


Prosiding  
Seminar Nasional, Pertemuan Ilmiah Tahunan XI IGI  
Tahun 2008 di Padang

 SUKABINA Press



**PENINGKATAN PERAN GEOGRAFI DALAM  
MINIMISASI PEMANASAN GLOBAL**

Diselenggarakan oleh Jurusan Geografi  
FIS Universitas Negeri Padang

**Editor:**

Sutarman Karim, Yurni Suasti, Paus Iskarni, Ahyuni

IKATAN GEOGRAF INDONESIA 2009  
CABANG SUMATERA BARAT

**Prosiding  
Seminar Nasional, Pertemuan Ilmiah  
Tahunan XI IGI Tahun 2008 di Padang**

UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA  
NO 19 TAHUN 2002  
TENTANG HAK CIPTA

PASAL 72  
KETENTUAN PIDANA  
SANGSI PELANGGARAN

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu Ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp. 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,00 (lima milyar rupiah)
2. Barang siapa dengan sengaja menyerahkan, menyiarkan, memamerkan, mengedarkan atau menjual umum suatu Ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud dalam ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 500.000,00 (lima ratus juta rupiah)



Prosiding  
Seminar Nasional, Pertemuan Ilmiah Tahunan XI IGI  
Tahun 2008 di Padang

# PENINGKATAN PERAN GEOGRAFI DALAM MINIMISASI PEMANASAN GLOBAL

Diselenggarakan oleh Jurusan Geografi  
FIS Universitas Negeri Padang

Editor:  
Sutarman Karim, Yurni Suasti, Paus Iskarni, Ahyuni

IKATAN GEOGRAF INDONESIA 2009  
CABANG SUMATERA BARAT

Penerbit  
SUKABINA Press



*Prosiding Seminar Nasional. Pertemuan Ilmiah  
Tahunan XI IGI Tahun 2008 di Padang*

Penerbit Sukabina Press, Padang 2009

1 (satu) jilid ; 16,5 x 21cm

944 hal

ISBN : 978-602-8124-24-9

1. Prosiding Seminar

2. Sukabina Press

PERPUSTAKAAN GFM	
TERIMA DARI :	Dozen
REG. :	SUMBANGAN ✓
TGL. : 29/12/2009	PEMBELIAN
TEMPAT :	PERTUKARAN

**PROSIDING SEMINAR NASIONAL, PERTEMUAN ILMIAH TAHUNAN  
XI IGI TAHUN 2008 DI PADANG**

Hak cipta © 2009, pada penulis

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh isi buku ini dengan cara apa pun, termasuk dengan cara penggunaan mesin foto copi, tanpa izin sah dari penerbit

Percetakan	Sukabina
Editor	Sutarman Karim Yurni Suasti Paus Iskarni Ahyuni
Penyusun	Diselenggarakan oleh Jurusan Geografi FIS Universitas Negeri Padang
Layout	Antonius Marbun Tahoma 11
Desain Sampul	Darwin. M

Cetakan Pertama Nofember 2009

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang  
Isi di luar tanggung jawab penerbit dan percetakan

LAPORAN KETUA PANITIA

Assalamualaikum Wr. Wb

Selamat pagi dan salam sejahtera bagi kita semua

YTH :

1. Bapak Rektor dan Pembantu Rektor Universitas Negeri Padang
2. Bapak Menteri Lingkungan Hidup atau yang mewakili
3. Bapak Gubernur Sumatera Barat
4. Bapak Ketua IGI Pusat bersama staf
5. Bapak Wali kota Padang
6. Bapak Dekan dan Pembantu Dekan selingkungan Universitas Negeri Padang
7. Bapak Bakosurtanal
8. Bapak/ibu utusan dari berbagai Perguruan Tinggi di Indonesia
9. Bapak/ibu peserta seminar
10. Hadirin dan hadirat yang berbahagia

Pertama-tama kita ucapkan puji syukur ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karuniaNya, terutama rahmat sehat dan kesempatan, sehingga kita yang datang dari berbagai daerah di Indonesia dapat bertemu pada ruangan ini, dengan maksud dan tujuan yang sama yaitu untuk menghadiri serta mensukseskan Pertemuan Ilmiah Tahunan Ikatan Geograf Indonesia. Kemudian tak lupa kita mengucapkan selawat dan salam kepada Nabi kita Muhammad SAW atas petunjuk beliau kita telah dapat bersatu dan hidup damai serta rukun.

Selamat datang ke Ranah Minang, mudah-mudahan bapak/ibu senang berada di Padang walaupun udara panas, masakan yang pedas-pedas. Pertemuan Ilmiah Tahunan Ikatan Geograf Indonesia (PIT IGI) merupakan kegiatan rutin yang dilakukan oleh para geograf sebagai wadah tukar pikiran dalam rangka ikut memberikan sumbangan bagi pembangunan bangsa. Pertemuan tahunan menjadi ajang pengembangan profesi dan keilmuan geografi. PIT IGI ke-11 ini diselenggarakan di Universitas Negeri Padang Sumatera Barat atas keputusan PIT IGI di Medan tahun lalu. PIT IGI ke-11 tahun 2008 di Padang mengangkat tema "Peningkatan Peran Geograf dalam Minimisasi Pemanasan Global". Peningkatan judul ini dilatar belakangi oleh:



Hal diatas barulah masalah iklim, Belum lagi kita menghadapi masalah – masalah bencana alam yang lain yang sedang melanda negara kita. Di Sumatera Barat pada tahun 2004 sampai sekarang selalu dilanda bencana alam seperti adanya getaran gempa yang mengakibatkan kepanikan masyarakat.

Untuk mendapatkan data dirasakan sangat sulit, BMG hanya memberikan data setengah – setengah tidak secara keseluruhan. Masalah – masalah diatas merupakan masalah Geografi bumi ini. Hal ini adalah pertanyaan besar bagi kita semua. Mengapa manusia begitu serakah sampai merugikan diri sendiri ? manusia hidup dibumi ini memakai semua Sumber Daya Alam yang ada demi pemenuhan kebutuhan hidup kita yang kompleks. Kita bahkan merusak alam demi pemenuhan kebutuhan sehingga menimbulkan bencana bagi kita semua. Contohnya kebiasaan masyarakat yang sering membuang sampah sembarangan dan tidak pada tempatnya yang dapat menjadi masalah besar nantinya seperti bila hujan deras maka saluran air tersumbat yang mengakibatkan banjir.

Tugas kita sebagai pendidik yang berperan penting untuk memperbaiki moral masyarakat khususnya para generasi penerus bangsa. Karena itulah, kita berkumpul disini dalam acara seminar Geografi dengan tema yang kita angkat untuk bisa mensosialisasikan Geografi pada kita semua. Bagaimana agar kita semua dapat menata lingkungan kita ini berbasis Geografi sehingga semua aktivitas yang kita lakukan dapat terlaksana dengan baik tanpa mengorbankan lingkungan. Walaupun menimbulkan dampak, paling tidak hanya sedikit saja dan kita dapat meminimalisasikan dampaknya dan mencegah sebelum terjadi.

Sekali lagi, marilah kita berusaha menjaga alam kita, menjaga lingkungan kita agar lestari dan awet sehingga dapat mencegah atau meminimalisasi dampak dari apa yang disebut dengan Global warming.

