

# SAINS PERUBAHAN IKLIM

2020

## SAINS PERUBAHAN IKLIM

Penyusun:  
Perdinan  
Ahmad Faqih  
Ikrom Mustofa  
Sabilla Cahyaning Janna  
Syafararisa Dian Pratiwi

Copyright © 2020 All Rights Reserved.

Dilarang menggunakan isi maupun memperbanyak buku ini sebagian atau seluruhnya, baik dalam bentuk fotocopy, cetak, microfilm, elektronik maupun bentuk lainnya, kecuali untuk keperluan pendidikan atau non-komersial lainnya dengan menyebutkan sumbernya.

### Cara Mengutip:

Perdinan, Faqih A, Mustofa I, Janna SC, Pratiwi SD. (2020). Sains Perubahan Iklim. Bogor (ID): IPB Press

### ISBN:

Desain halaman muka oleh piarea.co.id  
Penyusunan dan Penerbitan buku ini didukung oleh:



# DAFTAR ISI

<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>0</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>1-3</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>1-5</b>
<b>PENDAHULUAN</b> .....	<b>1-6</b>
<b>1 SISTEM IKLIM BUMI</b> .....	<b>1-10</b>
1.1 PENDAHULUAN .....	1-10
1.2 PEMBAHASAN .....	1-10
1.2.1 Komponen Sistem Iklim Bumi .....	1-10
1.2.2 Siklus Bumi .....	1-18
1.3 DAFTAR PUSTAKA.....	1-26
<b>2 PALEOCLIMATE</b> .....	<b>2-28</b>
2.1 PENDAHULUAN .....	2-28
2.1.1 Latar belakang.....	2-28
2.2 PEMBAHASAN .....	2-28
2.2.1 Penyebab Perubahan Iklim di Masa Lalu .....	2-28
2.2.2 Teori Milankovitch .....	2-29
2.2.3 Isu-isu Paleoclimate .....	2-30
2.2.4 Identifikasi Iklim Masa Lampau .....	2-31
2.2.5 Dampak Perubahan Iklim Masa Lalu.....	2-36
2.2.6 Faktor Musiman .....	2-38
2.3 DAFTAR PUSTAKA.....	2-43
<b>3 VARIABILITAS IKLIM</b> .....	<b>3-45</b>
3.1 PENDAHULUAN .....	3-45
3.1.1 Latar Belakang.....	3-45
3.1.2 Tujuan Penulisan.....	3-45
3.2 PEMBAHASAN .....	3-45
3.2.1 Faktor – Faktor Penyebab Terjadinya Variabilitas Iklim .....	3-45
3.2.2 Mode Variabilitas Iklim Berdasarkan Skala Waktu .....	3-47
3.2.3 Dampak Variabilitas Iklim terhadap Terjadinya Perubahan Iklim .....	3-53
3.2.4 Dampak Variabilitas Iklim terhadap Kejadian Bencana Alam.....	3-54
3.3 PENUTUP .....	3-57
3.3.1 Kesimpulan .....	3-57
3.4 DAFTAR PUSTAKA.....	3-58
<b>4 MODEL IKLIM STATIK DAN DINAMIK</b> .....	<b>4-59</b>

4.1	PENDAHULUAN .....	4-59
4.1.1	Latar belakang.....	4-59
4.2	PEMBAHASAN .....	4-59
4.2.1	Model Iklim Statik .....	4-59
4.2.2	Model Iklim Dinamik.....	4-60
4.2.3	Sejarah Pemodelan Iklim .....	4-61
4.2.4	Global Climate Model .....	4-62
4.2.5	Downscaling.....	4-66
4.2.6	RCM.....	4-67
4.3	DAFTAR PUSTAKA.....	4-69
<b>5</b>	<b>PENGARUH PENINGKATAN GAS RUMAH KACA TERHADAP PEMANASAN GLOBAL.....</b>	<b>5-70</b>
5.1	PENDAHULUAN .....	5-70
5.1.1	Latar Belakang.....	5-70
5.1.2	Tujuan .....	5-71
5.2	PEMBAHASAN .....	5-71
5.2.1	Definisi Pemanasan Global .....	5-71
5.2.2	Beberapa Jenis Gas Rumah Kaca (GRK) Beserta Sumbernya .....	5-72
5.2.3	Proses terjadinya pemanasan global beserta model.....	5-74
5.3	PENUTUP .....	5-83
5.3.1	Kesimpulan .....	5-83
5.4	DAFTAR PUSTAKA.....	5-84
<b>6</b>	<b>KONSTRUKSI SKENARIO GAS RUMAH KACA .....</b>	<b>6-85</b>
6.1	PENDAHULUAN .....	6-85
6.1.1	Latar Belakang.....	6-85
6.1.2	Tujuan .....	6-86
6.2	PEMBAHASAN .....	6-87
6.2.1	Skenario Gas Rumah Kaca.....	6-87
6.2.2	Kontruksi Skenario Perubahan Iklim.....	6-90
6.2.3	Uncertainty (Ketidakpastian) .....	6-92
6.3	PENUTUP .....	6-92
6.3.1	Kesimpulan .....	6-92
6.4	DAFTAR PUSTAKA.....	6-93
<b>7</b>	<b>DATA LAPANG DAN DATA BANGKITAN .....</b>	<b>7-95</b>
7.1	PENDAHULUAN .....	7-95
7.1.1	Latar Belakang.....	7-95
7.1.2	Tujuan .....	7-95

7.2	PEMBAHASAN .....	7-96
7.2.1	Data Lapangan .....	7-96
7.2.2	Data Bangkitan.....	7-105
7.3	PENUTUP .....	7-111
7.3.1	KESIMPULAN .....	7-111
7.4	DAFTAR PUSTAKA.....	7-112
<b>8</b>	<b>DATA GRID, DATA SATELIT, DAN REANALISIS DATA.....</b>	<b>8-113</b>
8.1	DATA GRID.....	8-113
8.2	DATA SATELIT .....	8-118
8.2.1	Data gambar tampak (visible data).....	8-119
8.2.2	Data Inframerah.....	8-119
8.2.3	Satelit TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) .....	8-121
8.2.4	Satelit SRTM (Shuttle Radar Topography Mission).....	8-122
8.3	REANALISIS DATA .....	8-123
8.4	DAFTAR PUSTAKA.....	8-129

# DAFTAR GAMBAR

Gambar 1-1 Proses Climate Risk Management (CRM) untuk menilai kerugian dan kehilangan .....	1-7
Gambar 1-2 Kerangka kerja Comprehensive Climate Risk Management .....	1-8
Gambar 1-3 Pendekatan Comprehensive Climate Risk Management.....	1-8
Gambar 1-4 Siklus karbon .....	1-19
Gambar 1-5 Perubahan 18O dalam jutaan tahun.....	1-19
Gambar 1-6 Proses-proses dalam daur nitrogen.....	1-21
Gambar 2-1 Proses pengambilan sample es.....	2-29
Gambar 2-2 Catastrophisme, Gradualisme, dan Uniformitarianisme .....	2-31
Gambar 2-3 Pertumbuhan lingkaran pohon yang mencatat perubahan iklim di masa lalu (Sumber : Pujiindiyati 2014) .....	2-32
Gambar 2-4 Muir Glacier 13 Agustus 1941 dan Muir Glacier 31 Agustus 2004 .....	2-33
Gambar 2-5 Contoh data dari ice core Perbandingan isotop oksigen, konsentrasi debu dan nitrat (setiap sampel) inti es di Huascarani untuk periode 100 tahun terakhir. Peristiwa ENSO ditandai dengan garis balok. ....	2-34
Gambar 2-6 Peta lokasi rekaman oxygen isotop kora dari (a) Bunaken, (b) Bali, dan (c) Maudung. ....	2-35
Gambar 3-1 Indeks El nino southern oscillation .....	3-48
Gambar 3-2 Indian ocean dipole index .....	3-49
Gambar 3-3 Time-longitude section anomali OLR bulan Agustus sampai Desember 2006. ....	3-51
Gambar 3-4 Pacific Decadal Oscillation index 1900-2008 .....	3-52
Gambar 3-5 Interdecadal pacific oscillation index .....	3-53
Gambar 4-1 Probabilistic forecasts presipitasi di Peru 2011 .....	4-59
Gambar 4-2 Variasi skill model ENSO CLIPER dari beberapa metode .....	4-60
Gambar 4-3 Perbandingan model-model dinamik ENSO Juni 1996-September 1998. ....	4-61
Gambar 4-4 Box model siklus karbon pada masa praindustri .....	4-62
Gambar 4-5 Keseimbangan energi bumi sederhana .....	4-62
Gambar 4-6 Skema Model Atmosfer Global (GFDL NOAA).....	4-63
Gambar 4-7 The Lorenz Butterfly.....	4-63
Gambar 4-8 Perkembangan komponen-komponen model iklim .....	4-64
Gambar 4-9 Fitur-fitur model AOGCM dan ESM dalam CMIP5.....	4-64
Gambar 4-10 Kompleksitas model EMICs di AR5.....	4-65

Gambar 4-11 Sejarah perkembangan model GCM .....	4-65
Gambar 4-12 Konsep dasar downscaling dari data GCM .....	4-66
Gambar 4-13 Data presipitasi bulanan*10 hasil downscaling delta method .....	4-67
Gambar 4-14 Evaluasi model-model GCM dari beberapa parameter iklim.....	4-68
Gambar 4-15 Hindcast anomali suhu rata-rata global dari model iklim dan data observasi .....	4-68
Gambar 5-1 Perbandingan GRK Alami dan GRK Antropogenik.....	5-72
Gambar 5-2 Asumsi mekanisme terjadinya pemanasan global menyerupai permainan pinball .....	5-76
Gambar 5-3 Proses terjadinya pemanasan global.....	5-76
Gambar 5-4 Sektor yang mempengaruhi pemanasan global.....	5-77
Gambar 5-5 Kesetimbangan kenaikan temperatur global dengan konsentrasi CO <sub>2</sub> .....	5-77
Gambar 5-6 Beberapa jenis model pemanasan global .....	5-78
Gambar 5-7 Mencairnya es di kutub akibat pemanasan global .....	5-79
Gambar 5-8 Perubahan trifthgletser di Gadmen Swiss pada tahun 2002-2003 .....	5-79
Gambar 5-9 Perubahan gletser di Alaska pada tahun 1941-2004 .....	5-80
Gambar 6-1 Storyline SRES.....	6-88
Gambar 6-2 Jumlah emisi gas rumah kaca dalam skenario RCP .....	6-89
Gambar 7-1 Lokasi observasi lapang .....	7-96
Gambar 7-2 Perubahan alat pengukuran .....	7-97
Gambar 7-3 Perpindahan lokasi pengamatan .....	7-97
Gambar 7-4 Perubahan metode observasi.....	7-98
Gambar 7-5 Urbanisasi.....	7-98
Gambar 7-6 Hasil Sebaran anomali presipitasi menggunakan data GHCN-M .....	7-102
Gambar 7-7 Hasil Sebaran anomali suhu menggunakan data GHCN-M.....	7-103
Gambar 7-8 Peluang kejadian hujan .....	7-109
Gambar 7-9 Curah hujan rata-rata wilayah Kabupaten Bandung .....	7-110
Gambar 7-10 Karakteristik curah hujan historis dan sintetik Kecamatan .....	7-110
Gambar 8-1 Horizontal data grid.....	8-114
Gambar 8-2 Rata-rata curah hujan di seluruh wilayah menggunakan data TRMM.....	8-121
Gambar 8-3 Anomali curah hujan dari data TRMM .....	8-121
Gambar 8-4 Jalur proyeksi citra satelit SRTM .....	8-122
Gambar 8-5 Peta hasil SRTM .....	8-123
Gambar 8-6 Tren di musim hujan. (Contributed by JFasullo) .....	8-126

Gambar 8-7 Penguapan dikurangi curah hujan di MERRA (atas) dan ERA-Interim (bawah) berdasarkan Tren berthetal. (2011). (Contributed by JFasullo).....	8-127
Gambar 8-8 Diagram Taylor yang menggambarkan pola kesamaan dan deviasi standar untuk tahunan air ERA-Interim berarti precipitable (1989-2001) dibandingkan dengan reanalisis lainnya. [Iklim data Gratis; D.Shea] .....	8-127
Gambar 8-9 Time series (1979-2013) global suhu ERA-Interim 2 meter .....	8-127
Gambar 8-10 Time series (1870-2013) dari Abad ke-20 reanalisis suhu global 2 meter.....	8-128
Gambar 8-11 Perbedaan (ERA-Interim-CFSR) antara suhu rata-rata tahunan untuk 2013 .....	8-128

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 1.1 Klasifikasi kerusakan dan kerugian .....	1-6
Tabel 3.1 Tabel Kekuatan Topan .....	3-55
Tabel 3.2 Tabel Kategori Angin .....	3-55
Tabel 5.1 Sumber Gas Rumah Kaca Antropogenik dan Gas Rumah Kaca Alami.....	5-72
Tabel 5.2 Nilai-nilai waktu tinggal gas rumahkaca di dalam atmosfer .....	5-75
Tabel 6.1 Karakteristik skenario RCP .....	6-89
Tabel 7.1 Penerapan Model-model Pembangkitan Data Curah Hujan Harian Sintetis menurut Srikanthan dan McMahon (2000).....	7-106
Tabel 8.1 Kelebihan dan kekurangan beberapa metode interpolasi.....	8-117
Tabel 8.2 Ringkasan produk reanalisis.....	8-128



# PENDAHULUAN

Secara global risiko terkait cuaca dan iklim, yang berpotensi menyebabkan kerugian dan kerusakan, telah meningkat secara drastis selama beberapa dekade terakhir. Kerugian merupakan dampak negatif terkait yang tidak mungkin dilakukan perbaikan atau restorasi, seperti hilangnya sumber daya air tawar, korban jiwa akibat bencana terkait panas, atau kerusakan permanen terumbu karang. Kerusakan merupakan dampak negatif dalam kaitannya dengan reparasi atau restorasi mana yang dimungkinkan, seperti kerusakan badai angin pada atap bangunan, atau kerusakan hutan mangrove pesisir (UNFCCC 2012). Kerugian dan kerusakan dapat diartikan sebagai dampak dan risiko terkait iklim dari peristiwa ekstrem yang terjadi secara tiba-tiba, seperti banjir dan siklon, dan peristiwa yang terjadi lambat, termasuk kenaikan permukaan laut, retreat glasial, penggurunan, dan lainnya (UNFCCC 2013, 2015). Kerugian dan kerusakan mewakili manifestasi aktual dan/atau potensial dari dampak yang terkait dengan iklim saat ini dan perubahan iklim di masa depan yang berdampak negatif pada manusia dan alam. Kerugian dan kerusakan terjadi pada sistem manusia (kerugian ekonomi dan non ekonomi) serta sistem alam (keanekaragaman hayati). Verheyen and Roderick (2008) mengklasifikasi kerugian dan kerusakan menjadi 3 yaitu *avoided*, *unavoided*, dan *unavoidable* (Tabel 0.1).

Tabel 0.1 Klasifikasi kerusakan dan kerugian

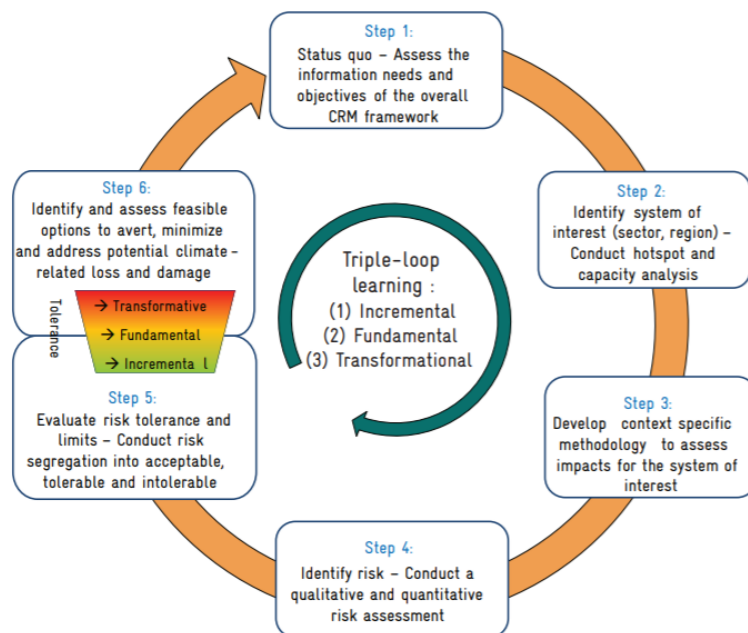
Avoided	Unavoided	Unavoidable
Kerugian dan kerusakan yang dapat dan akan dihindari dengan melakukan tindakan mitigasi dan/atau adaptasi	Kerusakan dan kerugian sedang yang dapat dihindari, akan tetapi tidak akan ditangani dengan langkah-langkah mitigasi dan/atau adaptasi lebih lanjut, walaupun memungkinkan untuk melakukan penghindaran kerusakan dan kerugian. Hal tersebut dikarenakan kendala dalam keuangan, teknis, politik dan preferensi risiko yang mempersempit ruang adaptasi	Kerusakan dan kerugian yang tidak dapat dihindari dan diadaptasi melalui Langkah-langkah mitigasi dan/atau adaptasi lebih lanjut, misalnya <i>slow onset event</i> yang mulai terjadi. Seperti kenaikan permukaan laut dan pencairan gletser

Terdapat beberapa peraturan dan regulasi terkait kerugian dan kerusakan, antara lain pada tingkat internasional berupa *The Warsaw International Mechanism (WIM)* dan *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction (SFDRR)*, sedangkan pada tingkat nasional berupa *Sustainable Development Goals (SDGs)*, *Nationally Determined Contributions (NDC)*, dan Rancangan Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN).

Dalam lingkup internasional semakin banyak pendapat yang menyatakan bahwa adaptasi dan mitigasi mungkin tidak cukup untuk mengelola dampak perubahan iklim, sehingga baik ilmu iklim maupun negosiasi iklim internasional menekankan kebutuhan

mendesak untuk mengembangkan dan menerapkan penilaian risiko dan dampak iklim yang efektif dan pendekatan manajemen untuk mencegah, meminimalkan dan mengatasi kerugian dan kerusakan. GIZ telah mengembangkan kerangka kerja Manajemen Risiko Iklim (CRM) generik (dibangun di atas aplikasi GIZ yang sedang berlangsung, seperti di Tanzania ) yang dapat digunakan untuk menilai dan mengembangkan berbagai tindakan di berbagai tingkat ketika menghadapi kerentanan iklim skala besar serta risiko residual yang dapat berkontribusi terhadap kerugian dan kerusakan nasional. Manajemen risiko iklim (CRM) sebagai kerangka kerja integratif untuk memahami dan mengatasi risiko terkait iklim. Tujuan kerangka kerja dan proses, sejalan dengan salah satu tujuan dari rencana kerja 5 tahun mekanisme Kerugian dan Kerusakan untuk melihat Kerugian dan Kerusakan yang dimasukkan ke dalam kebijakan dan praktik global dan nasional, yaitu untuk mendukung lembaga-lembaga nasional untuk menilai dan menentukan tanggapan mereka terhadap risiko terkait iklim. Manajemen risiko iklim telah menjadi kerangka metodologis yang diterima secara luas untuk menilai dampak potensial dan menyusun strategi untuk adaptasi. Terdapat 6 langkah dalam CRM untuk mengoperasikan manajemen risiko dalam skala besar (Gambar 0-1):

1. Menilai dan menyesuaikan kebutuhan informasi dengan tujuan manajemen risiko.
2. Tentukan Sistem Minat.
3. Kembangkan metodologi khusus konteks.
4. Identifikasi risiko untuk mengidentifikasi risiko terkait iklim tingkat rendah dan tinggi.
5. Evaluasi risiko untuk mengidentifikasi risiko yang dapat diterima, dapat ditoleransi dan tidak dapat ditoleransi.
6. Penilaian opsi manajemen risiko.

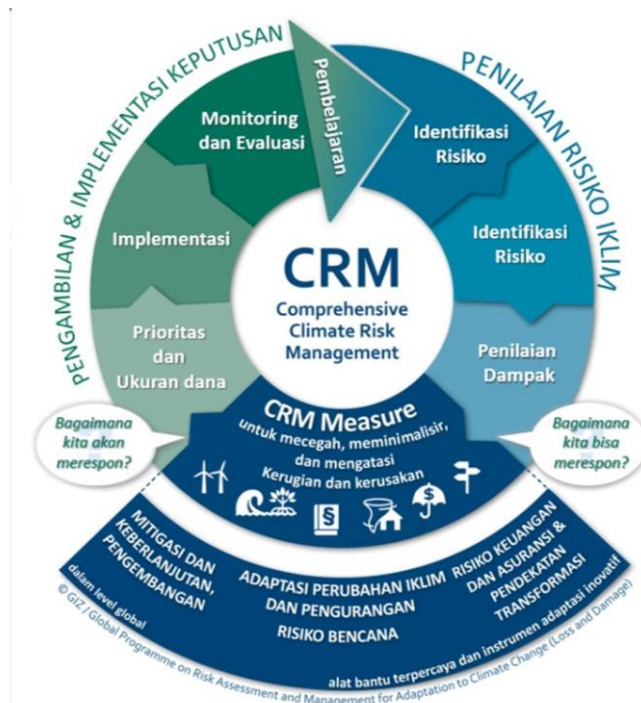


Gambar 0-1 Proses *Climate Risk Management* (CRM) untuk menilai kerugian dan kehilangan

Dalam pengembangannya kerangka Manajemen Risiko Iklim dibuat lebih komprehensif/menyeluruh menjadi Comprehensive Climate Risk Management. Comprehensive CRM atau manajemen resiko iklim komprehensif adalah pendekatan yang

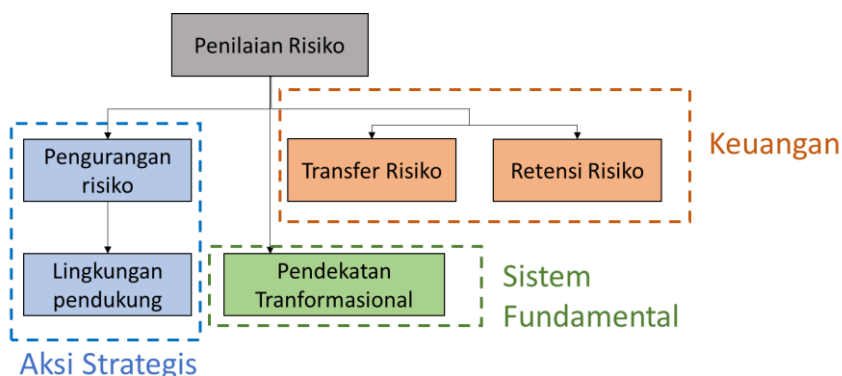
bertujuan untuk mengelola risiko di sepanjang seluruh kontinum risiko, dari peristiwa cuaca ekstrem jangka pendek (ex: badai dan banjir), hingga perubahan bertahap jangka panjang (Contoh: kenaikan permukaan laut dan pembelotan). Comprehensive CRM secara luas dapat didefinisikan sebagai pengurangan, persiapan, dan pembiayaan risiko terkait iklim secara komprehensif, sambil menangani pendorong risiko yang mendasarinya, termasuk faktor terkait iklim dan sosial ekonomi. Kerangka kerja *Comprehensive CRM* terdiri dari :

1. Penilaian risiko iklim
2. Pengukuran CRM
3. Pengambilan dan Implementasi Keputusan



Gambar 0-2 Kerangka kerja *Comprehensive Climate Risk Management*

Ikhtisar pendekatan terhadap manajemen risiko yang komprehensif termasuk, penilaian risiko, pengurangan risiko, transfer risiko keuangan, retensi risiko, pendekatan transformasional, dan lingkungan yang memungkinkan.



Gambar 0-3 Pendekatan *Comprehensive Climate Risk Management*

Tantangan masa depan dalam menyikapi dampak dari perubahan iklim yang menyebabkan kerugian dan kerusakan berpusat pada 2 pilar. Pilar pertama melibatkan penilaian yang lebih komprehensif atas risiko iklim jangka pendek dan jangka panjang di tingkat lokal, nasional dan regional untuk lebih mengurangi risiko terkait iklim. Bidang kegiatan termasuk dukungan untuk penilaian risiko lebih lanjut dan proses desentralisasi *Disaster Risk Management* (DRM) yang sedang berlangsung, integrasi lebih lanjut dari pengurangan risiko bencana (PRB) dan adaptasi perubahan iklim (CCA), pengarusutamaan ke dalam perencanaan ekonomi dan sektoral, dan integrasi proses peringatan dini, terutama di hilir. Pilar kedua menyangkut sumber daya keuangan untuk pelaksanaan kegiatan CCA dan PRB serta pembiayaan bencana.

Tetapi sebelum memahami lebih mendalam terkait kerugian dan kerusakan dalam kaitannya dengan manajemen risiko iklim, perlu terlebih dahulu memahami konsep sains perubahan iklim. Sains perubahan iklim diperlukan sebagai landasan pengetahuan untuk selanjutnya dapat diterapkan dalam implementasi manajemen risiko iklim dalam mengurangi dampak kerugian dan kerusakan akibat perubahan iklim. Hal tersebut sesuai dengan amanat Permen LHK 33/2016 tentang adaptasi perubahan iklim dan Permen LHK 72/2018 tentang Pedoman Kajian Kerentanan, Risiko, dan Dampak Perubahan Iklim yang salah satu poin dalam penyusunan aksi adaptasi perubahan iklim menyangkut analisis/kajian risiko iklim, sehingga sains perubahan iklim perlu untuk dipelajari. Sains perubahan iklim menyangkut sistem iklim bumi, paleoclimate, variabilitas iklim, model iklim statik dan dinamik, pengaruh peningkatan gas rumah kaca terhadap pemanasan global, konstruksi scenario gas rumah kaca, data lapang dan data bangkitan, serta data grid, data satelit, dan reanalisis data.

# 1 SISTEM IKLIM BUMI

## 1.1 PENDAHULUAN

Manusia, hewan, dan tumbuhan hidup dan bernafas di Bumi. Bumi dianggap satu-satunya planet yang bisa ditinggali karena iklim dan atmosfernya yang sesuai. Kesesuaian itu akibat dari suatu sistem yang komponennya terus menerus berinteraksi dan berkontribusi dan disebut Sistem Iklim Bumi.

Ada lima komponen sistem iklim bumi yaitu atmosfer, litosfer, cryosfer, biosfer, dan hidrosfer. Komponen-komponen tersebut berinteraksi akibat adanya radiasi matahari. Radiasi matahari dianggap menjadi faktor utama penggerak sistem iklim Bumi. Sistem iklim bumi adalah sebuah sistem, artinya jika ada perubahan di salah satu komponennya secara tidak langsung akan merubah komponen yang lain.

Fenomena yang mengakibatkan perubahan komponen sistem iklim Bumi salah satunya adalah pemanasan global dan perubahan iklim. Seiring dengan berkembangnya teknologi, manusia sebagai biosfer memiliki banyak aktifitas yang mengeluarkan emisi. Emisi-emisi tersebut terakumulasi dan meningkatkan gas rumah kaca yang berakibat pada pemanasnya Bumi. Pemanasan global ini berakibat pada perubahan iklim dan berakibat pula pada komponen sistem iklim bumi yang lain seperti cryosfer. Cryosfer yang mencair akibat pemanasan global juga mempengaruhi hidrosfer yaitu meningkatnya muka air laut, dan seterusnya.

## 1.2 PEMBAHASAN

### 1.2.1 Komponen Sistem Iklim Bumi

#### 1.2.1.1 Biosfer

Lapisan ini merupakan lapisan dimana terjadi kehidupan antar sesama makhluk hidup yang di pengaruhi oleh berbagai macam faktor dan kondisi lingkungan. Biosfer terdiri dari dua kata bio dan sphere. Bio berarti makhluk hidup dan sphere yang artinya ruang lingkup. Faktor-faktor yang mempengaruhi biosfer biasanya berupa kondisi udara, air, serta daratan yang saling berinteraksi satu sama lain, sehingga mengakibatkan terjadinya kehidupan suatu organisme biotik. Dapat dikatakan komponen abiotik pun turut berpengaruh sebagai wadah lingkungan atau tempat berlangsungnya kehidupan yang meliputi atmosfer, litosfer, dan hidrosfer yang saling berinteraksi membentuk suatu kesatuan/unit berupa lapisan biosfer.

Habitat merupakan suatu tempat yang didiami oleh masing-masing organisme/makhluk hidup untuk tinggal dan bertahan hidup. Lalu dengan menjalin kehidupan atau hubungan timbal balik antara unsur-unsurnya dan makhluk hidup lain akan menciptakan suatu sistem kehidupan yang dinamakan dengan ekosistem. Ekosistem itu sendiri dibagi berdasarkan ekosistem daratan, ekosistem air laut, dan ekosistem air tawar. Secara bersamaan, ekosistem ini membentuk suatu sistem ekologi yang cukup rumit dan kompleks antara tiap-tiap komponennya.

Terdapat beberapa macam faktor yang mempengaruhi persebaran flora dan fauna di muka bumi ini. Beberapa diantaranya adalah kondisi geologi, iklim, ketinggian tempat, dan faktor biotik.

a) Kondisi geologi

Terdapat teori yang mengatakan bahwa bumi ini dulunya merupakan satu buah benua besar yang memiliki satu samudra. Namun akibat adanya gaya endogen yang sangat kuat dari dalam bumi itu sendiri, benua besar ini pun terpecah dan memisah antara satu dengan lainnya yang seringkali disebut dengan puzzle raksasa. Keanekaragaman flora dan fauna di permukaan bumi ini diperkirakan sesuai dengan perkembangan bumi dalam membentuk benua (kontinen) menurut teori "Apungan" dan "Pergeseran Benua" yang disampaikan oleh Alfred Wegener (1880-1930).

b) Iklim

Suhu dan kelembapan udara berpengaruh terhadap proses perkembangan fisik flora dan fauna, sedangkan sinar matahari sangat dibutuhkan oleh tanaman untuk fotosintesis dan metabolisme tubuh bagi beberapa jenis hewan. Angin sangat berperan dalam proses penyerbukan atau bahkan menerbangkan beberapa biji-bijian sehingga berpengaruh langsung terhadap persebaran flora. Kondisi iklim yang berbeda menyebabkan flora dan fauna berbeda pula. Di daerah tropis sangat kaya akan keanekaragaman flora dan fauna, karena pada daerah ini cukup mendapatkan sinar matahari dan hujan, keadaan ini berbeda dengan di daerah gurun. Daerah gurun beriklim kering dan panas, curah hujan sangat sedikit menyebabkan daerah ini sangat minim jenis flora dan faunanya. Flora dan fauna yang hidup di daerah gurun mempunyai daya adaptasi yang khusus agar mampu hidup di daerah tersebut.

c) Ketinggian tempat

Ahli klimatologi dari Jerman yang bernama Junghuhn membagi habitat beberapa tanaman di Indonesia berdasarkan suhu, sehingga didapatkan empat penggolongan iklim sebagai berikut.

1. Wilayah berudara panas (0 - 600 m dpal).  
Suhu wilayah ini antara 23,3 °C - 22 °C. Tanaman yang cocok ditanam di wilayah ini adalah tebu, kelapa, karet, padi, lada, dan buah-buahan.
2. Wilayah berudara sedang (600 - 1.500 m dpal)  
Suhu wilayah ini antara 22 °C - 17,1 °C. Tanaman yang cocok ditanam pada wilayah ini adalah kapas, kopi, cokelat, kina, teh, dan macam-macam sayuran, seperti kentang, tomat, dan kol.
3. Wilayah berudara sejuk (1.500 - 2.500 m dpal)  
Suhu wilayah ini antara 17,1 °C - 11,1 °C. Tanaman yang cocok ditanam pada wilayah ini antara lain sayuran, kopi, teh, dan aneka jenis hutan tanaman industri.
4. Wilayah berudara dingin (lebih 2.500 m dpal)  
Wilayah ini memiliki tanaman yang berjenis pendek. Contohnya, edelweis.

d) Faktor biotik

Sebuah contoh kasus dalam menelaah faktor biotik yakni sebatang pohon beringin, pohon ini merupakan salah satu tanaman yang disukai burung. Burung-burung tersebut memakan biji beringin yang telah matang, lalu burung tersebut tanpa sadar ternyata telah menyebarkan tanaman beringin melalui biji yang masuk ke dalam tubuh burung lalu keluar bersama kotorannya. Pencernaan burung ternyata tidak mampu memecah kulit keras biji-biji tertentu sehingga biji tersebut keluar bersama kotoran. Biji yang keluar bersama kotoran tersebut apabila berada di habitat yang cocok akan tumbuh menjadi tanaman baru.

Faktor biotik lainnya yang kerap kali mengubah bentang alam yang sudah ada dan terbentuk biasanya berupa pola perilaku manusia. Hal ini erat kaitannya dengan *Land Use Change*. Sebagai contoh kawasan hutan lebat yang dipenuhi dengan pepohonan diubah

menjadi lahan pertanian. Lalu tanah yang tandus pun dapat diubah menjadi daerah hijau. Lalu dengan kemajuan teknologinya, manusia bisa menjaga kelestarian dan pengelolaan lingkungan hidup.

### 1.2.1.2 Atmosfer

Komposisi atmosfer di bumi sebagian besar terdiri dari nitrogen yaitu sebanyak 78%.

Table 1.1 Komposisi Atmosfer Bumi

Nama Gas	Simbol Kimia	Volume (%)
Nitrogen	N <sub>2</sub>	78,08
Oksigen	O <sub>2</sub>	20,95
Argon	Ar	0,93
Karbondioksida	CO <sub>2</sub>	0,034
Neon	Ne	0,0018
Helium	He	0,0052
Ozon	O <sub>3</sub>	0,0006
Hidrogen	H <sub>2</sub>	0,00005
Krypton	Kr	0,00011
Metana	CH <sub>4</sub>	0,00015
Xenon	Xe	Sangat kecil

Lapisan atmosfer terdiri dari lima lapisan yaitu troposfer, stratosfer, mesosfer, termosfer, dan ionosfer.

#### a) Troposfer

Lapisan ini berada pada level yang terendah, campuran gasnya paling ideal untuk menopang kehidupan di bumi. Dalam lapisan ini kehidupan terlindung dari sengatan radiasi yang dipancarkan oleh benda-benda langit lain. Dibandingkan dengan lapisan atmosfer yang lain, lapisan ini adalah yang paling tipis (kurang lebih 15 kilometer dari permukaan tanah). Dalam lapisan ini, hampir semua jenis cuaca, perubahan suhu yang mendadak, angin, tekanan dan kelembaban yang kita rasakan sehari-hari berlangsung. Suhu udara pada permukaan air laut sekitar 30 °C, dan semakin naik ke atas, suhu semakin turun. Setiap kenaikan 100 m suhu berkurang 0,61 °C (sesuai dengan Teori Braak). Pada lapisan ini terjadi peristiwa cuaca seperti hujan, angin, musim salju, kemarau, dan sebagainya.

Ketinggian yang paling rendah adalah bagian yang paling hangat dari troposfer, karena permukaan bumi menyerap radiasi panas dari matahari dan menyalurkan panasnya ke udara. Biasanya, jika ketinggian bertambah, suhu udara akan berkurang secara tunak (steady), dari sekitar 17 °C sampai -52 °C. Pada permukaan bumi yang tertentu, seperti daerah pegunungan dan dataran tinggi dapat menyebabkan anomali terhadap gradien suhu tersebut. Diantara stratosfer dan troposfer terdapat lapisan yang disebut lapisan Tropopause, yang membatasi lapisan troposfer dengan stratosfer.

#### b) Stratosfer

Perubahan secara bertahap dari troposfer ke stratosfer dimulai dari ketinggian sekitar 11 km. Suhu di lapisan stratosfer yang paling bawah relatif stabil dan sangat dingin yaitu -700 °F atau sekitar -570 °F. Pada lapisan ini angin yang sangat kencang terjadi dengan pola aliran yang tertentu. Lapisan ini juga merupakan tempat terbangnya pesawat. Awan tinggi jenis cirrus kadang-kadang terjadi di lapisan paling bawah, namun tidak ada pola cuaca yang signifikan yang terjadi pada lapisan ini. Dari bagian tengah stratosfer keatas, pola suhunya berubah menjadi semakin bertambah seiring kenaikan ketinggian. Hal ini dikarenakan bertambahnya lapisan dengan konsentrasi ozon. Lapisan ozon ini menyerap radiasi sinar ultra violet. Suhu pada lapisan ini bisa mencapai sekitar 180 °C pada ketinggian sekitar 40 km. Lapisan stratopause memisahkan stratosfer dengan lapisan berikutnya

c) Mesosfer

Mesosfer adalah lapisan udara ketiga, di mana suhu atmosfer akan berkurang dengan pertambahan ketinggian hingga lapisan keempat, termosfer. Udara yang di sini akan mengakibatkan pergeseran yang berlaku dengan objek yang datang dari angkasa dan menghasilkan suhu yang tinggi. Kebanyakan meteor yang sampai ke bumi terbakar pada lapisan ini. Kurang lebih 25 mil atau 40km di atas permukaan bumi, saat suhunya berkurang dari 290 K hingga 200 K, terdapat lapisan transisi menuju lapisan mesosfer. Pada lapisan ini, suhu kembali turun ketika ketinggian bertambah, hingga menjadi sekitar  $-143^{\circ}\text{C}$  (dekat bagian atas dari lapisan ini, yaitu kurang lebih 81 km di atas permukaan bumi). Suhu serendah ini memungkinkan terjadi awan noctilucent, yang terbentuk dari kristal es. Antara lapisan Mesosfer dan lapisan Atmosfer terdapat lapisan perantara yaitu Mesopause.

d) Termosfer

Transisi dari mesosfer ke termosfer dimulai pada ketinggian sekitar 81 km. Dinamai termosfer karena terjadi kenaikan temperatur yang cukup tinggi pada lapisan ini yaitu sekitar  $1982^{\circ}\text{C}$ . Perubahan ini terjadi karena serapan radiasi sinar ultra violet. Radiasi ini menyebabkan reaksi kimia sehingga membentuk lapisan bermuatan listrik yang dikenal dengan nama ionosfer, yang dapat memantulkan gelombang radio. Sebelum munculnya era satelit, lapisan ini berguna untuk membantu memancarkan gelombang radio.

e) Ionosfer

Lapisan ionosfer yang terbentuk akibat reaksi kimia ini juga merupakan lapisan pelindung bumi dari batu meteor yang berasal dari luar angkasa karena ditarik oleh gravitasi bumi. Pada lapisan ionosfer ini, batu meteor terbakar dan terurai. Jika ukurannya sangat besar dan tidak habis terbakar di lapisan udara ionosfer ini, maka akan jatuh sampai ke permukaan bumi yang disebut Meteorit. Fenomena aurora yang dikenal juga dengan cahaya utara atau cahaya selatan terjadi pada lapisan ini.

### 1.2.1.3 Hidrosfer

Hampir tiga per empat bumi ditutupi oleh air dengan jumlah yang tetap dan hanya mengalami perubahan bentuk. Hal ini terjadi karena air mengalami siklus yang disebut daur hidrologi atau *water cycle*.

Bentangan air yang terdapat di daratan dipelajari dalam ilmu hidrologi. Bentangan air yang terdapat di lautan dipelajari dalam ilmu oceanografi. Bentangan air yang terdapat di atmosfer, yang mempengaruhi iklim dan cuaca, dipelajari dalam ilmu meteorologi dan klimatologi.

a) Perairan Darat

Perairan darat adalah sejumlah air yang terdapat di daratan baik yang mengalir maupun yang tergenang dan juga yang terdapat di permukaan bumi. Yang termasuk perairan darat adalah sungai, air tanah, danau dan rawa.

1. Sungai

Sungai adalah bagian muka bumi yang lebih rendah berupa alur, terbentuk secara alami sebagai tempat air mengalir.

- sungai berdasarkan asal airnya
  - Sungai hujan adalah sungai yang airnya berasal dari air hujan atau mata air.
  - Sungai gletser adalah aliran sungai yang alirannya berasal dari cairan gletser atau es.
  - Sungai campuran adalah sungai yang airnya berasal dari cairan gletser dan air hujan
- sungai berdasarkan keadaan airnya
  - Sungai permanen adalah sungai yang setiap tahun debit airnya tetap.



- Sungai periodic adalah sungai yang airnya tidak tetap sepanjang tahun.
- Sungai intermitten yaitu sungai yang ada airnya apabila ada air hujan saja
- sungai berdasarkan genetiknya atau arah alirannya
  - Sungai konsekwen
  - Sungai subsekwen
  - Sungai obsekwen
  - Sungai resekwen
  - Sungai insekwen
- sungai berdasarkan pola alirannya
  - Pola radial sentripetal
  - Pola radial sentrifugal
  - Pola dendritik
  - Pola trellis
  - Pola rectangular
  - Pola pinnate
  - Pola annular
- sungai berdasarkan type/struktur geologi
  - Sungai antesiden
  - Sungai epigenesa
  - Sungai superposed

## 2. Air Tanah

Air tanah adalah air yang terdapat dalam pori-pori tanah atau terdapat dalam celah-celah batuan. air tanah terbentuk dari air hujan. Pada saat turun hujan, sebagian titik-titik air hujan meresap ke dalam tanah (infiltrasi). Air hujan yang masuk itu menjadi cadangan air tanah.

Besar kecilnya daya serap tanah terhadap air hujan tergantung pada:

- tingkat kelembapan tanah
- tingkat porositas batuan
- tingkat kemiringan lereng

Air tanah dapat dikelompokkan menjadi 2, yaitu:

- berdasarkan letaknya  
berdasarkan letaknya dapat dibagi menjadi 2:
  1. air tanah permukaan (freatik), yaitu air tanah yang terdapat di atas lapisan yang tidak tembus air.
  2. air tanah dalam, yaitu air tanah yang terdapat pada lapisan poreus diantara 2 lapisan yang tidak tembus (kedap air)
- berdasarkan asal airnya  
berdasarkan asal airnya dapat dibagi menjadi 2:
  1. yang berasal dari atmosfer disebut *meteoric water*, yaitu berasal dari hujan dan salju
  2. air tanah yang berasal dari dalam bumi.

## 3. Danau

Danau adalah suatu cekungan atau daerah ledok yang dalam dan terdapat di daratan yang luas di mana cekungan tersebut menjadi tempat berkumpulnya air.

