi pada sektor sumberdaya air dan pertanian memiliki tujuan untuk menciptakan sistem pembangunan yang tahan (*resilience*) terhadap guncangan variabilitas iklim saat ini (*anomali iklim*) danantisipasi dampak perubahan iklim di masa yang akan datang. Ada empat isu penting yang harus diperhatikan dalam penyusunan agenda adaptasi yaitu: 1) usaha penanggulangan kemiskinan, 2) pembangunan ekonomi dan sosial, 3) investasi, dan 4) perencanaan tata ruang (GOI, 2007a). Rincian upaya adaptasi pada kedua sektor tersebut dapat dilihat pada sub bagian berikut.

6. UPAYA ADAPTASI PADA SEKTOR SUMBERDAYA AIR

Dari GOI (2007), tujuan yang ingin dicapai dalam agenda adaptasi pada sektor sumberdaya air terhadap perubahan iklim adalah mendukung pencapaian visi air Indonesia yakni “Menuju Terwujudnya Kemanfaatan Air yang Mantap, Berdayaguna, Berhasilguna dan Berkelanjutan bagi Kesejahteraan Seluruh Rakyat.”. Opsi adaptasi yang mungkin dapat dipilih disajikan pada **Tabel 9**.

Tabel 9
Opsi adaptasi perubahan iklim pada sektor sumberdaya air (disusun dan dikembangkan dari data adaptasi yang terdapat pada GOI, 2007a)

Permasalahan/Dampak	Program Adaptasi yang Diusulkan	
	Jangka Pendek	Jangka Panjang
Database sumberdaya	1. Inventarisasi tempat	Tersedianya database

air	<ul style="list-style-type: none"> 2. Melakukan inventarisasi daerah lahan gambut 3. Melakukan penelitian geohidrologi untuk mengetahui cekungan-cekungan air tanah 4. Melakukan monitoring tutupan Lahan pada DAS 	sumberdaya air Indonesia
Diseminasi dampak perubahan iklim pada SDA	<ul style="list-style-type: none"> 1. Upaya pemulihan DAS secara terpadu dan bertahap dengan melibatkan swadaya masyarakat 2. Gerakan hemat air 3. Memasukkan konsepsi dampak perubahan iklim pada kurikulum sekolah formal dan non formal 	Pemahaman tentang dampak perubahan iklim pada sektor sumberdaya air bagi seluruh lapisan masyarakat
Pemutakhiran alat ukur hidrologi	<ul style="list-style-type: none"> 1. Perubahan pola operasi dan pemeliharaan waduk dan bangunan pelengkap/ penunjangnya untuk menyesuaikan dengan perubahan iklim 2. Pengadaan alat hidrologi secara bertahap 3. Memperbaiki jaringan hidrologi 	Tersedianya alat ukur hidrologi yang memadai di DAS besar yang ada di Indonesia
Tenologi sumberdaya air	<ul style="list-style-type: none"> 1. Melaksanakan program pembangunan situ, embung dan waduk 2. Mengembangkan teknologi dam parit 3. Pengembangan teknologi yang dapat memanfaatkan air laut menjadi air yang dapat diminum 	Diterapkannya teknologi sumberdaya air secara berjenjang sesuai dengan skala prioritasnya

7. OPSI ADAPTASI PADA SEKTOR PERTANIAN

Dari GOI (2007a), tujuan yang ingin dicapai dalam agenda adaptasi pada sektor pertanian “terwujudnya sistem pertanian industrial berkelanjutan yang berdayasaing dan mampu menjamin ketahanan pangan dan kesejahteraan petani.”. Opsi adaptasi yang mungkin dapat dipilih disajikan pada **Tabel 10**.

Tabel 10
Opsi adaptasi perubahan iklim pada sektor pertanian (disusun dan dikembangkan dari bahan presentasi R. Hidayati dan R. Boer., 2008)

Permasalahan/Dampak	Program Adaptasi yang Diusulkan	
	Jangka Pendek	Jangka Panjang
Prakiraan Musim oleh BMG lebih cepat dan	1. Peningkatan koordinasi dengan instansi	Prakiraan musim yang akurat dan cepat

dideseminasikan lebih luas	<p>pengelola data dan pemrediksi informasi iklim (BMG dan Lapan)</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. Peningkatan sosialisasi/ diseminasi hasil prediksi iklim pada para petugas di daerah dan para petani 3. Pengembangan sistem peringatan dini menghadapi perubahan iklim dan keadaan iklim ekstrim 	
SLI terpadu dengan SL Pertanian lain	<ol style="list-style-type: none"> 1. Peningkatan sosialisasi/ diseminasi hasil prediksi iklim pada para petugas di daerah dan para petani 2. Terbentuknya SLI di tingkat wilayah kabupaten 	SLI menjadi acuan petani dalam peningkatan produksi pertanian
Kalender tanam yang disesuaikan menurut informasi prakiraan iklim, dan TOT	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sosialisasi cetakbiru pengelolaan banjir dan kekeringan partisipatif 2. Sosialisasi kalender tanam 	Tersusunnya kalender tanam yang akurat
Pengembangan varietas tanaman dan galur ternak yang tahan terhadap iklim ekstrim dan salinitas tinggi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Adopsi teknologi budidaya yang sesuai dari daerah lain 2. Pemanfaatan teknologi benih tahan kering, genangan, dan salinitas 	Semakin beragamnya varietas tanaman dan ternak unggul yang tahan terhadap perubahan iklim
Konservasi air dan pemakaian yang efisien	<ol style="list-style-type: none"> 1. pengembangan usaha konservasi air (panen air dan efisiensi pemanfaatan) 	Ketersediaan air bagi usaha pertanian dan non pertanian dalam kondisi yang cukup dan tepat waktu serta tempat