Prof. DR. Z.Mawardi Effendi, M.Pd

## DAFTAR ISI

Laporan Ketua Panitia

Sambutan Ketua Umum Ikatan Geograf Indonesia

Sambutan Rektor Universitas Negeri Padang  
Pembukaan PIT IGI XI di Padang

### Daftar Isi

1.	Ubah Perilaku, Cegah Pencemaran & Kerusakan Lingkungan ( <i>keynote speaker</i> ) Menteri Negara Lingkungan Hidup	1
2.	Merespon Perubahan Iklim Global Apresiasi Konsep Mitigasi Dan Adaptasi Suratman Worosupro	17
3.	Urgensi Perencanaan Spasial Untuk Mendukung Pembangunan Wilayah Berwawasan Lingkungan: Minimasi Pemanasan Global Rudolf W. Matindas, Aris Poniman Kertopermono dan Sukendra Martha	25
4.	Skenario Alih Teknologi Adaptasi Dan Mitigasi Dalam Menghadapi Dampak Global Warming Djoko Harmantyo	42
5.	Menuju Sekolah Hijau Dalam Upaya Antisipasi Pemanasan Global Busharman	55
6.	Geography Of Carbon Trade : Model Perhitungan Karbon Terrestrial Dan Aplikasinya di Indonesia Rokhmatulah dan Rudy P. Tambunan	67
7.	Dampak Perubahan Iklim dan Penggunaan/Penutup Lahan Terhadap Volume Limpasan Sungai Ciliwung Hulu	87



Bambang Dwi Dasanto dan Sri Rahaj

8. Ekstraksi Pola Kekeringan Pertanian Pulau Jawa Menggunakan Data Satelit NOAA-18 AVHRR  
Weling Suseno, Rokhmatulah dan Agus Wibowo 115
9. Implikasi Perubahan Iklim Terhadap Pola Pengelolaan Kota  
Rudy P. Tambunan dan Syarifah F. Syaukat 130
10. Kajian Mitigasi Bencana Longsor Lahan Dengan Menggunakan Teknologi Penginderaan Jauh  
Lili Somantri, S.Pd.M.Si 142
11. Kerusakan Hutan Mangrove Dan Usaha Melestarikannya  
Zawirman 152
12. Memahami Fenomena Kebencanaan Melalui Pembelajaran Geografi  
Mamat Ruhimat dan Jupri 168
13. Pemberdayaan Kearifan Lokal Melalui Dunia Pendidikan Sebagai Alternatif Pelestarian Fungsi Lingkungan di Bali  
Ida Bagus Made Astawa 176
14. Pemetaan Isoterm Untuk Penetapan Lokasi Prioritas Pengendalian Suhu Udara di Kota Malang  
Sugeng Utaya 189
15. Penggunaan Teknik Inderaja Untuk Kajian Perkembangan Danau Dan Kerapatan Vegetasinya (Studi Kasus di DTA Rawapening Kabupaten Semarang)  
Tjaturahono Budi Sanjoto 197
16. Permasalahan Keruangan Dalam Pembangunan Propinsi Sumatera Barat dan Implikasinya Terhadap Strategi Pembangunan  
Ahyuni 213

17. Redevelop Sumber Daya Hutan di Lereng Muria  
Eva Banowati 244
18. Dinamika Intrusi Air Laut Untuk Zonifikasi Konservasi Airtanah  
Sriyono 258
19. Analisis Spasial Untuk Perencanaan Kawasan Konservasi Karst  
Tjiong Giok Pin 269
20. Aplikasi Sains Informasi Geografi Untuk Kajian Hutan Kota  
Hartono 281
21. Aspek Evaluasi Kesesuaian Lahan Dalam Perencanaan Pengembangan Kawasan Agrowisata  
Alwi Izmi 289
22. Aplikasi Penginderaan Jauh Dalam Pemetaan Sebaran Potensi Deposit Nikel Laterit di Sorowako, Sulawesi Selatan (Studi Kasus Areal Eksplorasi Tambang PT.Inco,Tbk)  
Alam Primanda, Raldi Hendro Koestoer, Rakhmatuloh, Robby Rafianto 311
23. Identifikasi Bentuk-Bentuk Perubahan Penerapan Konsep THK Dalam Lingkungan Permukiman Perdesaan Skala Meso di Kabupaten Badung  
I Gede Astra Wesnawa 327
24. Kebutuhan Ruang Terbuka Hijau Untuk Perbaikan Iklim Mikro  
Dewi Liesnoor Setyowati 342
25. Dampak Pemanasan Global Terhadap Dinamika Garis Pantai di Kota Padang Sumatera Barat



	Triyatno	
26.	Pemanasan Global : Isu dan Pendekatan Solusinya Arie Yulfa, ST	354
27.	Analisa Perubahan Data-Data Unsur Cuaca Dalam Rangka Mengamati Isu Pemanasan Global di Wilayah Kota Padang Helfia Edial	365
28.	Pembinaan Etika Lingkungan Salah Satu Alternatif Mengurangi Kerusakan Lingkungan Hidup Sunarko	378
29.	Alternatif Kebijakan Sekolah Dalam Mewujudkan Program Go Green School Sebagai Antisipasi Dampak Pemanasan Global Syafri Anwar	403
30.	Efek Rumah Kaca Dalam Perspektif Global Afdhal	409
31.	Upaya Mecegah Degradasi Lingkungan Tropis Dalam Perspektif Geografi Lingkungan (Kasus Hutan Tropis Indonesia) I Gusti Bagus Arjana	418
32.	<i>Green School For My City</i> Sebagai Media Pembelajaran Kontekstual Untuk Meningkatkan Motivasi Belajar Geografi Meminimalkan Dampak Pemanasan Global di SMP Nasional KPS Balikpapan Rr. Umi Chabibah, M.Pd	435
33.	Menanamkan Sikap cinta lingkungan sebagai upaya mengurangi dampak pemanasan global Ernawati	451

34.	Peran Ilmu Geografi Dalam Minimisasi Akibat Kenaikan Paras Laut dan Banjir Dampak Pemanasan Global Ignas Suban Angin	46
35.	Peran Guru Geografi Menciptakan Sekolah Berwawasan Lingkungan Dalam Upaya Meminimalkan Dampak Pemanasan Global Lahmuddin	47
36.	Studi Penataan Pedagang Kaki Lima di Kecamatan Sukoharjo Kabupaten Sukoharjo <i>Study of Pavement Retail Arrangement ("Padangang Kaki Lima") in Sukoharjo at Sukoharjo Regency</i> Priyono, Murtanti, Karyono	48
37.	Pendidikan Lingkungan Hidup (PLH) Dala Membentuk Perilaku Lingkungan Bertanggung Jawab Sri Hayati	50
38.	Sekolah Hijau Penghijauan di Sekolah Dalam Rangka Antisipasi Pemanasan Global Endah Purwaningsih	51
39.	Hilangnya Mangrove Kita Paus Iskarni	531
40.	Kajian penyusutan air danau buyan di Kaldera Gunung Beratan Purba Berdugul Bali Dewa Made Atmaja	551
41.	Manajemen Sumberdaya Pertanian dan Masalah Lingkungan Apik Budi Santoso	564
42.	Prediksi Erosi Yang Diperbolehkan (Edp) dan Degradasi Fisik Tanah Daerah Gunung Padang Sumatera Barat Daswirman	578



	J. Sartohadi, M.A. Setiawan, N.A. Harlin	
59.	Efek Gas Rumah Kaca (GRK) Sebagai Pemicu Global Warming Rahmanelli	864
60.	Mengintensifkan Berpikir Tingkat Tinggi dan Studi Lapangan Dalam Pembelajaran Geografi di Sekolah Menengah Yurni Suasti	881
61.	Model Media Pembelajaran Geografi Suhatri	902
62.	Pengetahuan Tentang Konsep Ekologi dan Sikap Keluarga Terhadap Lingkungan Hidup Pada Perumnas Belimbing Kecamatan Kuranji Kota Padang Surtani dan Reni Elvia	914
63.	Pendidikan Sebagai Sebuah Solusi, Menyikapi Tantangan Pembangunan Berkelanjutan Berwawasan Lingkungan Qori'atu Zahro	923
64.	Emisi Gas Co2 akibat perubahan tutupan lahan tahun 1999 – 2007 di Kabupaten Limapuluh Kota dan Kota Payakumbuh Sumatera Barat Yudi Antomy	929



Kementerian Negara Lingkungan Hidup

## Ubah Perilaku, Cegah Pencemaran & Kerusakan Lingkungan

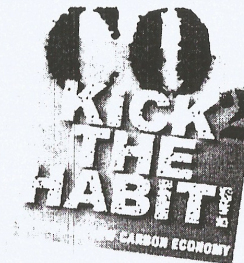
Pertemuan Ilmiah Tahunan IGI IX 2008  
Padang, 22 Nopember 2008