Airnya di dapat dari air hujan, mata air dan air sungai. Danau menurut terjadinya terbagi atas:

- a. danau tektonik
- b. danau vulkanik
- c. danau vulkano-tektonik
- d. danau karst
- e. danau glacial
- f. danau bendungan

## 2) Rawa

Rawa ialah daerah daratan yang rendah yang tergenang air karena pelepasan airnya tempat lain atau ke laut tidak lancar.

Rawa dapat dibagi menjadi 2, yaitu:

- a. rawa yang tergenang air, yaitu air dan permukaan tanah sama tingginya, sehingga airnya asam sekali, tidak dapat diminum dan tidak baik untuk tanaman.
- b. rawa yang mengalami pergantian air.

### 1.2.1.4 Cryosfer

Cryosfer berasal dari bahasa Yunani *kryos* yang artinya dingin. Cryosfer adalah bagian Bumi yang dingin atau tertutup es. Ada dua komponen utama pada Cryosfer yaitu *Continental Ice / Land Ice* dan *Sea Ice*.

*Continental Ice* atau daratan es meliputi Greenland dengan ketebalan kurang lebih 2-3 km, dan Antartika dengan ketebalan hingga 4 km. Lembah gletser yang ada di semua benua kecuali Australia, juga termasuk *continental ice* meskipun ketebalannya hanya berkisar antara 10-100 m.

*Continental ice* terbentuk dari akumulasi salju dan menekan lapisan di bawahnya dari waktu ke waktu. Salju saat musim dingin menumpuk dan terakumulasi sehingga saat musim dingin ketebalan cryosfer meningkat. Sedangkan saat musim panas, es yang meleleh akan mengisi ruang kosong di dalam lapisan es di bawahnya dan kemudian membeku dengan sendirinya. Ketebalan cryosfer saat musim panas cenderung menipis. Saat musim panas, ada lapisan es yang di dekat perairan akan memisah dan mengapung di perairan. Es ini disebut dengan *shelf ice* yang terus menerus akan meleleh saat mengapung.

### 1.2.1.5 Litosfer

Litosfer merupakan bagian bumi yang padat berfungsi sebagai pembungkus meliputi kerak samudra dan benua. Litosfer disebut juga sebagai lapisan kulit bumi. Kata Litosfer berasal dari bahasa Yunani yaitu *lithos* yang artinya batuan dan *sphere* yang artinya lapisan. Unsur penyusun litosfer adalah oksigen (46,6%), silikon (27,7%), aluminium (8,1%), besi (5%), kalsium (3,6%), natrium (2,8%), dan magnesium (2,1%).

Adapun bumi, terdiri dari beberapa bagian yaitu:

#### A. Kerak Bumi

Merupakan lapisan paling luar dari bumi terdiri dari kera benua (kandungan lapisan sial dan lapisan sial) dan kerak samudra (kandungan sima) dengan ketebalan Antara 15-40 km dan bergerak karena berada di atas Astenosfer (cairan pekat). Lapisan moho ditemukan diantara kerak bumi dan di atas mantel bumi.

#### B. Mantel Bumi

Memiliki 2 bagian yaitu mantel atas dan mantel bawah dipisahkan oleh lapisan peralihan dengan ketebalan 500 km. Mantel atas : Terletak Antara 40-400 km di bawah kerak bumi, tersusun dr batuan ultra basa dan mineral dengan densitas batuan Antara 3,3-

4,3 g/cm<sup>3</sup> . Mantel bawah : Terletak Antara 900-2700 km di bawah kerak bumi, tersusun dari senyawa MgO, SiO<sub>2</sub> dengan densitas Antara 4,5-5,5 g/cm<sup>3</sup> . Antara mantel dan inti luar terdapat lapisan peralihan setebal 80 km.

### C. Inti Bumi

Disusun oleh 3 bagian luar lapisan peralihan dan inti dalam. Inti luar berupa cairan pekat terletak Antara 2880-4980 km dari kerak bumi dengan densitas Antara 10-12,3 g/cm<sup>3</sup> tersusun oleh besi dan nikel cair dan diduga sebagai penyebab adanya medan magnet. Inti dalam berupa cairan lebih pekat terletak Antara 5120-6371 km dari kerak bumi dengan densitas Antara 13,3-13,6 g/cm<sup>3</sup> tersusun oleh besi dan nikel cair dengan suhu 2200-2750oC.

Kevariasian bentuk muka bumi disebabkan oleh proses endogen yang berasal dari dalam bumi dan bersifat membangun, serta proses eksogenik yang berasal dari luar dan memiliki sifat merombak. Adapun beberapa tenaga endogen dan eksogen adalah:

#### a) Endogen

- Tektonisme:

Merupakan perubahan letak lapisan kulit bumi yang disebabkan oleh tenaga endogen dengan arah horizontal dan vertical. Gerak horizontal bergerak 1 arah dan tertahan oleh lapisan lain akan membentuk lipatan di permukaan bumi. Puncak lipatan disebut antiklinal, sedangkan lembah dari lipatan disebut sinklinal. Sedangkan, gerak vertikal menghasilkan bentuk muka bumi yang berupa patahan

- Vulkanisme

Merupakan peristiwa yang berhubungan dengan pembentukan gunung berapi & pergerakan magma dari dalam perut bumi ke permukaan.

Vulkanisme Terdiri dari 2 macam:

1. Intrusi magma adalah aktivitas magma yang tidak sampai ke permukaan bumi.

Akibatnya :

- Batolit, dapur magma yang luasnya lebih dari 100 km<sup>2</sup>
- Lakolit, magma yang menyusup diantara 2 lapisan batuan yang menyebabkan lapisan batuan di atasnya terangkay sehingga cembung, sedangkan alasnya rata
- Sill, lapisan magma tipis yang menyusup di antara batuan lapisan, bentuknya pipih
- Intrusi korok (gang), magma yang menyusup menerobos lapisan batuan
- Apofisis, semacam intrusi korok, namun lebih kecil, merupakan cabang dari gang
- Diatrema, magma (batuan) yang mengisi pipa letusan (pipa kawah)

2. Ekstrusi magma adalah aktivitas magma yang sampai ke permukaan bumi, menghasilkan gunung api. Hasilnya yaitu erupsi

Dilihat dari bentuknya:

- Erupsi sentral: Gerakan magma yang keluar dari sebuah saluran magma. Menghasilkan bermacam-macam bentuk gunung api.
- Penyebab gunung api meletus: Tekanan di bawah tanah bertambah hingga memaksa magma naik dan keluar melalui retakan pada permukaan bumi. Magma yang memancar melalui permukaan bersama batu, debu, dan gas disebut lava

Menurut wujudnya, material yang dikeluarkan oleh letusan gunung api:

- Padat : bom, lapilli, pasir vulkanik, abu vulkanik, batu apung
- Cair : lava, lahar

- Gas : Nitrogen, karbondioksida, karbonmonoksida
- Adapun daerah pegunungan berapi di dunia adalah :
  - Sirkum pasifik : Kep. Aleut - semenanjung Kamchatka - Kep. Jepang - Taiwan - Filipina - Sangir Talaud - Sulawesi Utara - Halmahera - Papua - Selandia baru - Peg. Andes
  - Sirkum mediterania : Laut mediterania - Peg. Atlas - Kaukasus - Himalaya - Arakan Yoma - Busur dalam dan busur luar di Indonesia

- Gempa bumi

Merupakan gerakan/getaran di permukaan bumi yang berasal dari lapisan-lapisan bumi

Berdasarkan peristiwa yang menyebabkan :

- Gempa tektonik : Gempa yang disebabkan gerakan tektonik berupa retakan/patahan. Terkuat, areal luas
- Gempa vulkanik : Gempa yang terjadi karena letusan gunung api. Kurang kuat, hanya terasa di daerah sekitar gunung tersebut
- Gempa runtuh (terban) : Runtuhnya atap gua yang terdapat dalam litosfer seperti gua kapur, dan terowongan tambang

Berdasarkan letak/kedalaman hiposentrumnya :

- Gempa dalam : 300-700 km
- Gempa menengah : 100-300 km
- Gempa dangkal : Kurang dari 100 km

b) Eksogen

- Erosi

Merupakan proses pelepasan dan pemindahan massa batuan secara alamiah dari suatu tempat ke tempat lain oleh suatu zat pengangkut yang bergerak di permukaan bumi. Menurut zat pelarutnya erosi terdiri dari : Erosi air, angin, es, air laut (abrasi). Bentuk tanah yang diakibatkan oleh erosi berupa : Cliff, relung, dataran abrasi, ngarai, dan batu jamur.

- Sedimentasi :

Merupakan proses pengendapan batuan/tanah yang dilakukan oleh air, angin, dan es.

Digolongkan menjadi 3 jenis :

- a) Sedimentasi fluvial: Proses pengendapan materi yang diangkut oleh air sepanjang aliran sungai. Bentuk lahan hasil sedimentasi fluvial :
  - Delta : Endapan pasir, lumpur, & kerikil yang terdapat di muara sungai
  - Bantaran sungai : Daratan yang terdapat di tengah-tengah badan sungai/pada kelokan dalam sungai sebagai hasil endapan
- b) Sedimen eolis (terrestrial) : Di daerah gurun/pantai
- c) Sedimen marin: Proses pengendapan yang dilakukan oleh gelombang laut yang terdapat di sepanjang pantai. Bentuk alam dari sedimen marin : bisik, bar, dan tombolo

Berikut merupakan jenis batuan dan proses terjadinya:

1. Batuan beku: Dari magma yang mengalami proses pendinginan, kemudian membeku, contoh dari batuan beku adalah batu granit, granit porfir, dan batu andesit.

2. Batuan sedimen: Batuan beku yang tersingkap di permukaan bumi akan mengalami penghancuran (pelapukan) oleh cuaca, kemudian diangkut oleh tenaga alam seperti air, angin, atau gletser dan diendapkan di tempat lain contoh dari batuan sedimen adalah breksi, konglomerat, batu pasir, batu lanau, dan batu lempung
3. Batuan metamorf: Batuan hasil ubahan dari batuan asal akibat proses metamorfosis, yaitu suatu proses yang dialami batuan asal akibat tekanan dan suhu yang sama-sama meningkat. Contoh dari batuan metamorf adalah batu marmer, batu lumpur, batu tulis.

## **1.2.2 Siklus Bumi**

### **1.2.2.1 Siklus Fosfor**

Di alam, fosfor terdapat dalam dua bentuk, yaitu senyawa fosfat organik (pada tumbuhan dan hewan) dan senyawa fosfat anorganik (pada air dan tanah). Fosfat organik dari hewan dan tumbuhan yang mati diuraikan oleh dekomposer (pengurai) menjadi fosfat anorganik. Fosfat anorganik yang terlarut di air tanah atau air laut akan terkikis dan mengendap di sedimen laut. Oleh karena itu, fosfat banyak terdapat di batu karang dan fosil. Fosfat dari batu dan fosil terkikis dan membentuk fosfat anorganik terlarut di air tanah dan laut. Fosfat anorganik ini kemudian akan diserap oleh akar tumbuhan lagi. Siklus ini berulang terus menerus.

### **1.2.2.2 Siklus Karbon**

Karbon adalah elemen yang dapat ditemukan di seluruh dunia dan di setiap benda hidup. Oksigen merupakan elemen lain yang ada di udara yang kita hirup. Saat karbon dan oksigen berikatan, akan membentuk suatu yang tidak berwarna, tidak berbau yang disebut karbon dioksida, yang merupakan penahan panas dari gas rumah kaca. Ketika kita membakar bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak, dan gas alam, kita memproduksi karbon dioksida.

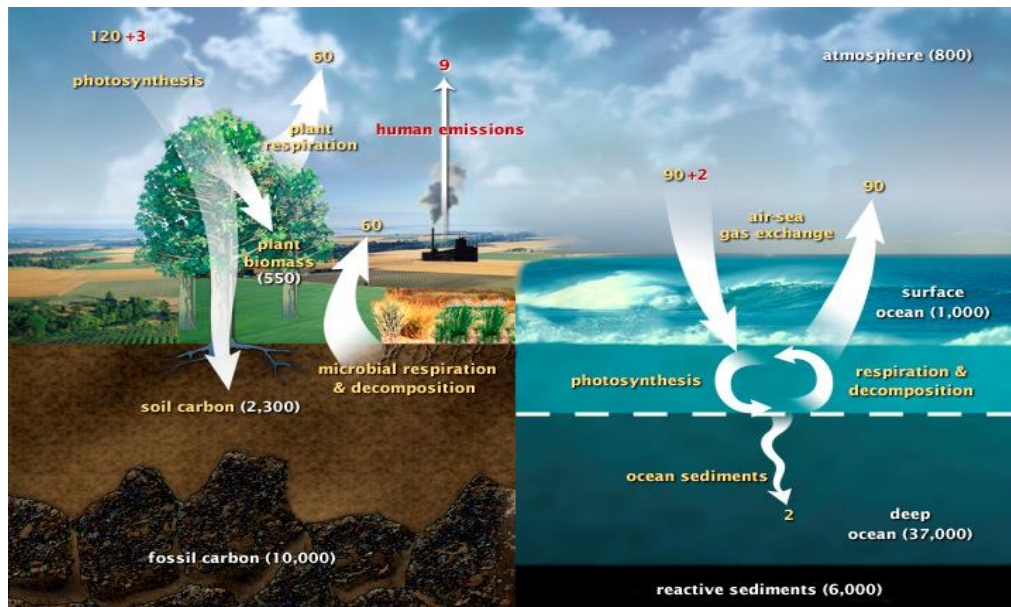
Atmosfer bukan hanya bagian dari Bumi yang mengandung karbon. Lautan menyimpan sejumlah besar karbon, begitu pula tumbuhan, tanah dan lapisan batu bara, minyak, dan gas alam di dalam tanah. Karbon secara alami berpindah dari satu bagian Bumi ke bagian lainnya melalui siklus karbon. Tetapi sekarang, manusia menambah jumlah karbon ke atmosfer oleh pembakaran bahan bakar fosil (dalam bentuk karbon dioksida), lebih cepat dari proses alam untuk menghilangkannya. Maka dari itu, mengapa sejumlah besar karbon dioksida meningkat di atmosfer, yang dapat menyebabkan perubahan iklim global.

Siklus karbon adalah proses kompleks melewati semua bentuk karbon dalam rotasi. Kayu yang terbakar dalam waktu beberapa dekade yang lalu dapat memproduksi karbon dioksida melalui fotosintesis menjadi bagian dari tanaman. Saat kita memakan tanaman tersebut, karbon yang sama dari kayu yang telah terbakar akan menjadi bagian dari kita. Siklus karbon merupakan penggunaan karbon ulang secara alami dalam jumlah yang besar. Sayangnya, tanpa fungsi siklus karbon yang tepat, setiap aspek dalam hidup dapat berubah drastis.

Karbon adalah tulang punggung bagi kehidupan di Bumi. Kita tercipta dari karbon, kita mengonsumsi karbon, dan masyarakat kita (ekonomi, rumah, transportasi) terbentuk dari karbon. Kita membutuhkan karbon, tapi tidak hanya berupa menjalin dengan satu masalah paling serius saat ini : perubahan iklim global.

Karbon mengalir antara penyimpanan dalam pertukaran yang disebut siklus karbon, yang terdiri dari komponen cepat dan lambat. Perubahan karbon yang keluar dari suatu

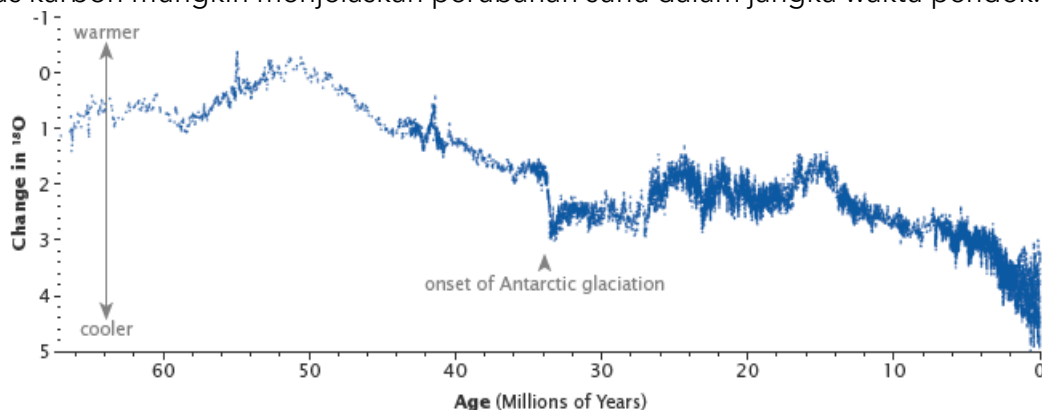
penyimpanan dapat menjadi lebih banyak karbon di penyimpanan lainnya. Perubahan tersebut menempatkan gas karbon di atmosfer menghasilkan suhu yang lebih hangat di Bumi.



Gambar 1-1 Siklus karbon

Dalam jangka panjang, siklus karbon mempertahankan keseimbangan pada semua karbon di Bumi dari saat memasuki atmosfer atau dari penyimpanan seluruhnya dalam bebatuan. Keseimbangan ini membantu menjaga suhu Bumi relatif stabil, seperti penyeimbang panas.

Penyeimbang panas ini bekerja selama lebih dari seratus ribu tahun, sebagai bagian dari siklus karbon yang lambat. Ini berarti bahwa dalam jangka waktu pendek, sepuluh hingga seratus ribu tahun, suhu di Bumi dapat berubah-ubah. Dan faktanya, Bumi melewati antara jaman es dan masa interglasial yang hangat dalam skala waktu tersebut. Bagian dari siklus karbon mungkin menjelaskan perubahan suhu dalam jangka waktu pendek.



Gambar 1-2 Perubahan  $^{18}\text{O}$  dalam jutaan tahun

Dalam skala waktu yang sangat panjang (jutaan hingga sepuluh juta tahun), pergerakan lempeng tektonik dan perubahan dasar dari resapan karbon dari dalam Bumi mungkin merubah suhu dalam pengaturan suhu. Bumi telah mengalami banyak perubahan lebih dari 50 juta tahun, dari iklim panas ekstrim masa Cretaceous hingga iklim glasial masa Pleistocene.

Pergerakan karbon dari atmosfer ke litosfer bermula dengan hujan. Karbon di atmosfer bergabung dengan air untuk membentuk asam lemah, asam karbon, yang jatuh ke permukaan sebagai hujan. Asam ini larut dalam batuan, membebaskan kalsium,

magnesium, potasium, atau ion-ion sodium. Kemudian sungai membawa ion-ion ini ke lautan.

Di lautan, ion-ion kalsium menyatu dengan ion bikarbonat untuk membentuk kalsium karbonat, bahan aktif dalam substansi asam putih pucat yang mengering di keran jika kita tinggal didaerah sulit air. Di lautan juga banyak kalsium karbonat yang terbuat dari cangkang kerang dan plankton. Setelah organisme tersebut mati, mereka mengendap di dasar laut. Setelah sekian lama lapisan dari cangkang dan sedimen menjadi keras dan menyimpan karbon dalam bentuk batuan.

Hanya 80% dari batuan yang mengandung karbon sekarang ini yang terbentuk dengan cara ini. Sisanya, 20% karbon terkandung dalam benda hidup (karbon organik) yang menempel pada lapisan lumpur. Panas dan tekanan menekan lumpur dan karbon yang lebih dari jutaan tahun, membentuk batuan sedimen. Dalam beberapa kasus khusus, saat tumbuhan mati akan menghasilkan zat yang lebih cepat dari pembusukannya, lapisan dari karbon organik menjadi minyak, batubara, atau gas alam dalam batuan sedimen.

Siklus lambat mengembalikan karbon ke atmosfer melalui gunung api. Tanah dan permukaan laut menempati beberapa bagian kerak Bumi yang bergerak. Saat lempeng bertabrakan, salah satu akan terbenam terhadap lainnya, dan batuan akan mencair dibawah suhu dan tekanan yang ekstrim. Batuan panas menyatu kembali ke dalam mineral silikat, melepaskan karbon dioksida.

Ketika gunung berapi mengalami erupsi akan melepaskan gas ke atmosfer dan menutupi lahan dengan batuan silikat untuk memulai siklus kembali. Sekarang, gunung-gunung menghasilkan antara 130 dan 380 juta ton metrik karbon dioksida pertahun. Untuk perbandingan, manusia menghasilkan 30 milyar ton karbon dioksida pertahun oleh pembakaran bahan bakar fosil, 100 hingga 300 kali lipat lebih banyak dari gunung api.

Bagaimanapun, proses lambat dari siklus karbon juga mengandung sedikit komponen yang lebih cepat: lautan. Di permukaan, dimana udara bertemu air, gas karbon dioksida larut dan menukar udara keluar dari laut bertukar terus menerus dengan atmosfer. Gas karbon dioksida bereaksi dengan molekul air untuk membebaskan hidrogen, membuat lautan menjadi lebih asam. Reaksi hidrogen dengan karbonat dari batuan menghasilkan ion bikarbonat.

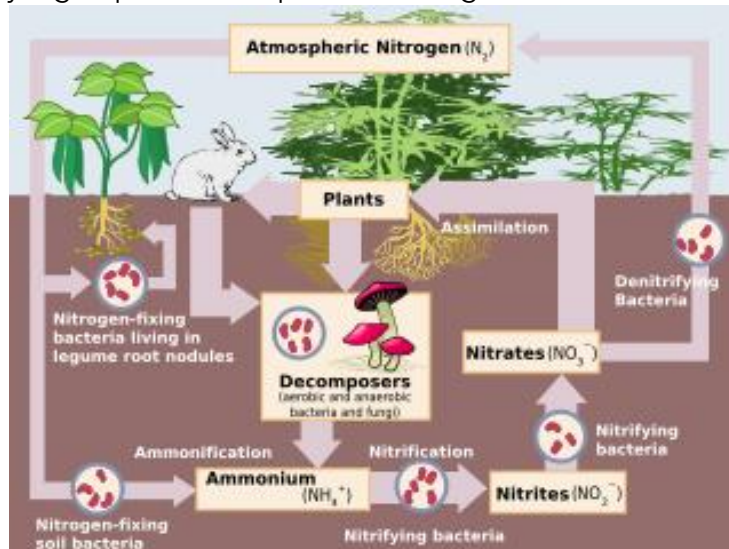
Sebelum masa industri, pertukaran karbon dioksida dengan atmosfer dilautan seimbang dengan karbon lautan yang diterima dari batuan. Bagaimanapun, sejak konsentrasi karbon di atmosfer meningkat, lautan kini mengambil lebih banyak karbon dari atmosfer kemudian melepaskannya. Setelah masa milenium, lautan akan menyerap lebih dari 85% karbon ekstra yang dihasilkan manusia dari pembakaran bahan bakar fosil, namun prosen ini lambat karena pengikatan yang terjadi pada pergerakan air di permukaan laut rendah (Riebeek 2011).

### **1.2.2.3 Siklus Nitrogen**

Nitrogen adalah unsur yang paling berlimpah di atmosfer (78% gas di atmosfer adalah nitrogen). Meskipun demikian, penggunaan nitrogen pada bidang biologis sangatlah terbatas. Nitrogen merupakan unsur yang tidak reaktif (sulit bereaksi dengan unsur lain) sehingga dalam penggunaan nitrogen pada makhluk hidup diperlukan berbagai proses, yaitu: fiksasi nitrogen, mineralisasi, nitrifikasi, denitrifikasi.

Nitrogen sangatlah penting untuk berbagai proses kehidupan di Bumi. Nitrogen adalah komponen utama dalam semua asam amino, yang nantinya dimasukkan ke dalam protein, Nitrogen juga hadir di basis pembentuk asam nukleat, seperti DNA dan RNA yang nantinya membawa hereditas. Pada tumbuhan, banyak dari nitrogen digunakan dalam molekul klorofil, yang penting untuk fotosintesis dan pertumbuhan lebih lanjut. Meskipun

atmosfer bumi merupakan sumber berlimpah nitrogen, sebagian besar relatif tidak dapat digunakan oleh tanaman. Pengolahan kimia atau fiksasi alami (melalui proses konversi seperti yang dilakukan bakteri rhizobium), diperlukan untuk mengkonversi gas nitrogen menjadi bentuk yang dapat digunakan oleh organisme hidup, oleh karena itu nitrogen menjadi komponen penting dari produksi pangan. Kelimpahan atau kelangkaan dari bentuk "tetap" nitrogen, (juga dikenal sebagai nitrogen reaktif), menentukan berapa banyak makanan yang dapat tumbuh pada sebidang tanah.



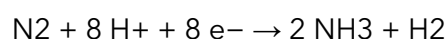
Gambar 1-3 Proses-proses dalam daur nitrogen

Nitrogen hadir di lingkungan dalam berbagai bentuk kimia termasuk nitrogen organik, amonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), nitrit (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), dan gas nitrogen (N<sub>2</sub>). Nitrogen organik dapat berupa organisme hidup, atau humus, dan dalam produk antara dekomposisi bahan organik atau humus dibangun. Proses siklus nitrogen mengubah nitrogen dari satu bentuk kimia lain. Diagram di atas menunjukkan bagaimana proses-proses cocok bersama untuk membentuk siklus nitrogen.

Proses-proses yang memiliki peran besar dalam usaha mempertahankan keseimbangan jumlah nitrogen di alam antara lain:

#### 1. Fiksasi Nitrogen

Fiksasi nitrogen adalah proses alam, biologis atau abiotik yang mengubah nitrogen di udara menjadi ammonia (NH<sub>3</sub>). Mikroorganisme yang mem-fiksasi nitrogen disebut diazotrof. Mikroorganisme ini memiliki enzim nitrogenase yang dapat menggabungkan hidrogen dan nitrogen. Reaksi untuk fiksasi nitrogen biologis ini dapat ditulis sebagai berikut:



Mikro organisme yang melakukan fiksasi nitrogen antara lain: Cyanobacteria, Azotobacteraceae, Rhizobia, Clostridium, dan Frankia. Selain itu ganggang hijau biru juga dapat memfiksasi nitrogen. Beberapa tanaman yang lebih tinggi, dan beberapa hewan (rayap), telah membentuk asosiasi (simbiosis) dengan diazotrof. Selain dilakukan oleh mikroorganisme, fiksasi nitrogen juga terjadi pada proses non-biologis, contohnya sambaran petir. Ada empat cara yang dapat mengkonversi unsur nitrogen di atmosfer menjadi bentuk yang lebih reaktif yaitu:

- a. Fiksasi biologis: beberapa bakteri simbiotik (paling sering dikaitkan dengan tanaman polongan) dan beberapa bakteri yang hidup bebas dapat memperbaiki nitrogen sebagai nitrogen organik. Sebuah contoh dari bakteri pengikat nitrogen adalah bakteri



Rhizobium mutualistik, yang hidup dalam nodul akar kacang-kacangan. Spesies ini diazotrophs. Sebuah contoh dari hidup bebas bakteri Azotobacter.

- b. Industri fiksasi nitrogen: Di bawah tekanan besar, pada suhu 600 C, dan dengan penggunaan katalis besi, nitrogen atmosfer dan hidrogen (biasanya berasal dari gas alam atau minyak bumi) dapat dikombinasikan untuk membentuk amonia (NH<sub>3</sub>). Dalam proses Haber-Bosch, N<sub>2</sub> adalah diubah bersamaan dengan gas hidrogen (H<sub>2</sub>) menjadi amonia (NH<sub>3</sub>), yang digunakan untuk membuat pupuk dan bahan peledak.
- c. Pembakaran bahan bakar fosil: mesin mobil dan pembangkit listrik termal, yang melepaskan berbagai nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>).
- d. Proses lain: Selain itu, pembentukan NO dari N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> karena foton dan terutama petir, dapat memfiksasi nitrogen.

## 2. Asimilasi

Tanaman mendapatkan nitrogen dari tanah melalui absorpsi akar baik dalam bentuk ion nitrat atau ion amonium. Sedangkan hewan memperoleh nitrogen dari tanaman yang mereka konsumsi. Tanaman dapat menyerap ion nitrat atau amonium dari tanah melalui rambut akarnya. Jika nitrat diserap, pertama-tama direduksi menjadi ion nitrit dan kemudian ion amonium untuk dimasukkan ke dalam asam amino, asam nukleat, dan klorofil. Pada tanaman yang memiliki hubungan mutualistik dengan rhizobia, nitrogen dapat berasimilasi dalam bentuk ion amonium langsung dari nodul. Hewan, jamur, dan organisme heterotrof lain mendapatkan nitrogen sebagai asam amino, nukleotida dan molekul organik kecil.

## 3. Amonifikasi

Jika tumbuhan atau hewan mati, nitrogen organik diubah menjadi amonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) oleh bakteri dan jamur. Amonifikasi dapat dikatakan juga sebagai proses pembusukan yang dilakukan oleh mikroorganisme terhadap sisa-sisa makhluk hidup menjadi amonium yang mana nantinya akan digunakan oleh tumbuhan untuk pertumbuhannya.

## 4. Nitrifikasi

Konversi amonium menjadi nitrat dilakukan terutama oleh bakteri yang hidup di dalam tanah dan bakteri nitrifikasi lainnya. Tahap utama nitrifikasi, bakteri nitrifikasi seperti spesies Nitrosomonas mengoksidasi amonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) dan mengubah amonia menjadi nitrit (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>). Spesies bakteri lain, seperti Nitrobacter, bertanggung jawab untuk oksidasi nitrit menjadi dari nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Proses konversi nitrit menjadi nitrat sangat penting karena nitrit merupakan senyawa yang bersifat racun bagi tanaman.

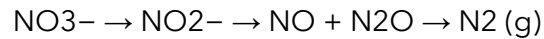
Proses nitrifikasi dapat ditulis dengan reaksi berikut ini :

- $\text{H}_3 + \text{CO}_2 + 1.5 \text{O}_2 + \text{Nitrosomonas} \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+$
- $\text{NO}_2^- + \text{CO}_2 + 0.5 \text{O}_2 + \text{Nitrobacter} \rightarrow \text{NO}_3^-$
- $\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + 3\text{H}^+ + 2\text{e}^-$
- $\text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$

## 5. Denitrifikasi

Denitrifikasi adalah proses reduksi nitrat untuk kembali menjadi gas nitrogen (N<sub>2</sub>), untuk menyelesaikan siklus nitrogen. Proses ini dilakukan oleh spesies bakteri seperti Pseudomonas dan Clostridium dalam kondisi anaerobik. Mereka menggunakan nitrat sebagai akseptor elektron di tempat oksigen selama respirasi. Mikroorganisme yang melakukannya Pseudomonas dan Clostridium membutuhkan lingkungan anaerob atau tanpa oksigen, akan tetapi memerlukan senyawa kimia seperti nitrogen (N<sub>2</sub>).

Denitrifikasi umumnya berlangsung melalui beberapa kombinasi dari bentuk peralihan sebagai berikut:



Proses denitrifikasi lengkap dapat dinyatakan sebagai reaksi redoks:



#### 6. Oksidasi Amonia Anaerobik

Dalam proses biologis, nitrit dan amonium dikonversi langsung ke elemen ( $\text{N}_2$ ) gas nitrogen. Proses ini membentuk sebagian besar dari konversi nitrogen unsur di lautan. Reduksi dalam kondisi anoxic juga dapat terjadi melalui proses yang disebut oksidasi amonia anaerobic.

Jadi siklus nitrogen merupakan salah satu siklus geokimia yang mana siklus nitrogen ini secara tidak langsung mempengaruhi keberlangsungan seluruh makhluk hidup. Siklus ini dimulai dari penangkapan nitrogen oleh mikroorganisme dan ganggang hijau-biru, sambaran petir dan proses pembusukan sisa makhluk hidup oleh jasad renik. Siklus nitrogen dapat dibagi menjadi enam macam yaitu: Fiksasi Nitrogen, Asimilasi, Amonifikasi, Nitrifikasi, Denitrifikasi, Oksidasi Amonia Anaerobik yang mana keenam proses tersebut saling berkaitan antara satu dengan yang lainnya membentuk siklus nitrogen.

### 1.2.2.4 Siklus Hidrologi

#### 1. Hidrologi dan Siklus Hidrologi

Hidrologi adalah ilmu yang berkaitan dengan air bumi, terjadinya peredaran, sifat-sifat kimia dan fisiknya, dan reaksi dengan lingkungannya, termasuk hubungannya dengan makhluk-makhluk hidup (International Glossary of Hidrology, 1974). Disebabkan perkembangan yang ada maka ilmu hidrologi telah berkembang menjadi ilmu yang mempelajari sirkulasi air. Jadi dapat dikatakan, hidrologi adalah ilmu untuk mempelajari; presipitasi (precipitation), evaporasi dan transpirasi (evaporation), aliran permukaan (surface stream flow), dan air tanah (ground water).

Siklus hidrologi merupakan sirkulasi air yang tidak pernah berhenti, terjadi ketika air menguap ke udara dari permukaan tanah, laut maupun dari tumbuhan (transpirasi). Air yang menguap kemudian mengalami kondensasi dan memadat kemudian turun menjadi hujan atau menjadi salju. Air hujan yang turun tidak semuanya langsung sampai ke permukaan tanah, tetapi sebagian ada yang tertahan oleh kanopi tumbuhan yang disebut intersepsi dan air yang tertahan tersebut sebagian akan diuapkan kembali dan sebagian lagi akan masuk ke dalam tanah sebagai infiltrasi, sebagian lagi akan terus menembus lapisan tanah yang jenuh yang akhirnya akan menjadi air tanah atau groundwater. Sebagian dari air yang berada dipermukaan akan menjadi limpasan yang mengisi cekungan-cekungan, masuk ke sungai-sungai yang disebut sebagai debit aliran (Sosrodarsono dan Takeda 2003).

Siklus hidrologi berlangsung terus menerus sehingga menjadikan air sebagai sumberdaya alam yang dapat diperbaharui (Rahayuningsih, 2008). Unsur-unsur utama yang terjadi dalam proses siklus hidrologi adalah evaporasi, transpirasi, presipitasi, infiltrasi, perkolasi dan limpasan (Coulibaly et al. 2004).

#### 2. Presipitasi

Presipitasi adalah peristiwa jatuhnya partikel (air, es, debu) dari atmosfer ke permukaan bumi dan atau laut dalam bentuk yang berbeda. Presipitasi di daerah tropis (termasuk Indonesia) umumnya dalam bentuk air dan sesekali dalam bentuk es pada suatu kejadian ekstrim, sedangkan di daerah subtropis dan kutub dapat berupa air atau salju/es.

Hujan adalah jatuhnya air ke permukaan bumi akibat adanya kondensasi yang berasal dari partikel penyebab hujan (Endriyanto, 2011). Curah hujan dapat dijadikan sebagai pengendali utama secara spasial maupun temporal dalam variabilitas neraca air.

Terdapat tiga variabel utama dalam analisis curah hujan yaitu ketebalan hujan, durasi hujan dan distribusi hujan (Soekarno, 2005). Intensitas hujan adalah kedalaman hujan persatuan waktu (mm/jam). Hubungan antara curah hujan dan intensitas hujan terdapat pada sifat umum hujan yaitu apabila hujan berlangsung singkat maka intensitas hujan akan meningkat (Handayani et al. 2007). Intensitas hujan dibedakan menjadi 3 yaitu: intensitas hujan rendah <13 mm/jam, intensitas hujan tinggi antara 13-38 mm/jam, intensitas hujan lebat >38 mm/jam (BMKG, 2011).

### 3. Evaporasi dan Transpirasi

Penyinaran matahari akan menyebabkan semua air yang ada dipermukaan bumi akan berubah wujud menjadi gas/uap akibat panas matahari dan disebut dengan penguapan atau evaporasi dan transpirasi.

Evaporasi adalah proses dimana air dalam bentuk cair dikonversi menjadi uap air (vaporization) dan dipindahkan dari permukaan penguapan (vapour removal). Air dapat terevaporasi dari berbagai permukaan seperti danau, sungai, tanah dan vegetasi hijau. Energi dibutuhkan untuk merubah bentuk molekul air dari fase cair ke fase uap. Radiasi matahari langsung dan suhu udara merupakan sumber energi utama. Gaya penggerak untuk memindahkan uap air dari permukaan penguapan adalah perbedaan tekanan antara uap air di permukaan dan tekanan udara atmosfer. Selama berlangsungnya proses, udara sekitar menjadi jenuh secara perlahan dan selanjutnya proses akan melambat dan kemungkinan akan berhenti jika udara basah dan dipindahkan ke atmosfer. Pergantian udara jenuh dengan udara kering sangat tergantung pada kecepatan angin. Oleh karena itu, radiasi surya, suhu udara, kelembaban udara dan kecepatan angin merupakan parameter iklim yang dipertimbangkan dalam penentuan proses evaporasi.

Transpirasi ialah suatu proses kehilangan air dari tumbuh-tumbuhan ke atmosfer dalam bentuk uap air. Air diserap dari akar tumbuhan dan air itu kemudian diangkut melalui xilem ke semua bagian tumbuhan khususnya daun. Tidak semua air digunakan dalam proses fotosintesis. Air yang berlebihan akan disingkirkan melalui proses transpirasi. Jika kadar kehilangan air melalui transpirasi melebihi kadar pengambilan air tumbuhan tersebut, maka pertumbuhan pokok akan terhambat (Devlin, 1983).

Proses transpirasi meliputi penguapan cairan (air) yang terkandung pada jaringan tanaman dan pemindahan uap ke atmosfer. Tanaman umumnya kehilangan air melalui stomata. Stomata merupakan saluran terbuka pada permukaan daun tanaman melalui proses penguapan dan perubahan wujud menjadi gas. Air bersama beberapa nutrisi lain diserap oleh akar dan ditransportasikan ke seluruh tanaman. Proses penguapan terjadi dalam daun, yang disebut ruang intercellular, dan pertukaran uap ke atmosfer dikontrol oleh celah stomata (stomata aperture). Hampir semua air yang diserap oleh akar keluar melalui proses transpirasi dan hanya sebahagian kecil saja yang digunakan dalam tanaman.

Transpirasi seperti evaporasi langsung tergantung pada suplai energi, tekan uap air dan angin. Kandungan lengas tanah dan kemampuan tanah melewatkan air ke akar juga menentukan laju transpirasi, termasuk genangan air dan salinitas air tanah. Laju transpirasi juga dipengaruhi oleh karakteristik tanaman, aspek lingkungan dan pengelolaan lahan. Perbedaan jenis tanaman akan memberikan laju transpirasi yang berbeda.

### 4. Infiltrasi

Infiltrasi adalah proses aliran air (umumnya berasal dari curah hujan) masuk kedalam tanah. Perkolasi merupakan proses kelanjutan aliran air yang berasal dari infiltrasi ke tanah

yang lebih dalam. Kebalikan dari infiltrasi adalah rembesan (speege). Laju maksimal gerakan air masuk kedalam tanah dinamakan kapasitas infiltrasi. Kapasitas infiltrasi terjadi ketika intensitas hujan melebihi kemampuan tanah dalam menyerap kelembaban tanah. Sebaliknya apabila intensitas hujan lebih kecil dari pada kapasitas infiltrasi, maka laju infiltrasi sama dengan laju curah hujan (Asdak, 1995).

Laju infiltrasi umumnya dinyatakan dalam satuan yang sama dengan satuan intensitas curah hujan, yaitu millimeter per jam (mm/jam). Air infiltrasi yang tidak kembali lagi ke atmosfer melalui proses evapotranspirasi akan menjadi air tanah untuk seterusnya mengalir ke sungai disekitar.

Proses infiltrasi sangat ditentukan oleh waktu. Jumlah air yang masuk kedalam tanah dalam suatu periode waktu disebut laju infiltrasi. Laju infiltrasi pada suatu tempat akan semakin kecil seiring kejenuhan tanah oleh air. Pada saat tertentu laju infiltrasi menjadi tetap. Nilai laju inilah yang kemudian disebut laju perkolasi. Proses mengalirnya air hujan kedalam tanah disebabkan oleh tarikan gaya gravitasi dan gaya kapiler tanah. Di bawah pengaruh gaya gravitasi air hujan mengalir vertikal kedalam tanah, sedangkan pada gaya kapiler bersifat mengalirkan air tersebut tegak lurus keatas, kebawah, dan kearah horizontal (lateral).

## 5. Limpasan

Salah satu komponen dalam siklus hidrologi adalah limpasan hujan. Komponen limpasan hujan dapat berupa runoff (aliran permukaan) ataupun aliran yang lebih besar seperti aliran air di sungai. Limpasan akibat hujan ini dapat terjadi dengan cepat dan dapat pula setelah beberapa jam setelah terjadinya hujan. Lama waktu kejadian hujan puncak dan aliran puncak sangat dipengaruhi oleh kondisi wilayah tempat jatuhnya hujan. Makin besar perbedaan waktu kejadian hujan puncak dan debit puncak, maka makin baik kondisi wilayah tersebut dalam menyimpan air di dalam tanah (Asdak, 1995).

### a. Aliran Permukaan (Runoff)

Aliran air yang terjadi di permukaan tanah setelah tanah pada lapisan permukaan jenuh air disebut runoff. Air hujan yang jatuh di permukaan bumi akan menjadi aliran permukaan (runoff) setelah tanah di lapisan permukaan jenuh oleh air hujan dan proses hujan memiliki intensitas lebih besar dari laju perkolasi. Aliran permukaan kemudian saling bertemu pada jaringan pengaliran yang kecil sebagai anak sungai. Aliran tersebut terus berkumpul dan selanjutnya akan bertemu di sungai sebagai aliran air yang lebih besar dimana aliran permukaan berpadu dengan aliran bawah permukaan (interflow) dan aliran dasar (base flow).

### b. Aliran sungai

Sungai mempunyai fungsi mengumpulkan curah hujan dalam suatu daerah tertentu dan mengalirkannya ke laut. Sungai itu dapat digunakan juga untuk berjenis jenis aspek seperti pembangkit tenaga listrik, pelayaran, pariwisata, perikanan, dan lain-lain. Dalam bidang pertanian sungai berfungsi sebagai sumber air yang penting untuk irigasi (Sosrodarsono dan Takeda, 1993).