8. PENUTUP

Data global (IPCC, 2007) menunjukkan terjadinya perubahan iklim dengan indikasi penyebab utama perubahan iklim tersebut adalah peningkatan antropogenik CO₂. Dampak dari perubahan iklim tersebut adalah (1) suhu udara menunjukkan kecenderungan yang semakin meningkat dari tahun ke tahun terutama setelah revolusi industri pada tahun 1880-an, (2) pergeseran waktu awal musim hujan dan perubahan distribusi serta jeluk hujan, (3) peningkatan intensitas kejadian iklim ekstrim, dan (4) kenaikan muka air laut. Analisa para pakar menunjukkan bahwa hampir semua sektor akan terkena dampak perubahan iklim. Menurut laporan Rencana Aksi Nasional dalam Menghadapi Perubahan Iklim (2007) tindakan adaptasi perubahan

iklim melingkupi area atau sektor yang rentan terhadap perubahan iklim yaitu Sumberdaya air, Pertanian, Kelautan-Pesisir-dan Perikanan, Infrastruktur, Kesehatan dan Kehutanan. Agenda adaptasi pada sektor sumberdaya air dan pertanian memiliki tujuan untuk menciptakan sistem pembangunan yang tahan (resilience) terhadap guncangan variabilitas iklim saat ini (anomali iklim) danantisipasi dampak perubahan iklim di masa yang akan datang. Ada empat isu penting yang harus diperhatikan dalam penyusunan agenda adaptasi yaitu: 1) usaha penanggulangan kemiskinan, 2) pembangunan ekonomi dan sosial, 3) investasi, dan 4) perencanaan tata ruang (GOI, 2007a). Dari beberapa opsi adaptasi jangka pendek maupun panjang; keberhasilan implementasinya sangat ditentukan oleh adanya sinergi kebijakan yang mengoptimalkan pemanfaatan oportunitas dan meminimalkan hambatan teknologi, finansial, dan sosiokultural.

PUSTAKA

- Boer, R., Bambang D.D., dan Perdinan. 2003. Dampak Perubahan Iklim dan Tataguna Lahan terhadap Sumberdaya Air DAS Citarum. LIPI 8 Nopember 2003. Bandung.
- Dasanto, B.D. dan S. Rahaju. 2008. Dampak Perubahan Iklim dan Penggunaan/Penutup Lahan terhadap Volume Limpasan Sungai Ciliwung Hulu. Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) Ikatan Geograf Indonesia XI, Tema: Peningkatan Peran Geografi dalam Minimisasi Pemanasan Global, 22-23 November 2008 di Jurusan Geografi FIS UNP. Padang.
- Handoko (Editor). 1993. Klimatologi Dasar: Landasan Pemahaman Fisika Atmosfer dan Unsur-unsur Iklim. Jurusan Geofisika dan Meteorologi FMIPA-IPB. Bogor.
- Hidayati, R. dan R. Boer. 2008. Strategi Adaptasi Pertanian untuk Mengurangi Dampak Perubahan Iklim. Bahan presentasi pada seminar dan Workshop MPThi, Jogjakarta, 28-30 Oktober 2008. Yogyakarta.
- IPCC, 2001. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T.,Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA,
- IPCC, 2007. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
-2007. Technical Summary. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

- Kaimuddin, 2000. Dampak perubahan iklim dan tataguna lahan terhadap keseimbangan air wilayah Sulawesi Selatan: Studi kasus DAS Walanae Hulu dan DAS Saddang. Disertasi Program Pasca Sarjana, IPB, Bogor.
- Kodoatie, R.J. dan R. Sjarief. 2005. Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu. Penerbit ANDI. Yogyakarta.
- Monash University. 2006. Earth System Science and Global Change. Bahan presentasi: Earth System Science Winter School, 10-14 July 2006. Australia.
- Republik Indonesia. 2007A. Rencana Aksi Nasional dalam Menghadapi Perubahan Iklim. Jakarta.
- , 2007B. Indonesia Country Report: Climate Variability and Climate Changes, and Their Implication. Jakarta.
- UNDP Indonesia. 2007. Sisi lain perubahan iklim: Mengapa Indonesia harus beradaptasi untuk melindungi rakyat miskinnya. Jakarta.
- Uusimaa, H. 2008. Climate Change Adaptation. Bahan presentasi : Third Global Congress of Woman in Politics and Governance, 19 Oct 2008. Philippines.
- Koesmaryono, Y. and Impron. 2008. Climate change and prediction of agricultural production. Paper presented at Seminar in Ehime University, Matsuyama, Japan, 17 December 2008.