**Addiction is a terrible thing. It consumes and controls us, makes us deny important truths and blinds us to the consequences of our actions. Our society is in the grip of a dangerous greenhouse gas habit.**

Ban Ki-moon, Secretary-General of the United Nations

*Kick the Habit CO2: Towards a Low Carbon Economy* ditetapkan *United Nations Environment Programme (UNEP)* sebagai Tema Hari Lingkungan Hidup 2008

Disesuaikan di Indonesia, Tema Hari Lingkungan Hidup 2008 menjadi **Ubah Perilaku, Cegah Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan Hidup**



# Sengaja dikosongkan

## DAMPAK PERUBAHAN IKLIM DAN PENGGUNAAN/PENUTUP LAHAN TERHADAP VOLUME LIMPASAN SUNGAI CILIWUNG HULU

Bambang Dwi Dasanto<sup>1</sup>  
Sri Rahaju<sup>2</sup>

### Abstract

*IPCC report (2007) shows that global warming especially because of green house gas (GHG) concentration in atmosphere. GRK concentration especially has resulted by a human being activity (anthropogenic), i.e. fossil fuel using and land cover change. Global warming in a long term will result climate change, i.e. air temperature, rainfall and precipitation. DAS Ciliwung has important role to quality of its downstream region. Others, DAS Ciliwung has unique pattern toward climate change and land cover change. Result of model HEC-HMS for prediction year of 2005-2020 shows unique pattern of waterstream. In the year of 2005-2010 waterstream volume will increase. Decreasing of forest land and increasing of settlement cause decreasing land ability to observe precipitation water. Its impact is increasing water surface run off or rate of waterstream from 962.000 m<sup>3</sup> to 1.277.000 m<sup>3</sup>. While, in prediction year of 2015-2020 shows waterstream volume will decrease. Increasing forest land and sttlement will improve land ability to observe precipitation water. Its impact is decreasing water surface runoff or rate of waterstream from 1.147.000 m<sup>3</sup> to 1.145.000 m<sup>3</sup>.*

### I. 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*) atau aktivitas manusia (*anthropogenic*). Gas-gas rumah kaca utama yang

---

<sup>1</sup> Bambang Dwi Dasanto. Laboratorium Klimatologi. Departemen Gefisika dan Meteorologi. Fakultas MIPA. Institut Pertanian Bogor.

<sup>2</sup> Sri Rahaju. Bagian Perencanaan Hutan. Departemen Manajemen Hutan. Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor.



menyebabkan terjadinya pemanasan global, antara lain: karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), nitro oksida (N<sub>2</sub>O) dan halokarbon (sekelompok gas yang mengandung florin, klorin dan bromin). Gas-gas ini berakumulasi di atmosfer dan menunjukkan kecenderungan adanya peningkatan konsentrasi dari tahun ke tahun.

Laporan IPCC terbaru (2007a) 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 (*anthropogenic*) 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.

DAS Ciliwung Hulu merupakan salah satu DAS yang mempunyai peran penting terhadap kualitas aliran air pada wilayah hilirnya. Selain itu DAS Ciliwung Hulu mempunyai pola unik terhadap perubahan iklim dan penggunaan/penutupan lahan. Dalam rangka mendapatkan data dan informasi dampak perubahan iklim dan penggunaan/penutupan lahan di suatu wilayah, maka dilaksanakan penelitian dampak perubahan iklim dan penggunaan/ penutupan lahan terhadap volume limpasan sungai DAS Ciliwung Hulu.

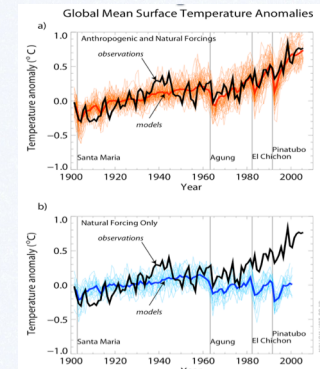
## II. Dampak Pemanasan Global terhadap Pola Hujan di Indonesia

### 2.1. Pemanasan Global, Perubahan Hujan dan Skenario Emisi GRK

#### Pemanasan Global

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 (2007a) 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 1) seperti penggunaan bahan bakar fosil (batu bara, minyak bumi) dan perubahan penggunaan/penutup lahan.



Gambar 1. Perbandingan anomali suhu rata-rata muka bumi akibat aktivitas manusia (*anthropogenic*) dan alami (*natural*) (IPCC, 2007b)

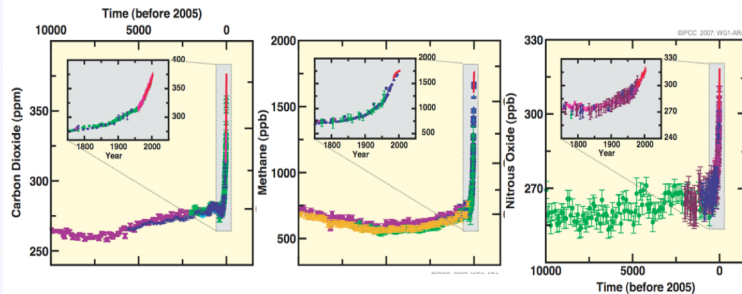
Gas-gas rumah kaca utama (*principal*) yang menyebabkan terjadinya pemanasan global adalah karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), nitro oksida (N<sub>2</sub>O) dan halokarbon (sekelompok gas yang mengandung florin, klorin dan bromin). Gas-gas ini berakumulasi di atmosfer dan menunjukkan 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 2). 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<sub>2</sub> di atmosfer

- Pembabatan hutan menyebabkan terlepasnya CO<sub>2</sub> dan mereduksi jumlah CO<sub>2</sub> yang diserap oleh tanaman. Karbon dioksida juga dilepas dalam proses-proses alami seperti pembusukan unsur-unsur tanaman.
- Kegiatan pertanian, distribusi gas alam dan penimbunan tanah/lahan akan meningkatkan produksi CH<sub>4</sub>. 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<sub>2</sub>O, sedangkan proses alami di tanah dan laut juga akan melepas N<sub>2</sub>O.
- Penggunaan lemari pendingin dan proses industri lain akan meningkatkan jumlah gas halokarbon (CFC-II, HFC-23, CF<sub>4</sub>) di atmosfer, dan gas ini akan menyebabkan deplesi/penyusutan ozon (O<sub>3</sub>) di stratosfer.



Gambar 2. 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 (IPCC, 2007).

Tingginya konsentrasi GRK di atmosfer dianalogikan sebagai selimut tebal yang menghalangi radiasi gelombang panjang yang dipancarkan oleh bumi ke atmosfer. Oleh karena energi gelombang panjang tidak mampu menembus lapisan GRK maka energi tersebut sebagian akan diserap dan dipantulkan kembali ke bumi serta menghangatkan atau meningkatkan suhu muka bumi. Berdasarkan Gambar 2. dan Tabel 1, ditunjukkan bahwa laju pertumbuhan konsentrasi GRK tertinggi di atmosfer adalah CO<sub>2</sub> (1,5 ppm/tahun) sedangkan yang terendah adalah N<sub>2</sub>O (0,8 ppb/tahun atau 0,0008 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 (2007a) 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] GtCO<sub>2</sub>) per tahun dalam tahun 1990-an menjadi 7,2 [6,9-7,5] GtC (26,4 [25,3-27,5] GtCO<sub>2</sub>) 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] GtCO<sub>2</sub>) per tahun dalam tahun 1990-an, meskipun estimasi ini mempunyai ketidakpastian yang tinggi.

Berdasarkan Tabel 1, 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.