### 1.3 DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C. 1995. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Asdak, C. 2002. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Bassham, J..A. 1980. *Energy Cropps (Energy Farming)*. Dalam: Biochemical and Photosynthetic Aspects of Energy Production (Eds.: San Pietro). Academic Press. New York.
- BMKG. 2011. Analisis Hujan Bulan Januari 2011 dan Prakiraan Hujan Bulan Maret, April, dan
- Cathey, H.M. and Campbell, L.E. 1980. *Light and lighting systems for horticultural plants*. Horticultural Reviews.
- Coulibaly P, Burn DH. 2004. Wavelet Analysis Of Variability In Annual Canadian Streamflows.
- Devlin, R.M and K.H. Withan. 1983. *Plant Physiology*. Boston: Williard grant press
- Endriyanto, Ihsan F. 2011. Teknik Pengamatan Curah Hujan Di Stasiun Klimatologi Kebon Freeman, T. 2004. *Geoscience Laboratory (Third Edition)*. John Wiley & Sons, Inc., USA
- Hall, D.O. and Rao, K.K. 1977. *Photosynthesis*. 2nd ed. Edward Arnold Pub. Ltd. London
- Handayani YL, Hendri A, Suherly H. 2007. Pemilihan Metode Intensitas Hujan Yang Sesuai Dengan Karakteristik Stasiun Pekanbaru. *J. Teknik Sipil* 8: 1-15.
- Mackenzie Fred T. 1999. *Global Biogeochemical Cycles and the Physical Climate System*. Hawaii : School of Ocean and Earth Science and Technology University of Hawaii.
- Manitoba Government. 2000. *Biogeochemical Cycles*. Manitoba : Manitoba Government.
- Mei 2011 Provinsi DKI Jakarta. Terhubung berkala (<http://jakarta.litbang.deptan.go.id>) [20 November 2013] Percobaan Cukurgondang, Pasuruan. *Bul Teknik Pertan* 16: 61-63.
- Rahayuningsih SK. 2008. Manfaatkan dan Selamatkan Air "Si Emas Biru, permata Dunia".
- Riebeek, H. 2011. *The Carbon Cycle*. <http://earthobservatory.nasa.gov/html/Feature/Article>. [terhubung berkala] 23 November 2013
- Seyhan, Ersin. 1977. *Dasar-Dasar Hidrologi*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press
- Soekarno I, Rohmat D. 2005. Perbandingan Metoda Formulasi Intensitas Hujan Untuk Kawasan
- Sosrodarsono, S dan K. Takeda. 1993. *Hidrologi Untuk Pengairan*. Jakarta : Pradnya Paramita.
- Sosrodarsono S, Takeda K, editor. 2003. *Hidrologi Untuk Pengairan*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Squire G.R. 1990. *The Physiology of Tropical crop Production*. CAB. International Wallingford.
- Strahler, A.N. 1986. *Physical Geography*. John Wiley & Sons, New York.
- Subagyo, S. 1990. *Dasar-dasar Hidrologi*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Tjasyono, Bayong. 2004. *Klimatologi edisi ke-2*. Bandung: ITB
- Tjasyono, Bayong. 2008. *Meteorologi Terapan*. Bandung: ITB Press.
- Wang, J.W. and Ray, R.K. 1984. *Agricultural and Its Environment: Prediction and Control*. Kendall/Hunt Publ. Co. Iowa.
- Yates, D. 1991. The Energy Budget Concept. Dalam *Kapita Selektadalam Agrometeorologi*. Bey, A. (ed.). Ditjen DiktiDekdikbud. Jakarta.



# 2 PALEOCLIMATE

## 2.1 PENDAHULUAN

### 2.1.1 Latar belakang

Isu fenomena perubahan iklim saat ini memang menjadi topik perbincangan baik di skala nasional maupun skala internasional. Perubahan iklim merupakan perubahan pola perilaku iklim dalam kurun waktu yang panjang yang terjadi secara alamiah (NOAA 2007). Pendapat mengenai terjadinya perubahan iklim saat ini diindikasikan oleh peningkatan suhu udara yang berpengaruh terhadap kondisi parameter-parameter iklim lainnya. Banyak ilmuwan berpendapat bahwa gas-gas rumah kaca lah penyebab perubahan iklim karena gas-gas ini memerangkap panas matahari yang menyebabkan bumi semakin panas. Akan tetapi teori perubahan iklim akibat gas rumah kaca tidak sepenuhnya dapat diterima, karena teori ini mengesampingkan penyebab natural yang juga berpengaruh besar terhadap perubahan iklim. Bahkan beberapa ilmuwan berpendapat bahwa penyebab natural lebih besar pengaruhnya dibandingkan penyebab gas rumah kaca (antropogenik).

Analisis isu perubahan iklim yang dilakukan dengan studi terkait iklim masa lalu dalam skala 10 tahunan (decadal) hingga 100 tahunan (centenial) dan juga terkait tren kondisi iklim terkini (current climate trends) tidak cukup untuk memahami sepenuhnya tentang bagaimana dan mengapa iklim di bumi berubah sehingga kajian paleoclimate juga dibutuhkan untuk analisis perubahan iklim saat ini dan kondisi iklim di masa depan. Paleoclimat merupakan fenomena perubahan iklim dimasa lalu. Ilmu yang mempelajari bagaimana fenomena perubahan iklim dimasa lalu adalah paleoklimatologi. Menurut Cronin (1999) paleoclimatology merupakan ilmu yang mempelajari perubahan iklim di masa lampau biasanya berdasarkan rekonstruksi dari depositori geologi dan biologi seperti ocean and lake sediments, ice sheets, tropical corals, tree rings, dan sumber lainnya.

## 2.2 PEMBAHASAN

### 2.2.1 Penyebab Perubahan Iklim di Masa Lalu

Iklim di masa lalu hanya dipengaruhi oleh faktor alami saja. Faktor alami ini memiliki dua penyebab utama yaitu penyebab internal dan eksternal. Perubahan atmosfer, sirkulasi laut-atmosfer, tutupan es, dan perubahan permukaan bumi adalah penyebab internal yang datang dari bumi.

#### 2.2.1.1 Perubahan Atmosfer

Komposisi atmosfer alami terdiri gas nitrogen (78%), oksigen (21%), dan gas-gas lain seperti argon, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, uap air dan kandungan lainnya (1%). Di masa lalu fluktuasi gas-gas rumah kaca terjadi secara alami melalui proses-proses biologis seperti metabolisme, penguraian sisa makhluk hidup dan sisa makanan. Jumlah gas rumah kaca (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) yang dihasilkan relatif konstan karena CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dapat diserap kembali oleh tumbuhan dalam proses fotosintesis. Jadi fungsi gas rumah kaca di masa lalu adalah sebagai penghangat bumi.

#### 2.2.1.2 Sirkulasi Laut-Atmosfer

Perubahan sirkulasi samudera yang dimaksud adalah proses-proses transfer energi yang terjadi di lautan misalkan perubahan arah arus laut (dingin-hangat) dan siklus thermohaline. Perubahan arah arus ini dipengaruhi oleh perbedaan temperatur lautan

akibat perbedaan penerimaan radiasi matahari. Pergerakan arus laut ini akan memicu terbentuknya daerah tekanan rendah dan daerah tekanan tinggi. Munculnya perbedaan tekanan ini akan menimbulkan reaksi pergerakan udara di atas permukaan laut. Udara yang bergerak ini akan membawa massa udara yang besar. Jika massa udara yang bergerak mempunyai sedikit uap air maka tempat-tempat yang dilewatinya akan beriklim kering, dan sebaliknya jika membawa banyak uap air maka tempat-tempat yang dilewatinya akan beriklim basah.

### **2.2.1.3 Tutupan Es**

Es mampu menyimpan informasi kondisi iklim di masa lalu dengan cara memerangkap isotop-isotop gas atmosfer di dalam intinya. Penelitian tutupan es sangat membantu memahami sistem iklim bumi di masa lalu. Inti es menyimpan informasi tentang biota yang hidup di masa lalu dengan berbagai keadaan atmosfer bumi. Selain itu es mampu menjaga kestabilan kenaikan muka air laut. Karena volume es pada kedua kutub bumi cukup besar, jika kedua mencair maka akan terjadi kenaikan muka air laut dan menenggelamkan pulau-pulau kecil dan pesisir pantai.



Gambar 2-1 Proses pengambilan sample es

### **2.2.1.4 Perubahan Tutupan Permukaan Bumi**

Tutupan permukaan bumi erat kaitannya dengan jumlah radiasi yang diterima oleh suatu wilayah. Wilayah yang memiliki tutupan rapat lebih banyak menyerap energi dari pada wilayah yang tutupannya jarang. Selain itu jenis tutupan juga berpengaruh, tutupan dengan warna kegelapan akan lebih banyak menyerap radiasi dibanding wilayah dengan warna tutupan terang. Jumlah radiasi yang diterima akan mempengaruhi unsur-unsur iklim lain seperti suhu, RH, curah hujan yang akan berkorelasi membentuk iklim lokal daerah tersebut.

### **2.2.2 Teori Milankovitch**

Siklus Milankovitch merupakan salah satu faktor yang memberikan penjelasan mengenai perubahan iklim yang telah terjadi dari zaman dahulu hingga zaman sekarang di bumi. Siklus Milankovitch adalah mengenai variasi siklus pergerakan yang dialami bumi selama 100.000 dan 400.000 tahun yang merupakan proses pergeseran benda langit



secara alami sehingga mengakibatkan terjadinya perubahan temperatur secara spasial di permukaan bumi.

Milankovitch mengkaji perubahan pada eksentrisitas orbit bumi (orbital eccentricity), kemiringan sumbu bumi (obliquity), dan presisi sumbu rotasi bumi *precession* (astronomy) dari seluruh pergerakan bumi. Banyak perubahan yang terjadi pada pergerakan dan jumlah orientasi bumi dan dampaknya terhadap lokasi penerimaan radiasi surya di permukaan bumi.

Yang pertama adalah eksentrisitas (eccentricity) yaitu perubahan bentuk dari orbit imajiner bumi yang mengelilingi matahari. Saat ini nilai eksentrisitas bumi adalah 0,0167, sementara ribuan tahun yang lalu nilainya 0.0034 hingga 0.058. Hal ini karena bentuk orbit bumi dalam mengelilingi matahari yang umumnya adalah elips, dapat berubah-ubah karena diakibatkan oleh gaya gravitasi antar planet-planet lain yang berada didekat bumi. Jika bumi adalah satu-satunya planet yang mengelilingi matahari, maka nilai eksentrisitasnya akan lebih lambat dalam berubah.

Kedua disebut dengan obliquity yaitu kemiringan bumi ketika berotasi. Kemiringan itu bervariasi dalam kurun waktu 40.000 tahun, dan bergeser antara 22,1 derajat hingga 24,5 derajat. Jika kemiringan bumi bertambah maka musim panas akan lebih panas dan musim dingin akan lebih dingin.

Ketiga adalah Presisi (precession), yaitu perubahan arah rotasi karena bergesernya sumbu bumi. Siklus ini bervariasi selama 19.000-23.000 tahun. Hal ini dipengaruhi oleh gaya tarik bumi dengan matahari juga bulan.

Perubahan orbit telah terjadi selama ribuan tahun dan perubahan sistem kondisi iklim akan terpengaruh dan memberi respon dalam terjadinya perubahan iklim karena perubahan orbit. Teori ini juga menduga bahwa penggerak utama batuan es adalah jumlah total radiasi yang diterima di area kutub utara dimana lapisan es telah terbentuk dari zaman dahulu lebih tepatnya dekat 650 LU (Imbrie 1982). Perhitungan astronomi menunjukkan bahwa insolasi kecerahan di 650 LU meningkat teratur setelah 25,000 tahun dan menyebabkan batuan es berkurang setelah 50,000 - 100,000 years (Hollan 2000, Berger 2002).

### **2.2.3 Isu-isu Paleoclimate**

Kebutuhan akan rekonstruksi paleoclimate memiliki 3 isu yang saling terkait:

#### 1. Catastrophism Issue

Catastrophisme adalah suatu teori yang menyatakan bahwa kenampakan bumi ini terbentuk akibat dari suatu bencana. Jadi makhluk hidup yang punah kemungkinan disebabkan oleh bencana alam yang besar. Rangkaian pegunungan api terbentuk akibat dari gempa bumi besar dan erupsi yang dahsyat. Cuvier dan beberapa ahli percaya bahwa beberapa kenampakan di bumi disebabkan oleh peristiwa bencana besar tersebut.

#### 2. Gradualism Issue

Gradualisme adalah model evolusi yang menjelaskan bahwa sebagian besar spesiasi bersifat lambat, seragam, dan berangsur-angsur. Seluruh spesies secara perlahan mengalami perubahan menjadi spesies yang baru. Dalam sudut pandang ini, tidak ada garis batas yang jelas antara spesies nenek moyang dengan spesies baru. Gradualisme seringkali dianggap berlawanan dengan teori keseimbangan bersela, yang menyatakan bahwa sebagian besar sejarah suatu spesies berada dalam keadaan stasis atau ketiadaan perubahan, dan evolusi terjadi jarang dan cepat.

#### 3. Uniformitarianism Issue

Uniformitarianisme memiliki akar yang kuat dalam ilmu geologi. Dalam bentuk yang paling sederhana, adalah gagasan bahwa " present is the key to the past". Filsafat

uniformitarianism dalam sejarah bumi, dikembangkan oleh Skotlandia James Hutton pada akhir abad ke-18, diperjuangkan oleh Charles Lyell (1830-1833), dan diterima oleh banyak ahli geologi yang menyatakan bahwa proses geologi aktif yang terjadi saat ini telah beroperasi secara serupa setahap demi setahap sepanjang sejarah bumi (Cronin 1999).

CATASTROPHISM	GRADUALISM	UNIFORMITARIANISM
Volcanoes, floods, and earthquakes are examples of catastrophic events that were once believed responsible for mass extinctions and the formation of all landforms.	Canyons carved by rivers show gradual change. Gradualism is the idea that changes on Earth occurred by small steps over long periods of time.	Rock strata demonstrate that geologic processes, which are still occurring today, add up over long periods of time to cause great change.
		

Gambar 2-2 Catastrophisme, Gradualisme, dan Uniformitarianisme

Sumber: <http://www.geologyin.com/2015/01/theories-of-geological-evolution.html>

Data paleoclimate dapat digunakan untuk membantu penyelesaian terkait permasalahan iklim, antara lain:

- Fingerprinting

Paleoclimatology juga dapat membantu menyelesaikan masalah fingerprint dalam perdebatan seputar sejarah terjadinya tren iklim. Paleoclimatologist dapat membantu mengidentifikasi "the scale of fingerprint" dari pengaruh anthropogenic terhadap iklim dengan melakukan rekonstruksi perubahan iklim yang terjadi selama beberapa ratus tahun terakhir pada saat dan sebelum periode iklim interglacial, sehingga dapat digunakan untuk menentukan "natural baseline" dari keragaman iklim (Martinson et al. 1995). Memiliki peran penting dalam menentukan pola perubahan iklim serta mengidentifikasi proses dan faktor yang mempengaruhi proses tersebut.

- Climate Sensitivity

Paleoclimate membantu menjelaskan pertanyaan seputar sensitivity (Covey et al 1996); Seberapa sensitif iklim di bumi terhadap perubahan berbagai macam faktor, baik internal maupun eksternal.

- Model Verification

Data Paleoclimate dapat digunakan membantu menyempurnakan pemodelan iklim. Paleoclimatology menyediakan kemungkinan pengecekan independen terhadap hasil eksperimen yang didapat dari model iklim menggunakan data hasil rekonstruksi paleoclimate.

#### 2.2.4 Identifikasi Iklim Masa Lampau

Logika sederhana dalam mempelajari *paleoclimate* (iklim masa lampau) dijelaskan dalam buku karangan Michael E. Mann (2009) yang berjudul *Dire Prediction: Understanding Global Warming*. Dalam buku tersebut mempelajari iklim masa lampau diibaratkan seperti dokter yang sedang mendiagnosa orang yang sedang sakit. Pertama kali dokter akan mengetahui kondisi pasien, kemudian dokter akan menanyakan kondisi pasien sebelumnya seperti; gejala yang dirasakan, kebiasaan yang dilakukan pasien

sebelum menderita penyakit tersebut. Hal seperti ini jugalah yang dilakukan oleh para ahli iklim untuk menentukan kondisi iklim pada masa lampau.

Para ahli iklim akan menganalisis kondisi iklim pada masa lampau melalui berbagai sinyal yang terdokumentasi di alam seperti pada lingkaran tahun pohon (*tree ring*), *ice core*, *tropical coral* dan lain-lain. Alasan para ahli iklim mengidentifikasi kondisi iklim pada masa lampau melalui sinyal yang ada pada benda-benda diatas adalah karena belum semua alat ukur unsur iklim telah ditemukan dan satelit yang dapat merekam kondisi iklim bumi secara kontinyu baru tersedia sekitar dua puluh tahun yang lalu. Misalnya saja termometer dan barometer baru ditemukan pada abad ke-19 masehi. Oleh karena itu, dalam kajian *paleoclimate*, data yang digunakan untuk menggantikan data atau kondisi iklim di suatu tempat pada masa lampau (minimal dalam jangka waktu puluhan tahun) disebut data proxi.

#### **2.2.4.1 Lingkaran Tahun Pohon (*Tree Ring*)**

Lingkaran tahun pada pohon bisa digunakan sebagai data proxi karena beberapa jenis pohon mampu hidup ratusan hingga ribuan tahun (Pinus, Beench dan Ek). Metode lingkaran tahun pohon menggunakan pohon yang berumur cukup tua untuk mengetahui kejadian cuaca yang terekam pada lingkaran pohonnya. Ketebalan tree ring sangat sensitif terhadap perubahan suhu dan curah hujan di sekitarnya tiap tahun. Lingkaran pohon akan menebal saat curah hujan tinggi dan menipis saat musim kemarau. Berdasarkan informasi tersebut, kita dapat menggambarkan curah hujan tahunan di area tersebut. Sehingga dengan informasi dari lingkaran tahun pohon tersebut, kita dapat memprediksi kondisi iklim pada masa lampau di lingkungan sekitar tempat pohon tersebut tumbuh.

Menurut D'Arrigo (1989), kronologi tree ring dari pepohonan boreal dan situs lainnya dapat digunakan untuk merekonstruksi pola variabilitas iklim di masa lampau. Hubungan keduanya dapat digunakan untuk mengetahui forcing function dan model iklim. Misalnya, suhu belahan bumi utara yang direkonstruksi selama tiga ratus tahun yang lalu mempunyai kecocokan dengan data proxi lain maupun suhu yang berasal dari model radiasi-konvektif yang menggabungkan volcanic, solar dan CO<sub>2</sub> forcings. Perbandingan suhu hasil rekonstruksi dengan rekaman instrumentasi baru-baru ini menunjukkan bahwa kenaikan suhu di masa lampau dipengaruhi oleh konsentrasi gas dia tmosfer yang melebihi batas variasi "alami"-nya.

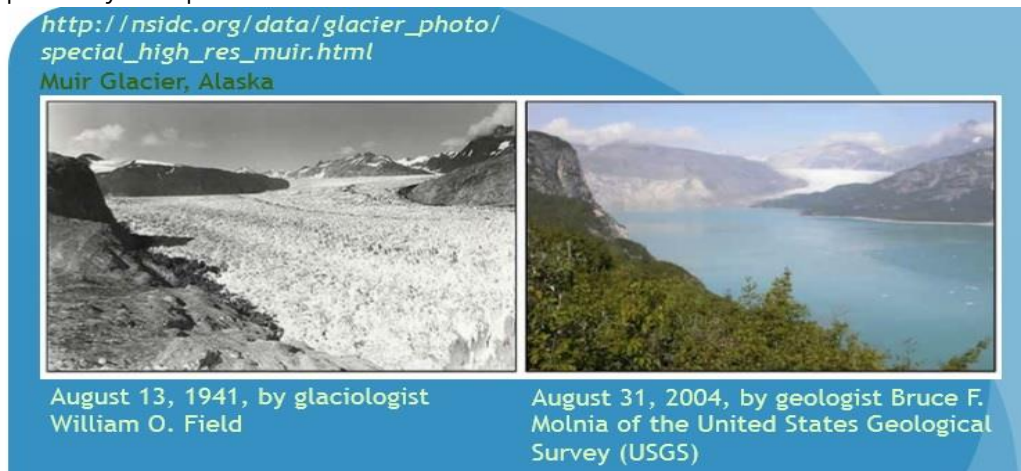


Gambar 2-3 Pertumbuhan lingkaran pohon yang mencatat perubahan iklim di masa lalu  
(Sumber : Pujiindiyati 2014)

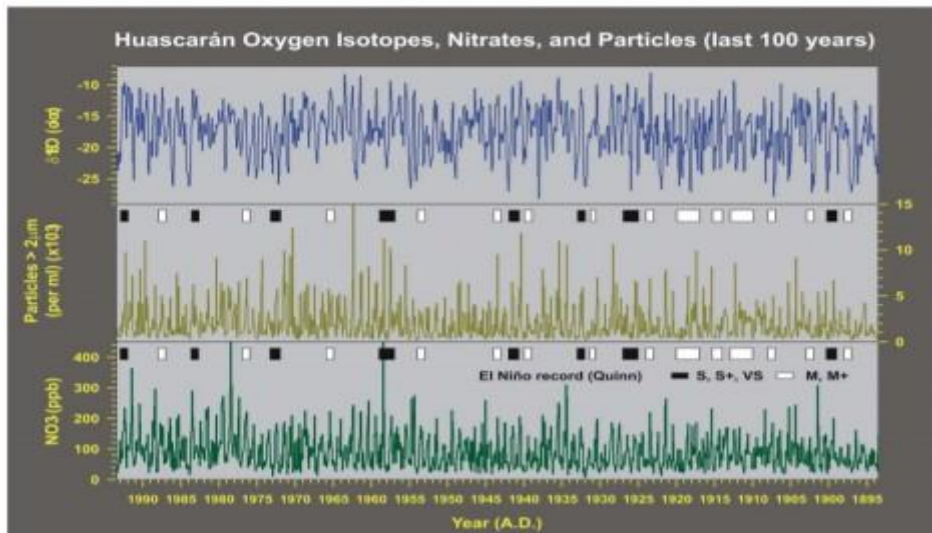
#### 2.2.4.2 Inti Es (Ice Core)

Data cuaca dari situs seluruh dunia menunjukkan bahwa suhu rata-rata global bumi telah meningkat  $\sim 0.6^{\circ}\text{C}$  sejak tahun 1950. Hal inilah yang menyebabkan gletser di sebagian besar tempat selain kutub mengalami pencairan (*melting*). Inti es yang diperoleh dari gletser dan tutupan es di seluruh dunia memungkinkan kita untuk merekonstruksi variasi iklim masa lampau dan memahami mekanisme perubahan iklim. Rekaman kondisi iklim dan lingkungan yang dapat diketahui dalam inti es adalah suhu, presipitasi dan zat kimiawi udara. Metode ice core biasa diobservasi di daerah dengan penutupan es yang tebal.

Salah satu proyek pengeboran inti es terbaru adalah proyek pengeboran ice cores di Puncak Jaya, Papua Indonesia. Proyek tersebut adalah penelitian kerjasama antara BMKG, Byrd Polar Research Center (BPRC)-The Ohio State University (OSU), Ice Core Paleoclimatology Research Group (ICPRG) dan Lamont Doherty Earth Observatory (LDEO)-Columbia University pada tahun 2010 lalu. Rekaman iklim masa lampau di Puncak Jaya tersebut diintegrasikan dengan rekaman iklim dari gletser di Andes Amerika Selatan di bagian timur Samudera Pasifik. Kompilasi ini memberikan peluang untuk mengungkap variabilitas iklim tropis secara detil. Selain itu juga, dipelajari variabilitas sistem monsun Australia-Asia di masa lampau yang telah memberikan curah hujan dalam menopang kehidupan milyaran penduduk bumi.



Gambar 2-4 Muir Glacier 13 Agustus 1941 dan Muir Glacier 31 Agustus 2004



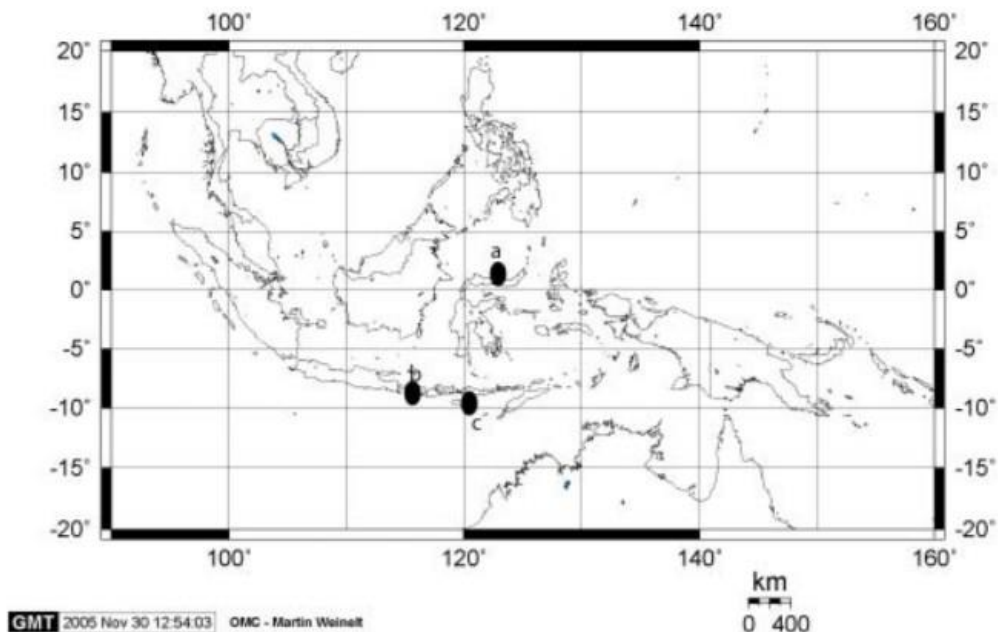
Gambar 2-5 Contoh data dari ice core Perbandingan isotop oksigen, konsentrasi debu dan nitrat (setiap sampel) inti es di Huascarán untuk periode 100 tahun terakhir. Peristiwa ENSO ditandai dengan garis balok.

Sumber: Byrd Polar Research Center (BPRC) The Ohio State University (OSU) Columbus, OH USA Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Lamont Doherty Earth Observatory of Columbia University (LDEO) New York, USA. 2010. Penelitian Histori Iklim dan Lingkungan berdasarkan Ice Cores di Puncak Jaya, Papua Indonesia. BMKG Indonesia. Tropical coral

Istilah karang (coral) umumnya digunakan untuk terumbu karang yang berasal dari ordo Scleractinia. Karang dari ordo tersebut memiliki kerangka kapur yang sejati (keras). Satu individu karang disebut polip yang memiliki ukuran bervariasi, mulai dari 1 mm - 5000 mm (Cobb et al. 2008). Untuk studi iklim masa lalu karang yang penting untuk diobservasi merupakan bangunan terumbu karang yang besar dan hidup saling ketergantungan (simbiotik) dengan alga uniseluler (zooxanthellae). Karang yang melakukan hubungan simbiotik dengan zooxanthellae disebut karang hermatypic. Gagang menghasilkan karbohidrat dengan proses fotosintesis. Proses tersebut membutuhkan sinar matahari. Dengan demikian karang hermatypic tumbuh paling dalam hanya 20 m dari permukaan laut, dengan tingkat kekeruhan air yang kecil. Sebagian besar carbon organik diserap gagang untuk fotosintesis, dan menyediakan makanan bagi karang untuk terus tumbuh. Sementara itu karang memberikan perlindungan terhadap alga. Pertumbuhan karang sangat dipengaruhi oleh suhu (maximum pada 20°C). karena itulah karang tumbuh disekitar lintang 30° utara dan 30° selatan. Ketika suhu turun ke 18°C, tingkat klasifikasi pertumbuhan karang berkurang dan akan mati pada suhu yang lebih rendah (Bradley 1999). Sampel untuk analisis biasanya dibor di bagian yang menggambarkan pertumbuhan karang. Untuk mendapatkan hasil yang maksimal dilakukan pengambilan sampel yang rutin (6-10 kali per tahun).

Penelitian karang berfokus pada catatan lingkungan pada masa pertumbuhannya. Selain itu dicatat pula kandungan beberapa unsur kimia yang menggambarkan beberapa parameter. Pada saat tumbuh, koral membentuk lapisan pertumbuhan (growth band). Lapisan pertumbuhan koral ini menunjukkan urutan waktu kejadian (kronologi). Satu tahun pertumbuhan koral dicirikan dengan satu pasang perlapisan high (low) density band yang memberi kenampakan warna terang (gelap) pada gambar hasil x-ray koral. Koral dapat tumbuh dengan kecepatan dari beberapa mm sampai beberapa cm pertahun. Koral Porites memiliki kecepatan pertumbuhan pertahun rata-rata  $\pm 1-2$  cm (Linsley., 1999; Gagan

et al., 2000). Koral ini banyak digunakan dalam penelitian paleoklimatologi dan paleoseanologi. Jika koral *Porites* tersebut tumbuh sampai 3-4 meter maka dengan kecepatan pertumbuhan 1 cm/tahun akan dapat diperoleh urutan waktu dari masa kini sampai kira-kira 300-400 tahun lalu. Penentuan kronologi biasanya dilakukan dengan menghitung per lapisan tahunan pada hasil x-radiograph. Tingkat pertumbuhan karang bergantung pada suhu permukaan laut dan nutrisi yang terkandung pada air laut. Nutrisi tersebut banyak didapatkan dari proses fotosintesis yang dipengaruhi oleh radiasi dan keawanan. Waktu rekonstruksi karang yang terpanjang adalah 800 tahun yang berhasil diobservasi di Bermuda. Pada observasi tersebut diketahui bahwa tingkat pertumbuhan koral berbanding terbalik dengan SST, sebagai contoh air upwelling yang dingin membawa banyak nutrisi dan menyebabkan meningkatnya pertumbuhan karang. Kondisi terdingin yang dialami dari 1470-1710 dan sejak 1760 sampai akhir abad kesembilan belas, diikuti oleh pemanasan di abad kedua puluh. Hal ini mirip dengan perkiraan musim panas belahan bumi utara (Bradley 1999). Isotop oksigen diketahui menunjukan korelasi terhadap suhu ketika mengalami pengendapan karbonat secara biologis. Berkurangnya konsentrasi  $\delta^{18}\text{O}$  sebesar 0,22% menyebabkan kenaikan suhu sebesar  $1^\circ\text{C}$  (Gribin 1978). Dengan meningkatnya suhu permukaan laut maka penguapan semakin meningkat. Sehingga jumlah curah hujan juga akan mengalami peningkatan.  $\delta^{13}\text{C}$  (isotop karbon) mengindikasikan perawanan pada masanya. Nilai  $\delta^{13}\text{C}$  tersebut dipengaruhi oleh fotosintesis ganggang yang terdapat pada karang. Semakin tinggi konsentrasi  $\delta^{13}\text{C}$  pada karang maka semakin tinggi tingkat fotosintesis. Konsentrasi  $\delta^{13}\text{C}$  berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman. Hal ini menunjukan bahwa  $\delta^{13}\text{C}$  peka terhadap cahaya, dan dapat mengindikasikan perawanan pada masa itu (Gribin 1978). Selain itu parameter lainnya yang dianalisis adalah  $\Delta^{14}\text{C}$  yang saat ini diindikasikan kepada siklus samudra yaitu upwelling. Analisis yang rumit dan keterbatasan objek hanya pada lintang tertentu menyebabkan metode ini lebih jarang dilakukan dibandingkan metode ice core dan tree ring.



Gambar 2-6 Peta lokasi rekaman oxygen isotop kora dari (a) Bunaken, (b) Bali, dan (c) Maudung.

Sumber : Sri Yudawati Cahyarini, Variasi suhu muka laut regional berdasarkan kandungan d<sup>18</sup> koral dari wilayah Indonesia , RISET - Geologi dan Pertambangan Jilid 16 No.1 Tahun 2006, hal. 44 -50

### **2.2.4.3 Analisis Serbuk Sari (Pollen)**

Serbuk sari adalah tempat gametofit jantan pada generasi gametofit tumbuhan Gymnospermae dan Angiospermae. Penyebaran serbuk sari dapat terjadi melalui berbagai perantara, yaitu: angin, air, dan binatang. Penyebaran ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain: turbulensi udara, arah dan kecepatan angin, berat dan bentuk serbuk sari, serta ketinggian dan kekuatan sumber serbuk sari dan spora. Analisis serbuk sari (pollen analysis) merupakan metode yang paling penting dalam rekonstruksi flora, vegetasi, dan lingkungan masa lampau, karena serbuk sari yang sangat awet atau tahan terhadap kerusakan.

Selain itu serbuk sari dihasilkan dalam jumlah yang sangat banyak dan tersebar secara lebih luas dan merata dibandingkan dengan makrofosil. Kelebihan lainnya adalah serbuk sari dapat diperoleh dari sedimen dalam jumlah yang sangat banyak sehingga memungkinkan untuk diuji secara kuantitatif / statistik. Analisis serbuk sari dapat digunakan untuk melacak sejarah kelompok dan jenis (spesies) tumbuhan serta habitatnya. Analisis serbuk sari juga dapat menentukan umur relatif batuan atau sedimen. Inti dari analisis serbuk sari untuk paleoklimatologi adalah untuk mempelajari sejarah iklim, dan pengaruh manusia terhadap lingkungan (Kneller 2009). Serbuk sari dan spora adalah dasar dari sebuah aspek penting dari rekonstruksi iklim bumi. Sebuah studi khusus untuk mempelajari serbuk sari dan spora biasa disebut dengan palinologi. Serbuk sari yang tersebar di danau, laut dan mengendap dalam sedimen memberikan catatan perubahan vegetasi masa lalu yang mungkin terjadi karena perubahan iklim. Metode ini merupakan metode pelengkap paling penting untuk melengkapi hasil dari metode lain (Bradley 1999). Tahap yang dilakukan pada metode ini adalah mengklasifikasi morfologi, deskripsi morfologi serbuk sari, serta menentukan taksonomi. Sehingga dapat diketahui habitat serta iklim yang mendukung pertumbuhannya. Serta dapat diketahui jenis tumbuhan yang tumbuh pada masa itu. Kemudian bagaimana tumbuhan tersebut bertahan hidup (NOAA 2011). Perbedaan dalam produktivitas dan tingkat penyebaran serbuk sari menimbulkan masalah yang signifikan untuk rekonstruksi komposisi vegetasi karena kelimpahan relatif serbuk sari tidak dapat langsung diinterpretasikan dalam hal kelimpahan spesies di daerah tersebut.

### **2.2.5 Dampak Perubahan Iklim Masa Lalu**

Perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan membawa manusia ke era baru, tepatnya sejak mulai ditemukannya mesin uap sebagai cikal bakal dimulainya abad industrialisasi, di mana pada awal-awal era itu tenaga manusia mulai digantikan dengan tenaga mesin hingga saat ini dan masa yang akan datang. Aktivitas industri termasuk di dalamnya penggunaan (baca: pembakaran) batu bara, minyak, dan gas sebagai sumber pembangkit energi maupun pengubahan fungsi lahan hutan untuk menjadi perkebunan ataupun pengolahan hasil hutan untuk bahan baku industri. Pembakaran karbon fosil itu membawa dampak peningkatan gas rumah kaca (greenhouse gases) yang sangat drastis dalam kisaran waktu 150 tahun belakangan ini.

Atmosfir bumi terisi oleh tiga gas utama yakni nitrogen (78,09%), oksigen (20,95%), dan argon (0,93%), selain tiga gas utama tadi di atmosfir juga terdapat gas-gas lain dalam jumlah kecil yakni karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), karbon monoksida (CO), nitrogen oksides, CFC, dan Ozone (O<sub>3</sub>). Gas-gas ini secara alamiah merupakan hasil aktifitas ekologi di bumi dan produktivitasnya terjaga secara alami. Karbon dioksida, metana, nitrous oksides, dan CFC termasuk dalam gas-gas yang mempunyai sifat dapat menjebak panas

atau sering disebut sebagai greenhouse gases, gas-gas inilah yang saat ini konsentrasinya meningkat secara drastis di dalam atmosfer sebagai hasil dari aktivitas pembakaran bahan bakar fosil yang dituding menyebabkan pemanasan bumi dan mengakibatkan perubahan iklim global.

Sejatinya sejak bumi terbentuk lebih dari 4 miliar tahun yang lalu keadaan iklim di dalam bumi secara periodik berubah dari dingin menjadi panas dan kembali menjadi dingin secara dramatis. Hal ini dibuktikan oleh berbagai penelitian diantaranya di Antartica terhadap lapisan inti es yang diambil dari kedalaman 2.083 meter dan pengambilan sampel koral dari samudera pasifik yang diindikasikan berumur lebih dari 10 - 200 tahun. Dari berbagai hasil penelitian yang dilakukan para ilmuwan perubahan iklim dapat dikategorikan menjadi enam periode waktu.

Pertama, pendinginan global terjadi lebih dari 1 miliar tahun yang lalu, kemudian mulai muncul organisme yang melakukan fotosintesis, dalam proses respirasi organisme tersebut menghasilkan karbon dioksida, sebagai konsekuensinya terjadilah peningkatan konsentrasi karbon dioksida di atmosfer yang menyebabkan suhu di bumi menjadi hangat, namun peningkatan karbon dioksida tersebut diserap kembali melalui proses fotosintesis. Proses pengurangan konsentrasi CO<sub>2</sub> di udara menjaga suhu bumi tetap dingin.

Kedua, beberapa ribu juta tahun yang lalu bumi terjadi periode peningkatan aktivitas tektonik di kulit bumi, tumbukan antar lempeng benua, dan meletusnya gunung berapi. Gas CO<sub>2</sub> secara besar-besaran keluar dari kerak bumi ke atmosfer menjadi gas rumah kaca yang menyebabkan terjadinya peningkatan suhu bumi rata-rata 5 derajat Celcius lebih panas dari suhu bumi saat ini.

Ketiga, dimulai kira-kira 100 juta tahun yang lalu dimana keadaan tektonik menjadi lebih stabil dan gas CO<sub>2</sub> yang keluar semakin berkurang, sehingga efek gas rumah kaca yang ditimbulkannya juga berkurang, iklim di bumi pada masa ini menjadi dingin kembali.

Keempat, dalam kisaran juta tahun keadaan suhu bumi antara panas dan dingin saling berganti dalam skala periode puluhan ribu tahun. Siklus fluktuatif ini terjadi secara natural karena bentuk konfigurasi orbit bumi terhadap matahari, dimana bentuk lintasan orbit bumi adalah ellips terhadap matahari. Jarak bumi terdekat dengan matahari dan jarak bumi terjauh dengan matahari terjadi setiap 100.000 tahun. Pada jarak terdekat bumi akan mendapatkan energi yang sangat besar dari matahari yang menyebabkan suhu bumi menjadi panas, ketika bumi berada pada posisi orbit terjauh dari matahari akan menyebabkan energi dari matahari yang diterima bumi berkurang sebagai akibatnya suhu bumi menjadi dingin.

Kelima, siklus magnitude terkecil dalam setiap 1.000 tahun, siklus ini berkaitan dengan aktivitas matahari namun secara ilmiah belum dapat dijelaskan dengan pasti, meskipun efeknya kecil namun diduga memiliki efek terhadap aktivitas manusia, sebagai contoh terjadinya masa little ice age pada tahun 1607 hingga 1814 di daratan eropa.

Keenam, terjadi dalam kisaran 150 tahun yang lalu hingga sekarang, temperatur bumi secara global rata-rata meningkat 0,8 derajat Celcius dan pada beberapa kawasan seperti daerah yang dilintasi katulistiwa meningkat menjadi beberapa derajat celcius, peningkatan ini terjadi dalam waktu yang sangat cepat sebagai efek dari meningkatnya aktivitas manusia dari sektor industri dan transportasi.

Perubahan iklim yang sangat cepat diprediksi oleh beberapa ilmuwan yang tergabung dalam Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) akan terus terjadi sampai masa mendatang sebagai efek dari peningkatan konsumsi bahan bakar fosil dalam transportasi dan industri sejalan dengan peningkatan jumlah penduduk di dunia. Dari hasil pemodelan iklim global diperkirakan jika tidak ada upaya bersama dari warga dunia untuk



menurunkan aktivitas pembakaran fosil dari tahun 1990 hingga tahun 2100 iklim global akan meningkat dengan kisaran peningkatan 1,4 hingga 5,8 derajat Celcius dan konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer akan menjadi dua kali lipat dari keadaan pada masa preindustrialisasi yakni lebih dari 700 ppm (IPCC 2001).

Meskipun demikian perubahan iklim ke depan tidak semata-mata ditimpakan oleh akibat dari aktivitas manusia, beberapa faktor terjadinya perubahan iklim juga di timbulkan oleh variasi aktivitas matahari, efek pendinginan oleh sulfat aerosol dan debu, selain juga akibat peningkatan produksi CO<sub>2</sub>.

Pemanasan global merupakan isu lingkungan hidup yang dapat menyebabkan perubahan iklim global. Perubahan iklim global terjadi secara perlahan dalam jangka waktu yang cukup panjang, antara 50-100 tahun. Walaupun terjadi secara perlahan, perubahan iklim memberikan dampak yang sangat besar pada kehidupan makhluk hidup. Dampak yang terjadi antara lain: mencairnya es di kutub, pergeseran musim, dan peningkatan permukaan air laut. Dampak tersebut memberikan pengaruh terhadap kelangsungan makhluk hidup.

Mencairnya es di kutub, terutama sekitar Greenland dapat meningkatkan volume air di laut yang menyebabkan terjadi penambahan tinggi permukaan laut di seluruh dunia. Pada abad ke-20 telah terjadi kenaikan permukaan air laut 20-25 cm. Apabila separuh es Greenland dan Antartika meleleh maka terjadi kenaikan permukaan air laut rata-rata setinggi 6-7 meter. Kenaikan permukaan air dapat menyebabkan terendamnya daratan yang merupakan habitat makhluk hidup.

Perubahan iklim global sebagai penyebab terjadinya penurunan biodiversitas masih bersifat kontroversial untuk saat ini. Kontroversial yang terjadi merupakan suatu pertanyaan apakah benar perubahan iklim merupakan penyebab utama penurunan biodiversitas.

## **2.2.6 Faktor Musiman**

### **2.2.6.1 Angin Monsun**

Monsun merupakan angin yang bertiup sepanjang tahun dan berganti arah dua kali dalam setahun. Umumnya pada setengah tahun pertama bertiup angin darat yang kering dan setengah tahun berikutnya bertiup angin laut yang basah. Pada bulan Oktober - April, matahari berada pada belahan langit Selatan, sehingga benua Australia lebih banyak memperoleh pemanasan matahari dari benua Asia. Akibatnya di Australia terdapat pusat tekanan udara rendah (depresi) sedangkan di Asia terdapat pusat-pusat tekanan udara tinggi (kompresi). Keadaan ini menyebabkan arus angin dari benua Asia ke benua Australia. Di Indonesia angin ini merupakan angin musim Timur Laut di belahan bumi Utara dan angin musim Barat di belahan bumi Selatan. Oleh karena angin ini melewati Samudra Pasifik dan Samudra Hindia maka banyak membawa uap air, sehingga pada umumnya di Indonesia terjadi musim penghujan. Musim penghujan meliputi hampir seluruh wilayah Indonesia, hanya saja persebarannya tidak merata. Makin ke Timur curah hujan makin berkurang karena kandungan uap airnya makin sedikit. Ada dua ciri utama daripada iklim Monsun, yakni adanya perbedaan yang tegas antara musim basah (wet season) dan musim kering (dry season) yang umumnya terjadi pada periode Desember, Januari, dan Februari (DJF) dan Juni, Juli dan Agustus (JJA). Pada tahun 1686, Edmund Halley mengemukakan teori bahwa Monsun terjadi akibat adanya perbedaan panas antara daratan dengan lautan sebagai hasil dari zenithal march matahari (Chang, 1984). Kata Monsun biasanya digunakan hanya untuk system angin (Neuwolt, 1977). Ramage (1971) memberikan kriteria untuk areal monsun berdasarkan sirkulasi permukaan bulan Januari dan Juli sebagai berikut: (1) angin yang dominan pada periode bulan Januari dan Juli memiliki perbedaan arah sedikitnya

1200; (2) frekwensi rata-rata angin dominan pada bulan Januari dan Juli melebihi 40%; (3) rata-rata kecepatan resultan angin pada salah satu bulan tersebut (Januari dan Juli) melebihi 10 m/s.

Chang (1984) menyatakan angin dalam sistem Monsun tersebut harus ditimbulkan akibat efek thermal, dan bukan dari pergerakan akibat angin dalam skala planetan dan pressure belt. Ramage (1971) mengemukakan bahwa ada dua sistem Monsun di Asia, yaitu Monsun Musim Dingin Asia Timur (the East Asian Winter Monsun) dan Monsun Musim Panas Asia Selatan (the South Asian Summer Monsun). Pada musim dingin, massa udara mengalir dari pusat tekanan tinggi ke pusat tekanan rendah ke arah selatan dan tenggara melewati Korea, Cina, dan Jepang. Massa udara yang kearah tenggara mengalami konvergensi di Laut Cina selatan dengan massa udara timur laut dari Samudra Pasifik. Kemudian dua massa udara (massa udara yang mengalami konvergensi massa udara yang ke arah Selatan) bergabung menuju Tenggara dan membentuk Monsun Timur Laut dan selanjutnya berubah menjadi baratan di Indonesia (setelah melewati ekuator).

Ada tiga sumber massa udara selama berlangsungnya Monsun pada musim panas. Sumber massa udara yang pertama berasal dari Samudra Hindia di selatan ekuator. Massa udara ini bersifat lembab, hangat dan tidak stabil yang mengalami konvergensi setelah mendekati ekuator. Sumber massa udara yang kedua adalah tekanan tinggi di Australia. Massa udara ini bersifat stabil dan kering dan kondisi ini berlangsung sampai di Tenggara Indonesia dan lebih barat lagi, massa udara ini menjadi bersifat lembab dan tidak stabil. Massa udara ketiga berasal dari Samudra Pasifik yang bersifat lembab, hangat dan relatif stabil. Namun setelah melewati samudra hangat massa udara tersebut menjadi tidak stabil.

Asia Timur dan Asia sebelah Selatan mempunyai sirkulasi Monsun yang terbesar dan paling berkembang. Sedangkan Monsun Asia Timur dan tenggara adalah Monsun yang berkembang dengan baik dan Monsun di Indonesia merupakan bagian dari Monsun Asia Timur dan Asia Tenggara. Hal ini disebabkan oleh besarnya Benua Asia dan efek dari daratan tinggi Tibet terhadap aliran udara (Prawirowardoyo 1996). Trewartha (1995) mengemukakan massa daratan yang sangat luas di benua Asia memperhebat perbedaan yang timbul dari selisih pemanasan dan pendinginan antara daratan dan lautan. Lebih jauh, Asia yang membentang dari Timur-barat pada kisaran lebar dari garis bujur di hemisfer Utara, sedangkan di hemisfer Selatan terutama adalah samudera di Selatan Equator. Akibatnya bagian terbesar dari perbedaan pemanasan yang menyebabkan sirkulasi Monsun, meliputi juga perbedaan utara-selatan, jadi memperkuat pergeseran normal menurut garis lintang dari sistem-sistem angin utama. Karena adanya deretan pegunungan yang sangat tinggi di Asia yang terentang arah Timur-Barat yaitu arah Timur Laut Kaspia ke China, sirkulasi meridional udara sangat terhambat. Hal ini membuat perbedaan musiman dalam temperatur dan tekanan yang lebih dramatis lagi.

Selama musim dingin massa daratan disebelah utara pegunungan itu menjadi demikian dingin hingga menghasilkan sistem tekanan tinggi yang kuat di atas Asia Timur Laut dan suatu aliran keluar udara dingin yang cukup menonjol dari Asia Timur (Trewartha, 1995). Di lain pihak, pemanasan intensif musim panas atas daratan subtropis yang terletak di sebelah selatannya deretan pegunungan itu, melahirkan suatu kawasan tekanan rendah dan suatu aliran inflow udara hangat yang kuat dan lembab ke Asia Selatan. Pada musim dingin di belahan bumi utara (BBU), yaitu pada bulan Desember, Januari, dan february angin Monsun bertiup dari Siberia menuju ke benua Australia. Pada periode ini daerah yang membentang dari ujung Sumatera bagian selatan, Jawa, Bali, Lombok, Nusa Tenggara sampai ke Irian angin Monsun bertiup dari barat ke timur.

Pola aliran udara rata-rata pada ketinggian 2000 kaki di bulan Januari merupakan bulan maksimum dari musim dingin di belahan bumi utara (BBU). Oleh sebab itu daerah ini dinamakan Monsun Barat dan musimnya disebut Musim Monsun Barat, sedangkan di daerah yang mencakup sebagian besar Sumatera lainnya dan Kalimantan Barat angin Monsun datang dari arah Timur Laut. Oleh karena itu, angin Monsun dari daerah ini disebut Monsun Timur Laut dan Musimnya disebut Musim Monsun Timur Laut. Pada musim panas di belahan bumi utara (BBU), terjadi sebaliknya angin Monsun berhembus dari benua Australia menuju ke Asia. Oleh karena itu disebut Monsun Timur dan musimnya dinamakan Musim Monsun Timur, sedangkan di daerah yang melingkupi bagian Sumatera lainnya dari Kalimantan Barat angin Monsun bertiup dari arah barat daya ke timur laut sehingga angin Monsun ini disebut Monsun Barat Daya dan musimnya disebut Musim Monsun Barat Daya. Pola aliran udara rata-rata pada ketinggian 2000 kaki pada bulan maksimum musim padan di belahan bumi utara (BBU) yaitu bulan Juli.

#### Sea Level

Pemanasan global menyebabkan suhu muka laut menjadi hangat dan mengakibatkan pencairan gletser, yang dapat mempengaruhi terhadap kenaikan muka air laut. Sehingga menyebabkan genangan air di daerah pesisir dan daratan perkotaan yang lebih rendah. Pengamatan temperatur global sejak abad 19 menunjukkan adanya perubahan temperatur yang menjadi indikator perubahan iklim. Perubahan temperatur tersebut menurut kajian dalam IPCC 2007 berkisar antara 1.10 hingga 6.40 C. Hal ini di perkirakan terus meningkat di masa yang akan datang. Australian Greenhouse Office (2005) menjelaskan pengaruh perubahan iklim terhadap bahaya yang akan timbul di wilayah pesisir dan laut, berupa badai yang mempengaruhi curah hujan dan limpasan permukaan, badai yang terkait dengan angin dan tekanan dan perubahan muka laut (variabilitas musiman, ENSO, Interdecadal Pasific Oscillation (IPO)).

Tinggi muka air laut dapat berubah dari tahun ke tahun selama waktu jangka panjang, tergantung kepada ENSO dan siklus IPO yang terjadi secara musiman. Intergovernmental Panel on Cimate Change (IPCC), memperkirakan level muka laut akan terus meningkat untuk beberapa abad ke depan bahkan jika emisi gas rumah kaca telah stabil, hal ini dikarenakan waktu respon laut yang cukup lama. Pencairan es diperkirakan akan menyebabkan kenaikan level muka air laut dalam orde beberapa meter selama beberapa abad sampai milenium ke depan (IPCC, 1990; IPCC 2001; IPCC 2008). Kenaikan muka laut di sebkkan oleh mencairnya es di kutub, kejadian iklim ekstrim, dan turunnya permukaan tanah akibat kompaksi lahan.

Mencairnya lapisan es di Greenland dan Antartika Peltier (1998) , dalam analisisnya menyatakan perkiraan batas atas sekitar 0,5 mm/tahun untuk tingkat kenaikan permukaan laut global setara dengan massa yang hilang. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan es kutub dan gletser mencair mungkin melengkapi penyebab kenaikan permukaan air laut global. Berdasarkan analisis palaeo sea level juga memperkiraan pada eustatic kenaikan permukaan laut dapat terjadi selama masa transisi glasial - interglasial terbaru dari LGM ke Holocene.

Pengukuran permukaan laut secara langsung berdasarkan pada endapan sedimen sekitar pantai pesisir dan urutan karang tropis (misalnya, dalam pengaturan tektonik stabil) telah ditetapkan dengan jelas bahwa permukaan laut eustatic lebih tinggi daripada sekarang selama terakhir ini interglasial sekitar 4 sampai 6 m (Rostami et al. 2000; Muhs et al 2002). Terganggunya lapisan es inti di North Greenland Ice Core Project (NGRIP) menjadi 123 ka, dan lebih tua tapi mengganggu LIG es di Greenland Ice Core Project (GRIP) dan Greenland Ice Sheet Proyek 2 (GISP2) core, menunjukkan bahwa wilayah Greenland tetap

tertutup es selama LIG (Raynaud et al 1997; NGRIP 2004) mempunyai nilai isotop yang sama. Perbedaan yang ditemukan di Camp century dan Renland core (Johnsen et al. 2001) menunjukkan bahwa elevasi relatif berbeda selama LIG di Greenland utara yang tidak besar. Kontribusi simulasi Greenland pada naiknya permukaan laut ini cenderung didorong oleh musim panas orbital di Kutub Utara. Bukti bahwa permukaan laut 4 sampai 6 m ini menyiratkan juga mungkin ada kontribusi dari Antartika (Scherer et al 1998; Overpeck et al. 2006). Overpeck et al (2006) menyatakan bahwa karena kondisi- Arktik LIG pemanasan sangat mirip dengan yang diharapkan di masa depan yaitu dua kali lipat iklim CO<sub>2</sub>, kemuduran yang signifikan dari Greenland Ice Sheet diharapkan terjadi di masa depan. Karena tidak semua dari kenaikan LIG dari permukaan laut dijelaskan oleh lelehan belakang Greenland Ice Sheet.

#### **2.2.6.2 Gradien tekanan**

Menurut Pariwono (1989), angin didefinisikan sebagai gerakan udara mendatar (horizontal) yang disebabkan oleh perbedaan tekanan udara antara dua tempat. Atmosfer selalu berusaha membentuk sebaran tekanan yang seragam, maka massa udara yang padat dari tekanan tinggi mengalir ke tempat bertekanan rendah dimana massa udaranya relatif lebih renggang.

Salah satu faktor penyebab timbulnya angin adalah adanya gradien tekanan. Gaya gradien tekanan timbul karena adanya perbedaan suhu udara. Dalam hal ini hubungan antara permukaan bumi dalam menerima energi radiasi matahari yang sama tapi mempunyai laju pemanasan yang berbeda - beda dari satu tempat ke tempat yang lain. Perbedaan tekanan udara pemanasan terlihat dari suhu udara yang berada langsung diatas permukaan yang tepanasi sehingga menyebabkan ketidakseimbangan yang menimbulkan perbedaan tekanan udara antara satu tempat dengan tempat yang lain. Gradien tekanan ini akan memicu terjadinya angin. Atmosfer selalu berusaha membentuk sebaran tekanan yang seragam, maka massa udara yang padat dari tekanan tinggi mengalir ke tempat bertekanan rendah dimana massa udaranya relatif lebih renggang.

Kuat atau lemahnya hembusan angin ditentukan oleh besarnya kelandaian tekanan udara atau dengan kata lain kecepatan angin sebanding dengan kelandaian tekanan udaranya. Disamping kelandaian tekanan, gerak angin ditentukan oleh faktor-faktor lain seperti pengaruh rotasi bumi dan gaya gesek (frictional force) (Pariwono, 1989). Semakin besar perbedaan tekanan udara maka semakin besar pula kecepatan angin berhembus.

Gletser

Rekonstruksi gletser menghasilkan informasi penting tentang variasi iklim masa lalu. Gambaran iklim masa lalu dan gangguan keseimbangan massa telah disimpan oleh gletser dalam rentang dekade bahkan ratusan tahun. Faktor utama dari gletser di wilayah ekstrapropikal terletak pada pertumbuhan dan penyusutannya saat musim dingin dan panas. Gletser di wilayah dengan akumulasi musiman (Iceland, coastal Norway, New Zealand) dan beberapa wilayah yang dipengaruhi monsun secara signifikan ditentukan oleh faktor presipitasi. Berbagai teknik telah diaplikasikan untuk mendapatkan informasi dari batuan gunung dan secara signifikan telah memberikan gambaran kronologi dari variasi gletser (Anderson et al. 2008). Kajian sedimen dari dasar gletser di danau dan lautan telah memberikan rekonstruksi dari fluktuasi gletser secara berkesinambungan (Bertrand et al. 2012).

Data baru telah mengkonfirmasi bahwa gletser di belahan bumi utara mengalami peningkatan dan di belahan bumi selatan mengalami penyusutan selama periode Holocene, hal ini berkaitan dengan musim panas di kedua belahan bumi tersebut (Davis et al., 2009). Kecuali bagian timur Himalaya, di mana gletser tumbuh secara ekstensif pada

awal periode Holocene (Gayer et al. 2006). Hasil pemodelan (Rupper et al. 2009) mengindikasikan bahwa hal ini mungkin terjadi karena efek penurunan temperatur di musim panas sebagai respon dinamis dari rotasi bumi. Ketidakyakinan, ketidaklengkapan dan heterogenitas data kronologi tentang gletser menyebabkan analisis menjadi sulit terutama untuk membandingkan variasi gletser antar wilayah dalam rentang waktu ratusan tahun dengan waktu yang lebih pendek (Kirkbride and Winkler, 2012).

## 2.3 DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, R. K., G. H. Miller, J. P. Briner, N. A. Lifton, and S. B. DeVogel, 2008: A millennial perspective on Arctic warming from 14C in quartz and plants emerging from beneath ice caps. *Geophysical Research Letters*, 35, L01502.
- Milankovitch, M. 1920. *Theorie Mathematique des Phenomenes Thermiques produits par la Radiation Solaire*. Gauthier-Villars Paris
- Azteria, V. 2009. *Pemanfaatan Data EAR (Equatorial Atmosphere Radar) dalam Mengkaji Terjadinya Monsun di Kawasan Barat Indonesia*. Bogor: Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor
- Bertrand, S., K. A. Hughen, F. Lamy, J. B. W. Stuut, F. Torrejón, and C. B. Lange, 2012: Precipitation as the main driver of Neoglacial fluctuations of Gualas glacier, Northern Patagonian Icefield. *Climate of the Past*, 8, 519- 534
- Bradley R. 1999. *Paleoclimatologi: Reconstructing Climates of the Quaternary Second Edition*. USA: ACADEMIC PRESS.
- Cobb K, Cole J, Lough J, Tudhope S. 2008. Annually-banded corals as climate proxies. [terhubung berkala] <http://www.ncdc.noaa.gov> [28 Desember 2015].
- Cronin, T.M. 1999. *Principles of Paleoclimatology 1<sup>st</sup> edision*. Columbia University Press. New York
- Davis, P. T., B. Menounos, and G. Osborn, Eds., 2009: *Holocene and Latest Pleistocene Alpine Glacier Fluctuations: A Global Perspective*. Vol. 28, 2021-2238 pp
- D'Arrigo, R.D., 1989: Dendrochronological Modeling and Reconstruction of Large-Scale Climate Variability in Recent Centuries and its Relation to Atmospheric Forcing Functions. Ph.D. thesis. Columbia University
- Gayer, E., J. Lavé, R. Pik, and C. France-Lanord, 2006: Monsoonal forcing of Holocene glacier fluctuations in Ganesh Himal (Central Nepal) constrained by cosmogenic <sup>3</sup>He exposure ages of garnets. *Earth and Planetary Science Letters*, 252, 275-288
- Gribbin J. 1978. Isotop Studies. Di dalam: Gribbin J, editor. *Climatic Change*. London: *Canbridge University Press*. Hlm 46-67.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001. *Third Assessment Report: Climate Change 2001*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kneller M. 2009. Pollen analysis. *Enciclopedia of Paleoclimatologi and Acienc Environments*: 815-820.
- Kirkbride, M. P., and S. Winkler, 2012: Correlation of Late Quaternary moraines: impact of climate variability, glacier response, and chronological resolution. *Quaternary Science Reviews*, 46, 1-29
- Mann, Micahel E. 2009. *Dire Prediction: Understanding Global Warming*. New York: DK Publishing, Inc
- Milankovitch, M. 1930. *Mathematische Klimalehre und Astronomische Theorie der Klimaschwankungen*, Handbuch der Klimalogie Band 1 Teil A Borntager Berlin
- Milankovitch, M. 1941 *Kanon der Erdbestrahlungen und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem* Belgrade. (New English Translation, 1998, *Canon of Insolation and the Ice Age Problem*. With introduction and biographical essay by Nikola Pantic. 636 pp. \$79.00 Hardbound. Alven Global. ISBN 86-17-06619-9
- [NOAA] National Oceanic and Atmospheric Administration. 2011. *Climate Change*. [tempat tidak diketahui]: NOAA National Weather Data Service.

- Pujiindiyati E R. 2014. Peranan Isotop  $^{13}\text{C}$  pada Lingkar Pohon dalam Pencatatan Perubahan Siklus Karbon di Atmosfer. *Jurnal ILMU DASAR*. 15(1): 15-21
- Purwanto Ratih Dwimeini. 2009. Kajian Paleoklimatologi dan Perubahan Suhu Global. *Skripsi*. FMIPA: IPB
- Rupper, S., G. Roe, and A. Gillespie, 2009: Spatial patterns of Holocene glacier advance and retreat in Central Asia. *Quaternary Research*, 72, 337-346
- Trewartha, T and Horn, L.1995. Pengantar Iklim. Gadjah Mada Universitas

# 3 VARIABILITAS IKLIM

## 3.1 PENDAHULUAN

### 3.1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara kepulauan yang ada di dunia. Hal ini dikarenakan banyak pula yang terdapat di Indonesia, baik pulau besar maupun pulau kecil. Indonesia terletak di wilayah tropis yang menerima radiasi matahari paling banyak, terletak diantara dua benua yang besar (Asia dan Australia) dan dua samudera (samudera Hindia dan Pasifik). Letak geografis tersebut menyebabkan negara Indonesia rentan terhadap variabilitas dan perubahan iklim. Pengertian variabilitas dan perubahan iklim tersebut berbeda, sehingga perlu dibedakan.

Variabilitas iklim merupakan fluktuasi unsur iklim yang terjadi secara spontan dan tidak berlangsung lama. Variabilitas iklim adalah perubahan kondisi cuaca lokal dalam jangka pendek (beberapa hari hingga beberapa bulan) jika dibandingkan dengan kondisi rata-rata. Sedangkan perubahan iklim adalah perubahan kondisi cuaca rata-rata dalam periode satu dekade atau lebih. Perubahan iklim telah menyebabkan berubahnya nilai unsur-unsur iklim di bumi. Peningkatan suhu

Sejak revolusi industri dimulai hingga sekarang telah menyebabkan terjadinya peningkatan suhu udara global. Selain meningkatkan itu, perubahan iklim juga menyebabkan anomali iklim seperti fenomena Enso (El-Nino dan La-Nina), IOD (Indian Ocean Dipole), penurunan atau peningkatan suhu udara secara ekstrem, curah hujan dan musim bergeser dari pola biasanya dan tidak menentu serta permukaan air laut meningkat dan terjadinya rob di beberapa wilayah.

### 3.1.2 Tujuan Penulisan

Penulisan dokumen ini bertujuan untuk memenuhi tugas akhir mata kuliah Sains Perubahan Iklim. Dokumen ini akan menjadi rujukan dalam pembuatan buku pedoman mata kuliah Sains Perubahan Iklim. Adapun tema yang diambil pada penulisan adalah variabilitas iklim. Tema ini berkaitan dengan masalah perubahan iklim sehingga dapat dijelaskan menggunakan ilmu meteorologi.

## 3.2 PEMBAHASAN

### 3.2.1 Faktor - Faktor Penyebab Terjadinya Variabilitas Iklim

#### 3.2.1.1 Faktor Musiman : Angin Monsun

Monsun menyebabkan variasi iklim musiman di Indonesia (Tsayono B 2007). Angin Monsun bertiup sepanjang tahun dan berganti arah dua kali dalam setahun. Selama berganti arah, angin monsun juga berganti sifat. Pada umumnya *dry sesason* pada setengah tahun pertama, kemudian berganti *wet season* pada setengah tahun berikutnya. Pergantian musimnya biasanya terjadi pada bulan Desember, Januari, dan february (DJF) dan Juni, Juli dan Agustus (JJA). Angin monsun pada dasarnya disebabkan oleh perbedaan pemanasan daratan dan lautan yang dikarenakan perbedaan letak lintang. Berikut mekanisme terjadinya angin monsun: matahari berada pada belahan langit selatan pada bulan Oktober-April, sehingga benua Australia lebih banyak memperoleh pemanasan matahari dari benua Asia. Akibatnya di Australia terdapat pusat tekanan udara rendah



(depresi) sedangkan di Asia terdapat pusat-pusat tekanan udara tinggi (kompresi). Keadaan ini menyebabkan arus angin dari benua Asia ke benua Australia. Di Indonesia angin ini merupakan angin musim Timur Laut di belahan bumi Utara dan angin musim Barat di belahan bumi Selatan. Oleh karena angin ini melewati Samudra Pasifik dan Samudra Hindia maka banyak membawa uap air, sehingga pada umumnya di Indonesia terjadi musim penghujan. Musim penghujan meliputi hampir seluruh wilayah Indonesia, hanya saja persebarannya tidak merata. Makin ke Timur curah hujan makin berkurang karena kandungan uap airnya makin sedikit.

Ramage (1971) mengemukakan bahwa ada dua sistem Monsun di Asia, yaitu Monsun Musim Dingin Asia Timur (*the East Asian Winter Monsun*) dan Monsun Musim Panas Asia Selatan (*the South Asian Summer Monsun*). Pada musim dingin, massa udara mengalir dari pusat tekanan tinggi menuju arah selatan dan tenggara melewati Korea, Cina, dan Jepang. Massa udara ini mengalami konvergensi di Laut Cina selatan dengan massa udara timur laut dari Samudra Pasifik. Kemudian massa udara yang mengalami konvergensi ini bergabung menuju Tenggara dan membentuk Monsun Timur Laut. Setelah melewati Ekuator, monsun ini kemudian berubah menjadi baratan di Indonesia.

Pada musim panas, pusat tekanan rendah berada di sebelah timur laut India, tetapi Monsun mulai berkembang di Cina Selatan, kemudian ke Birma dan beberapa bulan kemudian berkembang di India (Nieuwolt, 1977). Sumber massa udara selama berlangsungnya Monsun pada musim panas ini berasal dari Samudra Hindia di selatan ekuator (bersifat lembab, hangat dan tidak stabil yang mengalami konvergensi setelah mendekati ekuator). Sumber massa udara lainnya adalah tekanan tinggi di Australia (bersifat stabil dan kering dan kondisi ini berlangsung sampai di Tenggara Indonesia dan lebih barat lagi, massa udara ini menjadi bersifat lembab dan tidak stabil). Kemudian sumber lainnya adalah masa udara dari Samudra Pasifik (bersifat lembab, hangat dan relatif stabil, namun setelah melewati samudra hangat massa udara tersebut menjadi tidak stabil).

### **3.2.1.2 Faktor Non-Musiman : Aktivitas Vulkanik**

Ada beberapa tipe gunung berapi yaitu, gunung berapi kerucut, gunung berapi perisai (*shield volcano*), gunung berapi maar, gunung berapi besar atau gunung berapi supervolcano. Terdapat juga ciri-ciri ketika gunung berapi akan meletus yaitu suhu disekitar gunung akan naik, mengeringnya mata air, mengeluarkan suara gemuruh lebih sering dan dapat disertai dengan getaran berupa gempa. Selain itu, tumbuhan di sekitarnya akan layu dan binatang akan bermigrasi turun menghindari gunung. Gunung meletus adalah peristiwa keluarnya endapan magma dalam inti bumi dikarenakan tekanan gas yang sangat tinggi. Magma adalah cairan pijar yang terdapat di dalam lapisan bumi dengan suhu yang sangat tinggi, yakni diperkirakan lebih dari 1.000 °C. Cairan magma yang keluar dari dalam bumi disebut lava. Suhu lava yang dikeluarkan bisa mencapai 700-1.200 °C. Letusan gunung berapi yang membawa batu dan abu dapat menyembur sampai sejauh radius 18 km atau lebih, sedangkan lavanya bisa membanjiri sampai sejauh radius 90 km. Letusan gunung berapi menghasilkan gas vulkanik, lava dan aliran pasir batu panas, lahar dan hujan abu. Karen hasil-hasil inilah dari zaman dahulu, gunung berapi telah berkontribusi dalam perubahan iklim di bumi. Gas vulkanik yang disemburkan oleh gunung berapi yang meletus berupa karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S), sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), dan nitrogen (NO<sub>2</sub>). Aerosol dan senyawa-senyawa diatas jika *ter-release* ke atmosfer akan menjadi gas rumah kaca yang memicu terjadinya efek rumah kaca. Sehingga lambat laun menimbulkan pemanasan global. Sehingga, gunung meletus dapat digolongkan sebagai kejadian yang non musiman untuk mempengaruhi perubahan iklim karena sumbangan hasil dari peristiwa meletusnya gunung berapi mengandung

komponen-komponen yang berhubungan dengan unsur-unsur iklim seperti gas, debu, retakan lempeng saat meletus sehingga menggeser lapisan bumi secara tektonik, dan lain-lain.

### **3.2.2 Mode Variabilitas Iklim Berdasarkan Skala Waktu**

#### **3.2.2.1 Mode Interannual Variabilitas Iklim**

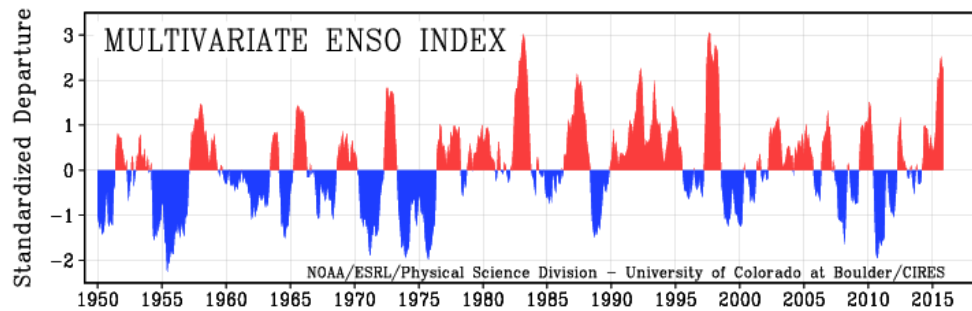
a. El Nino Southern Oscillation (ENSO)

ENSO merupakan singkatan dari *El-Nino Southern Oscillation*. Secara umum para ahli membagi ENSO menjadi ENSO hangat (*El-Nino*) dan ENSO dingin (*La-Nina*). Kondisi tanpa kejadian ENSO biasanya disebut sebagai kondisi normal. Referensi penggunaan kata hangat dan dingin adalah berdasarkan pada nilai anomali suhu permukaan laut (SST) di daerah NINO di Samudera Pasifik dekat ekuator bagian tengah dan timur. *El-Nino*, menurut sejarahnya adalah sebuah fenomena yang teramati oleh para penduduk atau nelayan Peru dan Ekuador yang tinggal di pantai sekitar Samudera Pasifik bagian timur menjelang hari natal (Desember). Fenomena yang teramati adalah meningkatnya SST yang biasanya dingin. Fenomena ini mengakibatkan perairan yang tadinya subur dan kaya akan ikan (akibat adanya *upwelling* atau arus naik permukaan yang membawa banyak nutrisi dari dasar) tidak lagi subur dalam periode waktu tertentu. *El-Nino* sendiri dapat diartikan sebagai "anak lelaki" dalam bahasa Spanyol. Di kemudian hari para ahli juga menemukan bahwa selain fenomena menghangatnya SST, terjadi pula fenomena sebaliknya yaitu mendinginnya SST akibat menguatnya *upwelling*. Kebalikan dari fenomena ini selanjutnya diberi nama *La-Nina* yang berarti "anak perempuan". Fenomena ini memiliki periode 2-7 tahun. Seiring dengan penelitian intensif yang terus dilakukan terhadap fenomena ini, akhirnya diketahui bahwa sebenarnya fenomena *El-Nino/La-Nina* bukanlah sebuah fenomena lokal yang hanya terjadi di Peru dan Ekuador saja, tetapi mencakup suatu areal yang sangat luas di Samudera Pasifik dekat ekuator (wilayah tropis).

El-Nino merupakan suatu gejala alam di Samudra Pasifik bagian tengah dan timur yaitu memanasnya suhu permukaan laut di wilayah tersebut. Pada saat yang bersamaan terjadi perubahan pola tekanan udara yang mempunyai dampak sangat luas dengan gejala yang berbeda-beda, baik bentuk dan intensitasnya. El Nino sangat mempengaruhi curah hujan pada saat musim peralihan dari musim kemarau ke musim hujan di Indonesia (Mulyana 2002). Fenomena ini memiliki periode 2-7 tahun. Sedangkan La Nina merupakan kebalikan dari El Nino, yang ditandai dengan anomali suhu muka laut di daerah tersebut negatif (lebih dingin dari rata-rata), yang secara umum akan menyebabkan curah hujan di Indonesia bertambah.

ENSO merupakan salah satu sumber utama variabilitas antar-tahunan (*interannual*) musim dan iklim di dunia. Menurut Trenberth dan Caron (2000), istilah osilasi selatan sendiri pertama kali diberikan oleh Walker (1932) dan Bliss (1937). Awalnya, ilmuwan bernama lengkap Sir Gilbert Walker yang menjabat sebagai direktur jenderal pada sebuah observatorium di India (1904) melakukan sebuah penelitian untuk dapat meramalkan variasi monsun dan kaitannya dengan kekeringan di India. Penelitian dilakukan dengan melakukan pengolahan data tekanan udara di atas permukaan laut, temperatur udara, curah hujan dan lain-lain dari hasil pengamatan beberapa dekade di seluruh negara koloni kekuatan Eropa pada waktu itu. Dari hasil pengolahan tersebut diperoleh bahwa terdapat sebuah pola yang hampir sama, yaitu adanya hubungan antara medan tekanan di daerah tropis dengan tekanan tinggi di

Samudera Pasifik Selatan bagian tengah dan tekanan udara yang rendah di Australia, Asia Tenggara dan India Tengah serta Afrika Selatan dan Amerika Selatan.



Gambar 3-1 Indeks El nino southern oscillation

Sumber:<http://www.enr.gov.nt.ca/state-environment/22-pacific-decadal-oscillation-index-and-el-nino-la-nina>.

El-Nino akan terjadi apabila perairan yang lebih panas di Pasifik tengah dan timur meningkatkan suhu dan kelembaban pada atmosfer yang berada di atasnya. Kejadian ini mendorong terjadinya pembentukan awan yang akan meningkatkan curah hujan di sekitar kawasan tersebut. Bagian barat Samudra Pasifik tekanan udara meningkat sehingga menyebabkan terhambatnya pertumbuhan awan di atas lautan bagian timur Indonesia, sehingga di beberapa wilayah Indonesia terjadi penurunan curah hujan yang jauh dari normal. Pembentukan El-Nino dikaitkan dengan pola sirkulasi samudera pasifik yang dikenal sebagai osilasi selatan sehingga disebut juga *El Nino-Southern Oscillation (ENSO)*. El-Nino merupakan fenomena global dari sistem interaksi laut dan atmosfer yang ditandai dengan memanasnya suhu muka laut di Pasifik Ekuator atau anomali suhu muka laut di daerah tersebut positif (lebih panas dari rata-ratanya). Pada saat yang bersamaan terjadi perubahan pola tekanan udara yang mempunyai dampak sangat luas.

Fenomena El Nino secara umum akan menyebabkan curah hujan di sebagian besar wilayah Indonesia berkurang, besar pengurangannya tergantung dari lokasi dan intensitas El-Nino tersebut. Namun demikian, karena luasnya wilayah Indonesia serta posisi geografisnya yang dikenal sebagai benua maritim, maka tidak seluruh wilayah Indonesia dipengaruhi oleh fenomena El-Nino. Pada tahun normal, tekanan permukaan rendah berkembang di wilayah utara Australia dan Indonesia dan tekanan tinggi melalui sistem pantai Peru. Akibatnya, angin pasat melalui Samudera Pasifik bergerak sangat kuat dari barat ke timur. Di timur aliran angin pasat membawa permukaan air hangat ke barat, sehingga badai membawa badai konvektif ke Indonesia dan pesisir Australia. Sepanjang pantai Peru, kolam air dingin terbawa sampai ke permukaan untuk menggantikan kolam air hangat yang diambil di sebelah barat.

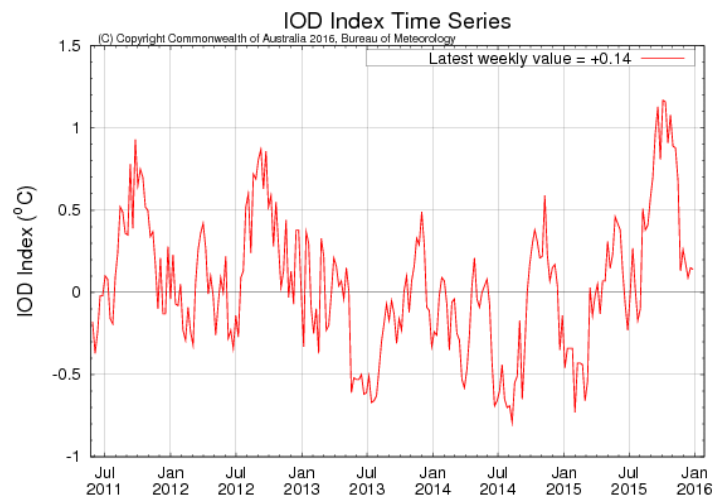
Indikator keberadaan anomali ENSO, dapat diperoleh dengan memantau indeks IOS. IOS adalah sebuah indeks yang diperoleh dari perbedaan harga tekanan udara di atas permukaan laut antara Tahiti dan Darwin. Harga IOS yang negatif mengindikasikan adanya El-Nino sedangkan IOS yang positif mengindikasikan adanya La-Nina. Nilai negatif ini disertai dengan terjadinya SST yang hangat (anomali positif) di Pasifik dekat ekuator bagian tengah dan timur yang diakibatkan oleh melemahnya angin pasat Pasifik dan berkurangnya curah hujan di bagian timur dan utara Australia, termasuk Indonesia. Sedangkan nilai IOS yang positif disertai dengan terjadinya SST yang dingin (anomali negatif) di Pasifik dekat ekuator bagian tengah dan timur yang

diakibatkan oleh menguatnya angin pasat Pasifik dan meningkatnya curah hujan di bagian timur dan utara Australia, termasuk Indonesia.

Selain nilai IOS, para peneliti juga telah mendefinisikan indeks lainnya yang dihitung dari harga suhu permukaan laut yang biasa disebut sebagai indeks NINO. Ada beberapa indeks NINO yang biasa digunakan yaitu NINO 1+2 (0-10°LS dan 90°-80°BB), NINO 3 (5°LU-5°LS dan 150°-90°BB), NINO 4(5°LU-5°LS dan 160°BT-150°BB), serta NINO 3.4(5°LU-5°LS dan 170°-120°BB). Perhitungan indeks NINO dapat mengikuti harga rata-rata dari 1950 sampai 1979 (periode dasar untuk menghitung harga rata-rata). Harga indeks NINO yang positif dan lebih besar dari 0,5°C mengindikasikan terjadinya El-Nino dan harga indeks NINO yang negatif dan lebih kecil dari -0,5°C mengindikasikan terjadinya La-Nina.

b. *Indian Ocean Dipole (IOD)*

Indian Ocean dipole (IOD) merupakan variabilitas interannual sepanjang Samudera Hindia Tropis yang terdiri dari interaksi laut-atmosfer pada arah zonal. Selama tahun-tahun IOD, terdapat kecenderungan naiknya curah hujan di Afrika tropis bagian timur dan terjadinya kekeringan di Indonesia (Saji *et al.* 1999). Umumnya, kejadian IOD mulai muncul selama akhir musim semi atau awal musim panas dan sebagian besar anomalnya menghilang pada bulan Januari di tahun berikutnya (Vinayachandran *et al.* 2009).



Gambar 3-2 Indian ocean dipole index

Sumber: <http://weathergains.blogspot.co.id/p/indian-ocean-dipole.html>

Proses lautan yang bertanggung jawab dalam pendinginan anomali SST antara lain adalah penurunan termoklin dan variasi pada kedalaman lapisan tercampur. Penurunan termoklin terutama dipengaruhi oleh dinamika di bawah permukaan laut, misalnya upwelling, sedangkan variasi pada kedalaman lapisan tercampur membantu mendistribusikan ulang energi panas pada daerah beberapa meter di atas laut. Sementara itu, proses atmosfer yang termasuk dalam evolusi SST adalah fluks panas atmosfer-lautan dan sirkulasi atmosfer skala besar (Vinayachandran *et al.* 2009).

Karena adanya monsoon, distribusi spasial dari SST di Samudera Hindia memiliki karakter berupa air yang hangat di bagian timur dan air yang lebih dingin di bagian barat. Karakter ini kontras dengan Samudera Pasifik dan Atlantik yang airnya lebih hangat di bagian barat. Namun, pada fase matang dari IOD yang terjadi pada bulan September-Oktober, Samudera Hindia ekuatorial bagian timur menjadi dingin dan bagian baratnya menjadi hangat (Vinayachandran *et al.* 2009).

Kondisi anomali dari sistem laut-atmosfer tersebut disebut sebagai IOD positif (pIOD). Selain itu, IOD negatif (nIOD) juga terjadi, yaitu dengan karakter di bagian barat berupa anomali sea surface temperature (SST) yang lebih hangat, konveksi yang meningkat, muka laut yang meninggi, termoklin yang menjadi lebih dalam, serta kebalikannya di bagian timur. IOD negatif dapat disebut sebagai intensifikasi dari kondisi normal, sedangkan IOD positif merepresentasikan kondisi yang hampir merupakan kebalikan dari kondisi normal (Vinayachandran *et al.* 2009).

Kejadian IOD dapat dideteksi dengan menggunakan Dipole Mode Index (DMI) yang didefinisikan sebagai perbedaan anomali SST antara Samudera Hindia ekuatorial bagian barat dan timur. Secara umum, DMI diharapkan bernilai lebih dari satu standard deviasi dan bertahan terus selama 3 sampai 4 bulan pada tahun IOD. Anomali bagian barat dikurangi anomali bagian timur bernilai positif selama tahun IOD positif dan sebaliknya (Vinayachandran *et al.* 2009).

ENSO, yang merupakan sinyal dominan dari variabilitas interannual tropis, memiliki pengaruh signifikan terhadap Samudera Hindia. Penelitian yang dilakukan pada dekade terakhir menunjukkan secara jelas bahwa IOD merupakan sinyal utama variasi iklim interannual di daerah ini. Selama ini timbul perdebatan, apakah IOD bersifat dependen ataukah independen terhadap ENSO, dan terbukti bahwa IOD dapat lahir dan tumbuh di Samudera Hindia melalui proses kopel udara-laut tanpa dipaksa secara eksternal oleh Samudera Pasifik (Vinayachandran *et al.* 2009).

Hasil dari gradien SST yang kuat dipercaya sebagai faktor kuat dalam terjadinya curah hujan ekstrem di Afrika Timur, namun hal ini belum dikuantifikasi. Pemanasan di bagian barat Samudera Hindia juga meluas melewati lintang ekuatorial menuju daerah subtropics, dan bisa jadi merupakan faktor penghambat dari dampak ENSO di Afrika bagian selatan. IOD dapat membawa hujan yang mematikan ke wilayah Kenya dan Negara-negara tetangganya, dan pada akhirnya dapat menimbulkan epidemi (Turyanikayo- Ruyem 1942).

Jika ditinjau dari sisi biologi laut, kejadian IOD kuat dapat mengakibatkan bagian timur Samudera Hindia ekuatorial mengalami phytoplankton blooming, padahal biasanya daerah itu tidak terlalu produktif (Murtugudde and Busalachhi 1999). Kejadian ini juga berkaitan dengan peningkatan konsentrasi klorofil-a di tenggara teluk Bengal dan penurunan klorofil-a di bagian barat daya teluk (Vinayachandran and Mathew 2003). Di Laut Arab, pengaruh IOD menuntun pada penurunan konsentrasi klorofil-a, produktivitas primer, dan fluks CO<sub>2</sub> dari laut ke udara (Sarma 2006). Konsentrasi klorofil di bagian barat Samudera Hindia dan pada sepanjang pantai India juga menunjukkan penurunan selama tahun-tahun IOD (Wiggert *et al.* 2006). Selain itu, terjadi penajaman produktivitas biologis di pantai Indonesia yang menuntun pada kematian terumbu karang dalam area luas yang disebabkan oleh oksidasi zat organik di kolom air (Abram *et al.* 2003).