Tabel 1. Gas-gas rumah kaca yang dipengaruhi oleh aktivitas manusia (IPCC, 2001)

N <sub>2</sub> O	CFC-11	CO <sub>2</sub> HFC-23 (Carbon Hydro fluoro	CH <sub>4</sub> CF <sub>4</sub> (Methane) (perfluoro-
(Nitrous	(Chlorofluoro		



Oxide)	-carbon-11)	Dioxide) -carbon-23)	methanc)
Pre-industrial concentration	about 270 ppb	about 280ppm	about 700 ppb
Concentration in 1998	zero	zero'	40 ppl
314 ppb	268 ppt	14 ppt	80
ppb			
Rate of concentration		1,5 ppm/lyr'	7.0 ppb/lyr'
0.8 ppb/yr	-1.4 ppt/yr	0.55 ppt/yr	1 ppt/yr
change"			
Atmosl'herk		5 to 200 yr <sup>c</sup>	12 yr <sup>d</sup>
114 yr <sup>d</sup>	45 yr	260 yr	>50.000
yr			

<sup>a</sup> Rate has fluctuated between 0.9 ppm/yr and 2.6 ppm/yr for CO<sub>2</sub> and between 0 and 13 ppb/yr for CH<sub>4</sub> over the period 1900 to 1999.

<sup>b</sup> Rate is calculated over the period 1990 to 1999.

<sup>c</sup> No single lifetime can be defined for CO<sub>2</sub> because of the differer.t ratQS of uptake by different remov£ll procesS09~.

<sup>d</sup> This life time has been defined as an "adjustment time' that takes into account the indirect effect of the gas on its own residence) time.

### Perubahan Iklim

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 perodesitasnya), dan

dekadal (kejadian ekstrim seperti El Nino atau La Nina) adalah tidak termasuk dalam pengertian perubahan iklim.

Laporan IPCC (2007a) menyatakan bahwa pada akhir abad ini bumi telah mengalami 2 kali periode penghangatan atmosfer yaitu pada tahun 1910-1940 (0,35°C) dan 1970-2006 (0,55°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, 2007a). Di wilayah utara, presipitasi yang jatuh pada saat sekarang umumnya lebih banyak yang berbentuk air hujan daripada salju (IPCC, 2007a).

### Skenario emisi GRK

Masalah pokok dalam kajian pemanasan global adalah menduga berapa besarnya emisi gas rumah kaca pada masa yang akan datang. Kesulitan dalam menduga besarnya emisi GRK di masa yang akan datang adalah sama sulitnya dengan menduga besarnya emisi pada masa awal revolusi industri. Hal ini terkait dengan berbagai faktor yang mempengaruhi besar atau kecilnya jumlah GRK yang dilepas ke atmosfer. Faktor-faktor yang mempengaruhi tersebut antara lain pertumbuhan penduduk, perkembangan kondisi sosial-ekonomi, dan perkembangan teknologi. Oleh karena itu, dalam menduga besarnya



emisi sampai tahun 2100, IPCC (2000) telah menyusun beberapa skenario emisi, yaitu A1, A2, B1 dan B2.

Ada empat skenario emisi GRK utama yang disusun oleh IPCC dalam Laporan Khusus tentang skenario emisi atau disebut dengan *Special Report on Emission Scenarios* (SRES). Keempat skenario emisi utama tersebut disusun dengan menggunakan beberapa pendekatan pemodelan sehingga menghasilkan beberapa perkiraan emisi untuk masukan data penentu emisi yang sama. Adapun asumsi-asumsi yang digunakan oleh keempat skenario emisi utama tersebut adalah (IPCC, 2000 dalam Boer, *et.al.*, 2003):

#### 1. Skenario emisi grup A1 (SRESA1)

Skenario ini menggunakan asumsi bahwa pada masa datang pertumbuhan ekonomi berlangsung cepat, populasi global meningkat sampai pertengahan abad 21 dan kemudian menurun dan cepatnya introduksi teknologi baru yang lebih efisien. Selain itu juga diasumsikan bahwa kecenderungan tersebut bersifat homogen dan konvergen sehingga perbedaan pendapatan per kapita antar wilayah menurun dengan cepat. Skenario emisi grup A1 dibagi lagi ke dalam tiga kelompok. Ketiga sub-kelompok tersebut dibagi berdasarkan penekanan pada pemanfaatan teknologi yaitu yang menggunakan energi fosil secara intensif (A1F1), energi non-fosil secara intensif (A1B), dan energi fosil dan non-fosil secara seimbang (A1T).

#### 2. Skenario emisi grup A2 (SRESA2)

Skenario ini menggunakan asumsi bahwa pada masa datang kondisi antar wilayah sangat beragam, dan kerjasama antar wilayah sangat lemah dan cenderung lebih bersifat individu sehingga penurunan tingkat perbedaan antar wilayah berjalan sangat lambat. Pembangunan ekonomi sangat berorientasi wilayah sehingga akan terjadi fragmentasi antar wilayah baik pertumbuhan pendapatan per kapita maupun perubahan teknologi

#### 3. Skenario emisi grup B1 (SRESB1)

Skenario ini menggunakan asumsi sama seperti grup A1. Akan tetapi skenario ini juga mengasumsikan bahwa terjadi perubahan struktur ekonomi yang cepat melalui peningkatan pelayanan dan informasi ekonomi, dengan menurunnya intensitas penggunaan bahan, dan diperkenalkannya teknologi-teknologi yang bersih dan hemat

penggunaan sumberdaya. Jadi skenario ini penekanannya pada penyelesaian masalah global berkaitan dengan ekonomi, sosial dan lingkungan, termasuk peningkatan tingkat kesamaan akan tetap tanpa ada inisiatif khusus berkaitan dengan perubahan iklim.

#### 4. Skenario emisi grup B2 (SRESB2)

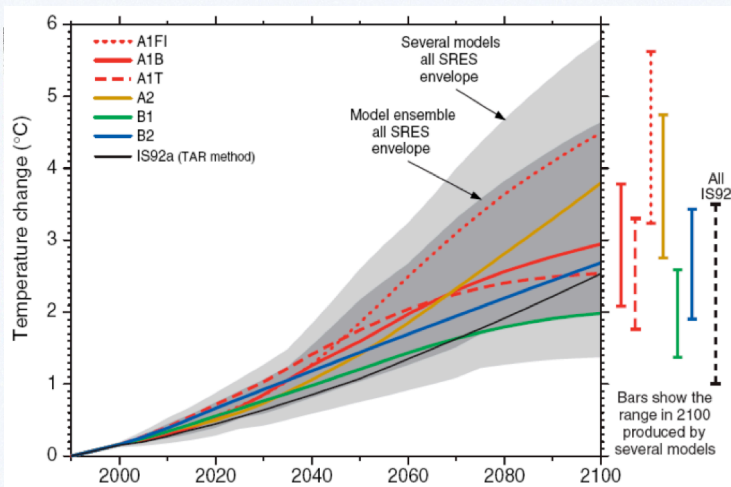
Skenario ini menekankan pada upaya penyelesaian masalah ekonomi, sosial dan lingkungan secara lokal. Populasi global terus meningkat tetapi dengan laju sedikit lebih rendah dari skenario emis grup A2, pembangunan ekonomi pada tingkat sedang, perubaha teknologi sedikit lebih lambat dari B1 dan A1. Skenario ini juga berorientasi pada perlindungan lingkungan dan kesamaan sosia yang difokuskan pada tingkat lokal dan regional.

#### *Suhu*

IPCC (2001) telah menggunakan skenario emisi GRK untuk memproyeksikan perubahan suhu dari tahun 1990 hingga 2100 dibangun dari 35 skenario SRES dan hasil seluruh model menunjukkan *trend* yang sama yaitu terjadinya peningkatan suhu antara 1,4 hingga 5,8°C pada tahun 2100 (Gambar 3).

Pada akhir abad 21 (2100), perubahan suhu tertinggi terjadi pada hasil model yang dibangun dengan skenario SRES A1F1 (4,5°C) sedangkan terendah pada hasil skenario B1 (2,0°C); sedangkan pada awal abad 21 (2020) perubahan suhu dari kedua skenario adalah sama yaitu 0,5°C. Tingginya perubahan suhu pada hasil model SRES A1F1 terkait dengan asumsi yang digunakannya yaitu antara lain populasi penduduk yang tinggi disertai dengan pemanfaatan energi fosil secara intensif. Dampak dari hal ini adalah meningkatnya konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer yang akan diikuti dengan naiknya suhu muka bumi. Namun, hasil model SRES B1 menunjukkan hal yang sebaliknya yaitu hanya 1,5°C lebih tinggi daripada saat awal abad 21. Dalam model SRES B1, asumsi yang digunakan adalah bersifat lebih ramah terhadap lingkungan seperti penggunaan teknologi bersih dan hemat.