### **3.2.2.2 Mode Intraseasonal Variabilitas Iklim**

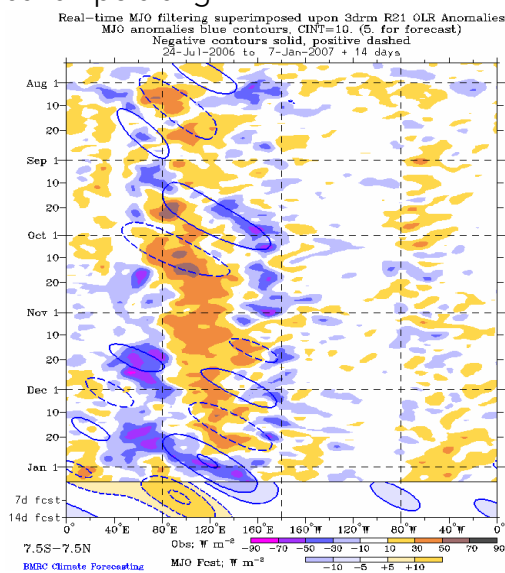
#### *a. Madden Julian Oscillation (MJO)*

Fenomena Madden Julian Oscillation pertama kali ditemukan oleh Roland Madden dan Paul Julian pada tahun 1971, yakni terdapat osilasi pembentukan awan di daerah tropis selama 40-50 hari. Osilasi ini memiliki karakteristik pada skala waktu dan ruang. Yang menyebabkan variasi iklim di wilayah yang dilaluinya.

MJO sering diasosiasikan dengan terbentuknya awan-awan *Super Cloud Cluster* sehingga dapat dengan mudah diamati dari observasi satelit karena puncak awan konvektif sangat dingin. Oleh karena itu memancarkan sangat sedikit radiasi. Efek

MJO mempengaruhi suhu muka laut yakni meningkat seiring dengan perjalanan arus laut ke timur sehingga berdampak pada tingginya penguapan air laut. Proses selanjutnya, terjadi gerakan uap air secara vertikal dan membentuk beberapa kluster awan hujan yang bergerak ke timur dengan kecepatan 5-10 m/s. hal penting yang perlu diketahui bahwa awan ini mengandung uap air sangat banyak serta menjalar ke timur dengan periode ulang 30-90 hari yang akhirnya lenyap setelah melewati Samudera Pasifik.

Fenomena MJO terkait langsung dengan pembentukan kolam panas di Samudera Hindia bagian Timur dan Samudera Pasifik bagian barat sehingga pergerakan MJO ke arah timur bersama angin baratan sepanjang ekuator selalu diikuti dengan konveksi awan cumulus tebal. Awan konvektif ini menyebabkan hujan dengan intensitas tinggi sepanjang penjarannya yang menempuh jarak 100 km dalam sehari di Samudera Hindia dan 500 km perhari ketika berada di Indonesia. Pergerakan *Super Clod Cluster* ini tentu saja berkaitan dengan pergerakan pusat tekanan rendah yang akan diikuti oleh perubahan pola angin.



Gambar 3-3 Time-longitude section anomali OLR bulan Agustus sampai Desember 2006.

Sumber: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/ARCHIVE/>

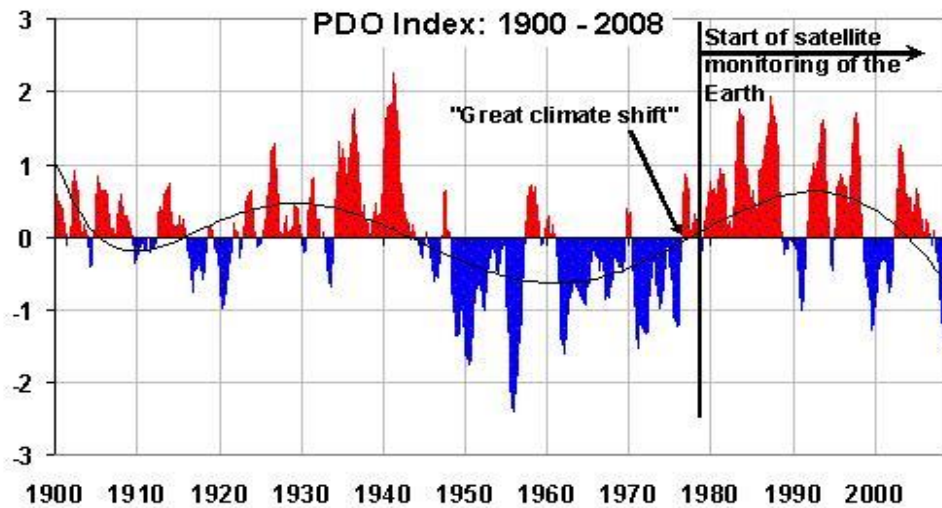
Distribusi spasial MJO adalah antara 10° LU dan 10° LS. Namun sekarang, MJO dikenali dari 20° LU dan 20° LS. Sementara itu, distribusi temporal MJO berkisar antara 40-50 hari. Di wilayah tropis, osilasi ini sedikit melebar yaitu sekitar 30-60 hari tetapi fenomena ini dapat diperpanjang dari 22-79 hari dengan rata-rata 45 hari. MJO dalam fase aktif memiliki korelasi terjadinya intensitas curah hujan yang tinggi terhadap wilayah yang dilaluinya. Pada saat indeks MJO menguat, maka terdapat kecenderungan bahwa curah hujan tinggi di wilayah yang dilaluinya.

### 3.2.2.3 Mode Decadal Variabilitas Iklim

#### a. Pasific Decadal Oscillation (PDO)

PDO adalah variabilitas iklim pasifik yang memiliki pola seperti El-Nino, perbedaannya terletak pada rentang waktu yang lebih lama. Namun, PDO dan El-Nino memiliki perilaku yang berbeda dalam waktu. PDO mengacu pada osilasi laut pasifik utara dan anomali atmosfer selama periode 20-30 tahun. PDO memiliki korelasi dengan ENSO, keduanya mencapai magnitude tertinggi selama musim dingin boreal. Nilai positif PDO biasanya berhubungan dengan kondisi basah di barat daya AS, sementara nilai PDO negatif akan memberikan dampak kekeringan yang terus-

menerus. PDO juga memiliki korelasi yang tinggi dengan perubahan dalam populasi ikan di utara pasific dan ekosistem laut. Banyak pemodelan iklim mengenai PDO, namun penyebab PDO belum diketahui secara pasti, oleh karena itu ada keterbatasan prediktabilitas.



Gambar 3-4 Pacific Decadal Oscillation index 1900-2008

Sumber : <http://www.drroyspencer.com/global-warming-background-articles/the-pacific-decadal-oscillation/>

Dua karakteristik utama yang membedakan PDO dengan El-Nino/Southern Oscillation (ENSO) adalah :

- 1) Kejadian PDO bisa terjadi antara rentang waktu 20 sampai 30 tahun, sedangkan ENSO hanya 6 sampai 18 bulan
- 2) PDO lebih sering terjadi di North Pasific/North American sector, sedangkan ENSO lebih sering terjadi di daerah tropis

Secara umum, anomali iklim yang terkait dengan PDO mirip dengan ENSO walaupun umumnya tidak terjadi secara ekstrim (Latif dan Barnett 1996 Mantua *et al.* 1997 dan Minobe 1997). Korelasi antara curah hujan anomaly dengan PDO menunjukkan pola sebagai berikut : fase PDO bertepatan dengan periode anomali kering di wilayah Australia Timur, Korea, Jepang, Rusia, Alaska, dan sepanjang barat laut pasific, serta di banyak negara Amerika Tengah, Utara, dan Selatan. Sedangkan ketika fase PDO hangat bertepatan dengan periode anomali basah di pesisir Teluk Alaska, Barat Daya Amerika Serikat dan Meksiko, Brazil Tenggara, Amerika Selatan, dan Australia Barat.

### 3.2.2.4 Mode Interdecadal Variabilitas Iklim

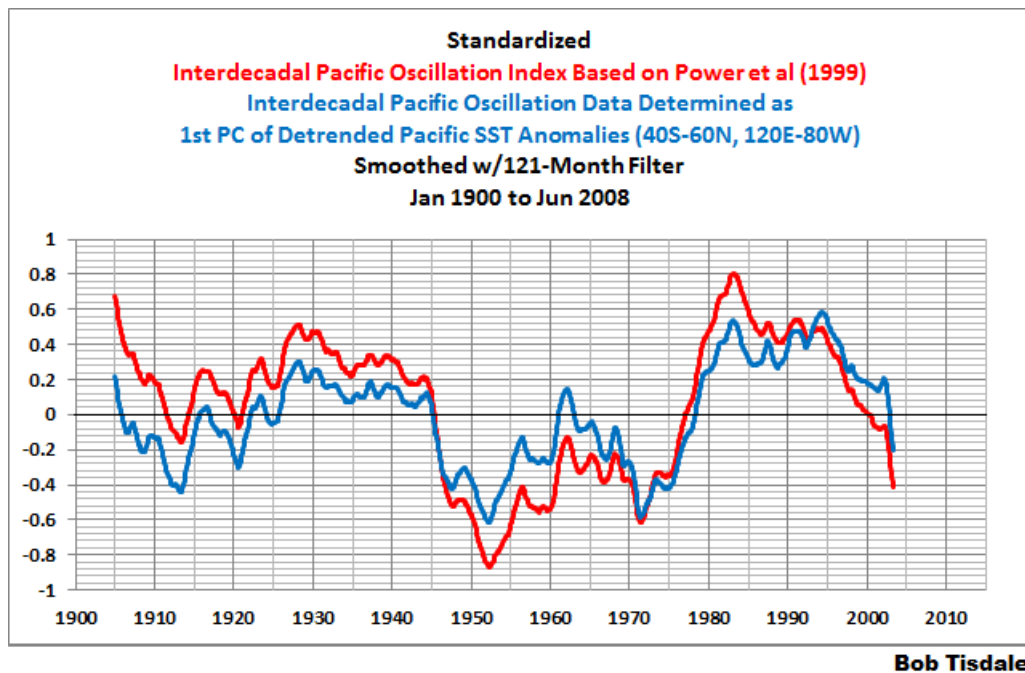
#### a. *Interdecadal Pacific Oscillation (IPO)*

Pasifik yang Interdecadal Osilasi (IPO atau ID) layar yang mirip suhu permukaan laut (SST) dan tekanan permukaan laut pola ke PDO, dengan siklus 15-30 tahun, tetapi memengaruhi baik utara dan selatan Pasifik. Dalam Pasifik tropis, anomali SST maksimum ditemukan jauh dari khatulistiwa. Hal ini sangat berbeda dari quasi-decadal osilasi (QDO) dengan jangka waktu 8-ke-12 tahun dan maksimum anomali SST menganggangi khatulistiwa, sehingga menyerupai ENSO.

IPO (Interdecadal Pacific Oscillation) merupakan pola multidekade suhu permukaan laut mirip fenomena ENSO, tetapi berbeda di beberapa karakteristik. IPO

menunjukkan jumlah kesimetrisan curah hujan daerah ekuator dan keragaman curah hujan di sebagian besar daerah timur Pasifik. IPO juga menunjukkan hubungan keragaman di daerah ekstratropis dan daerah tropis lainnya yang bernilai positif pada pola yang muncul lebih jauh terhadap daerah tropis Pasifik Barat.

IPO pertama kali dikenalkan oleh Power et al 1999 berdasarkan hasil penelitian Folland et al 1999. Power et al menjelaskan bahwa IPO dipengaruhi oleh hubungan iklim ENSO dari Australia. Persamaan antara PDO dengan IPO serta dampak yang diakibatkan hubungan IPO dengan ENSO di daerah konvergensi Pasifik Selatan tertuang dalam hasil penelitian Folland et al pada tahun 2002. Konsep dari IPO baru-baru ini digunakan untuk studi paleoklimat di Pasifik Selatan oleh Linsley et al 2004 dan dihubungkan dengan pola curah hujantropis oleh Meinke et al pada tahun 2005. Belakangan ini IPO juga dibandingkan dengan suhu permukaan laut dalam skala waktu 10 tahunan. Akhir-akhir ini IPO telah digunakan untuk analisis pembuktian data HadSST2 (Rayner et al 2006) oleh Parker et al 2007 menggunakan periode yang lebih panjang untuk menjelaskan pola IPO. Perubahan pola IPO dan time seriedari versi sebelumnya tidaklah besar namun kita dapat merubah data menjadi definisi yang dikemukakan Parker et al 2007.



Gambar 3-5 Interdecadal pacific oscillation index

Sumber: <https://bobtisdale.wordpress.com/2013/06/26/meehl-et-al-2013-are-also-looking-for-trenberths-missing-heat/>

### 3.2.3 Dampak Variabilitas Iklim terhadap Terjadinya Perubahan Iklim

Pada dasarnya perubahan iklim ditandai dengan adanya trend (naik/turun) dari tiap parameter yang diukur berdasarkan waktu. Variabilitas iklim tentunya menjadi indikator penting dalam menganalisis terjadinya perubahan iklim, dengan adanya perubahan atau penyimpangan dari pola yang dibentuk dari tiap variabilitas iklim maka dapat diindikasikan bahwa telah terjadinya perubahan iklim. Fluktuasi nilai parameter dari variabilitas iklim yang memiliki skala waktu yang panjang dapat diindikasikan sebagai perubahan iklim, misalnya kejadian ekstrim seperti peningkatan atau penurunan curah hujan dan intensitas hujan yang



diakibatkan oleh beberapa faktor pengendali variabilitas iklim seperti IOD dan ENSO dalam jangka waktu yang panjang mengindikasikan bahwa telah terjadi perubahan iklim.

### **3.2.3.1 Dampak yang Ditimbulkan Akibat Fenomena ENSO**

Fenomena ENSO yang umumnya terjadi secara bergantian dengan osilasi 3-7 tahun sekali memberi dampak besar terhadap pola Curah Hujan di Indonesia. El nino merujuk pada kejadian yang menyebabkan wilayah Indonesia menjadi lebih kering dan dapat menyebabkan kemarau panjang, sedangkan La Nina merupakan kejadian yang menyebabkan wilayah Indonesia umumnya mendapatkan curah hujan yang lebih, dan apabila La Nina terjadi di musim hujan, fenomena banjir-lah yang akan terjadi. Keadaan seperti ini akan diperparah apabila adanya anomali pendinginan di bagian Timur hingga Tenggara Samudera Hindia dan anomali pemanasan di Samudera Hindia bagian Barat yang dikenal sebagai IOD.

### **3.2.3.2 Dampak yang Ditimbulkan Akibat IOD**

IOD positif ditandai dengan peningkatan suhu permukaan laut bagian Barat Samudera Hindia yang dapat menyebabkan Curah Hujan di Indonesia berkurang.. IOD negatif ditandai dengan peningkatan suhu permukaan laut bagian Timur Samudera Hindia yang dapat meningkatkan Curah Hujan di Indonesia. Artinya apabila IOD positif terjadi bersamaan dengan fenomena La Nina maka banjir besar-besaran akan terjadi di wilayah Indonesia, dan apabila IOD negatif terjadi bersamaan dengan fenomena El Nino maka kekeringan atau kemarau panjang akan terjadi di wilayah Indonesia.

### **3.2.4 Dampak Variabilitas Iklim terhadap Kejadian Bencana Alam**

Markandya dan Aline (2009) mengatakan bahwa pemanasan global mempunyai konsekuensi terjadinya variabilitas iklim yang ditandai oleh perubahan suhu udara, curah hujan, serta limpasan air. Variabilitas iklim dapat menjadi pemicu adanya kejadian cuaca ekstrim serta terjadinya peningkatan frekuensi kejadian bencana alam.

#### **3.2.4.1 Banjir dan kekeringan**

Banjir adalah luapan air sungai ke daerah alirannya akibat ketidakmampuan sungai menampung air hujan karena adanya pendangkalan sungai ataupun pendangkalan saluran drainase. Curah hujan merupakan faktor utama, disamping faktor tanah dan tanaman atau faktor manusia. Banjir akan terjadi pada wilayah tersebut jika pada daerah tersebut turun hujan dalam jumlah, intensitas, dan waktu yang cukup lama. Menurut Isnugroho (dalam Rouw 2004) sedikitnya ada lima faktor penting penyebab banjir antara lain: (i) Curah hujan (ii) Karakteristik daerah aliran sungai (DAS) (iii) Kemampuan alur sungai mengalirkan air banjir (iv) Perubahan tata guna lahan dan (v) Pengelolaan sungai meliputi tata wilayah, pembangunan sarana dan prasarannya hingga tata pengaturannya.

Curah hujan yang melebihi kemampuan tanah dalam menyerap dan menyimpan air, akan dialirkan sebagai aliran permukaan yang dapat menimbulkan banjir. Banjir tidak akan terjadi jika permukaan tanah yang terkena hujan mampu meresapkan air dengan baik, sehingga menurunkan jumlah air hujan yang langsung mengalir melalui permukaan.

Secara faktual faktor determinan penyebab banjir dan kekeringan adalah kondisi iklim ekstrim, terganggunya keseimbangan hidrologis dan penggunaan lahan yang tidak sesuai peruntukannya. Besaran banjir dan kekeringan sangat ditentukan jumlah, intensitas faktor penyebab serta durasi terjadinya. Penyimpangan iklim akibat ENSO, IOD dan MJO menyebabkan produksi uap airdan awan di sebagian Indonesia bervariasi dari ekstrimitas tinggi ke rendah atau sebaliknya, sehingga menyebabkan penyimpangan iklim terhadap kondisi normalnya. Interaksi ketiga faktor tersebut sangat menentukan besaran factor klimatologis yang terjadi. Adanya penyimpangan iklim yang dapat memengaruhi pola musiman di Indonesia, menyebabkan ketidakaturan pola musiman tersebut, turunnya

hujan, kelebihan air di musim hujan dan kekurangan air di musim kemarau membuat pola pertanaman menjadi sulit berjalan dengan lancar mengingat pola pertanaman di Indonesia sangat bergantung pada pola musiman.

### 3.2.4.2 Taifun atau Angin Topan

Taifun adalah angin kencang, angin besar atau angin ribut. Taifun memiliki pengejaan dan arti yang sama dalam tiga bahasa, yaitu bahasa Mandarin, bahasa Tionghoa dan bahasa Jepang. Taifun terjadi jika tekanan udara yang terbentuk karena pertemuan antara angin dingin dengan angin panas. Taifun khususnya berada di daerah tropis. Taifun dalam bahasa Inggris disebut dengan tornado, sedangkan dalam bahasa Indonesia disebut dengan Topan. Disebut dengan taifun karena kejadiannya di kawasan Samudera Hindia yang kadang mendekati Australia dan kadangkala naik ke arah timur Tiongkok antara pulau Jepang dan Tiongkok Timur. Di Indonesia angin topan dikenal dengan sebutan angin badai atau angin putting beliung.

Angin topan adalah pusaran angin kencang dengan kecepatan 120 km/jam atau lebih yang sering terjadi di wilayah tropis di antara garis balik utara dan selatan, kecuali di daerah-daerah yang sangat berdekatan dengan khatulistiwa (Wuryanti, 2005). Angin topan disebabkan oleh perbedaan tekanan dalam suatu sistem cuaca, dan bisa berpusar sampai radius ratusan kilometer. (Rahman, 2012). Apabila topan akan mendekat, maka tekanan udara akan menjadi turun. Bila tekanan udara semakin turun maka akan cenderung turun hujan dan angin (BNPB,). Kekuatan angin bergerak menuju ke arah topan. Bagian kanan berputar mengelilingi topan dengan membangkitkan angin, untuk memindahkan atau menggerakkan topan ke arah yang sama maka bagian kiri juga ikut bergerak kuat. Kemudian, saat tekanan udara rendah akan mengakibatkan permukaan laut menjadi tinggi dan angin menjadi kuat. Tinggi tekanan udara sendiri di permukaan laut adalah 1 hPa. Bila tinggi muka laut makin rendah sebesar 1 cm, maka kecepatan angin akan menjadi meningkat 2 kali lipat.

Daerah yang banyak terserang topan adalah negara-negara di kawasan Samudera Pasifik dan Atlantik. Untuk daerah di kawasan California, Texas sampai ke daerah Asia seperti Korea dan Taiwan, bahaya angin topan merupakan bencana musiman. Sama halnya dengan Siklon, untuk bencana akibat topan juga harus hati-hati. Kerusakan yang banyak ditimbulkan oleh angin topan adalah robohnya bangunan, rusaknya areal pertanian dan perkebunan, membahayakan penerbangan, dan timbulnya ombak besar di pantai.

Berikut ini adalah referensi mengenai kekuatan topan :

Tabel 3.1 Tabel Kekuatan Topan

Jenis Kekuatan	Tekanan udara di pusat	Maksimum kecepatan angin
Topan lemah	> 990	17.2 - 25 m
Gelombang Topan	950 - 989	25 - 33 m
Topan Kuat	930 - 949	33 - 45 m
Topan sangat Kuat	900 - 929	45 - 50 m
Topan Sangat Dahsyat	< 900	> 50 m

Sedangkan menurut Saffir - Simpson skala kecepatan angin adalah sebagai berikut

Tabel 3.2 Tabel Kategori Angin

Kategori	Kecepatan
I	119 - 153 km/jam
II	154 - 177 km/jam
III	178 - 209 km/jam
IV	210 - 249 km/jam

V	>250 km/jam
---	-------------

Sumber : (Sukandar 2010)

## **3.3 PENUTUP**

### **3.3.1 Kesimpulan**

Hasil paper yang berjudul variabilitas iklim yang telah dianalisis diharapkan dapat bermanfaat dan dapat digunakan sebagai bahan rujukan untuk pengetahuan mengenai variabilitas iklim. Pengetahuan mengenai variabilitas iklim sangat penting karena dapat mengetahui anomali yang terjadi pada beberapa fenomena iklim sehingga dapat membedakannya dengan perubahan iklim. Variabilitas iklim sendiri adalah fluktuasi unsur iklim yang terjadi secara spontan dan tidak berlangsung lama. Variabilitas iklim di pengaruhi oleh faktor musiman dan non-musiman. Faktor musiman yang mempengaruhi diantaranya adalah monsoon, dan faktor non-musiman diantaranya aktivitas vulkanik. Mode variabilitas iklim dapat dikelompokkan berdasarkan skala waktu. Kejadian tersebut menimbulkan dampak terhadap perubahan iklim dan menyebabkan bencana alam.

### 3.4 DAFTAR PUSTAKA

- Abram N J, Gagan M K, McCulloch T M, Wahyoe J C and Hantoro S. 2003. Coral reef death during the 1997 Indian Ocean dipole linked to Indonesian wildfires; *Science* 301 952-955 doi:10.1126/science.1083841.
- Erwin Mulyana. 2002. Analisis Angin Zonal di Indonesia Selama Periode ENSO. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*. 3 (2) : 115-120
- Latif, M. and T.P. Barnett (1996): Decadal climate variability over the North Pacific and North America: dynamics and predictability. *J. Climate*, 9, 2407-2423.
- Mantua, N. J., S. R. Hare, Y. Zhang, J.M. Wallace, and R.C. Francis (1997): A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 1069-1079.
- Markandya A, Aline C. 2009. Valuing climate change impacts on human health : empirical evidence from the literature spain. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 6 : 759-786.
- Minobe, S. (1997): A 50-70 year climatic oscillation over the North Pacific and North America. *Geophys. Res. Lett.*, 24, 683-686.
- Murtugudde R and Busalacchi A J. 1999. Interannual variability of the dynamics and thermodynamics of the tropical Indian Ocean; *J. Climate* 12 2301-2326.
- Rahman, M. 2012. Analisis Jalur Evakuasi pada Gedung Graha Saintra Universitas Brawijaya sebagai Upaya Mitigasi Bencana Angin Topan dengan Menggunakan Metode Campus Watching. *ERUDIO*, Volume 1, No 1. Malang.
- Rahmat, H. 2012. Makalah Pengertian Klimatologi Serta Pengaruh Terhadap Iklim dan Cuaca. Fakultas Teknik Pertanian Universitas Muhammadiyah Mataram.
- Ramage, C.S. 1971. *Monsoon Meteorology*. Academic Press: New York.
- Rouw, A. 2004. Tingkat Kerawanan Zona Agroekologi Tanaman Pangan Terhadap Kekeringan Dan Banjir : Studi Kasus Kab. Merauke, Papua. [Tesis]. IPB, Bogor
- Rupper, S., G. Roe, and A. Gillespie, 2009: Spatial patterns of Holocene glacier advance and retreat in Central Asia. *Quaternary Research*, **72**, 337-346.
- Saji N H, Goswami B N, Vinayachandran P N and Yamagata T. 1999. A dipole mode in the tropical Indian Ocean; *Nature* 401 360-363.
- Salinger, M.J. 2001. Interdecadal Pasific Oscillatio and South Pasific Climate. National Institute of Water and Atmospheric Research, Auckland, New Zaeland. *Internasional Journal Of Climatology* 21 : 1705-1721.
- Sarma V V S S 2006 The influence of Indian Ocean dipole (IOD) on biogeochemistry of carbon in the Arabian Sea during 1997-98; *J. Earth Syst. Sci.* 115 433

# 4 MODEL IKLIM STATIK DAN DINAMIK

## 4.1 PENDAHULUAN

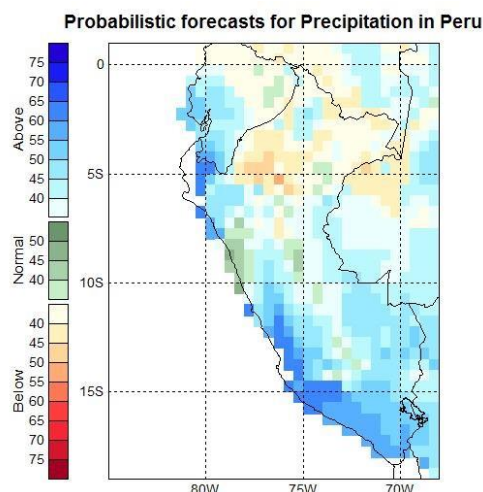
### 4.1.1 Latar belakang

Model iklim merupakan representasi numerik dari sistem iklim yang didasari oleh proses-proses fisis, kimia, dan biologi yang saling berinteraksi. Model iklim menggunakan metode kuantitatif untuk mensimulasikan komponen-komponen penggerak atmosfer. Model iklim dapat bersifat prognostic. Artinya, model tersebut dapat memperkirakan suatu kondisi fisik atmosfer pada waktu yang akan datang dengan simpangan tertentu.

## 4.2 PEMBAHASAN

### 4.2.1 Model Iklim Statik

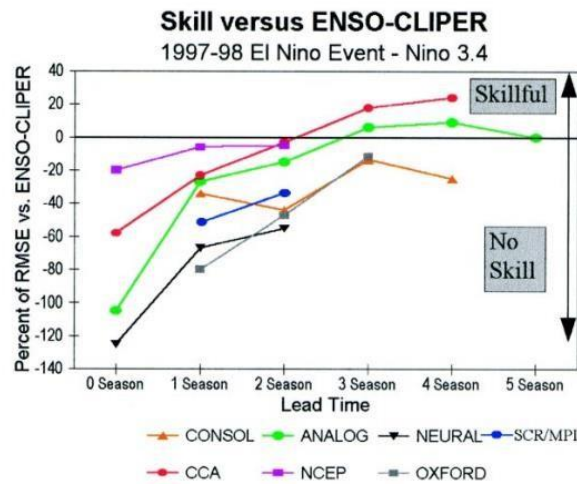
Model statik merupakan model yang dibangun berdasarkan relasi antara beberapa data iklim. Metode penyusunan model statik terdiri dari metode deskriptif (Klasifikasi, PCA) dan metode prediktif (regresi, analisis diskriminan, CCA). Time lag analysis sering digunakan dengan asumsi bahwa Large Scale Conditions (LSC) memiliki evolusi yang lambat dan mempengaruhi kondisi iklim lokal. Berikut adalah contoh model statik presipitasi di daerah Peru yang dijelaskan oleh data SST Nino 3.4 menggunakan metode CCA yang disajikan dalam Probabilistic Forecast.



Gambar 4-1 Probabilistic forecasts presipitasi di Peru 2011

Knaff dan Landsea (1997) membangun model statik ENSO CLIPER yang memprediksi Nino 3.4. Setelah terjadi El-Nino kuat pada tahun 1982/83, banyak dilakukan penelitian dan pembangunan model-model ENSO termasuk yang dilakukan oleh Knaff dan Landsea. Penelitian tersebut menghasilkan bahwa model ENSO CLIPER dari analisis korelasi kanonikal (CCA) memiliki model skill terbaik dari beberapa metode lainnya. Metode CCA digunakan untuk prediktan dan prediktor yang memiliki multikolinearitas

sehingga metode tersebut sangat cocok untuk menjelaskan data spasial. Berikut adalah perbandingan beberapa metode dalam menduga Nino 3.



Gambar 4-2 Variasi skill model ENSO CLIPER dari beberapa metode

Beberapa contoh model statik lainnya adalah model CPC, model CDC, model UCLA, dan lain-lain. Model-model tersebut digunakan untuk memprediksi indeks SST Nino 3.4. Bain et al. (2011) memodelkan pergerakan ITCZ menggunakan data satelit dengan metode statistik spasiotemporal. Metode tersebut merupakan pendekatan distribusi probabilistik secara spasial dari ITCZ tersebut yang dinamakan dengan Markov random field model.

#### 4.2.2 Model Iklim Dinamik

Model dinamik merupakan simulasi sistem iklim menggunakan persamaan-persamaan fisik atmosfer. Model tersebut memiliki kompleksitas yang tinggi dengan pembangunan persamaan analitik dalam menjelaskan proses fisik atmosfer. Pemodelan atmosfer seringkali menggunakan komputasi fluida dinamik. Simulasi pergerakan massa udara diproyeksikan dalam dimensi bidang horizontal, vertikal, dan waktu. Berikut adalah contoh persamaan momentum dalam simulasi pergerakan angin zonal, meridional, dan vertikal.

##### x Momentum

$$\rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \rho F_{Bx}$$

##### y Momentum

$$\rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + \rho F_{By}$$

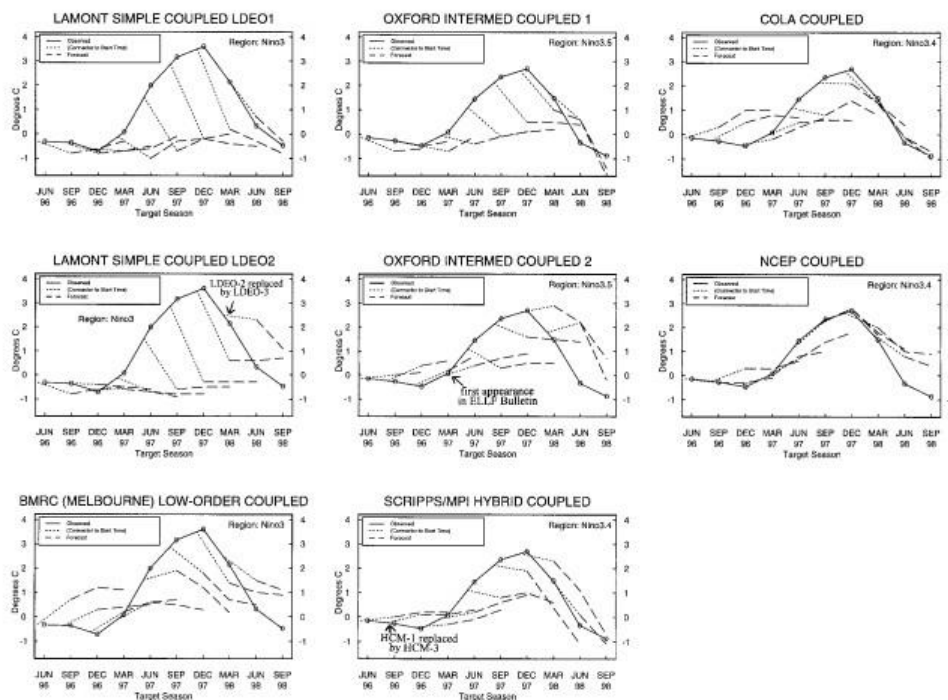
##### z Momentum

$$\rho \left( \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + \rho F_{Bz}$$

Pemodelan fisik dapat menjelaskan interaksi yang kompleks antara atmosfer dengan komponen bumi lainnya seperti lautan dan daratan. Proses pemodelan fisik memerlukan komputasi yang lebih kompleks daripada model statik sehingga membutuhkan waktu yang lebih lama. Berbeda dengan model iklim statik, model iklim

dinamik dapat menjelaskan hukum konservasi massa dan energi dari persamaan-persamaan yang dibangun. Persamaan yang terkenal dalam CFD adalah Navier-Stokes equation yang dapat menjelaskan sirkulasi lautan dan atmosfer.

Anderson dan McCreary (1985) menggunakan model lautan nonlinear yang rumit dengan persamaan-persamaan dinamik dan termodinamik dan menggabungkannya dengan model atmosfer yang linear. Mereka menemukan sistem coupled variabilitas interannual. Zebiak dan Cane (1987) membangun model ENSO berbasis persamaan dinamis. Coupling antara lautan dan atmosfer dilakukan keduanya dalam membangun model ini. Persamaan termodinamik digunakan untuk membangun system lautan dan persamaan dinamik digunakan untuk membangun system atmosfer. Model tersebut dibangun menjadi model Lamont-Doherty Earth Observatory. Beberapa model dinamik lainnya yang digunakan dalam menduga nilai indeks ENSO diantaranya adalah LDEO 2 (Chen et al. 1995), BMRC (Kleeman et al. 1995), Scripps (Bernett et al. 1993), COLA (Kirtman et al. 1997), dan lain-lain. Berikut ini adalah perbandingan model-model dinamik ENSO yang memperlihatkan anomali SST pada Juni 1996 hingga September 1998.

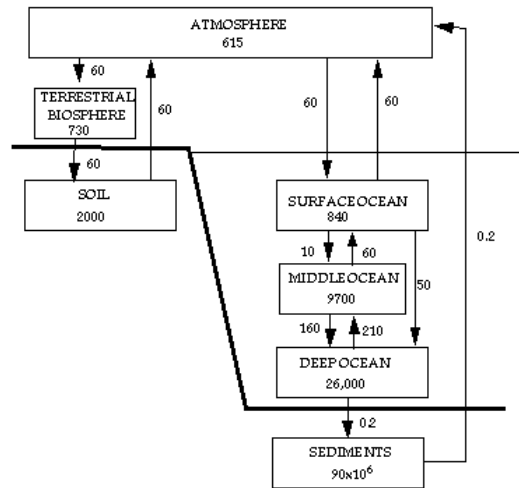


Gambar 4-3 Perbandingan model-model dinamik ENSO Juni 1996-September 1998

### 4.2.3 Sejarah Pemodelan Iklim

Box model adalah model sederhana dari sistem kompleks. Box merepresentasikan sebuah reservoir yang terhubung dengan reservoir lainnya melalui garis-garis fluks massa dan energi. Pemodelan ini dilakukan dalam sirkulasi lautan dan pemodelan siklus karbon.

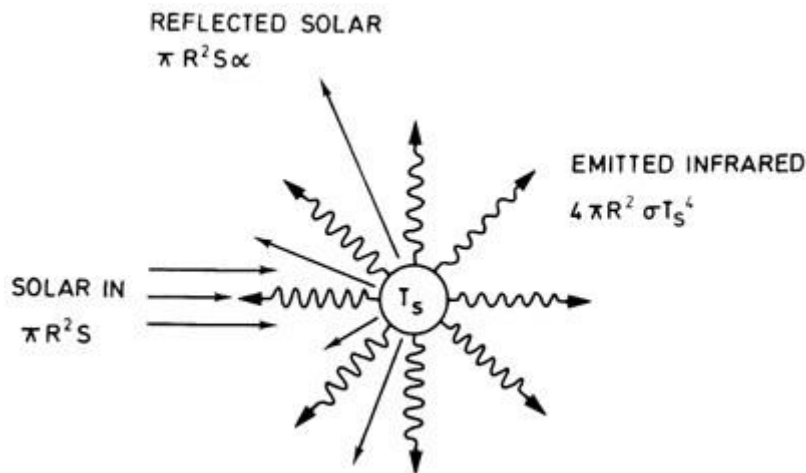




Gambar 4-4 Box model siklus karbon pada masa praindustri

Zero dimensional energy balance model merupakan model sederhana berbasis keseimbangan energi radiasi yang masuk ke bumi. Energi matahari yang diterima oleh bumi akan sama dengan energi yang dipancarkan keluar mengikuti hukum Stefan-Boltzmann yang mengikuti persamaan sebagai berikut.

$$(1 - a)S\pi r^2 = 4\pi r^2 \epsilon \sigma T^4$$



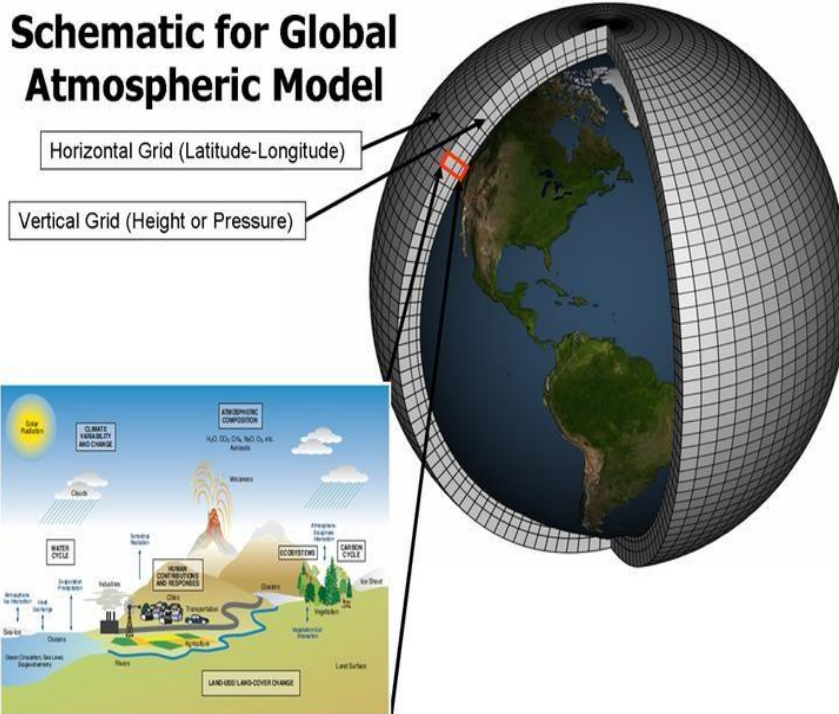
Gambar 4-5 Keseimbangan energi bumi sederhana

Model zero EBM ini memberikan output berupa suhu rata-rata bumi dan dapat dijelaskan sensitivitas suhu apabila diberikan impuls emisi gelombang panjang yang berbeda. Radiative convective model merupakan pengembangan dari zero-dimensional EBM. Energi transpor seperti emisi gelombang panjang dan konveksi diperhatikan dalam model ini. Kontribusi dari GRK dalam mempengaruhi emisi dan suhu permukaan dapat dijelaskan melalui model tersebut. Efek ice albedo feedback dapat terlihat dalam model tersebut. Model-model di atas merupakan model iklim sederhana sebagai awal mula pengembangan model-model iklim yang lebih kompleks. Penambahan komponen ke dalam sistem dan proses coupling merupakan salah satu cara dalam meningkatkan resolusi dari model iklim yang telah ada. Pada saat ini, peneliti banyak mengembangkan GCM, AOGCM, maupun ESM

#### 4.2.4 Global Climate Model

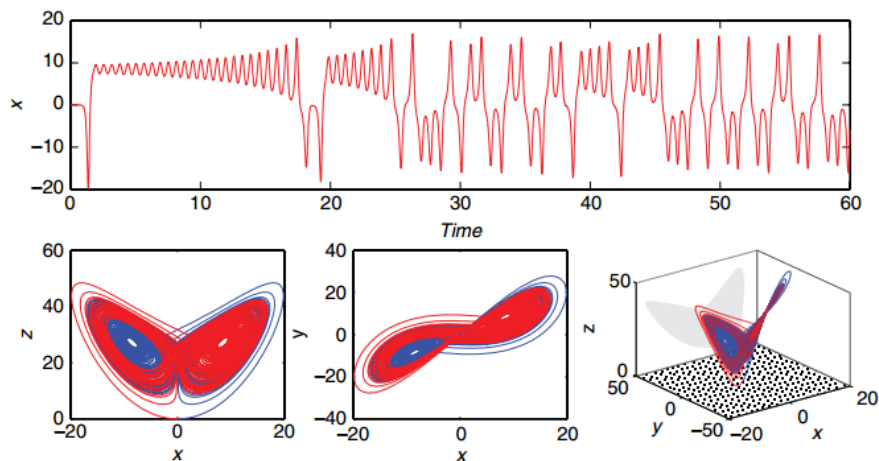
Model iklim sangat berguna sebagai alat untuk memahami iklim melalui simulasi dan membuat skenario perubahan iklim di masa yang akan datang. Salah satu model iklim yang digunakan untuk meramalkan keadaan iklim adalah Global Circulation Models (GCM).

GCM merupakan model iklim yang berbasis komputer dengan menggunakan persamaan numerik dan deterministik yang sesuai dengan kaidah-kaidah fisika. Permasalahan yang muncul adalah informasi GCM masih berskala global. Pada peramalan iklim, informasi yang diperlukan tidak hanya pada skala global tetapi pada skala lokal, maka untuk memperoleh informasi skala lokal dari GCM masih sulit, untuk itu upaya regionalisasi perlu dilakukan dengan menggunakan beberapa metode. GCM merupakan *gridded box* yang memiliki informasi *georeference* (x,y,z) dan nilai dari data iklim (T).



Gambar 4-6 Skema Model Atmosfer Global (GFDL NOAA)

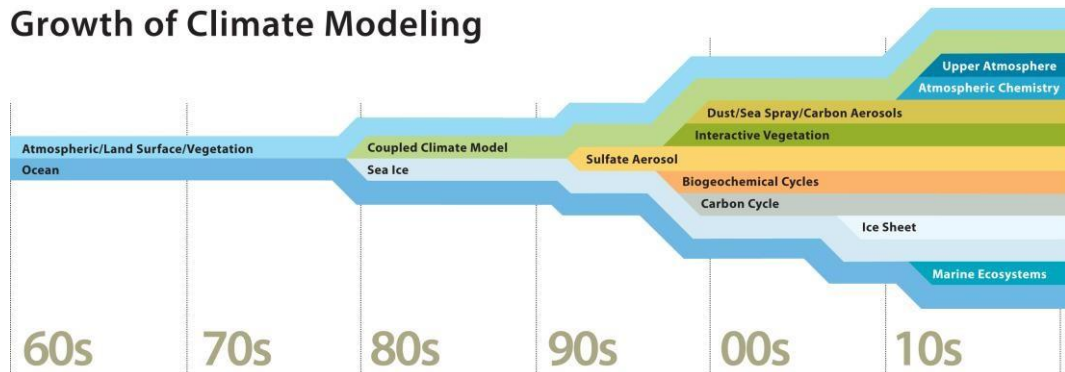
Berawal dari Norman Philips pada tahun 1956 yang membangun model sirkulasi atmosfer general tiga dimensi yang mengkonstruksi persamaan hidrostatik dan kesetimbangan geostrofik. Model tersebut iklim global yang kompleks.