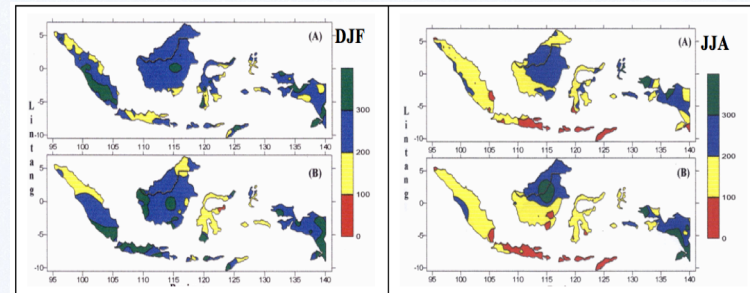


Gambar 3. Proyeksi perubahan suhu permukaan global berdasarkan skenario emisi gas rumah kaca (IPCC, 2001).

Laporan IPCC (2007a) tetap menggunakan skenario SRES untuk memproyeksikan suhu muka bumi pada abad 21 ini. Dalam model tersebut, perubahan suhunya dilihat per dekade yaitu 2020-2029 (awal abad 21) dan 2090-2099 (akhir abad 21) dan dibandingkan secara relatif terhadap suhu pada periode 1980-1999, sedangkan skenario SRES yang digunakan adalah B1, AIB dan A2. Hasil model pada skenario SRES B1 tetap menunjukkan perubahan suhu yang lebih rendah daripada hasil model skenario A2 (Gambar 4). Belahan bumi utara pada akhir abad 21 menunjukkan terjadinya peningkatan suhu yang lebih tinggi daripada belahan bumi selatan. Berdasarkan Gambar 4, diasumsikan bahwa hingga 100 tahun ke depan kawasan industri tetap berada di utara dan kawasan ini merupakan penyumbang GRK terbesar di bumi.

hujan sebesar 10 hingga 20% pada bulan DJF dan 5 hingga 10% pada bulan JJA kecuali Indonesia bagian selatan yang akan mengalami penurunan hujan di atas 5%. Trend perubahan hujan di Indonesia telah mulai tampak sejak periode 1961-1990 terhadap periode 1931-1960.

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).

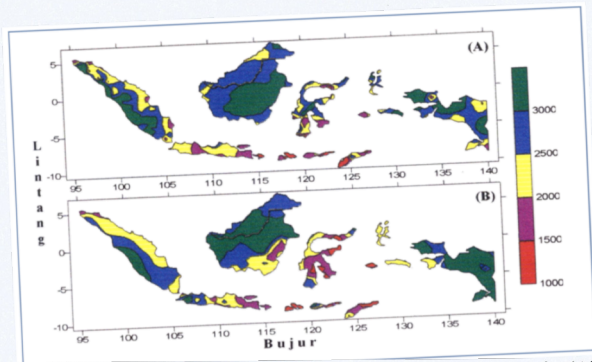


Gambar 6. Rata-rata jeluk hujan bulan DJF dan JJA untuk periode (A) 1931-1960 dan (B) 1961-1990. (Kaimuddin, 2000)

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. Apabila hasil studi ini disandingkan dengan hasil multi-model GCM yang telah dipublikasikan oleh IPCC (2007) maka wilayah Indonesia menunjukkan kecenderungan adanya perubahan jumlah hujan pada musim hujan (DJF) ataupun musim kemarau (JJA). Apabila asumsi yang telah digunakan dalam multi-model GCM tersebut dianggap benar dan diikuti maka *trend* perubahan hujannya semakin meningkat artinya sebagian wilayah mengalami musim hujan yang lebih basah sehingga menimbulkan banjir yang intensitas dan frekuensinya semakin tinggi, sedangkan wilayah lain mengalami musim kemarau yang lebih kering sehingga berdampak pada kekeringan yang semakin panjang dan frekuensinya semakin sering terjadi.



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

### III. Dampak Perubahan Penggunaan/ Penutup Lahan dan Perubahan Hujan terhadap Limpasan Permukaan DAS Ciliwung Hulu

#### 3.1. Metode Analisis

##### Regresi Logistik

Fungsi logistik yang memberikan nilai peluang adanya perubahan penggunaan lahan tertentu jadi penggunaan lahan lain dapat dirumuskan sebagai berikut (Schneider, 2001):

$$p = E(Y) = \frac{\exp(\alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n)}{1 + \exp(\alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n)} \quad \dots \dots \dots (1)$$

di mana  $p$  adalah peluang perubahan penggunaan lahan dalam : atau grid tertentu,  $E(Y)$  adalah nilai biner dari predikitan ya diharapkan,  $\alpha$  adalah suatu konstanta estimasi, dan  $\beta_n$  adalah koefisien untuk tiap prediktor  $X_n$ . Fungsi logistik dapat ditransformasi hingga memiliki respon linier dan bentuk transformasinya adalah (Schneider 2001):

$$p' = \log_e \left( \frac{p}{1-p} \right) \quad \dots \dots \dots (2)$$

sehingga diperoleh persamaan barn (Schneider, 2001):

$$p' = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad \dots \dots \dots (3)$$

Transformasi Persamaan 1 menjadi Persamaan 3 disebut logit atau transformasi logistik (*logistic transformation*) dan umumnya ditul sebagai berikut (Schneider, 2001):

$$\text{Logit}(p) = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad \dots \dots \dots (4)$$

Untuk DAS Ciliwung Hulu, peubah bebas (prediktor) yang digunakan adalah kepadatan penduduk per grid ( $X_1$ ), pendapatan kota per penduduk ( $X_2$ ), rasio jumlah penduduk berpendidikan tinggi terhadap jumlah penduduk berpendidikan dasar per kecamatan ( $X_3$ ) jarak ke penggunaan lahan tertentu yang diprediksi perubahannya ( $X_4$ ) jarak ke jalan raya/utama ( $X_5$ ), dan jarak ke tepi sungai besar ( $X_6$ ) Alasan dipilihnya 6 prediktor tersebut terkait dengan peluang berubahnya suatu penggunaan lahan. Misalnya, kepadatan penduduk yang tinggi diperkirakan sebagai salah satu pendorong adanya perubahan penggunaan lahan tertentu jadi penggunaan lahan lain. Prediktor lain yang juga mendorong hat tersebut adalah jarak ke jalur



raya atau sungai besar, maksudnya semakin dekat dengan jalan raya dan sungai besar maka peluang perubahan penggunaan lahan juga semakin besar.

### Estimasi Limpasan

Berdasarkan nilai fungsi penggunaan lahan, jumlah air presipitasi yang dapat ditransformasi menjadi limpasan sangat bergantung pada kualitas penggunaan/penutup lahan di wilayah itu. Kualitas penggunaan/penutup lahan yang baik mencakup daya tahan vegetasi terhadap serangan hama dan penyakit, komposisi spesies, umur dan kerapatan, struktur vertikal tegakan dan tipe seresah (*litter*) yang menutupi lahan (Okonski, 2007, dengan perubahan). Naik atau turunan kualitas penggunaan/penutup lahan akan berdampak pada besar atau kecilnya perubahan volume limpasan.

Volume limpasan dapat diestimasi dengan metode SCS-CN dibantu dengan perangkat lunak HEC-HMS. Metode SCS-CN menggunakan pendekatan hubungan presipitasi-limpasan. Transformasi presipitasi menjadi limpasan sangat bergantung pada media yang dilaluinya, yaitu jenis penggunaan lahan, teknik konservasi dan sifat fisik tanahnya. Dalam metode SCS-CN, media transformasi tersebut dinyatakan dalam nilai Bilangan Kurva.

Volume limpasan dapat diduga dengan persamaan berikut (McCuen, 1982):

$$Q = \frac{(P - 0,28)^2}{P + 0,8.S} \quad ; \text{ untuk } p > 1_0 \dots\dots\dots(5)$$

$$Q = 0 \quad ; \text{ untuk } p < 1_0 \dots\dots\dots(6)$$

di mana:

Q : volume limpasan (dalam mm)

P : presipitasi (mm)

$1_0$  : abstraksi awal

S : beda potensial maksimum antara tebal curah hujan dan limpasan permukaan

Dalam kajian ini nilai S terkait dengan parameter Bilangan Kurva (*Curve Number, CN*) yang tidak berdimensi dan bergantung atas jenis penggunaan/penutup lahan, jenis tanah, kondisi hidrologi tanah dan tindakan konservasi tanahnya. Kisaran nilai CN adalah 0-100 atau  $CN \in [0,100]$ , sehingga S adalah (McCuen, 1982):

$$S = 25,4 \frac{(1000 - 10)}{CN} \dots\dots\dots(7)$$

### 3.2. Laju Perubahan Penggunaan/Penutup Lahan DAS Ciliwung Hulu

Luas DAS Ciliwung Hulu adalah lebih dari 14.700 ha dan terdiri dari 5 jenis penggunaan lahan (Tabel 2). Selama kurun waktu 11 tahun (1990-2001), laju penyusutan penggunaan lahan hutan adalah 178 ha/tahun. Laju penyusutan berikutnya adalah tegalan, pada tahun 1990 luas tegalan adalah 3.623 ha tetapi pada tahun 2001 menyusut 1% lebih atau tersisa sekitar 3.572 ha.

Selain laju penyusutan maka laju penambahan luas penggunaan lahan terbesar di DAS Ciliwung Hulu adalah pada penggunaan lahan permukiman. Pada tahun 1990, luas permukiman adalah sekitar 217 ha tapi pada tahun 2001 luasnya bertambah jadi 894 ha atau meningkat di atas 300%. Tingginya penambahan penggunaan lahan permukiman yang diikuti oleh sawah dan kebun memaksa jenis penggunaan lahan lain (hutan dan tegalan) untuk mengalami penyusutan.

Tabel 2. Laju Perubahan Penggoaan Lahan DAS Ciliwung Hulu Antara Tahun 1990 dan 2001

No	Penggunaan lahan	Kode	Luas (ha)		Perubahan	
			1990	2001	%	Ha/thn
1	Hutan	Htn	5.166	3.207	-38	- 178
2	Kebun	Kbn	3.377	3.687	+9	+ 28
3	Permukiman	Pmk	217	894	+ 312	+ 62
4	Sawah	Swh	2.384	3.407	+ 43	+



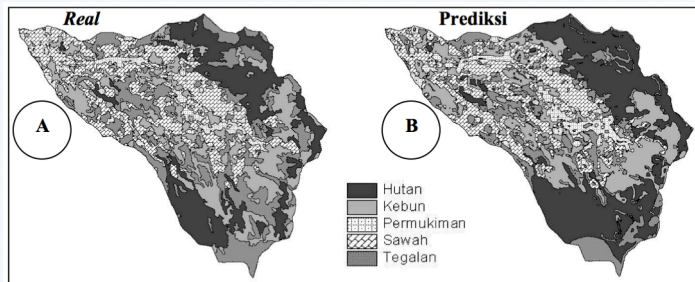
						93
5	tegalan	Tgl	3.623	3.572	-1	-5
			14.768	14.768		

Sumber: Limnologi-LIPI dengan modifikasi, dalam Risyanto (2007)

### 3.3. Proyeksi Perubahan Penggunaan Lahan DAS Ciliwung Hulu

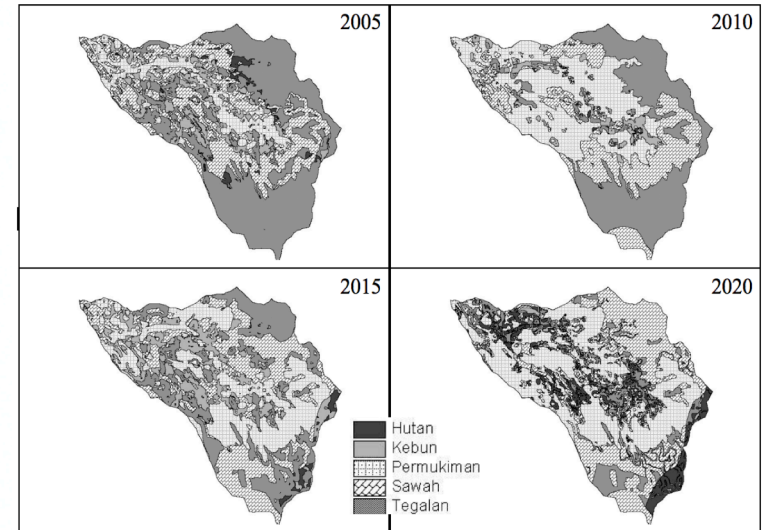
Hasil analisa perubahan penggunaan/penutup lahan DAS Ciliwung Hulu dengan menggunakan regresi logistik diperoleh 17 persamaan. Nilai pseudo-R<sup>2</sup> dari 17 persamaan tersebut berkisar antara 21,7% hingga 81,6% atau rata-rata 51,7%.

Berdasarkan persamaan regresi logistik yang telah diperoleh maka dapat disusun peta prediksi penggunaan lahan DAS Ciliwung Hulu tahun 2001 dan 2005-2020. Hasil uji ketelitian antara peta prediksi (2001) yang diperoleh dengan menggunakan persamaan regresi logistik dan peta penggunaan lahan *real* (2001) adalah 65,5%, artinya luas dan tipe penggunaan lahan dari hasil prediksi memiliki kesamaan sebesar 65,5% terhadap luas dan tipe penggunaan lahan *real* atau yang sesungguhnya (lihat Gambar 8). Oleh karena tingkat ketelitian hasil model telah lebih dari 50% maka peta prediksi hasil model regresi logistik dapat digunakan untuk analisa lebih lanjut.



Gambar 8. Distribusi Penggunaan Lahan DAS Ciliwung Hulu Tahun 2001 *Real* dan *Prediksi* (Sumber: Gambar A dari Limnologi LIPI dengan modifikasi dalam Risyanto(2007); dan Gambar B dari hasil model)

Hasil proyeksi penggunaan lahan DAS Ciliwung Hulu tahun 2005-2020 menunjukkan adanya pola yang khas, yaitu permukiman semakin bertambah luas, hutan semakin menyusut (kecuali setelah 2015), dan tidak teraturnya pola perubahan penggunaan lahan sawah, kebun ataupun tegalan. Detil proyeksi perubahan penggunaan lahan secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 9 dan Tabel 3.



Gambar 9. Proyeksi Penggunaan Lahan DAS Ciliwung Hulu Tahun 2005 - 2020

Tabel 3. Distribusi Penggunaan Lahan DAS Ciliwung Hulu 1990-2020

No	Penggunaan lahan	1990	2001	2005	2010	2015	2020
1	Hutan	5.166	3.207	294	44	198	1.410
2	Kebun	3.377	3.687	1.436	650	1.962	591
3	Permukiman	217	894	2.103	5.137	4.564	5.855
4	Sawah	2.384	3.407	4.105	3.785	4.284	4.787
5	tegalan	3.623	3.572	6.830	5.151	3.760	2.125
		14.768	14.768	14.768	14.768	14.768	14.768



Hasil proyeksi perubahan penggunaan lahan DAS Ciliwung Hulu tahun 2005-2020 dengan menggunakan metode regresi logistik menunjukkan adanya penyusutan dan atau penambahan luas penggunaan lahan. Berdasarkan hal tersebut nilai Bilangan Kurva cenderung mengalami penurunan mulai tahun proyeksi 2005 hingga 2020 kecuali 2010 yang sedikit mengalami kenaikan (lihat Tabel 4).

Tabel 4. Nilai bilangan kurva dan *imperviousness* DAS Ciliwung Hulu untuk Tahun Proyeksi 2005-2020

tahun	CN-1	CN-11	CN-III	Impervious. (%)
2005	62,68	79,73	93,84	8,56
2010	64,29	80,92	94,55	13,70
2015	62,56	79,63	93,78	12,73
2020	60,31	77,76	92,66	14,92

Menurut metode SCS-CN setiap perubahan nilai Bilangan Kurva akan mempengaruhi nilai retensi maksimum potensial dan volume limpasan. Dalam kajian ini volume limpasan telah dihitung dengan menggunakan model HEC-HMS.