Gambar 4-7 The Lorenz Butterfly

Edward N. Lorenz pada tahun 1965 membangun model atmosfer dengan 28 variabel. Model Lorenz dikonstruksi dari persamaan model geostrofik level-2 dengan

pemotongan menggunakan double-Fourier series yang kemudian dikenal sebagai The butterfly effect.



Gambar 4-8 Perkembangan komponen-komponen model iklim

GCM kemudian berkembang menjadi model interaksi lautan- atmosfer yang dikenal dengan AOGCMs. Model coupled ini merupakan iklim model standar yang digunakan dalam AR4 IPCC. Fungsi model tersebut adalah untuk memahami proses dinamik di dalam komponen iklim (atmosfer, lautan, daratan, dan sea ice) dan untuk membuat proyeksi konsentrasi GRK masa depan dan pengaruh aerosol. Pemasukan faktor biogeokimia seperti siklus karbon, siklus sulfur, dan ozon oleh Flato pada tahun 2011, menghasilkan suatu model yang lebih kompleks yang dinamakan Earth System Model (ESM). ESM kemudian berkembang lagi menjadi EMIC dengan pemasukan faktor lapisan es ke dalam model. Berikut adalah kompleksitas dalam model-model GCMs.

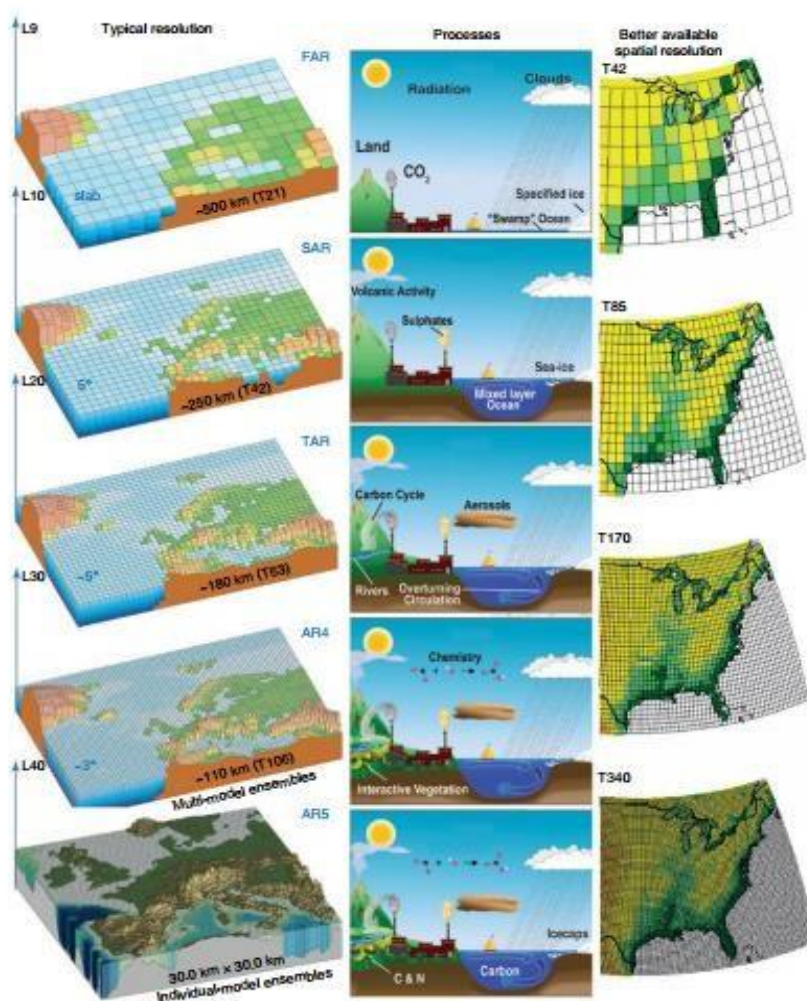
	Model name		AOGCM				FC	ESM			
			Atmos	Land Surface	Ocean	Sea-Ice		Aerosol	Atmos Chem	Land Carbon	Ocean BGC
CMIP5	ACCESS1.0, ACCESS1.3	Australia									
	BCC-CSM1.1, BCC-CSM1.1(m)	China									
	BNU-ESM	China									
	CanCM4	Canada									
	CanESM2	Canada									
	CCSM4										
	CESM1 (BGC)										
	CESM1 (WACCM)	USA	HT								
	CESM1 (FASTCHEM)										
	CESM1 (CAM5)										
	CESM1 (CAM5.1-FV2)	USA									
	CMCC-CM, CMCC-CMS	Italy	HT								
	CMCC-CESM		HT								
	CNRM-CM5	France									
	CSIRO-Mk3.6.0	Australia									
	EC-EARTH	Europe									
	FGOALS-g2	China									
	FGOALS-s2	China									
	FIO-ESM v1.0	China									
	GFDL-ESM2M, GFDL-ESM2G										
	GFDL-CM2.1	USA									
	GFDL-CM3		HT								
	GISS-E2-R, GISS-E2-H	USA	HT								
	GISS-E2-R-CC, GISS-E2-H-CC	USA	HT								
	HadGEM2-ES										
	HadGEM2-CC	UK	HT								
	HadCM3										
	HadGEM2-AO	Korea									
	INM-CM4	Russia									
	IPSL-CM5A-LR / -CM5A-MR / -CM5B-LR	France	HT								
MIROC4h, MIROC5		HT									
MIROC-ESM	Japan	HT									
MIROC-ESM-CHEM		HT									
MPI-ESM-LR / -ESM-MR / -ESM-P	Germany	HT									
MRI-ESM1	Japan	HT									
MRI-CGCM3		HY									
NCEP-CFSv2	USA										
NorESM1-M	Norway										
NorESM1-ME	Norway										
AMIP	GFDL-HIRAM C180 / -HIRAM C360	USA									
	MRI-AGCM3.2S / -AGCM3.2H	Japan									

Gambar 4-9 Fitur-fitur model AOGCM dan ESM dalam CMIP5

Semakin tua warna dasar kolom di atas menandakan bahwa model tersebut memiliki kompleksitas yang semakin tinggi. Terlihat bahwa ESM memiliki lebih banyak komponen dibandingkan dengan AOGCM. Model NorESM1-ME dari Norwegia dan HadGEM2-ES dari UK memiliki komponen yang lengkap dengan tingkat kompleksitas relatif tinggi. Model iklim Uvic dari Kanada memiliki kompleksitas tertinggi dari model yang ada di AR5.

Model name	Atmos	Ocean	Land Surface	Sea Ice	Coupling	Biosphere	Ice Sheets	Sediment & Weathering
Bern3D	Switzerland							
CLIMBER2	Germany							
CLIMBER3	Germany							
DCESS	Denmark							
FAMOUS	UK							
GENIE	UK							
IAP RAS CM	Russia							
IGSM2	USA							
LOVECLIM1.2	Netherlands							
MESMO	USA							
MIROC-lite	Japan							
MIROC-lite-LCM	Japan							
SPEEDO	Netherlands							
UMD	USA							
Uvic	Canada							

Gambar 4-10 Kompleksitas model EMICs di AR5



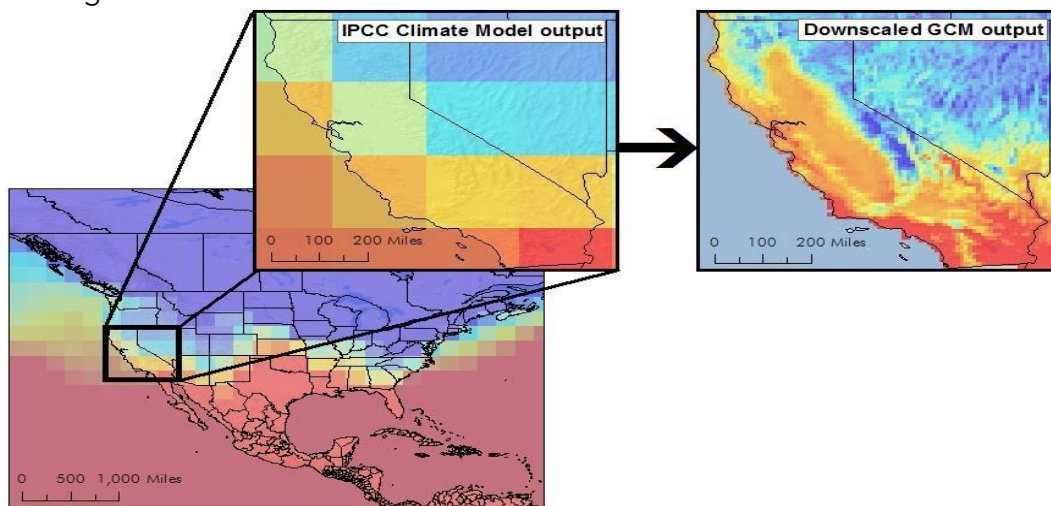
Gambar 4-11 Sejarah perkembangan model GCM

Pada pertengahan 1970an input model GCM hanya dapat menjelaskan butir hujan akibat pengaruh CO<sub>2</sub> yang dikeluarkan oleh industri dan radiasi matahari. Pada pertengahan 1980an sudah mengalami perkembangan yaitu penambahan komponen

hujan, daratan, aktivitas industri dan permukaan es. Pada perkembangan berikutnya model GCM mengeluarkan FAR, pada model ini telah ditambahkan komponen rawa, permukaan es, lautan dan hujan dengan resolusi ~500 km. Kemudian berkembang menjadi SAR dengan resolusi spasial ~250 km. Model ini mampu menjelaskan proses vulkanik, asam sulfat yang dikeluarkan dari aktivitas industri dan badan air. TAR adalah model yang telah berkembang setelah SAR dengan resolusi spasial yang lebih besar dari sebelumnya yaitu sebesar ~180 km. Model ini mampu menjelaskan proses aerosol dan siklus karbon dari aktivitas industri, adanya sungai dan juga telah mampu menjelaskan overturning circulation pada samudra. Kemudian berkembang kembali menjadi AR4 sudah banyak peristiwa kompleks yang mampu dijelaskan seperti proses interaktif vegetasi dan proses kimia yang terjadi di atmosfer. AR4 memiliki resolusi spasial sebesar ~110 km. Pada AR5, siklus karbon di lautan, low caps ice, dan komponen C dan N pada vegetasi ditambahkan dalam pemodelan ini. Resolusi GCM pada AR5 mencapai 30 km x 30 km. Peneliti terus mengembangkan kemampuan GCM untuk mensimulasikan iklim skala besar dan dapat menjelaskan variabilitas interannual. Bagaimanapun, model global ini tidak dapat mensimulasikan fenomena lokal seperti presipitasi pada daerah Asia Timur. Oleh karena itu, metode downscaling digunakan untuk menghasilkan model iklim dengan cakupan wilayah yang lebih sempit tetapi memiliki resolusi yang lebih baik.

#### 4.2.5 Downscaling

Salah satu metode untuk meningkatkan performa model dinamakan downscaling. Model iklim regional tersebut memiliki boundary tetapi memiliki resolusi yang tinggi. Teknik downscaling yang populer ada dua metode: statistical downscaling dan dynamical downscaling.



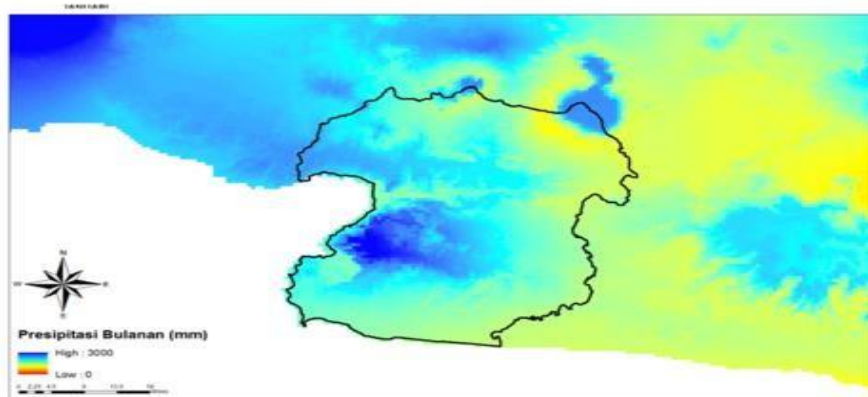
Gambar 4-12 Konsep dasar downscaling dari data GCM

Statistical downscaling merupakan metode peningkatan resolusi model menggunakan metode-metode statistik. Salah satu metode statistical downscaling adalah delta method CMIP5 data. Metode tersebut berbasis interpolasi spasial spline dari anomali output GCM. Prosedur yang harus dilakukan dalam metode ini diantaranya: mengumpulkan baseline data, mengumpulkan data timeseries GCM, menghitung 30 tahun rata-rata bergerak simulasi (1961-1990) dan data proyeksi 7 periode, menghitung anomali data GCM, interpolasi anomali menggunakan centroid, dan menghitung rata-rata data iklim yang dihasilkan. Data iklim yang tersedia diantaranya adalah suhu rata-rata, suhu maksimum, suhu minimum, presipitasi, dan bioklimatik. Berikut adalah contoh statistical downscaling presipitasi wilayah Jawa Barat menggunakan model MIROC5 dengan RCP8.5

pada Januari 2080. Berikut adalah perbandingan statistical downscaling dengan dynamical downscaling.

Table 1. Selected examples of the key advantages and disadvantages of downscaling techniques.

Statistical	Dynamical
+ fast (relatively)	+ true simulation of high resolution forcing and climate
+ high resolution (e.g., 4 km or less)	+ large, internally consistent set of atmospheric and surface variables
+ multiple GCMs for ensembles and different emissions scenarios	- time consuming
- limited ability to correct for displaced features such as mountain ranges	- limited number of GCMs
- may not conserve mass and heat	- added model biases



Gambar 4-13 Data presipitasi bulanan\*10 hasil downscaling delta method RCP8.5 2080 menggunakan model MIROC5

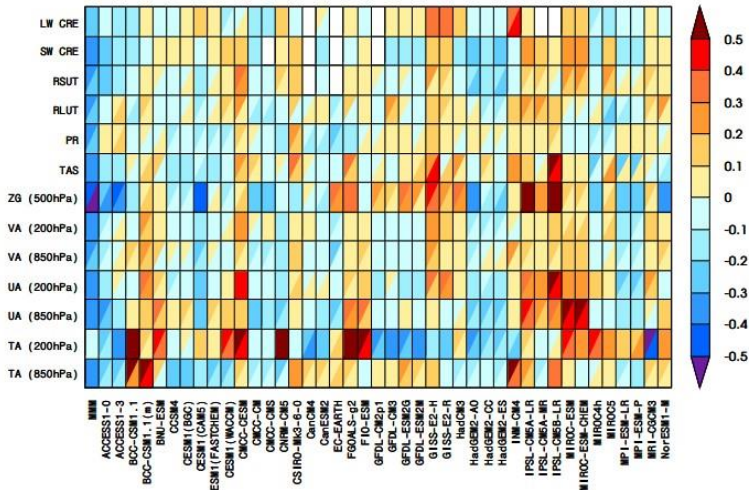
Data mentah GCM hanya menghasilkan satu grid data pada wilayah Indonesia sehingga variasi presipitasi tidak dapat terlihat. Resolusi presipitasi yang cukup tinggi baru terlihat setelah melalui proses downscaling. Terlihat pengaruh topografi terhadap curah hujan sangat tinggi.

Dynamical downscaling merupakan metode peningkatan resolusi model iklim menggunakan persamaan-persamaan fisik. Data RCMs, model iklim PRECIS, dan ETA model merupakan contoh metode yang digunakan dalam metode dynamical downscaling. Proses downscaling dapat menghasilkan data hingga resolusi 30 detik atau setara dengan 1 km sehingga resolusi yang dihasilkan tinggi.

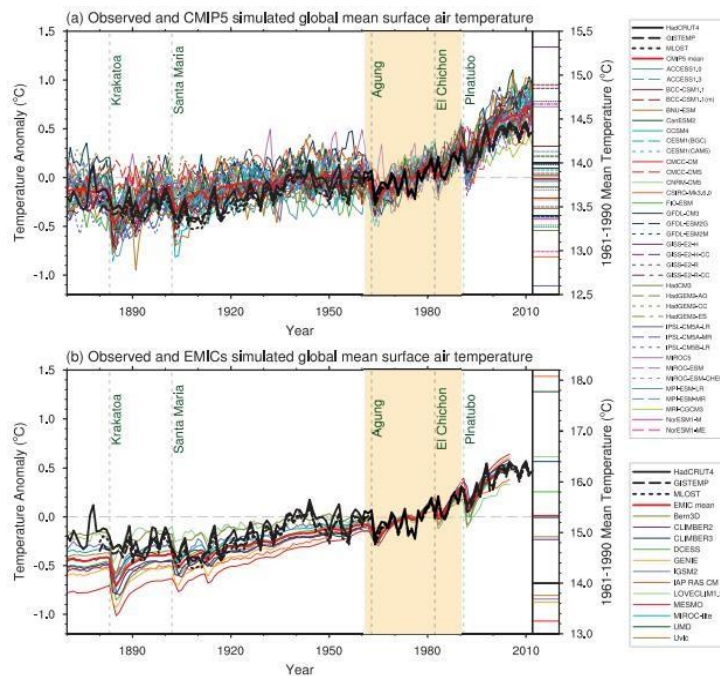
Pattern scaling merupakan metode yang dikembangkan oleh MarkSim Weather Generator yang memiliki tujuan sama dengan metode downscaling. Pattern scaling mengkonstruksi data iklim harian untuk membentuk model iklim regional dengan resolusi 5 menit. Pattern scaling ini masih menggunakan CMIP3 sehingga dalam proyeksi menggunakan skenario SRES.

#### 4.2.6 RCM

Salah satu model yang berkembang saat ini adalah model iklim regional (regional climate model/RCM). RCM merupakan model dinamik yang dapat digunakan dalam skala lokal dengan resolusi tinggi. Teknik yang digunakan untuk mendapatkan informasi iklim dalam skala lokal dengan resolusi tinggi disebut dengan teknik downscaling. Teknik tersebut dilakukan dengan mensimulasikan iklim dalam suatu area yang terbatas dengan memanfaatkan data model iklim global GCM atau reanalysis. Pengembangan dan pemanfaatan model iklim regional (RCM) sangat diperlukan untuk kondisi wilayah seperti wilayah Indonesia mengingat sangat variasinya kondisi iklim yang bersifat regional maupun lokal (IPCC 2007).



Gambar 4-14 Evaluasi model-model GCM dari beberapa parameter iklim  
 Gambar di atas dapat menunjukkan performa dari masing-masing model iklim. Warna merah menunjukkan bahwa model iklim tersebut mengalami overestimate pada variabel tertentu dan warna biru menunjukkan bahwa model iklim tersebut mengalami underestimate.



Gambar 4-15 Hindcast anomali suhu rata-rata global dari model iklim dan data observasi  
 CMIP5 memiliki nilai uncertainty yang cukup tinggi. Variasi antar model dengan data observasi cukup besar. Sebagian besar model overestimate dari data validasi (HadCRUT4). Berbeda dengan CMIP5, model EMIC memiliki variasi yang kecil dengan data observasi. Sebagian besar model underestimate dari data observasi.

### 4.3 DAFTAR PUSTAKA

- Bain CL, J DePaz, J Kramer, G Magnusdottir, P Smyth, H Stern, and CC Wang, 2011. Detecting the ITCZ in instantaneous satellite data using spatiotemporal statistical modeling: ITCZ climatology in the East Pacific. *Journal of Climate* 24: 216-230.
- Barnston AG, Glantz MH, dan He Y. 1999. Predictive skill of statistical and dynamical climate models in SST forecasts during the 1997-98 El-Nino episode and the 1998 La-Nina onset. *Bulletin of the American Meteorological Society* 80: 217-243.
- Edwards PN. 2011. History of climate modeling. *WIREs Clim Change* 2: 128-139.
- Landsea CW dan Knaff JA. 2000. How much skill was there in forecasting the very strong 1997-98 El-Nino? 81(9): 2107-2119.
- McGuffie K. 2005. *A Climate Modelling Primer*. Britain(UK): John Wiley & Sons.
- IPCC, 1990: Climate Change: The IPCC Scientific Assessment. [J.T.Houghton , G.J. Jenkins and J.J. Ephraums, (Eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, 365 pp.
- IPCC, 1996: Climate change 1995: The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K Maskell (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, 572 pp.
- 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. Qii, 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.
- Wang H and W Su. 2013. Evaluating and understanding top of the atmosphere cloud radiative effects in Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Fifth Assessment Report (AR5) Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) models using satellite observations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 118: 683-699.
- Zebiak SE dan Cane MA. 1986. A model El-Nino-Southern Oscillation. *Monthly Weather Review* 115: 2262-2278.



# 5 PENGARUH PENINGKATAN GAS RUMAH KACA TERHADAP PEMANASAN GLOBAL

## 5.1 PENDAHULUAN

### 5.1.1 Latar Belakang

Dewasa ini pemanasan global sudah menjadi suatu isu yang sangat berkembang di seluruh dunia. Isu ini tidak hanya terkait dengan permasalahan lingkungan saja, melainkan juga terkait dengan semua bidang kehidupan manusia. Efek yang ditimbulkan dari pemanasan global dapat berpengaruh bagi semua bidang kehidupan dan jika tidak ada upaya yang dilakukan akan menimbulkan permasalahan yang lebih besar dikemudian hari. Salah satu penyebab terjadinya pemanasan global adalah adanya efek rumah kaca yang berlebihan yang disebabkan peningkatan konsentrasi gas-gas rumah kaca di atmosfer. Efek rumah kaca sendiri, bermanfaat untuk menjaga suhu Bumi tetap hangat dan jika efek rumah kaca tidak ada maka suhu permukaan bumi akan lebih rendah dari yang ada sekarang sehingga tidak memungkinkan adanya kehidupan.

Permasalahan tentang efek rumah kaca mulai terjadi ketika terjadi peningkatan konsentrasi emisi gas-gas seperti karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ), metana ( $\text{CH}_4$ ), dinitrooksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ) dan CFC di atmosfer sehingga energi dari sinar matahari tidak dapat dipantulkan keluar Bumi. Pada kondisi normal, energi matahari yang diabsorpsi bumi akan dipantulkan kembali dalam bentuk inframerah oleh awan dan permukaan bumi. Namun, karena adanya peningkatan gas rumah kaca maka sebagian besar infra merah yang dipancarkan oleh bumi tertahan oleh awan dan gas-gas rumah kaca dan akan dikembalikan ke permukaan bumi. Oleh karena itu akan terjadi peningkatan suhu di permukaan bumi yang menyebabkan pemanasan global (Rukaesih 2004). Temperatur rata-rata global pada permukaan bumi telah meningkat  $0,74 \pm 0,180$  C selama 100 tahun terakhir (Muhi 2011).

Faktor anthropogenic diduga merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap peningkatan gas rumah kaca. Penggunaan bahan bakar fosil untuk kehidupan sehari-hari, penebangan dan pembakaran hutan, konversi lahan, pertanian dan penggunaan alat-alat yang menghasilkan emisi gas rumah kaca merupakan contoh dari faktor anthropogenic yang memberikan sumbangan terhadap peningkatan gas rumah kaca di atmosfer. Dan hal ini juga didukung oleh beberapa laporan penelitian yang menyatakan bahwa faktor anthropogenic memberikan kontribusi yang cukup terhadap kenaikan temperatur di muka bumi selama setengah abad terakhir. Isu terkait dengan pemanasan global semakin

menjadi perhatian negara-negara di seluruh dunia terkait dengan efek dan perubahan yang terjadi sudah dapat dirasakan dari sekarang. Perubahan kondisi lingkungan merupakan hal paling nyata yang dapat dihubungkan dengan isu pemanasan global seperti mencairnya bongkahan-bongkahan es di kutub utara dan kutub selatan yang diduga disebabkan oleh peningkatan konsentrasi gas rumah kaca terutama CO dan CO<sub>2</sub>, mencairnya dua gletser terbesar di Greenland yang diambil dari citra satelit pada Agustus 2008 berakibat mempercepat kenaikan permukaan laut yang telah terjadi dari pencairan Greenland selatan dan hilangnya es di Artik pada tahun 2008 yang diproyeksikan hilang secara keseluruhan akan menyebabkan hilangnya kemampuan artik untuk memantulkan radiasi matahari kembali ke angkasa. Selain itu, menurut laporan IPCC (2007), lautan di dunia telah memanaskan 50% lebih cepat dalam 40 tahun terakhir daripada sebelumnya. Kejadian-kejadian tersebut merupakan sebagian kecil bukti bahwa pemanasan global bukan sekedar isu dan hal ini yang membuat pemanasan global menjadi sesuatu yang penting untuk dikaji mengingat dampak yang ditimbulkan sangat besar bagi bumi jika tidak ada upaya yang dilakukan.

### **5.1.2 Tujuan**

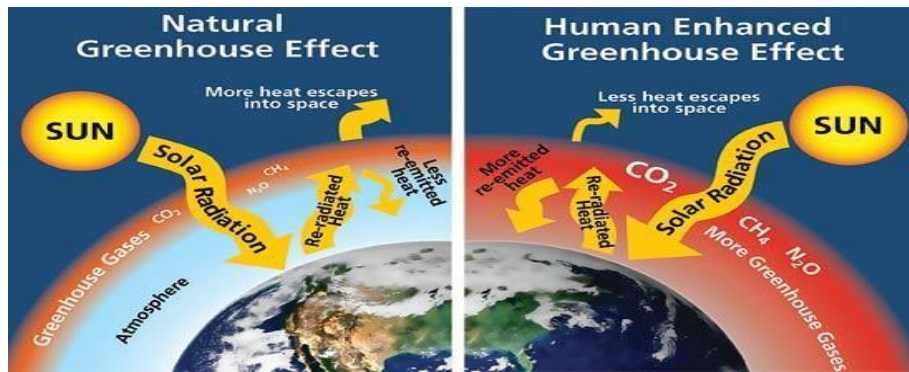
Tujuan penulisan ini adalah untuk menjelaskan tentang isu pemanasan global terkait dengan peningkatan konsentrasi gas rumah kaca dan upaya-upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi dan menanggulangi terkait masalah pemanasan global.

## **5.2 PEMBAHASAN**

### **5.2.1 Definisi Pemanasan Global**

Pemanasan global atau biasa dikenal dengan istilah global warming merupakan fenomena peningkatan suhu temperatur secara global meliputi suhu rata-rata atmosfer, laut, serta daratan di bumi. Hal ini terjadi karena peningkatan gas-gas emisi karbondioksida, metana, CFC, dan dinitroksida yang menyebabkan radiasi matahari yang akan dilepaskan ke atmosfer terperangkap dalam atmosfer bumi (Jubilee 2010). Terjadinya Pemanasan global merupakan salah satu tanda dari kemajuan peradaban manusia, yakni masyarakat industrial yang dilandasi dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi modern (Guntoro 2011).

Pemanasan Global merupakan peningkatan suhu rata-rata permukaan bumi yang disebabkan oleh peningkatan emisi karbon dioksida dan gas-gas lain yang dikenal sebagai gas rumah kaca yang menyelimuti bumi dan memerangkap panas. Kenaikan konsentrasi dan jumlah gas-gas rumah kaca di lapisan atmosfer disebabkan oleh emisi pembakaran seperti pembakaran hutan dan bahan bakar fosil yang menghasilkan CO<sub>2</sub>. Tahun 1760 sampai 1783, yaitu sebelum revolusi industri tercatat konsentrasi karbondioksida (CO<sub>2</sub>) di lapisan atmosfer adalah 280 PPM sedangkan konsentrasi CO<sub>2</sub> di lapisan atmosfer setelah terjadi revolusi industri sebesar 380 PPM, sedangkan konsentrasi CO<sub>2</sub> di lapisan atmosfer sebesar 380 PPM. Sejak akhir abad 18 suhu rata-rata global bumi telah meningkat sekitar 0,4 - 0,8°C. Para ilmuwan memperhitungkan bahwa suhu rata-rata bumi akan meningkat menjadi 1,4 - 5,8°C pada tahun 2100. Meningkatnya suhu tersebut menyebabkan bumi yang kita diami ini terasa lebih panas dan saat siang hari kita merasakan panas yang berlebihan.



Gambar 5-1 Perbandingan GRK Alami dan GRK Antropogenik

Berdasarkan gambar tersebut, dapat diketahui bahwa radiasi matahari yang seharusnya di pantulkan kembali ke angkasa akan dipantulkan kembali oleh gas rumah kaca ke bumi sehingga suhu bumi terus meningkat dan terasa lebih panas. Jika hal tersebut terjadi secara terus menerus, bukan tidak mungkin suhu rata rata bumi semakin meningkat dan lebih tinggi dibandingkan suhu sebelumnya.

Para ahli mengawatirkan bahwa kehidupan manusia dan ekosistem alam tidak akan mampu beradaptasi terhadap perubahan iklim yang sangat cepat. Suatu ekosistem terdiri dari lingkungan biotik dan abiotik di wilayah tertentu. Pemanasan global dapat menyebabkan banyak kerusakan. Selain itu Peningkatan suhu dapat menyebabkan tidak stabilnya cuaca di permukaan bumi. Akibatnya, terjadi kemarau panjang maupun kebakaran hutan. Temperatur yang panas akan menyebabkan gagal panen dan terjadi kelaparan. Kehidupan hewan liar dan kesehatan manusia pun ikut terancam (Limbong 2012). Para ilmuwan memperkirakan selama terjadinya pemanasan global daerah bumi belahan utara akan memanas lebih besar dibandingkan belahan bumi selatan dan lainnya yang mengakibatkan mencairnya gunung- gunung es. Tidak hanya itu, pemanasan global akan menimbulkan terjadinya bencana banjir, badai dan kebakaran hutan, seperti yang banyak terjadi di Indonesia akhir-akhir ini (Limbong 2012:1).

### 5.2.2 Beberapa Jenis Gas Rumah Kaca (GRK) Beserta Sumbernya

Gas rumah kaca merupakan gas yang berada di atmosfer yang menyebabkan efek rumah kaca. Terdapat dua jenis sumber gas rumah kaca (GRK) yaitu GRK antropogenik dan GRK alami. Berikut ini tabel sumber GRK antropogenik dan GRK alami:

Tabel 5.1 Sumber Gas Rumah Kaca Antropogenik dan Gas Rumah Kaca Alami

RK Antropogenik		GRK alami			mulai
Pembakaran bahan bakar fosil (batu bara, minyak, dan gas alam)	internal	Interaksi antara lautan dan atmosfer	Input energi matahari	Letusan gunung api	dari yang
Alihguna lahan					
RK Antropogenik		GRK alami			
Pembakaran bahan bakar fosil (batu bara, minyak, dan gas alam)	internal	Interaksi antara lautan dan atmosfer	Input energi matahari	Letusan gunung api	
Alihguna lahan					

tertinggi yakni CFC3 (4%/tahun), diikuti oleh CH<sub>4</sub> (0,9%/tahun), N<sub>2</sub>O (0,8%/tahun), dan CO<sub>2</sub> (0,5%/tahun). Berdasarkan angka tersebut, walaupun CO<sub>2</sub> memiliki laju pertumbuhan terendah, tetapi karena volumenya paling besar di atmosfer, maka pertumbuhan absolutnya akan sangat besar pula. Secara umum, gas rumah kaca terdiri dari : uap air, karbon dioksida, metan, dan CFC.

#### **5.2.2.1 Uap air (H<sub>2</sub>O)**

Uap Air (H<sub>2</sub>O) adalah gas rumah kaca yang paling berlimpah di atmosfer. Adanya perubahan jumlah konsentrasi uap air di atmosfer juga dianggap sebagai salah satu faktor pemanasan global. Suhu di atmosfer meningkat dikarenakan banyaknya air yang ter evaporasi atau menguap dari permukaan bumi (sungai, laut, tempat penampungan air, tanah) dan lain-lain. Udara yang menjadi lebih hangat mengakibatkan kelembaban mutlak menjadi lebih tinggi. Selain itu dikarenakan uap air memiliki konsentrasi lebih tinggi maka uap air menangkap radiasi inframerah lebih baik dibandingkan dengan gas rumah kaca lainnya, dan mengakibatkan pemanasan atmosfer. Akhirnya, uap air akan memadat kedalam bentuk awan, namun ketika dalam bentuk awan uap air akan memantulkan radiasi matahari yang masuk sehingga sangat sedikit energi yang mencapai permukaan bumi dan mengakibatkan suhu atmosfer meningkat. Uap air tidak lebih berbahaya dibandingkan gas rumah kaca lainnya karena memiliki sifat sementara berada di atmosfer dan akan diturunkan ke permukaan bumi dalam bentuk presipitasi.

#### **5.2.2.2 CO<sub>2</sub>**

Gas CO<sub>2</sub> (Karbon dioksida) merupakan salah satu sumber gas rumah kaca yang berpengaruh dalam pemanasan global karena sifatnya yang antropogenik dan membutuhkan waktu yang lama untuk menguraikannya (90-100 tahun). Saat ini konsentrasi CO<sub>2</sub> mencapai 353 ppmv dan sekitar 55% gas rumah kaca di atmosfer merupakan CO<sub>2</sub>. Sumber gas CO<sub>2</sub> adalah pembakaran bahan bakar minyak bumi dengan kontribusi pada pemanasan global sebesar 77%, deforestasi 23%, dan pelapukan bahan organik di dalam tanah 0,5% .

#### **5.2.2.3 CH<sub>4</sub>**

CH<sub>4</sub> (Metana) adalah gas rumah kaca yang berasal dari pertanian dan pembakaran biomassa, namun kurang lebih sepertiga berasal dari pengeboran gas dan transmisi, penimbunan limbah serta penambangan batu bara. Metana yang berasal dari industri bersifat antropogenik. Gas metana berada di atmosfer sekitar 15% dengan konsentrasi mencapai 1,72 ppmv.

#### **5.2.2.4 CFC**

Chlorofluorokarbon (CFC) merupakan gas rumah kaca yang merusak lapisan ozon dan mengakibatkan adanya lubang ozon di atmosfer. CFC berkumpul dilapisan atas atmosfer dan akan berinteraksi dengan pantulan cahaya matahari sehingga merusak lapisan ozon (Susanta dan Sutjhajo 2007). Jumlah gas CFC yang berada di atmosfer sekitar 24%. CFC bersumber dari penggunaan lemari pendingin, foam blowing, dan pelarutan zat.

#### **5.2.2.5 N<sub>2</sub>O**

Nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) adalah senyawaan Nitrogen yang terdapat di udara bebas (atmosfer) yang sebagian besar terdiri atas nitrit oksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) serta berbagai jenis oksida dalam jumlah yang lebih sedikit. Kedua macam gas tersebut mempunyai sifat yang sangat berbeda dan keduanya sangat berbahaya bagi kesehatan. Gas NO yang mencemari udara secara visual sulit diamati karena gas tersebut tidak berwarna dan tidak berbau. Sedangkan gas NO<sub>2</sub> bila mencemari udara mudah diamati dari baunya yang sangat menyengat dan warnanya merah kecoklatan. Sifat Racun (toksisitas) gas NO<sub>2</sub> empat kali lebih kuat dari pada toksisitas gas NO. Organ tubuh yang paling peka

terhadap pencemaran gas NO<sub>2</sub> adalah paru-paru. Paru-paru yang terkontaminasi oleh gas NO<sub>2</sub> akan membengkak sehingga penderita sulit bernafas yang dapat mengakibatkan kematiannya (Fardiaz 1992).

Penelitian lain menunjukkan bahwa tikus yang dipajan NO sampai 2500 ppm akan hilang kesadarannya setelah 6-7 menit, tetapi jika kemudian diberi udara segar akan sembuh kembali setelah 4-6 menit. Tetapi jika pemajanan NO pada kadar tersebut berlangsung selama 12 menit, pengaruhnya tidak dapat dihilangkan kembali, dan semua tikus yang diuji akan mati. Kadar NO<sub>2</sub> yang lebih tinggi dari 100 ppm dapat mematikan sebagian besar binatang percobaan dan 90% dari kematian tersebut disebabkan oleh gejala pembengkakan paru (edema pulmonari). Kadar NO<sub>2</sub> sebesar 800 ppm akan mengakibatkan 100% kematian pada binatang-binatang yang diuji dalam waktu 29 menit atau kurang. Pemajanan NO<sub>2</sub> dengan kadar 5 ppm selama 10 menit terhadap manusia mengakibatkan kesulitan dalam bernapas (Darmono 2001).

### **5.2.3 Proses terjadinya pemanasan global beserta model**

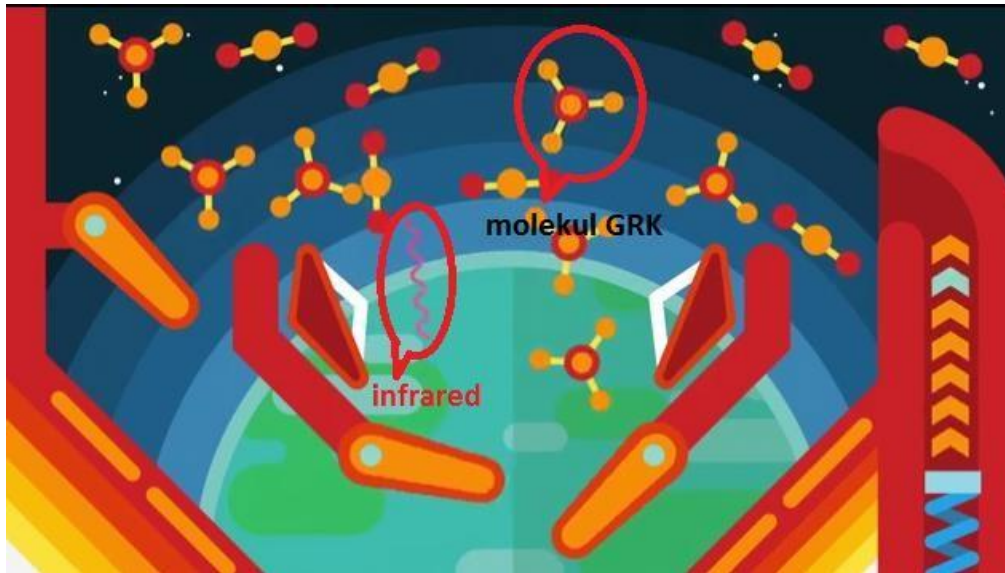
Secara umum pemanasan global dapat dikatakan sebagai peningkatan rata-rata suhu muka bumi, atmosfer, maupun perairan secara global atau menyeluruh yang disebabkan proses-proses yang kompleks terkait dengan radiasi surya. Proses pemanasan global tidak terlepas dari gas-gas rumah kaca. Menurut IPCC (2006), gas-gas utama yang dikategorikan sebagai Gas Rumah Kaca dan mempunyai potensi menyebabkan pemanasan global adalah CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub>. Seharusnya CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> secara alami terdapat di atmosfer. Akibat dari efek GRK yang menyebabkan energi dari sinar matahari tidak dapat terpantul keluar dari bumi. Dalam keadaan normal, energi matahari yang diadsorpsi bumi akan dipantulkan kembali dalam bentuk infra merah oleh awan dan permukaan bumi. Dengan adanya GRK tersebut sehingga pantulan infra merah tersebut tertahan dan dikembalikan ke bumi yang mengakibatkan meningkatnya suhu di permukaan bumi, dan ini yang menyebabkan terjadinya pemanasan global (Rukaesih 2004). Dampak dari keberadaan GRK telah dapat dirasakan yaitu peningkatan suhu di bumi yang menyebabkan efek lanjutan seperti mencairnya es di kutub, kenaikan muka air laut, mengganggu pertanian dan secara tidak langsung akhirnya berdampak pada ekonomi suatu negara (Darwin 2004). Kemampuan gas-gas rumah kaca untuk menyerap panas (sinar inframerah) dengan waktu yang lama di atmosfer dikenal dengan sebutan Greenhouse Warming Potential (GWP). Terdapat berbagai macam jenis gas rumah kaca, setiap gas rumah kaca memiliki waktu hidup di atmosfer yang berbeda-beda.

Tabel 5.2 Nilai-nilai waktu tinggal gas rumahkaca di dalam atmosfer

Lifetimes of important long-lived gases and short-lived gases and particles in the atmosphere and their effect on climate.		
Gases and Particles	Average Lifetime	Effect on Climate
<b>Long-lived gases</b>		
Carbon Dioxide	more than 100 years	↑
Methane	10 years	↑
Nitrous Oxide	120 years	↑
<b>Short-lived gases and particles</b>		
Tropospheric Ozone	days to weeks	↑
Black Carbon	1 week	↑
Organic Carbon	1 week	↓
Dust	days	↓
Nitrate	1 week	↓
Sulfate	1 week	↓
<b>Warming</b> ↑ <b>Cooling</b> ↓		

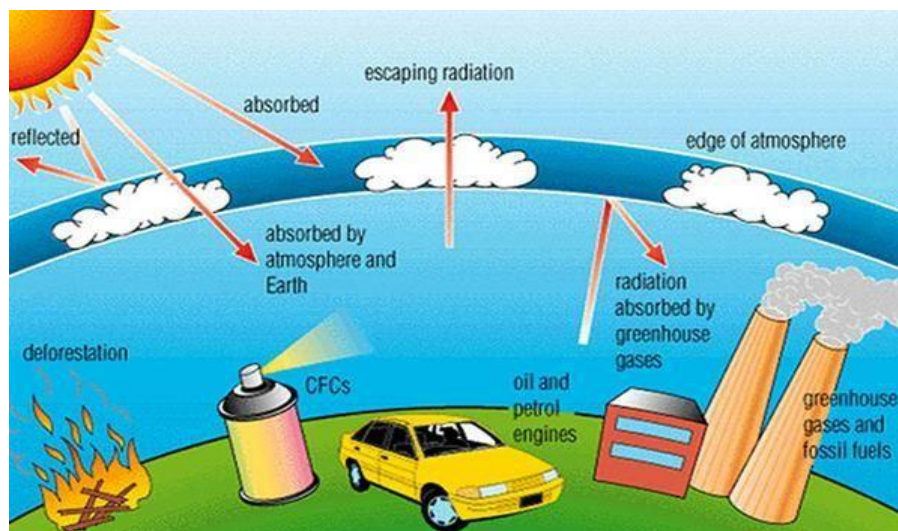
### 5.2.3.1 Mekanisme pemanasan global

Konsep terjadinya pemanasan global secara keseluruhan disebabkan oleh beberapa hal, antara lain efek rumah kaca dimana hal tersebut berkaitan dengan peningkatan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan gas-gas lainnya di atmosfer. Kenaikan konsentrasi gas-gas tersebut disebabkan oleh adanya kenaikan pembakaran bahan bakar minyak, batu bara ataupun bahan-bahan organik lainnya dimana pembakarannya sudah melampaui batas. Radiasi matahari yang masuk ke bumi lebih sulit dilepaskan lagi keluar angkasa daripada di bulan. Hal ini disebabkan atmosfer bumi yang terdiri dari molekul-molekul ataupun gas yang menghalangi sinar pantul untuk ke luar bumi. Sinar pantul dari bumi harus melewati molekul-molekul atau gas tersebut untuk keluar dari bumi. Jejak karbon di bumi semakin meningkat. Catatan terdahulu menunjukkan bahwa sinar inframerah yang dipantulkan bumi ke atmosfer mudah diteruskan ke luar bumi tetapi keadaan saat ini menunjukkan sinar infrared yang dipantulkan bumi sulit untuk keluar karena gas rumah kaca yang semakin meningkat sehingga sinar infrared dipantulkan kembali ke bumi. Hal ini dapat disimulasikan dengan game pinball.