### 3.4. Estimasi Volume Limpasan berdasarkan Skenario Perubahan Hujan

#### Skenario 1: Berdasarkan Hujan Referensi

Hasil analisa hujan titik dan analisis frekuensi menunjukkan bahwa hujan harian maksimum untuk periode ulang 5, 10 dan 20 tahun di daerah aliran Sungai Ciliwung Hulu adalah sebesar 94, 108 dan 122 mm. Berdasarkan data hujan harian maksimum tersebut maka distribusi hujan jam-jaman untuk tiap stasiun dapat dilihat pada Tabel 5. Dalam model HEC-HMS, hujan titik yang telah didistribusikan tersebut perlu ditransformasi jadi hujan wilayah dengan metode *gageweight*, dan yang berfungsi sebagai faktor pembobot adalah luasan polygon Thiessen.

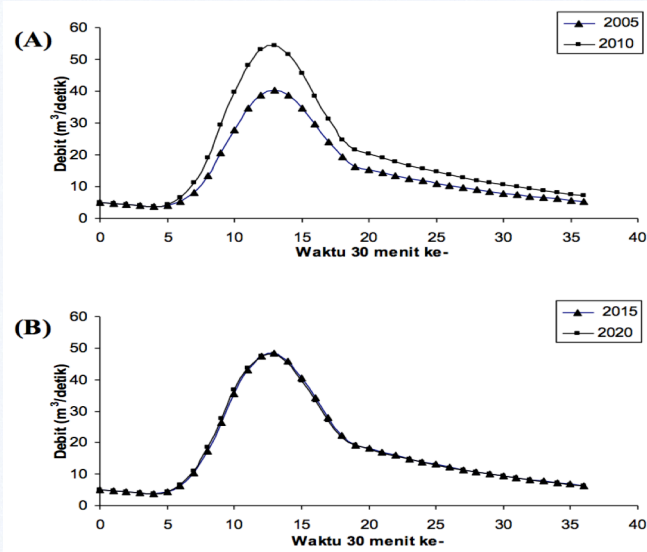
Tabel 5. Distribusi Hujan Harian jam-jaman untuk periode ulang 5, 10 dan 20 tahun

Jam ke	Curah hujan (mm) Periode ulang 5 thn			Curah hujan (mm) Periode ulang 10 tahun			Curah hujan (mm) Periode ulang 20 tahun		
	katula mpa	gnmas	citeko	katula mpa	gnmas	citeko	katula mpa	gnmas	citek o
1	4.82	33.09	-	5.54	38.02	-	6.26	42.94	-
2	2.12	13.96	-	2.43	16.04	-	2.75	18.12	-
3	1.52	4.65	-	1.75	5.35	-	1.98	6.04	-
total	8.46	51.70	33.84	9.72	59.40	38.88	10.98	67.10	43.9 2

Hasil model HEC-HMS untuk tahun prediksi 2005-2020 pada periode ulang 5, 10 dan 20 tahun menunjukkan pola limpasan yang khas. Pada tahun prediksi 2005-2010 untuk periode ulang 5 tahun, volume limpasannya semakin meningkat yaitu dari 962.000 m<sup>3</sup> menjadi 1.277.000 m<sup>3</sup> atau debit puncaknya semakin tinggi (40 jadi 54 m<sup>3</sup>/detik). Namun, pada tahun prediksi 2015-2020 untuk periode ulang yang sama, volume limpasan mengalami penurunan dari 1.147.000 menjadi 1.145.000 m<sup>3</sup> atau debit puncaknya semakin rendah (48,5 jadi 48,0 m<sup>3</sup>/detik) (lihat Gambar 10).

Hasil analisis perubahan penggunaan lahan untuk tahun prediksi 2005-2010, luas lahan hutan mengalami penyusutan yang signifikan yaitu dari 294 ha jadi 44 ha atau menyusut 85%. Namun, pada tahun prediksi yang sama luas lahan permukiman mengalami penambahan yaitu dari 2103 ha jadi 5137 ha atau bertambah 144%. Penyusutan luas lahan hutan dan penambahan luas lahan permukiman tersebut tercermin pada naiknya nilai Bilangan Kurva yaitu dari 80 menjadi 81 (tanpa angka di belakang koma). Peningkatan nilai Bilangan Kurva mengindikasikan adanya penurunan kemampuan lahan untuk menyimpan air presipitasi. Dampak dari hal tersebut adalah berkurangnya volume infiltrasi sehingga meningkatkan volume limpasan permukaan atau mempertinggi debit puncak (lihat Gambar 10 A).





Gambar 10. Hidrograf Aliran DAS Ciliwung Hulu untuk Periode Perubahan Penggunaan Lahan 2005-2010 (A) dan 2015-2020 (B)

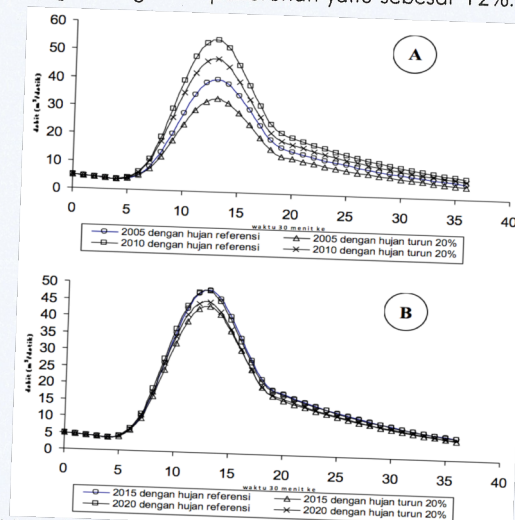
Pada tahun prediksi 2015-2020, lahan permukiman mengalami penambahan luas hanya sebesar 28%. Namun, pada periode kedua ini lahan hutan diprediksikan ada penambahan luas sebesar 198 ha pada tahun 2015 dan 1410 ha pada tahun 2020 atau bertambah 612%. Penambahan luas lahan permukiman yang diikuti dengan penambahan luas lahan hutan yang sangat signifikan tercermin pada turunnya nilai indeks Bilangan Kurva dari 80 menjadi 78 (tanpa angka di belakang koma). Penurunan nilai Bilangan Kurva menandai pulihnya 15 kemampuan lahan untuk menyerap air presipitasi dan meningkatkan volume air infiltrasi ataupun perkolasi. Dampak dari hal ini adalah turunnya volume limpasan ataupun debit puncak (Gambar 10 B).

**Skenario 2: Perubahan Hujan 20% dari Hujan Referensi**

Proyeksi perubahan volume limpasan selanjutnya dihitung berdasarkan kenaikan dan penurunan hujan sebesar 20% dari hujan

referensi, dan diasumsikan penggunaan/penutup lahannya tetap atau sama dengan data pada skenario 1. Besaran perubahan hujan (dalam persen) yang digunakan dalam kajian ini mengikuti hasil multi-model GCM dengan scenario SRES AIB yang terdapat dalam laporan IPCC (2007).

Hasil proyeksi menunjukkan bahwa tahun prediksi 2005 untuk periode ulang 5 tahun, volume limpasannya turun sebesar 16% yaitu dari 962.000 m<sup>3</sup> (debit puncak: 40 m<sup>3</sup>/detik) pada tahun referensi menjadi 817.000 m<sup>3</sup> (33 m<sup>3</sup>/detik) pada tahun skenario penurunan hujan 20% (lihat Gambar 11.A). Pada tahun prediksi 2010 persentase volume limpasannya juga mengalami penurunan yaitu sebesar 12%.



Gambar 11. Hidrograf Aliran DAS Ciliwung Hulu untuk Periode Perubahan Penggunaan Lahan 2005-2010 (A) dan 2015-2020 (B), dan Skenario Penurunan Hujan 20% dari Kondisi Referensi

Gambar 11B menunjukkan bahwa volume limpasan pada tahun proyeksi 2015 dan 2020 juga mengalami penurunan yaitu 9 dan 6%.

Laporan IPCC (2007) memperkirakan bahwa wilayah selatan katulistiwa (termasuk DAS Ciliwung) akan mengalami penurunan hujan



dan diperkirakan pada tahun 2100 penurunannya dapat mencapai 20% atau lebih, namun oleh karena ini sifatnya masih perkiraan maka dalam kajian ini telah dihitung skenario kenaikan hujan 20% dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Proyeksi Debit Puncak DAS Ciliwung Hulu Berdasarkan Skenario Kenaikan dan Penurunan Hujan Sebesar 20 % dari Kondisi Referensi

Skenario Hujan	Debit puncak (m <sup>3</sup> /detik) atau volume limpasan pada tahun							
	2005		2010		2015		2020	
	m <sup>3</sup> /det	(1000 m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup> /det	(1000 m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup> /det	(1000 m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup> /det	(1000 m <sup>3</sup> )
Referensi	40,35	971	54,34	1.287	48,46	1.157	48,09	1.155
+ 20%	54,05	1.273	72,30	1.684	67,08	1.568	67,18	1.576
- 20%	33,25	817	47,50	1.138	43,64	1.052	44,79	1.082

### III. Kesimpulan

- Hasil proyeksi skenario emisi GRK terhadap perubahan suhu tahun 1990 s/d 2100 menunjukkan bahwa seluruh model mempunyai *trend* yang sama yaitu terjadinya peningkatan suhu antara 1,4°C hingga 5,8°C pada tahun 2100
- Pada akhir abad 21 (2100), perubahan suhu tertinggi terjadi pada model skenario A1F1 sebesar 4,5°C sedangkan terendah pada hasil skenario B1 sebesar 2,0°C; sedangkan pada awal abad 21 (2020) perubahan suhu dari kedua skenario adalah sama yaitu 0,5°C. Tingginya perubahan suhu model A1 F1 karena populasi penduduk yang tinggi dan pemanfaatan energi fosil secara intensif. Sementara model B1 menunjukkan hal yang sebaliknya, hal ini dikarenakan pemanfaatan energi bersifat lebih ramah lingkungan seperti penggunaan teknologi bersih dan hemat.
- Hasil proyeksi skenario emisi GRK terhadap presipitasi. Pada bulan Desember-Januari- Februari (DJF) pada daerah lintang rendah (sekitar ekuator), terjadi peningkatan presipitasi sebesar 10 hingga 20%. Pada daerah lintang tinggi terutama di belahan bumi utara (Eropa dan Amerika Utara) akan mengalami peningkatan hujan di atas 20%. Pada bulan Juni-Juli-Agustus (JJA) daerah lintang rendah terjadi peningkatan hujan 5 hingga 10% untuk Asia bagian selatan dan tenggara; sedangkan Amerika Selatan bagian utara dan Afrika bagian tengah terjadi penurunan hujan sekitar 5%. Pada daerah

lintang tinggi di belahan bumi utara (Eropa dan Amerika Utara) akan mengalami peningkatan hujan di atas 5%-10%; sedangkan di belahan bumi selatan akan mengalami peningkatan hujan lebih dari 20%.

- Hasil multi-model GCM periode 2090-2099 terhadap perubahan hujan menunjukkan bahwa Indonesia akan mengalami peningkatan hujan sebesar 10%-20% pada bulan DJF dan 5%-10% pada bulan JJA, kecuali bagian selatan yang akan mengalami penurunan hujan di atas 5%. Trend perubahan hujan di Indonesia telah mulai tampak sejak periode 1961-1990. Pada musim hujan DJF di Indonesia bagian selatan (Jawa Barat, Jawa Tengah dan Lampung) dan sebagian Indonesia timur mengalami peningkatan hujan atau bersifat lebih basah. Sedangkan pada musim kemarau bulan JJA cenderung lebih kering kecuali untuk kawasan Indonesia timur yang mengalami musim kemarau yang basah. 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.
- Hasil proyeksi penggunaan lahan DAS Ciliwung Hulu tahun 2005-2020 menunjukkan adanya pola yang khas, yaitu permukaan semakin bertambah luas, hutan semakin menyusut, dan tidak teraturnya pola perubahan penggunaan lahan sawah, kebun ataupun tegalan.
- Hasil model HEC-HMS untuk tahun 2005-2020 menunjukkan pola limpasan yang khas. Pada tahun prediksi 2005-2010 volume limpasannya semakin meningkat yaitu dari 962.000 m<sup>3</sup> menjadi 1.277.000 m<sup>3</sup> atau debit puncaknya semakin tinggi (40 jadi 54 m<sup>3</sup>/detik). Namun, pada tahun prediksi 2015-2020 volume limpasan mengalami penurunan dari 1.147.000 menjadi 1.145.000 m<sup>3</sup> atau debit puncaknya semakin rendah (48,5 jadi 48,0 m<sup>3</sup>/detik).
- Hasil analisis perubahan penggunaan lahan tahun prediksi 2005-2010, luas lahan hutan mengalami penyusutan dari 294 ha menjadi 44 ha atau menyusut 85%. Namun, pada tahun prediksi yang sama luas lahan permukiman mengalami penambahan dari 2.103 ha menjadi 5.137 ha atau bertambah 144%. Penyusutan luas lahan



hutan dan penambahan luas lahan permukiman mengakibatkan penurunan kemampuan lahan untuk menyimpan air presipitasi. Dampak dari hal ini adalah berkurangnya volume infiltrasi sehingga terjadi peningkatan volume limpasan permukaan atau mempertinggi debit puncak. Pada tahun prediksi 2015-2020, lahan permukiman mengalami penambahan luas hanya sebesar 28%. Namun, pada periode kedua ini lahan hutan diprediksikan ada penambahan luas sebesar 198 ha pada tahun 2015 dan 1.410 ha pada tahun 2020 atau bertambah 612%. Penambahan luas lahan permukiman yang diikuti dengan penambahan luas lahan hutan yang sangat signifikan akan mengakibatkan kemampuan lahan untuk menyerap air presipitasi dan meningkatkan volume air infiltrasi ataupun perkolasi. Dampak dari hal ini adalah penurunan volume limpasan ataupun menurunnya debit puncak.

Daftar Pustaka

- Bambang D.D. dan Risyanto. 2006. Evaluasi Dampak Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Volume Limpasan Studi Kasus: Dk Ciliwung Hulu, Jawa Barat. *Jurnal Agromet Indonesia*. Vol. : No.2. Perhimpni.Indonesia.
- Boer, R, Bambang D.D., dan Perdinan. 2003. Dampak Perubahan Iklim dan Tata guna Lahan. terhadap Sumberdaya Air DAS Citarum LIPI 8 Nopember 2003. Bandung.
- Eastman, J.R, 1999. Idrisi 32 Tutorial. Clark Labs, Clark University, USA
- 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, 2007a. 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.
- IPCC, 2007b. 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.



Kepmen Kehutanan dan Perkebunan, 1999. Penetapan Urutan Prioritas Daerah Aliran Sungai. Departemen Kehutanan dan Perkebunan RI. Jakarta.

McCuen, R.H., 1982. A guide to Hydrologic Analysis Using SCS Methods. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs. New Jersey.

McCuen, R.H., 1982. A guide to Hydrologic Analysis Using SCS Methods. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs. New Jersey. .

Okonski, B., 2007. Hydrological Response to Land Use Changes in Central European Lowland Forest Catchments. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. Vol XV, No 1, P 3-13.

Schneider, L.C. and R. Gil Pontius Jr., 2001. Modeling land-use change in the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 85, p 83-94.

Stolle, F., K.M. Chomitz, E.F. Lambin, and T.P. Tomich, 2003. Land use and vegetation fires in Jambi Province, Sumatra, Indonesia. *Forest Ecology and Management* 179, p 277-292.

US Army Corps of Engineers-Hydrologic Engineering Center. 2005. Hydrologic Modeling System, HEC-HMS (Quick Start Guide).

US Army Corps of Engineers-Hydrologic Engineering Center. 2005. Hydrologic Modeling System, HEC-HMS (User's Manual).