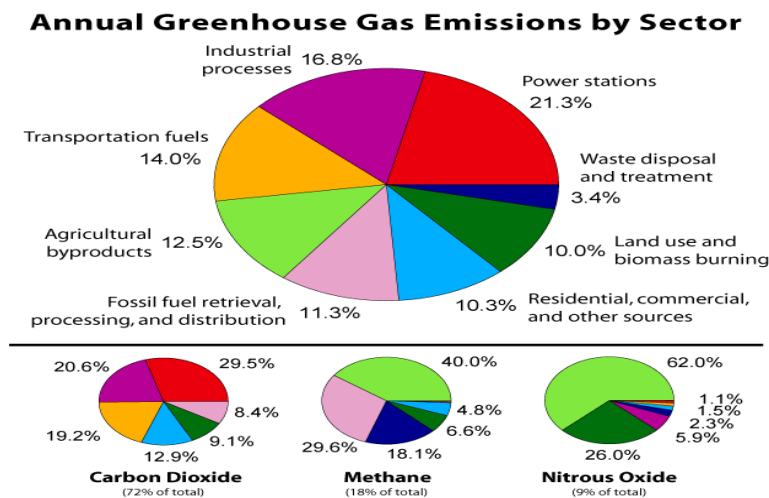
Gambar 5-2 Asumsi mekanisme terjadinya pemanasan global menyerupai permainan pinball

Setiap molekul mempunyai elektron dan proton. Molekul  $O_3$ ,  $N_2O$ ,  $H_2O$  memiliki bentuk molekul yang lopside atau berat sebelah sehingga molekul dapat menyerap infrared. Seperti yang kita ketahui gas  $CO_2$ , metana, CFC, dan  $NO_2$  merupakan beberapa gas yang termasuk dalam gas rumah kaca. Di atmosfer, berbagai gas bertabrakan. Gas rumah kaca seperti  $CO_2$  dan metana bertabrakan dengan molekul lain sehingga terjadi perubahan bentuk menjadi lopside. Gas rumah kaca tersebut mengalami getaran saat bertabrakan yang menyebabkan susunan muatannya berubah sehingga molekul tersebut dapat menyerap panas dari sinar infrared. Pantulan sinar infrared dari bumi ada sebagian yang diserap oleh gas rumah kaca namun ada juga yang lolos ke luar angkasa. Elektron yang terdapat pada molekul-molekul gas rumah kaca tersebut yang dapat memantulkan sinar infrared kembali ke bumi. Mekanisme pemantulan kembali radiasi gelombang panjang oleh gas rumah kaca sama halnya dengan sifat silikat pada kaca, sebagian radiasi gelombang panjang akan diteruskan ke luar angkasa dan sebagian lainnya dipantulkan kembali dan "terperangkap" di troposfer (Ramanthan dan Feng 2009).



Gambar 5-3 Proses terjadinya pemanasan global

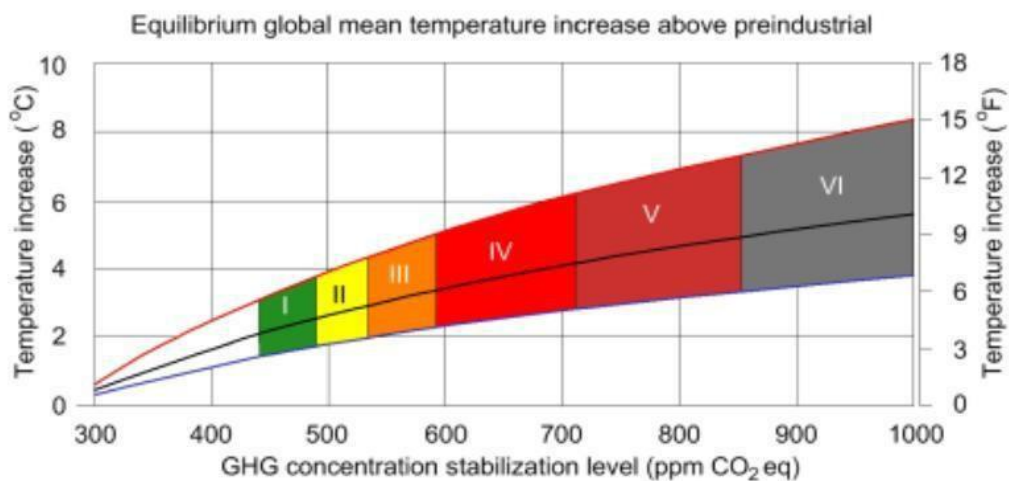
Penyebab pemanasan global tidak hanya dikarenakan oleh tersedianya gas rumah kaca, namun penyebab lainnya adalah penggunaan CFC (Chloro Fluoro Carbons) yang sering digunakan pada alat pendingin ruangan dan juga spray. Selain itu, terdapat pula gas CO<sub>2</sub> (karbondioksida) dari kendaraan bermotor yang jumlah dan peningkatannya semakin lama semakin tak terkendali. Gas-gas rumah kaca tersebut dihasilkan dari berbagai jenis kegiatan terutama antropogenik yang secara tidak langsung memberikan dampak pemanasan global.



Gambar 5-4 Sektor yang mempengaruhi pemanasan global

### 5.2.3.2 Model pemanasan global secara time series

Perhitungan pemanasan global telah dilakukan pada tahun 2001. Berdasarkan skenario SRES A2, beberapa model iklim telah dibuat mengasumsikan bahwa tidak ada tindakan yang dilakukan untuk mengurangi emisi. Para ilmuwan telah mempelajari pemanasan global berdasarkan model-model komputer yang didasari oleh prinsip-prinsip dasar dinamika fluida, transfer radiasi dan proses-proses lainnya dengan beberapa penyederhanaan. Model-model tersebut memprediksikan penambahan gas-gas rumah kaca berefek pada iklim yang lebih hangat. Pada beberapa model digunakan asumsi-asumsi yang sama terhadap konsentrasi gas rumah kaca di masa depan, namun sensitivitas iklimnya masih akan berada pada suatu rentang tertentu.

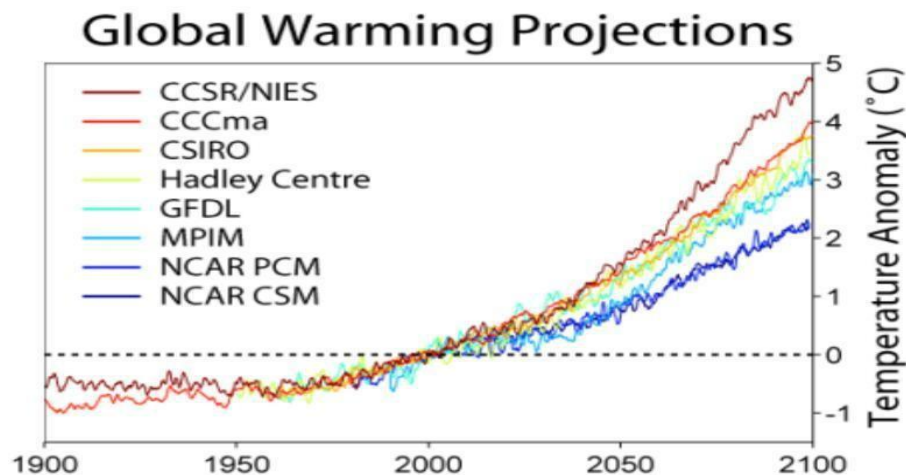


Gambar 5-5 Kestimbangan kenaikan temperatur global dengan konsentrasi CO<sub>2</sub>

Gambar 5-5 memperlihatkan perkiraan peningkatan temperatur terhadap beberapa skenario kestabilan (pita berwarna) berdasarkan model yang terlampir pada



laporan IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*). Garis hitam pada gambar 5 menunjukkan perkiraan atau prediksi yang terbaik (mendekati kebenaran), garis merah dan biru menunjukkan batas-batas kemungkinan yang dapat terjadi. Berdasarkan hal tersebut dapat diketahui bahwa kenaikan konsentrasi gas CO<sub>2</sub> akan meningkatkan suhu rata-rata permukaan bumi.



Gambar 5-6 Beberapa jenis model pemanasan global

IPCC telah memperkirakan kenaikan suhu sekitar 1.1 °C hingga 6.4 °C (2.0 °F hingga 11.5 °F) pada tahun 1990 sampai 2100. Perkiraan tersebut didasarkan oleh unsur-unsur ketidakpastian terhadap konsentrasi gas rumah kaca dan pemodelan iklim. Model iklim ini menghasilkan kemiripan yang cukup baik dengan perubahan temperatur global hasil pengamatan selama seratus tahun terakhir, tetapi tidak mensimulasi semua aspek dari iklim. Model-model ini tidak secara pasti menyatakan bahwa pemanasan yang terjadi disebabkan oleh proses alami atau aktivitas manusia, akan tetapi menunjukkan bahwa pemanasan sejak sekitar tahun 1975 didominasi oleh emisi gas-gas yang dihasilkan manusia.

Model-model iklim juga digunakan untuk menyelidiki penyebab-penyebab perubahan iklim yang terjadi saat ini dengan membandingkan perubahan yang teramati dengan hasil prediksi model terhadap berbagai penyebab, baik alami maupun aktivitas manusia. Sebagian besar model-model iklim yang memperkirakan iklim masa depan dilakukan berdasarkan skenario-skenario gas rumah kaca yang berasal dari laporan khusus terhadap skenario emisi (*Special Report on Emissions Scenarios/SRES*) oleh IPCC. Tujuan dari pembuatan model itu sendiri adalah untuk memprediksi iklim ke depan dan sebagai mitigasi terhadap dampak dari pemanasan global.

### 5.2.3.3 Dampak pemanasan global



Gambar 5-7 Mencairnya es di kutub akibat pemanasan global

Pemanasan global mengakibatkan dampak yang cukup luas dan serius bagi lingkungan bio-geofisik (pelelehan es di kutub, kenaikan muka air laut, perluasan gurun pasir, peningkatan hujan dan banjir, perubahan iklim, punahnya flora dan fauna tertentu, migrasi fauna serta hama penyakit). Selain itu, pemanasan global juga memberikan dampak bagi aktivitas sosial-ekonomi masyarakat meliputi gangguan terhadap fungsi kawasan pesisir dan kota pantai, gangguan terhadap fungsi prasarana dan sarana seperti jaringan jalan, pelabuhan dan bandara, gangguan terhadap permukiman penduduk, pengurangan produktivitas lahan pertanian, serta peningkatan resiko kanker dan wabah penyakit.



Gambar 5-8 Perubahan triftgletscher di Gadmén Swiss pada tahun 2002-2003

Selain memiliki efek jangka pendek, pemanasan global juga dapat mengakibatkan efek jangka panjang. Efek jangka panjang pemanasan global yaitu mencairnya es di kutub utara dan meningkatnya permukaan laut. Antartika di Kutub Selatan adalah daratan benua dengan wilayah pegunungan dan danau berselimut es yang dikelilingi lautan. Benua ini jauh lebih dingin daripada Artik, sehingga lapisan es di sana sangat jarang meleleh, bahkan ada lapisan yang tidak pernah mencair dalam sejarah. Temperatur rata-ratanya minus 49 derajat Celsius, tapi pernah mencapai hampir minus 90 derajat celsius pada Juli 1983. Keadaan bumi yang semakin memanas mengakibatkan suhu di bumi secara global akan terus meningkat.



Gambar 5-9 Perubahan gletser di Alaska pada tahun 1941-2004

Kenaikan suhu tersebut dapat menyebabkan mencairnya gletser-gletser pada kutub utara dan kutub selatan tersebut sehingga dapat mempengaruhi kenaikan muka air laut. Jika bongkahan es pada Greenland mencair akan mempengaruhi perubahan pasang surut air laut dan siklus termohalin pada laut dunia (Subandono 2009). Dampak lainnya yaitu hilangnya berbagai jenis flora dan fauna khususnya di Indonesia yang memiliki aneka ragam jenis seperti pemutihan karang seluas 30 persen atau sebanyak 90-95 persen karang mati di Kepulauan Seribu akibat naiknya suhu air laut. Diperkirakan pada 2070 sekitar 800 ribu rumah yang berada di pesisir harus dipindahkan dan sebanyak 2.000 dari 18 ribu pulau di Indonesia akan tenggelam akibat naiknya air laut (Chalim 2009). Mencairnya es di kutub utara dan selatan akan mengakibatkan volume air laut di dunia meningkat sehingga dan hilangnya daratan karena meningkatnya volume air laut, jika hal ini terus terjadi lambat laun akan menenggelamkan daratan yang ada di bumi. Jelas bahwa akan banyak penduduk yang kehilangan tempat tinggal. Disamping itu bencana-bencana alam yang akan terjadi seperti banjir bandang, badai, angin topan dan lain sebagainya yang dapat menelan korban jiwa.

#### **5.2.3.4 Solusi pemanasan global berdasarkan studi literature**

Para ahli lingkungan hidup telah sejak lama memperkirakan fenomena global warming yang akan menimpa pada bumi. Di Stockholm pada Konferensi PBB tentang Lingkungan Hidup Manusia (Human Environmental) tahun 1972 masyarakat internasional bertemu pertama kalinya untuk membahas situasi lingkungan hidup secara global. Pada peringatan kedua puluh tahun pertemuan Stockholm tersebut, digelarlah konferensi bumi di Rio de Janeiro tahun 1992. Di konferensi ini juga menjadi moment penandatanganan Konvensi PBB untuk Perubahan Iklim (UNFCCC). UNFCCC memiliki tujuan utama berupa menstabilkan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer hingga berada di tingkat aman.

UNFCCC mengatur lebih lanjut ketentuan yang mengikat mengenai perubahan iklim akibat pemanasan global. Protokol Kyoto ditandatangani oleh 84 negara pada Desember 1997 di Kyoto dan tetap terbuka untuk ditandatangani sampai Maret 1999 oleh negara-negara lain di Markas Besar PBB di New York. Protokol ini berkomitmen untuk

38 negara industri untuk memotong emisi GRK mereka antara tahun 2008 sampai 2012 menjadi 5,2% di bawah tingkat GRK mereka di tahun 1990. Terdapat tiga mekanisme yang diatur di Protokol Kyoto ini yaitu berupa joint implementation; Clean Development Mechanism; dan Emission Trading. Joint Implementation (implementasi bersama) adalah kerja sama antar negara maju untuk mengurangi emisi GRK mereka. Clean Development Mechanism (Mekanisme Pembangunan Bersih) adalah win-win solution antara negara maju dan negara berkembang dimana negara maju berinvestasi di negara

berkembang dalam proyek yang dapat mengurangi emisi GRK dengan imbalan sertifikat pengurangan emisi (CER) bagi negara maju tersebut. Emission Trading (Perdagangan emisi) adalah perdagangan emisi antar negara maju. Jika hal ini direalisasikan secara konkrit tentunya akan memberikan dampak positif untuk mengatasi pemanasan global.

Solusi dari gas CO<sub>2</sub> adalah memperbanyak penanaman tumbuhan pelindung (reboisasi), melengkapi cerobong asap pabrik dengan alat penyaring udara serta menambah tinggi cerobong, menggunakan bahan bakar murni untuk mengurangi sisa pembakaran gas CO<sub>2</sub> yang berlebihan, dan mengolah sampah organik menjadi pupuk secara biologis.

Seiring dengan semakin ditekannya penggunaan CFC sebagai pelarut, dicarilah alternative pengganti yang memiliki sifa-sifat serupa tetapi lebih ramah terhadap lingkungan. Mulailah ilmuan melirik manfaat lain dari CO<sub>2</sub> yaitu sebagai pelarut superkritis. CO<sub>2</sub> sebagai fluida superkritis sebenarnya adalah gas yang dinaikkan temperaturnya hingga mencapai temperature kritis (temperature tertinggi yang dapat mengubah fase gas menjadi fase cair dengan cara menaikkan tekanan), dan memiliki tekanan kritis (tekanan tertinggi yang dapat mengubah fase cair menjadi fase gas dengan cara menaikkan temperature). Dengan demikian sifat-sifatnya berada diantara sifat gas dan cairan. Sebagai pelarut superkritis, CO<sub>2</sub> telah cukup banyak dimanfaatkan dalam bidang penelitian dan industri. Keuntungan lain adalah kita tidak perlu membuat CO<sub>2</sub>, melainkan cukup menyaringnya dari udara sekitar kita. Di bidang isolasi dan pengolahan bahan alam, CO<sub>2</sub> superkritis dimanfaatkan sebagai pelarut dalam proses ekstraksi maupun de-ekstraksi senyawa-senyawa aktif dari tumbuhan untuk pengobatan, atau senyawa-senyawa penting untuk industri makanan, misalnya ekstraksi minyak atsiri lemon, jahe, beta-carotene dari tumbuh-tumbuhan atau de-ekstraksi kafein pada kopi.

Adapun di bidang pertambangan minyak bumi, manfaat dalam penggunaan CO<sub>2</sub> yang dicairkan justru sangat besar. Fluida ini dialirkan kedalam sumber-sumber minyak yang mulai menipis cadangannya untuk mengangkat cadangan minyak tersisa. Masalah utama adalah fluida ini kekentalannya rendah sehingga tidak mampu mengangkat minyak secara maksimum. Dupont, sebuah perusahaan terkemuka dalam inovasi industri kimia telah mampu memproduksi semacam busa atau dikenal foamed thermoplastic yang populer disebut fluoropolimer. Ini berkat ditemukannya polimer perfluoroalkil akrilat oleh Desimone dan rekannya pada tahun 1992. *fluoropolimer* ini benar-benar larut dalam CO<sub>2</sub>, setelah sebelumnya digunakan pelarut dan surfaktan berbasis fluor.

Aplikasi CO<sub>2</sub> yang lebih menjanjikan adalah sintesis senyawa karbonat siklis melalui reaksi penggabungan senyawa epoksida dengan gas CO<sub>2</sub>. Senyawa karbonat siklis tersebut merupakan material utama dalam industri poliuretan, cat, resin, pembuatan etilen glikol, pelarut organik, polikarbonat, dan lain-lain. Secara prinsip kimiawi, reaksi bias berlangsung dengan mudah asalkan ada katalis yang bisa meningkatkan reaktivitas CO<sub>2</sub>. Sebenarnya penipisan ozon ini dipicu dari tingginya pemakaian CFC, namun guna menormalkan kembali kondisi ozon, diperlukan kerja sama yang baik dari semua pihak. Tindakan yang dapat kita lakukan saat ini demi memelihara lapisan ozon, misalnya mulai mengurangi atau tidak menggunakan lagi produk-produk rumah tangga yang mengandung zat-zat yang dapat merusak lapisan pelindung bumi dari sinar UV ini. Oleh sebab itu, diperlukan upaya meningkatkan kesadaran dan partisipasi aktif masyarakat dalam program perlindungan lapisan ozon, pemahaman mengenai penanggulangan penipisan lapisan ozon, memperkenalkan bahan, proses, produk, dan teknologi yang tidak merusak lapisan ozon. Bila tidak, maka proses penipisan ozon akan semakin meningkat dan

mungkin saja akan menyebabkan lapisan ini tidak dapat dikembalikan lagi ke bentuk aslinya.

Walaupun begitu, tetap saja penggunaan CFC tidak akan mudah lepas begitu saja dari kehidupan manusia. Penghapusan penggunaan CFC di Indonesia, tampaknya tidak mudah dilakukan. Terutama karena alat-alat pendingin yang ada sekarang, misalnya kulkas dan AC, mayoritas masih menggunakan teknologi berbasis CFC. Untuk mengantisipasi penggunaan CFC berlebihan, telah ditemukan cara mengurangnya yaitu dengan melakukan daur ulang CFC dan mencari bahan alternatif pengganti. Hidrofluorokarbon atau HCFC lebih sedikit menyebabkan kerusakan lapisan ozon bila dibandingkan CFC, digunakan sementara sebagai pengganti CFC. Mendaur ulang CFC, dibutuhkan alat yang disebut recovery CFC. Alat canggih seharga 60 juta rupiah ini, dinilai sangat membantu mengurangi kebocoran molekul CFC ke udara. Cara kerja alat recovery CFC, sangat sederhana. CFC lama di dalam alat pendingin, tidak perlu lagi diganti. Cukup mendaur ulangnya, sehingga menghasilkan CFC baru. Dalam mengurangi dampak penggunaan CFC, tidak hanya dilakukan dengan cara daur ulang. Dapat juga melalui penggunaan bahan alternatif pengganti. Salah satu bahan penggantinya adalah Hydro Fluoro Carbon atau HFC.

## **5.3 PENUTUP**

### **5.3.1 Kesimpulan**

Pemanasan global telah menjadi permasalahan yang menjadi sorotan utama umat manusia dunia. Fenomena ini terjadi akibat adanya faktor-faktor kegiatan antropogenik seperti penggunaan bahan bakar fosil yang berlebihan pada kegiatan industri sehingga memberikan dampak negatif terhadap lingkungan bumi. Untuk mengatasi pemanasan global dapat dilakukan beberapa tindakan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca sehingga langkah mitigasi terhadap dampak pemanasan global dapat dilakukan. Pemanasan global memang sulit diatasi, namun pengurangan efek yang ditimbulkan tetap bisa dilakukan terlebih seiring perkembangan teknologi yang terus maju menghasilkan model-model yang dapat digunakan dalam proses tindakan pencegahan. Selain itu, faktor antropogenik diatasi dengan upaya manusia untuk mengurangi pemakaian bahan-bahan atau barang-barang yang dapat menimbulkan atau memperbesar GRK atau gas rumah kaca akan sangat bermanfaat dan berdampak bagi terciptanya bumi yang segar dan hijau.

## 5.4 DAFTAR PUSTAKA

- Chalim. 2009. Global warming terhadap pembangunan ekonomi. [internet]. [diakses : 26 Desember 2015]. Tersedia pada : [http://dewichalim.wordpress.com/2009/07/10/Global-Warming-terhadap PembangunanEkonomi/](http://dewichalim.wordpress.com/2009/07/10/Global-Warming-terhadap-PembangunanEkonomi/)
- Darmono. 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran, Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam*. Jakarta (ID): Universitas Indonesia.
- Darwin, Roy. 2004. Effects of greenhouse gas emissions on world agriculture, food consumption and economic welfare. *Journal of Climate Change* 66(2004): 191-238.
- Fardiaz S. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Yogyakarta (ID): Kanisius.
- Subandono D. 2009. *Menyiasati Perubahan Iklim di Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil*. Bogor (ID): Buku Ilmiah Populer.
- IPCC Technical Paper III - February 1997. JT Houghton, LG Meira Filho, DJ Griggs and K Maskell (Eds). IPCC, Geneva, Switzerland.
- IPCC.2006. General guidance and reporting. *Journal of IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* 1(2006): 1.5.
- Muhi A H. 2011. *Pemanasan Global (Global Warming)*. Jatinangor (ID): Institut Pemerintahan Dalam Negeri (IPDN).
- Murdiyarso D. 2003. *Sepuluh tahun perjalanan negosiasi konvensi perubahan iklim*. Bogor (ID): Buku Kompas.
- Ramanathan V, Feng Y. 2009. Air pollution greenhouse gases and climate change: global and regional perspectives. *Atmospheric Environment*. 43(1) : 37-50.
- Rukaesih A. 2004. *Kimia Lingkungan*. Yogyakarta (ID): Penerbit Andi.
- Susanta G, Sutjahjo H. 2007. *Akankah Indonesia tenggelam akibat pemanasan global?* Bogor.

# 6 KONSTRUKSI SKENARIO GAS RUMAH KACA

## 6.1 PENDAHULUAN

### 6.1.1 Latar Belakang

Konsentrasi rata-rata gas rumah kaca (CO<sub>2</sub>) global pada bulan Maret 2015 lalu telah melampaui angka 400 ppm menurut badan penelitian Amerika, Nasional Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Angka ini belum pernah tercatat sebelumnya, bahkan dalam jutaan tahun sebagaimana yang terekam dalam inti es Kutub Utara. Sampai saat ini telah terjadi penambahan sebanyak 120 ppm setelah tahun 1980. Peningkatan cepat ini terutama diakibatkan oleh penggunaan bahan bakar terutama fosil dan batu bara. Penelitian IPCC terkait pemanasan global (dalam hal ini adalah peningkatan suhu bumi dibandingkan saat pra revolusi industri) harus dijaga agar tidak melebihi 2 derajat Celcius agar dampaknya masih dapat diatasi oleh umat manusia. Kekhawatiran ini harus segera diikuti dengan tindakan mitigasi dan adaptasi untuk menghindari perubahan iklim yang telah terjadi di beberapa wilayah regional yang ditandai dengan terjadinya kejadian iklim ekstrim yang frekuensinya meningkat. Untuk dapat menjelaskan kepada seluruh umat manusia dan memberikan gambaran atau standar dalam mengambil tindakan mitigasi dan adaptasi maka dibutuhkan skenario kejadian peningkatan GRK untuk dapat memprediksi skenario dan model perubahan iklim.

Pengertian dari skenario iklim adalah gambaran alternative dari kemungkinan-kemungkinan yang dapat terjadi dan merupakan alat yang sesuai dalam menganalisis bagaimana faktor-faktor pendorong yang dapat memengaruhi dampak-dampak dari emisi yang dihasilkan dalam ketidakpastian yang tinggi. Emisi GRK merupakan hasil dari sistem yang bergerak secara dinamis dan kompleks, yang ditentukan oleh berbagai faktor pendorong yang bersifat antropogenik seperti penambahan jumlah penduduk, perkembangan sosial ekonomi, perubahan teknologi, pemakaian energi, pola penggunaan lahan dan kebijakan terkait. Evolusi konsentrasi GRK dimasa depan memiliki ketidakpastian yang tinggi. Sehingga dibuat skenario GRK berdasarkan faktor-faktor tersebut.

Skenario iklim dan GRK muncul karena ada isu-isu yang mengarah pada pemanasan global dan berujung pada perubahan iklim yang mengancam kehidupan manusia. Setelah dilakukan penelitian, hal ini diduga disebabkan oleh terakumulasinya gas rumah kaca di atmosfer sehingga menjadikan bumi seperti rumah kaca yang digunakan dalam pertanian di wilayah dingin. Lebih lanjut, peningkatan GRK ini disinyalir berawal dari perkembangan industri pada tahun 1980an dan diiringi dengan perkembangan teknologi di negara maju (Eropa). Oleh karena itu, skenario perubahan iklim dibuat berdasarkan kontribusi emisi dari kegiatan manusia yang selanjutnya dibuat dalam skenario gas rumah kaca.



Perhatian lebih juga ditunjukkan oleh pemerhati lingkungan yang mengancam kerusakan lingkungan global akibat pembangunan ekonomi secara besar-besaran dengan keadaan perkembangan teknologi tidak secanggih sekarang. Dengan fokus yang sejalan dari pemerhati lingkungan dan para ilmuwan maka diselenggarakan KTT bumi di Rio de Janeiro pada tahun 1992. Dalam KTT tersebut IPCC mengenalkan IS92 Emission Scenario sebagai skenario global pertama untuk memperkirakan gas rumah kaca dalam pembuatan model sirkulasi global guna meningkatkan keakuratan skenario perubahan iklim. Pada tahun 1996 IPCC memperbaharui IS92 dengan seperangkat skenario emisi baru yang akan menyediakan input bagi report assessment IPCC ketiga. Skenario baru ini disebut Special Report on Emissions Scenarios (SRES) yang kemudian dibahas dalam rapat pleno IPCC 1996 dan diterima pada Maret tahun 2000 oleh Working Group III (WGIII).

Efek rumah kaca dapat mempertahankan keseimbangan di atmosfer. Jika jumlah GRK tersebut berlebihan dan cenderung meningkat akan menimbulkan dampak pemanasan global. Bertambahnya GRK di atmosfer mengakibatkan penyerapan radiasi lebih banyak sehingga bumi menjadi lebih panas. Kelebihan panas bumi menyebabkan naiknya suhu permukaan bumi dan suhu air laut, perubahan pola iklim seperti naiknya curah hujan dan perubahan frekuensi dan intensitas badai, serta naiknya permukaan air laut akibat mencairnya es di kutub (Irmansyah 2004). Pemanasan global terjadi secara bertahap. Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca secara signifikan sejak awal revolusi industri. Pemanasan global terjadi secara bertahap dan terus mengalami peningkatan. Aktivitas manusia dalam seratus tahun terakhir telah menyebabkan peningkatan persentase gas rumah kaca di atmosfer.

Peningkatan temperatur bumi terus mengalami peningkatan sejak dimulainya revolusi industri. Hasil publikasi dari Inter-Governmental Panel On Climate Change (IPCC), selama tahun 1990 - 2005 terjadi peningkatan suhu merata di seluruh bagian Bumi antara 0,15 sampai 0,30 °C. Peningkatan pemanasan lebih dirasakan pada daerah di daratan dibandingkan dengan di lautan. Hal ini disebabkan, daratan lebih cepat menyerap panas dari pada lautan. Konsentrasi karbondioksida di atmosfer meningkat dari masa pra-industri yaitu 278 ppm (part per million) menjadi 379 ppm pada tahun 2005. Peningkatan GRK disebabkan aktivitas industri dan pertanian. Peningkatan gas metan dan NO<sub>2</sub> kira-kira 15 persen.

Perhatian mengenai pemanasan global sudah ada sejak tahun 1896. Arrhenius menyimpulkan bahwa kenaikan emisi CO<sub>2</sub> di atmosfer sebanyak dua kali lipat akan meningkatkan suhu permukaan bumi sebesar 4 - 6 °C (Nordhaus 1991). Namun tidak mendapat perhatian yang serius hingga pada awal tahun 1980 setelah adanya bukti-bukti peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Houghton et al. (2001) mengemukakan bahwa sejak awal revolusi industri sampai tahun 1998, konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer bertambah sebesar 31%. Disamping itu suhu permukaan bumi sudah meningkat sebesar 0,044 °C/dekade selama periode tahun 1861 - 2000 atau sebesar 0,61°C selama periode tahun 1901 - 2000. Pengamatan ini sudah mempertimbangkan adanya efek ketidakpastian tahunan. Pembakaran bahan bakar fosil dan penggundulan hutan merupakan penyebab utama dari bertambahnya konsentrasi gas rumah kaca ini (Sugiyono 2009).

### **6.1.2 Tujuan**

Tujuan penulisan ini ialah Memahami penggambaran emisi gas rumah kaca di masa depan melalui skenario gas rumah kaca. Mengetahui skenario dan proyeksi perubahan iklim melalui evaluasi kondisi iklim saat ini serta tahapan penyusunan skenario, serta Memahami penyebab munculnya ketidakpastian dan cara mengantisipasi dalam menghadapi ketidakpastian.

## **6.2 PEMBAHASAN**

### **6.2.1 Skenario Gas Rumah Kaca**

Skenario memberikan gambaran alternatif mengenai kemungkinan yang terjadi di masa depan. Skenario gas rumah kaca digunakan untuk mempermudah analisis perubahan iklim, meliputi pemodelan iklim, analisis dampak, adaptasi, dan mitigasi. Skenario membantu mengevaluasi kontribusi manusia terhadap perubahan iklim, respon dari sistem bumi terhadap aktivitas-aktivitas manusia, dampak dari berbagai kemungkinan keadaan iklim di masa depan, dan implikasi dari pendekatan yang berbeda untuk mitigasi mengenai langkah-langkah dalam pengurangan net emisi dan adaptasi (tindakan yang memfasilitasi respon baru) (Moss et al. 2010).

Sejarah mengenai skenario emisi yang pertama kali diperkenalkan Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) pada tahun 1992 adalah IS92 Emission Scenario. Skenario emisi digunakan dalam model sirkulasi global untuk pengembangan skenario iklim. Tahun 1996, IPCC mengembangkan satu set baru emisi skenario yang akan memberikan masukan atau menjadi input untuk skenario ketiga IPCC Assessment Report sebagai evaluasi dari IS92 Emission Scenario pada tahun 1994. Skenario selanjutnya yang dibentuk yaitu Special Report on Emissions Scenarios (SRES).

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

#### **6.2.1.1 Skenario emisi grup A1 (SRESA1)**

Skenario A1 menggunakan asumsi bahwa pada masa mendatang, pertumbuhan ekonomi berlangsung cepat. Populasi global meningkat sampai pertengahan abad 21 dan kemudian menurun dan cepatnya introduksi teknologi baru yang lebih efisien. Asumsi 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 (A1T), dan energi fosil dan non fosil secara berimbang (A1B).

#### **6.2.1.2 Skenario emisi grup A2 (SRESA2)**

Skenario A2 menggunakan asumsi bahwa pada masa datang kondisi antar wilayah sangat beragam dan kerjasama antar wilayah sangat lemah serta 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.

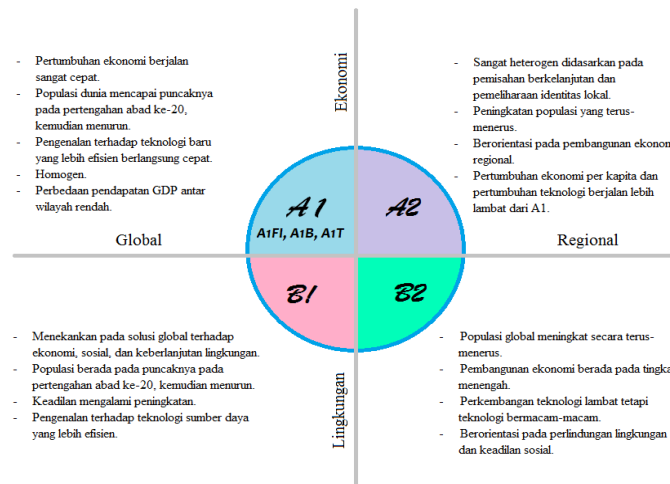
#### **6.2.1.3 Skenario emisi grup B1 (SRESB1)**

Skenario B1 menggunakan asumsi sama seperti grup A1. 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 dalam hal penggunaan sumberdaya. Jadi, skenario ini memberikan penekanan pada penyelesaian masalah global berkaitan dengan ekonomi, sosial dan lingkungan,

termasuk peningkatan tingkat kesamaan. Akan tetapi, tidak ada inisiatif khusus berkaitan dengan perubahan iklim.

#### 6.2.1.4 Skenario emisi grup B2 (SRESB2)

Skenario B2 menekankan pada upaya penyelesaian masalah ekonomi, sosial dan lingkungan secara lokal. Populasi global terus meningkat, tetapi dengan laju sedikit lebih rendah dari skenario emisi grup A2. Pembangunan ekonomi pada tingkat sedang, perubahan teknologi sedikit lebih lambat dari B1 dan A1. Skenario ini juga berorientasi pada perlindungan lingkungan dan kesamaan sosial yang difokuskan pada tingkat lokal dan regional.



Gambar 6-1 Storyline SRES

Sumber: <http://ukclimateprojections.metoffice.gov.uk/>

IPCC 5th Assessment Report pada 30 September 2013 mengenai proyeksi perubahan iklim. Kajian IPCC menggunakan skenario RCP (Representative Concentration Pathway). RCP memfasilitasi hubungan baru skenario sosial ekonomi, emisi, dan iklim yang saling terintegrasi. Alasan utama untuk menggunakan RCP adalah untuk mempercepat pengembangan literatur yang luas untuk skenario yang baru dan terintegrasi dengan memperhitungkan pemodelan sistem iklim terhadap aktivitas manusia untuk melanjutkan secara paralel pengembangan skenario emisi. IPCC meminta agar RCP harus kompatibel dengan berbagai macam stabilisasi, mitigasi dan emisi dasar skenario yang tersedia di literatur saat ini. RCP harus pula mencakup informasi tentang berbagai faktor di luar konsentrasi dan emisi GRK, berumur panjang, termasuk emisi lainnya seperti radiasi, gas aktif dan aerosol, penggunaan lahan, dan kondisi sosial ekonomi. Ada sejumlah keterbatasan untuk penggunaan RCP yang harus diingat untuk menghindari aplikasi yang tidak sesuai, yaitu :

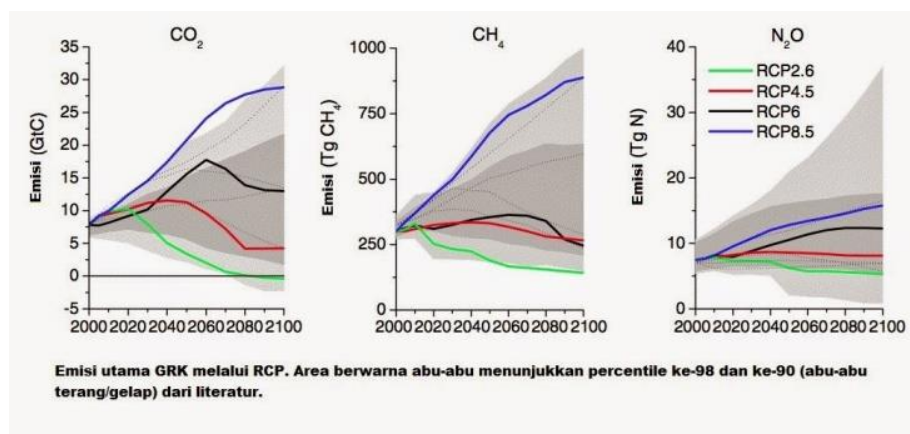
- tidak harus mempertimbangkan perkiraan atau batas absolut
- tidak harus mempertimbangkan preskriptif - kebijakan
- skenario sosial ekonomi yang mendasari setiap RCP tidak harus unik
- skenario sosial ekonomi yang mendasari RCPs tidak bisadiperlakukan sebagai suatu perangkat dengan logika internal yang menyeluruh
- ada ketidakpastian dalam intepetasi profil emisi untuk konsentrasi dan radiative forcing.

RCP didasarkan pada riset dengan empat pemodelan iklim yang disetarakan dengan konsentrasi gas karbon. Mulai dari RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6, RCP 8.5. Nilai-nilai tersebut menggambarkan tingkat akumulasi emisi gas karbon dari terendah hingga tertinggi. Model RCP terparah yaitu RCP 8.5 yang menggambarkan radiative forcing terjadi

hingga 8,5 watt/m<sup>2</sup>. IPCC menyebutkan perubahan suhu permukaan bumi global pada akhir abad (2081-2100) akan melampaui 1,5°C untuk RCP 4.5. Sementara itu, suhu rata-rata bisa meningkat melampaui 2°C jika kondisi sesuai RCP 6.0 dan RCP 8.5. Secara lengkapnya, karakteristik dari masing-masing RCP diuraikan dalam tabel berikut ini.

Tabel 6.1 Karakteristik skenario RCP

Nama	Radiative forcing	Konsentrasi (ppm)	Pathway
<b>RCP8.5</b>	>8.5 W/m <sup>2</sup> di tahun 2100	>1370 CO <sub>2</sub> di tahun 2100.	Rising
<b>RCP6.0</b>	~6 W/m <sup>2</sup> dan mengalami stabilisasi setelah tahun 2100.	~850 CO <sub>2</sub> (pada saat stabilisasi setelah tahun 2100).	Stabilization without overshoot
<b>RCP 4.5</b>	~4.5 W/m <sup>2</sup> dan mengalami stabilisasi setelah tahun 2100)	~650 CO <sub>2</sub> (pada saat stabilisasi setelah tahun 2100).	Stabilization without overshoot.
<b>RCP2.6</b>	Mencapai puncak hingga ~3 W/m <sup>2</sup> sebelum tahun 2100 dan kemudian menurun.	Mencapai puncak hingga ~490 CO <sub>2</sub> sebelum tahun 2100 dan kemudian menurun.	Peak and decline.



Gambar 6-2 Jumlah emisi gas rumah kaca dalam skenario RCP

Sumber: <http://stochastictrend.blogspot.com>

RCP memberikan secara langsung gambaran mengenai emisi dan tidak secara langsung memberikan gambaran mengenai sosial dan ekonomi. Skenario ini menggambarkan keadaan dunia dengan pertumbuhan populasi yang tinggi, namun usaha untuk mengurangi emisi gas rumah kaca tidak banyak dilakukan. Pertumbuhan emisi gas rumah kaca meningkat akibat keterbatasan kemauan politis dalam melakukan aksi mitigasi gas rumah kaca dalam jangka waktu yang singkat dan beberapa negara belum memiliki kemauan politik untuk berkomitmen mengurangi emisi secara signifikan. Kajian terdiri atas 18 area regional secara global mengenai pertumbuhan emisi gas rumah kaca ke depan beserta dampaknya. IPCC mencatat fenomena perubahan iklim terjadi karena perbuatan manusia dan bukan bencana alam (IPCC 2013).

Skenario yang dapat digunakan dalam analisis dalam penelitian perubahan iklim meliputi: penilaian yang terintegrasi model, model iklim, dan model dan pendekatan lain yang digunakan untuk membantu menilai dampak, adaptasi dan kerentanan. Model penilaian terintegrasi mengenai keterkaitan demografi, penggunaan energi, teknologi, ekonomi, pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan. Model ini mengintegrasikan informasi yang dibutuhkan untuk mempelajari interaksi sistem manusia (termasuk kebijakan yang berhubungan dengan iklim) dan proses lingkungan yang mempengaruhi perubahan iklim dan dampaknya. Model penilaian yang terintegrasi yang digunakan untuk mengembangkan emisi skenario, memperkirakan dampak ekonomi potensial dari perubahan iklim dan biaya dan manfaat dari mitigasi, mensimulasikan masukan (input), dan mengevaluasi ketidakpastian. Model yang komprehensif dan mencakup lebih banyak rincian mengenai emisi polutan udara dan penggunaan lahan. Model ini diperlukan dalam penelitian mengenai interaksi perubahan iklim dan pembuatan kebijakan yang bertujuan melakukan kontrol polusi udara dan perlindungan keanekaragaman hayati. Model ini dapat menginformasikan pembuat kebijakan mengenai potensi resiko yang disebabkan perubahan iklim, dan menyediakan cara untuk mengevaluasi dampak yang terkait perubahan iklim (Moss et al. 2010).

## **6.2.2 Kontruksi Skenario Perubahan Iklim**

### **6.2.2.1 Definisi Konstruksi Skenario Perubahan Iklim**

Sebuah model merupakan suatu representasi sederhana dari suatu obyek atau proses di dunia nyata. Dengan demikian, model atmosfer merupakan suatu representasi dari atmosfer yang sesungguhnya. Atmosfer merupakan lapisan udara yang menyelimuti permukaan bumi dengan iklim dan cuaca yang ada di dalamnya. Sistem iklim merupakan hasil dari interaksi yang kompleks antara atmosfer, hidrosfer, litosfer, kriosfer dan biosfer. Model iklim merupakan suatu model matematis yang menggambarkan iklim serta perubahannya.

Ada beberapa jenis model, yaitu model fisik dan model matematik. Model fisik biasanya merupakan representasi dalam bentuk miniatur fisik dari obyek yang sesungguhnya. Sedangkan dalam model matematik, proses-proses alam digambarkan dalam bentuk persamaan-persamaan matematik yang saling berkaitan. Termasuk dalam model matematik, ada yang disebut dengan model statistik dan model dinamik. Pada model statistik, pola iklim diperoleh dari hasil analisa statistik terhadap pola-pola yang berulang dari data sejarah iklim yang panjang. Keuntungan dari model ini adalah tidak melibatkan dinamika chaos namun kerugiannya adalah kebergantungan pada data sejarah iklim. Sedangkan pada model dinamik, persamaan diferensial dinamika dan fisika iklim diintegrasikan dalam ruang grid tiga dimensi dan waktu menghasilkan output (luaran) model iklim. Keuntungan dari mode ini adalah tidak bergantung pada data sejarah iklim tetapi hanya membutuhkan data awal dan syarat batas, namun kerugiannya adalah melibatkan dinamika chaos, sehingga tidak dapat memprediksi jauh ke depan, tetapi harus didukung dengan proses asimilasi data.

Untuk memprediksi jauh ke depan dibutuhkan skenario perubahan iklim yang merupakan representasi logis yang akan datang yang konsisten terhadap asumsi, contohnya emisi GRK yang akan datang dan polutan lain berdasarkan pemahaman efek peningkatan konsentrasi GRK pada iklim global. Skenario perubahan iklim adalah suatu kondisi iklim alternatif yang logis pada masa yang akan datang, dibangun secara tegas, dan digunakan dalam penelitian konsekuensi potensi perubahan iklim antropogenik (IPCC 2001). Skenario perubahan iklim menghasilkan indikasi logis dari apa yang akan terjadi pada satu dekade atau satu abad berdasarkan sekumpulan asumsi yang

spesifik. Kesesuaian dalam hal perubahan iklim tergantung pada tersedianya informasi, seperti bagaimana aktivitas manusia diperkirakan dapat mengubah komposisi atmosfer dan kemudian dapat mempengaruhi iklim global, dan bagaimana perubahan pada iklim bisa mempengaruhi sistem alam dan aktivitas manusia. Proyeksi perubahan iklim di masa depan dilakukan berdasarkan data proyeksi rata-rata dari sembilan model Global Circulation Model (GCM) dengan melakukan analisis statistical downscaling untuk mencari hubungan data luaran GCM dengan data curah hujan lokal.

#### **6.2.2.2 Evaluasi Kondisi Iklim Saat ini**

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) telah mengembangkan skenario emisi jangka panjang pada tahun 1990 dan 1992. Skenario ini telah banyak digunakan dalam analisis kemungkinan perubahan iklim, dampaknya, dan pilihan untuk mengurangi perubahan iklim. Tahun 1995, skenario IPCC 1992 dievaluasi. Evaluasi ini merekomendasikan bahwa perubahan signifikan (sejak 1992) dalam pemahaman pengendalian kekuatan emisi dan metodologi harus diperbaharui. Hal ini terjadi karena adanya perubahan intensitas karbon, pasokan energi, kesenjangan pendapatan antara negara maju dan negara-negara berkembang, serta emisi sulfur.

Emisi gas rumah kaca adalah produk dari sistem dinamis yang sangat kompleks, ditentukan oleh kekuatan pendorong seperti pengembangan, pembangunan sosial ekonomi demografi, dan perubahan teknologi. Akhir-akhir ini diisukan perubahan besar telah terjadi dan menimbulkan dampak krisis bagi kehidupan manusia. Penyebab krisis tersebut sangat beragam, seperti yang berkaitan langsung dengan masyarakat luas adalah adanya penurunan produksi pangan, daerah terpolusi, wabah penyakit, meningkatkan ketinggian permukaan air laut, musim kemarau yang semakin panjang, serta periode musim hujan yang pendek namun intensitasnya semakin tinggi. Analisis perubahan suhu permukaan bumi menunjukkan bahwa peningkatan suhu udara global sudah dimulai sejak awal tahun 1900-an dengan adanya perubahan peningkatan suhu dari sekitar -0.4°C menjadi sekitar 0.1°C pada tahun 1940an.

Kejadian perubahan iklim di Indonesia dapat ditelusuri dari data curah hujan bulanan selama periode tertentu. Hasil analisis Kaimuddin (2000) untuk data curah hujan bulanan menunjukkan adanya perubahan pola curah hujan di Indonesia dari waktu ke waktu. Hasil analisis terhadap luaran data Global Circulation Model (GCM) berbagai skenario perubahan iklim menunjukkan adanya keragaman persentase perubahan curah hujan dan suhu untuk setiap model pada masing-masing tahun. Perubahan iklim diduga dapat memengaruhi faktor inter annual seperti El Nino dan variabilitas hujan (IPCC-TGCI 1999).

#### **6.2.2.3 Penyusunan Skenario**

Skenario yang dibuat dalam melakukan prediksi perubahan iklim memerlukan penyusunan skenario yang di dalamnya terdapat informasi berupa informasi kuantitatif, seperti data dan informasi kualitatif seperti diskusi tatap muka yang menghasilkan informasi yang bukan berupa angka-angka (USAID IUWASH 2012). Perolehan informasi ini dilakukan dengan penelitian guna melakukan penyusunan skenario. Tahap-tahap yang dilakukan yaitu studi literatur, pengumpulan data, pengolahan data, pemodelan, dan validasi output. Selanjutnya dilakukan analisis terhadap hasil skenario yang telah dibuat (Haristyana et al. 2012).

#### **6.2.2.4 Analisis Global dan Regional**

Analisis perubahan iklim dilakukan setelah penentuan model yang tepat untuk digunakan. Analisis ini dapat berupa analisa terhadap perubahan iklim yang mengubah pola suatu unsur iklim yang diamati, atau analisa terhadap resiko yang akan dihadapi akibat

perubahan iklim tersebut. Analisis dan proyeksi perubahan iklim perlu dilakukan secara cermat mungkin karena isu ini terkait dengan aspek ketidakpastian yang tinggi, terutama menyangkut hasil keluaran model iklim global (Schneider 2002 dalam Pratopo 2012). Analisis yang digunakan dalam menganalisa perubahan iklim dapat dilakukan dengan analisis terhadap proyeksi atau skenario yang dibuat dengan model yang sudah divalidasi. Analisis proyeksi ini dapat dilakukan secara *transient experiment* dan *timeslice*. Analisis *transient experiment* lebih ditujukan untuk memahami variasi temporal suatu parameter iklim dalam periode tertentu untuk kejadian ekstrem. Sedangkan analisis *time slice* digunakan untuk mengetahui pola iklim rata-rata pada suatu periode tanpa terlalu melihat variasi temporal secara detail (Pratopo 2012).

Analisis dampak dan penilaian resiko perubahan iklim dapat dilakukan dengan menggunakan metode *downscaling*. Secara umum terdapat dua metode *downscaling* yaitu *statistical downscaling* dan *dynamical downscaling*. Penggunaan *statistical downscaling* lebih memungkinkan untuk diterapkan dengan sumberdaya yang terbatas. Namun kendala utama dalam penerapan metode ini adalah ketersediaan data observasi yang pada umumnya tidak lengkap untuk wilayah Indonesia (Pratopo 2012). Tantangan fundamental dalam menelaah risiko perubahan iklim adalah tingginya tingkat ketidakpastian dalam proyeksi iklim yang ada saat ini, bahkan untuk jangka pendek dan menengah. Secara keseluruhan, ada tiga langkah utama dalam tahap penilaian risiko perubahan iklim: (a) analisis dan sintesis informasi perubahan iklim lokal, (b) penyusunan skenario berdasar perubahan iklim, dan (c) penilaian bagaimana risiko yang ada saat ini akan berubah, menjadi makin buruk, atau justru hilang karena perubahan iklim (USAID IUWASH 2012).

### **6.2.3 Uncertainty (Ketidakpastian)**

Menurut IPCC, ketidakpastian merupakan gambaran dari sebuah nilai (misalnya, keadaan sistem iklim masa depan) yang tidak diketahui. Ketidakpastian bisa disebabkan karena kurangnya informasi atau karena ketidaksetujuan mengenai apa yang diketahui. Sumber ketidakpastian bisa karena adanya kesalahan data yang menyebabkan definisinya menjadi ambigu.

Ketidakpastian berdasarkan sumbernya dapat dibagi menjadi model uncertainty, scenario uncertainty, dan internal variability. Ketidakpastian skenario terkait dengan faktor pengendali, yaitu emisi. Ketidakpastian dalam emisi bisa terjadi karena beberapa hal seperti proyeksi populasi, struktur ekonomi, dan perkembangan teknologi. Ketidakpastian dapat digambarkan dengan pengukuran secara kuantitas (misalnya range nilai yang dihitung dari berbagai model) atau dari pernyataan kualitatif (misalnya pendapat para ahli) (Ahmad et al. 2007 dalam Winkler 2011).

## **6.3 PENUTUP**

### **6.3.1 Kesimpulan**

Skenario memberikan gambaran alternatif bagaimana kemungkinan yang terjadi di masa depan. Skenario iklim digunakan untuk mempermudah analisis perubahan iklim, meliputi pemodelan iklim, analisis dampak, adaptasi, dan mitigasi. Setelah SRES A1, SRES A2, SRES B1, dan SRES B2 juga terdapat skenario RCP yang tercantum dalam IPCC Assessment Report terbaru. Skenario-skenario tersebut disusun untuk menentukan kebijakan dan langkah-langkah mitigasi dengan cara penurunan sumber emisi ataupun adaptasi.

## 6.4 DAFTAR PUSTAKA

- CIFOR. 2013. *Hutan dan Mitigasi Perubahan Iklim apa yang perlu diketahui oleh para pembuat kebijakan*. CGIAR. vt 17.
- Enzler S. 1996. Explanation of the IPCC SRES scenarios. *Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Haristyana A, Suntoyo, Sambodho K. 2012. Prediksi Kenaikan Muka Air Laut di Pesisir Kabupaten Tuban Akibat Perubahan Iklim. *JURNAL TEKNIK ITS Vol. 1, September 2012, ISSN: 2301-9271*.
- Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Noguer M, Van der Linder PJ, Dai X, Maskell K, Johnson CA. (2001). *Climate Change 2001: Scientific Basis*, Cambridge University Press.
- [IPCC] *Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2012. Managing the Effects of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation.
- [IPCC] *Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2001. *Summary for Policymakers*. Shynthesis Report. United Kingdom.
- [IPCC] *Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2015. *IPCC Special Report Emissions Scenarios*. Shynthesis Report. United Kingdom.
- [IPCC] *Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2000. Summary For Policymakers Emissions Scenarios. Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change
- [IPCC] *Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2013. *Climate Change 2013 The Physical Science Basis*. Working Group I Contribution To The Fifth Assessment Report Of The Intergovernmental Panel On Climate Change.
- IPCC-TGCIA. 1999. Guidelines on The Ude of Scenario Data for Climate Impact And Adaptation Assasment. Version 1. Prepared by carter, T. R., M. Hulme, Ana M. Lal, Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Scenario for Climate Impact Assasment, 69pp.
- Kaimuddin. 2000. Dampak perubahan iklim dan tata guna lahan terhadap keseimbangan air wilayah Sulawesi Selatan: Studi Kasus DAS Walanae Hulu dan DAS Saddang. *Tesis*. Bogor: Program Pasca Sarjana IPB..
- Moss *et al.* 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. Vol 463j11 February 2010jdoi:10.1038/nature08823.
- Nordhaus WD. (1991) Economic Approaches to Greenhouse Warming, in Dornbush, R. and Poterba, J.M. (Editors)*Global Warming: Economic Policy Responses*, The MIT Press.
- Pratopo AKF. 2012. Penerbitan *Online* program studi meteorologi. Bogor: Program Studi Meteorologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung.
- Schneider S. 2002. *Can we estimate the likelihood of climatic changes at 2100?*. *Climate Change*, 52, 441-451.
- Sugiyono A. Penanggulangan pemanasan global di sektor pengguna energi. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, Vol. 7, No. 2, 2006 : 15-19.
- USAID IUWASH. 2012. Penilaian Kerentanan Sumbledaya Air Akibat Perubahan Iklim dan Perencanaan Adaptasi. *USAID Indonesia Urban Water Sanitation And Hygiene*. <http://www.iuwash.or.id>.
- Winkler, Julie A, *et al.* 2011. Climate Scenario Development and Applications for Local/Regional Climate Change Impact Assessments: An Overview for The Non-



Climate Scientist. *Geography Compass* 5/6 (2011): 301-328, 10.1111/j.1749-8198.2011.00426.x.

# 7 DATA LAPANG DAN DATA BANGKITAN

## 7.1 PENDAHULUAN

### 7.1.1 Latar Belakang

Perlu kita sadari bahwa saat ini kebutuhan akan data iklim menjadi sangat penting terkait dengan fenomena-fenomena cuaca yang dampaknya dapat dirasakan masyarakat secara langsung seperti; banyak angin ribut, hujan ekstrim yang mengakibatkan banjir, pergeseran musim yang membuat petani kebingungan dalam mengawali musim tanam dan kemarau panjang yang membuat gagal panen dan lain-lain. Untuk meminimalisir dampak tersebut maka perlu dikaji lagi terkait dengan data-data cuaca yang dapat menunjang keilmuan meteorologi dan klimatologi di Indonesia supaya dapat memberikan kontribusi yang maksimal untuk membantu di bidang pertanian, transportasi, pembangunan dan lain-lain yang berkaitan dengan cuaca dan iklim.

Untuk menunjang hal tersebut maka diperlukan data iklim yang baik dan dapat mewakili daerah observasi, secara keseluruhan di Indonesia masih sangat terbatas akan ketersediaan data observasi cuaca, hal ini karena kuantitas dan kualitas stasiun cuaca Indonesia yang masih rendah terutama di wilayah Laut jumlah Stasiun cuaca masih sangat langka. Permasalahan yang sering dihadapi dalam analisis data iklim ialah masalah ketersediaan data. Seringkali dijumpai dalam banyak kasus, data iklim lebih banyak tersedia dalam bentuk data bulanan dibandingkan dalam bentuk harian. Kondisi ini menyebabkan kegiatan analisis yang memerlukan data harian sulit untuk dilakukan. Berkaitan dengan hal tersebut maka dalam dokumen ini akan dibahas mengenai Data Observasi dan Data Bangkitan.

### 7.1.2 Tujuan

1. Menjelaskan data lapang
2. Menjelaskan homogenitas data lapang
3. Mengetahui pengukuran data lapang
4. Menjelaskan tingkatan jaringan observasi
5. Mengetahui perkembangan ketersediaan data observasi
6. Menjelaskan Global Historical Climate network
7. Menyebutkan kelebihan dan kekurangan data lapang
8. Menjelaskan data bangkitan
9. Menjelaskan dasar diadakannya data bangkitan
10. Mengetahui apasaja metode bangkitan data
11. Menjelaskan data Generator
12. Mengetahui contoh hasil olahan bangkitan data
13. Menjelaskan kelemahan data bangkitan

## 7.2 PEMBAHASAN

### 7.2.1 Data Lapang

#### 7.2.1.1 Pengertian Data Lapang

Data Lapang merupakan data yang diperoleh dari hasil observasi di lapangan secara langsung. Observasi merupakan metode pengambilan data dengan melihat parameter keadaan sekitar daerah yang diamati. Observasi bertujuan agar memperoleh data konkret yang berarti data yang nyata tanpa adanya manipulasi. Observasi yang dilakukan salah satunya dengan cara pengukuran langsung. Pengukuran langsung adalah pengukuran yang dilakukan untuk mendapatkan nilai hasil pengukuran secara langsung. Pengukuran langsung dapat dilakukan pada kondisi yang sama atau pada kondisi yang berbeda. Pada pengukuran langsung pada kondisi sama, seluruh pengukuran dilakukan oleh pengukur yang sama, alat yang sama, dan keadaan lingkungan yang sama. Sedangkan pengukuran langsung pada kondisi yang tidak sama, terjadi apabila pada waktu pengukuran terjadi pergantian pengukur, alat, atau terjadi perubahan keadaan lingkungan. Contohnya yaitu mengukur panjang dengan pita ukur dan mengukur sudut dengan theodolit.



Gambar 7-1 Lokasi observasi lapang

#### 7.2.1.2 Homogenitas Data Lapang

Iklim merupakan komponen ekosistem yang sangat dinamik dan sulit dikendalikan sehingga diperlukan suatu pemahaman yang lebih akurat terhadap karakteristik iklim melalui analisis dan interpretasi data iklim. Pada pengamatan data observasi iklim, data dapat ditinjau dari parameter iklim dan parameter *non* iklim. Parameter iklim yaitu suhu, temperature, radiasi, dan visibilitas sedangkan Parameter non-iklim seperti lokasi stasiun, topografi suatu tempat, dan alat instrumentasi yang digunakan peneliti dalam memperoleh data lapang. Parameter iklim yang berada di alam tidak banyak mempengaruhi keragaman perolehan data. Parameter *non* iklim yang tidak homogen (*inhomogeneity*) karena pengaruh dari aktivitas manusia akan mempengaruhi pengamatan iklim dan output datanya. Data dapat dikatakan homogen jika variasi iklim hanya disebabkan oleh fluktuasi cuaca dan iklim, dimana tidak terjadi kekurangan pencatatan data observasi (Conrad and Pollak 1962).

Konsep homogenitas iklim secara relatif, digunakan untuk mengisolasi pengaruh non iklim. Dalam suatu wilayah geografis, pola iklim akan sama berdasarkan semua pengamatan pada wilayah geografis yang sama. Data yang dikumpulkan dari semua situs pengamatan di kawasan tersebut harus sangat berkorelasi dan memiliki variabilitas yang sama sedangkan yang membedakannya hanya faktor scalling dan variabilitas sampel acak (Conrad dan Pollak 1962).

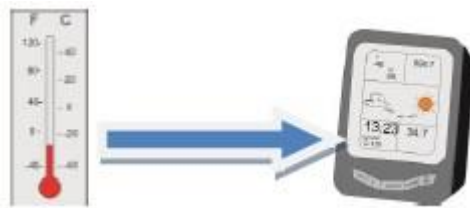
Homogenitas iklim dapat didefinisikan sebagai asumsi bahwa distribusi frekuensi di berbagai situs yang identik terlepas dari faktor skala. Situs referensi biasanya dipilih

berdasarkan jarak dan korelasi dengan asumsi bahwa data dari lokasi terdekat harus mencerminkan iklim regional dan menjadi sangat, berkorelasi positif. "Sangat, berkorelasi positif" secara umum didefinisikan sebagai yang diukur oleh koefisien korelasi linear yang melebihi sekitar 90. Peterson dan Easterling (1994) berusaha untuk memecahkan masalah ini dengan menghubungkan serangkaian perubahan data per satuan waktu daripada rangkaian data asli. Dengan pendekatan ini, korelasi antara tingkat homogen rangkaian perubahan adalah tentang yang sama dengan serial aslinya. Untuk data asli dengan beberapa diskontinuitas, korelasi antara tingkat rangkaian perubahan tidak menutupi atau mengembang korelasi. Penggunaan tingkat rangkaian perubahan dalam analisis korelasi sekarang sedang diadopsi oleh banyak analis.

Penyebab data tidak homogen yaitu:

1. Adanya perubahan instrumentasi, paparan dan teknik pengukuran.

Alat-alat instrumentasi yang digunakan untuk melakukan pengukuran mengalami perkembangan seiring berjalannya waktu. Ketika peralatan berteknologi maju diperkenalkan, maka hasil pengukuran yang baru dapat mempengaruhi kehomogenan dengan data yang lama.



Gambar 7-2 Perubahan alat pengukuran

2. Perubahan lokasi stasiun .

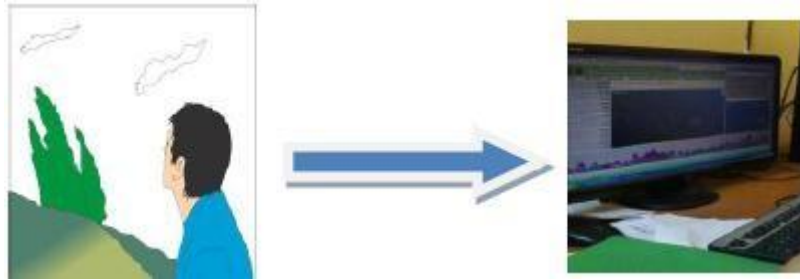
Lokasi stasiun yang berubah mengakibatkan perubahan kondisi lingkungan stasiun pengamatan sehingga mempengaruhi hasil yang diperoleh dengan tidak dilakukan pengamatan pada lokasi yang tetap. Seperti misalnya perubahan ketinggian mempengaruhi tekanan, suhu, kecepatan angin, serta besarnya radiasi matahari yang diterima permukaan tanah.



Gambar 7-3 Perpindahan lokasi pengamatan

3. Perubahan masa observasi dan metode yang digunakan untuk menghitung rata-rata harian.

Metode yang digunakan secara manual dengan melakukan pengamatan langsung menggunakan panca indera yang terbatas, dapat berbeda hasilnya jika menggunakan bantuan teknologi seperti satelit maupun sensor yang dapat memberikan informasi yang lebih detail.



Gambar 7-4 Perubahan metode observasi

4. Perubahan lingkungan stasiun yang diamati, terutama urbanisasi.

Pertumbuhan kota di sekitar lokasi stasiun meterologi yang sudah ada karena pengaruh terjadinya urbanisasi, meningkatkan aktivitas di sekitar stasiun sehingga dapat meningkatkan suhu, merubah komposisi atmosfer maupun perilaku lain yang dapat merubah hasil pengukuran menjadi tidak homogen.



Gambar 7-5 Urbanisasi

Dalam menilai homogenitas catatan iklim, terdapat tiga sumber utama informasi yaitu sejarah stasiun, variasi dalam rekaman itu sendiri, dan data stasiun terdekat (stasiun pembanding). Sejarah stasiun harus mencakup rincian dari setiap perubahan lokasi stasiun, perubahan instrumentasi atau perubahan waktu dan sifat observasi. Cara untuk mengidentifikasi dengan melihat bukti sumber sejarah stasiun yang disebut sebagai metadata dengan menggunakan pendekatan perbandingan empiris antar data stasiun yang berdekatan. Dalam skala waktu, data yang dimiliki stasiun terdekat (radius 10 km) harus memiliki pola perubahan yang tidak jauh berbeda dengan data stasiun kajian. Jika ada tanda perbedaan perilaku misalnya trend maka hal tersebut menunjukkan adanya *inhomogeneity*.

Ada tiga jenis faktor penyesuaian yang digunakan. Pertama, seperti suhu yang diasumsikan berubah secara paralel dengan rangkaian referensi, faktor penyesuaiannya adalah perbedaan rata-rata antara seri acuan dan data homogen. Kedua, curah hujan yang diasumsikan berubah secara relatif terhadap seri acuan, faktor penyesuaiannya adalah rasio rata-rata data homogen dengan rangkaian referensi. Ketiga, penyesuaian didasarkan pada hubungan regresi (Guttman 1998). Namun perlu dilakukan validasi data untuk menemukan seberapa besar ketidak homogenan. Jika metadata yang digunakan untuk menganalisis inhomogeneity tidak akurat, maka dapat mempengaruhi perbandingan seri data pada rangkaian acuan.

Tes nonparametrik lebih cocok untuk tes homogenitas ini daripada tes parametrik karena distribusi frekuensi tidak perlu ditentukan. Salah satu kelemahan adalah bahwa probabilitas dari uji statistik dihitung tergantung pada jumlah kemungkinan permutasi dari data dan karena itu mungkin merupakan fungsi dari ukuran sampel. Selain itu hanya beberapa karakteristik dari suatu distribusi yang diuji sehingga distribusi frekuensi pada

periode berbeda tidak bisa dibandingkan. Keputusan mengenai inhomogeneity umumnya didasarkan pada uji statistik yang diharapkan terjadi dengan tingkat yang telah ditentukan dan konstan kepercayaan.

Ada beberapa uji yang dilakukan untuk melihat homogenitas pada data iklim yaitu Uji SNHT (Standard Normal Homogenitas Test), Uji Pettit, Uji Buishand, Uji Von Neumann (Sutikno 2013). Uji homogenitas dilakukan setelah data persyaratan normalitas terpenuhi, yakni data dinyatakan berdistribusi normal. Selain itu, metode lain yang digunakan adalah metode Run test, metode Helmert, dan metode kurva massa ganda. Uji Runs Test bisa digunakan untuk menguji pada kasus satu sampel. Pada pengujian data menggunakan metode Run Test. Prosedur Run Test dilakukan untuk data bertingkat dari nilai variabel yang acak. Metode yang lebih teliti dan umum digunakan adalah metode kurva massa ganda yaitu dengan membandingkan nilai kumulatif suatu peubah di wilayah kajian dengan rataan nilai kumulatif peubah yang sama di tempat yang berdekatan dengan periode waktu yang sama.

### **7.2.1.3 Pengukuran Data lapang**

Teknik observasi merupakan metode mengumpulkan data dengan mengamati langsung di lapangan. Proses ini berlangsung dengan pengamatan yang meliputi melihat, merekam, menghitung, mengukur, dan mencatat kejadian. Observasi bisa dikatakan merupakan kegiatan yang meliputi pencatatan secara sistematis kejadian-kejadian, perilaku, obyek-obyek yang dilihat dan hal-hal lain yang diperlukan dalam mendukung penelitian yang sedang dilakukan. Pada tahap awal observasi dilakukan secara umum, peneliti mengumpulkan data atau informasi sebanyak mungkin. Dalam bidang meteorologi memiliki taman alat untuk penempatan alat-alat meteorologi yang nantinya mampu menghasilkan data cuaca yang representative (mewakili) daerah sekitarnya pada radius yang ditetapkan/diharapkan. Agar hasil pengamatan dari berbagai stasiun meteorologi dapat dibandingkan satu sama lain, maka penempatan alat-alat meteorologi dan tata cara pengamatan pun haruslah sama. Untuk mendapatkan data observasi yang baik maka diperlukan stasiun cuaca yang baik pula. Berikut ini syarat-syarat sebuah stasiun cuaca yang baik:

1. Letak stasiun harus memiliki hubungan tanah, air dan iklim dimana data tersebut diperoleh.
2. Lokasi, keadaan stasiun dan lingkungan sekitar yang tidak mengalami perubahan (bangunan baru, daerah ditanam, dll).
3. Apabila stasiun pindah tidak boleh lebih dari 5 KM supaya tidak mengganggu distribusi spasial.
4. Untuk pengukuran CH lokal, stasiun curah hujan minimal ada 1 per 100 km<sup>2</sup>, karena Jumlah dan intensitas curah hujan dapat sangat lokal pada kondisi atmosfer yang tidak stabil.

Sebuah stasiun cuaca juga harus memiliki keleengkapan sebagai berikut:

- Memiliki koordinat stasiun yang meliputi lintang dan bujur.
- Memiliki elevasi atau ketinggian stasiun diatas permukaan laut (MSL).
- Memiliki nomor stasiun
- Ada aktifitas operasional seperti synop dan piba.
- Memiliki alamat stasiun.

Supaya mendapatkan data meteorologi yang baik, maka perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut:

- Alat pengukur yang digunakan tersebut tidak mudah rusak dan mudah dipelihara.
- Pembacaan alat mudah dilaksanakan dan mudah dicatat.
- Pengamat cukup tersedia dan terlatih dengan baik serta bertempat tinggal tidak jauh dari stasiun klimatologi.
- Alat-alat atau instrumen pengukuran di awasi dan dipelihara.

Data Observasi Meteorologi haruslah memiliki akurasi dan presisi yang tinggi. Tujuan pentingnya keakuratan data meteorologi ini yakni untuk:

- Penilaian klimatologis dan penggunaannya dalam perencanaan dan lain-lain.
- Validasi model (perlu membandingkan hasil model dengan observasi).
- Evaluasi ekstrem harian (gelombang panas, kekeringan, curah hujan ekstrim).
- Evaluasi tren bulanan, musiman, dan tahunan.
- Peramalan musiman (observasi digunakan saat membuat prakiraan musiman).

#### **7.2.1.4 Kelebihan dan Kekurangan Data Lapang**

Salah satu kelebihan dari data lapang adalah pengamat dapat langsung meninjau keadaan sekitar sehingga data yang dihasilkan lebih teliti. Tetapi terdapat pula kekurangan dari data lapang yaitu sebagai berikut :

- Terdapat kesalahan paralaks atau human error  
Hal ini terjadi akibat ketidakteelitian dari petugas yang melakukan pengukuran sehingga data yang diperoleh tidak akurat.
- Faktor dari alat ukur / instrumentasi  
Terdapat banyak kekurangan dari segi alat yang digunakan, seperti alat yang kurang akurat, dan alat yang digunakan harus dikalibrasi terlebih dahulu, data yang diperoleh terkadang tidak akurat karena adanya gangguan hewan atau alam itu tersendiri. Pengambilan data lapang membutuhkan waktu yang agak lama karena menggunakan metode observasi.
- Data tidak homogen  
Data yang homogen adalah data yang hanya dipengaruhi oleh unsur iklim tanpa ada pengaruh dari lingkungan sekitar. Pada pengamatan data lapang, sering ditemukan adanya data yang tidak homogen hal ini disebabkan karena banyak data yang kosong, data diambil pada jam yang berbeda perubahan land use lingkungan stasiun, pengantian alat, dan pengamat yang berbeda - beda.
- Distribusi sebaran spasial stasiun pengamatan  
Masalah distribusi stasiun ini sangat penting, karena berkaitan dengan hasil data yang dapat mewakili wilayah pengamatan. Kebanyakan stasiun tersebar tidak merata, contohnya:
  - Jumlah stasiun di negara berkembang lebih sedikit dari pada negara maju.
  - Jumlah stasiun di laut lebih sedikit dari pada di darat.Hal tersebut menunjukkan distribusi stasiun yang tidak merata, sehingga data yang dihasilkan kurang dapat mewakili wilayah keseluruhan.
- Masalah metadata  
Metadata adalah informasi yang dimiliki data. Adapun masalah metadata yang sering ditemukan pada data lapang antara lain data histori, tahun pembangunan stasiun, negara yang memproduksi alat dan peremajaan alat pengamatan. Metadata itu perlu diperhatikan dikarenakan bisa mempengaruhi dari data yang digunakan dan mempengaruhi hasil data pengamatan. WMO merekomendasikan bahwa metadata yakni meliputi:

- Jenis dan kondisi peralatan
- Ketinggian peralatan di atas permukaan
- Deskripsi lingkungan lokal (termasuk peta dan foto udara)
- Perubahan instrumentasi
- Protokol observasi

#### **7.2.1.5 Tingkatan Jaringan Observasi**

Beberapa tingkat jaringan Observasi stasiun cuaca adalah sebagai berikut:

##### a. National Observation Network

Stasiun terpilih yang ditetapkan oleh negara anggota WMO itu sendiri untuk diusulkan menjadi jaringan regional atau jaringan global yang dinamakan stasiun basic. Di Indonesia ada 60 stasiun basic, sisanya adalah stasiun nonbasic.

Kewajiban Stasiun basic:

- Synoptik: Wajib operasi 24 jam, tukar data 8 X / hari.
- Aerologi: Rason 2 X / hari, Pibal 4 X / hari.

Untuk mengusulkan menjadi stasiun basic ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi antara lain adalah stasiun tersebut harus memiliki observer atau kemampuan sumber daya manusia, alat ukur dan alat komunikasi yang memungkinkan untuk pertukaran informasi seperti data observasi dan memiliki jarak 200 hingga 300 km dari stasiun lain. Stasiun basic bersifat tidak paten, apabila usulannya berubah maka stasiun tersebut akan berubah menjadi stasiun non-basic.

##### b. Regional Observation Network

Kumpulan dari stasiun Basic di suatu kawasan atau regional tertentu, atau kumpulan dari jaringan- jaringan nasional dari negara- negara anggota WMO yang berada pada wilayah- wilayah tertentu.

##### c. Global Observation Network

Adalah kumpulan dari seluruh Regional Observation Network. Global observation network terdiri dari tujuh Regional Association di seluruh dunia. Jumlah stasiun diseluruh dunia ±10.000 stasiun. Komponen observasi dari Global Observation System terdiri dari:

- Observasi permukaan
- Upper-air observation
- Marine
- Air-craft based observation
- Satellite
- Weather radar observation, dan
- Observasi lain

#### **7.2.1.6 GHCN (Global Historical Climate Network)**

GHCN merupakan kumpulan data iklim yang tersedia pada situs <http://www.ncdc.noaa.gov/> dimana tersedia data suhu dan curah hujan bulanan untuk stasiun di seluruh dunia dengan rentang waktu yang cukup panjang (1860-an - sekarang). Akan tetapi, data untuk stasiun di Indonesia pada umumnya hanya tersedia hingga sekitar tahun 1975, kecuali untuk beberapa stasiun saja. GHCN menyediakan data harian (daily) dan data bulanan (monthly). GHCN dataset suhu pertama kali diperkenalkan pada awal 1990-an dan berisi data dari sekitar 6000 suhu, curah hujan 7500, dan 2000 stasiun tekanan (Vose et al 1992).

Versi kedua dirilis pada tahun 1997 dengan menambah luas untuk meningkatkan jumlah stasiun dan panjang catatan data (Peterson and Vose 1997). Suhu rata-rata bulanan dapat dihitung sebagai rata-rata pengamatan harian (misalnya, rata-rata maksimum dan suhu minimum harian) atau dari rata-rata harian selama satu hari pengamatan dikumpulkan.



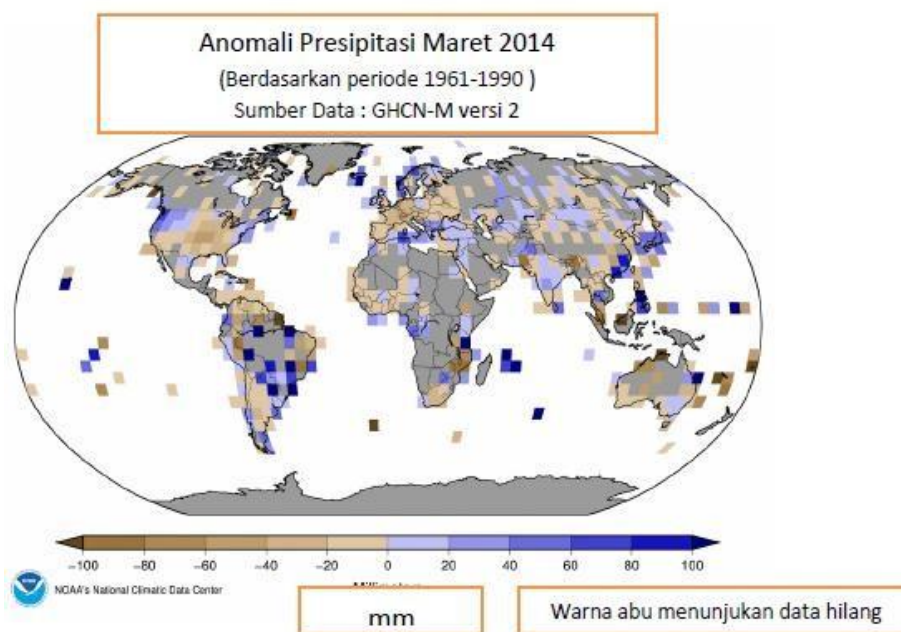
Ini termasuk rata-rata dari observasi yang diambil setiap jam atau rata-rata pengamatan yang dilakukan pada waktu selama satu hari (misalnya, setiap tiga atau enam jam). Ada banyak cara lain untuk menghitung suhu rata-rata bulanan, dan dalam banyak kasus lebih dari satu metode yang digunakan untuk menghitung suhu rata-rata untuk stasiun yang sama. Selain itu ditambahkan metode untuk menghilangkan ketidakhomogenitas catatan data yang dipengaruhi oleh faktor non-iklim seperti perubahan instrumentasi, lingkungan stasiun, dan praktik mengamati yang terjadi dari waktu ke waktu (Peterson and Easterling 1994).

Setelah itu berbagai upaya terus dilakukan sebagai bentuk pengembangan metode dataset dataset termasuk proses kontrol kualitas baru dan teknik-teknik canggih untuk menghapus inhomogeneities data. Sehingga pada 2 Mei 2011 dirilis GHCN versi 3 dataset dari suhu rata-rata bulanan untuk kegiatan pemantauan iklim operasional. Versi 3 memfasilitasi dokumentasi dan komunikasi pembaruan dan modifikasi yang terjadi bagian normal dari kondisi dataset iklim saat ini. Informasi kontrol kualitas dan proses penyesuaian homogenitas juga tersedia.

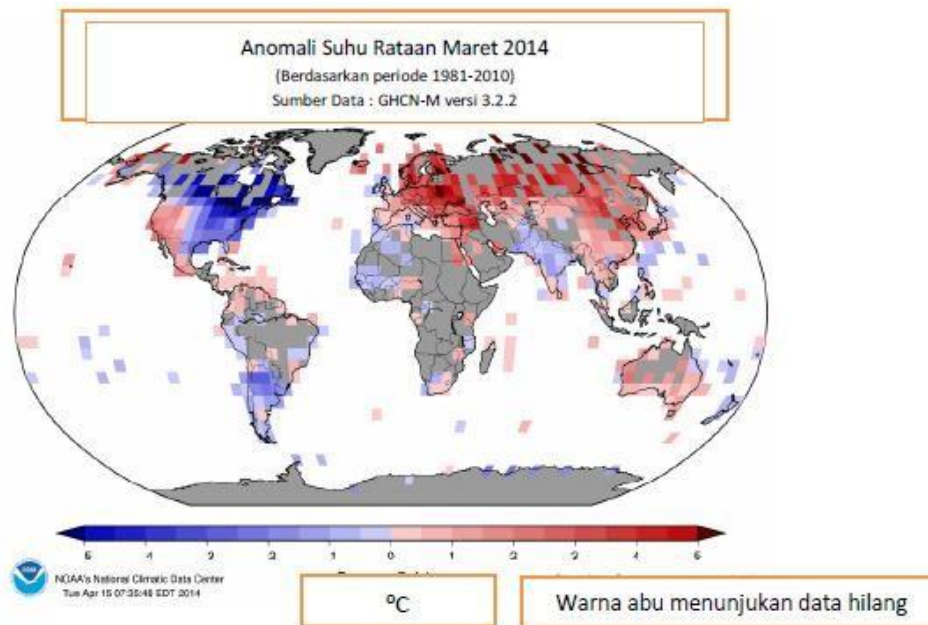
Integrasi dataset GHCN-harian berlangsung dalam tiga langkah:

1. Menghilangkan sumber data untuk stasiun yang lokasinya tidak diketahui atau dipertanyakan.
2. Mengklasifikasikan sumber setiap stasiun dalam dataset baik yang sudah terwakili dalam GHCN maupun sumber stasiun yang baru.
3. Menggabungkan data dari berbagai sumber dataset untuk membentuk catatan stasiun komprehensif.

Produk GHCN-M yang telah digrid sangat baik untuk verifikasi hasil *forecast* model cuaca global. Contoh hasil olahannya adalah sebagai berikut:



Gambar 7-6 Hasil Sebaran anomali presipitasi menggunakan data GHCN-M  
Sumber: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/ghcn-global-historical-climatology-network-related-gridded-products>



Gambar 7-7 Hasil Sebaran anomali suhu menggunakan data GHCN-M

Sumber: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/ghcn-global-historical->

### 7.2.1.7 Perkembangan Ketersediaan Data Observasi

Data adalah hasil observasi tunggal (datum) yang didapat baik secara langsung (observasi/survey, praktikum) ataupun tidak langsung (buku, koran, internet). Data merupakan sumber utama analisis data. Pengumpulan, pengorganisasian dan pengolahan data merupakan pekerjaan statistika yang menuntut kerapiandan detil. Observasi dan wawancara adalah dua di antara sekian metode penelusuran dan pengumpulan data. Data yang baik yang dapat digunakan adalah data yang tidak memiliki/sedikit eror, data yang homogen serta data harus logis. Data yang akan kita bahas saat ini adalah data observasi yaitu data yang diperoleh dari observasi di lapangan secara langsung.

Bungin (2007) mengemukakan beberapa bentuk observasi, yaitu:

1. Observasi partisipasi adalah (participant observation) adalah metode pengumpulan data yang digunakan untuk menghimpun data penelitian melalui pengamatan dan penginderaan di mana peneliti terlibat dalam keseharian informan.
2. Observasi tidak terstruktur ialah pengamatan yang dilakukan tanpa menggunakan pedoman observasi, sehingga peneliti mengembangkan pengamatannya berdasarkan perkembangan yang terjadi di lapangan.
3. Observasi kelompok ialah pengamatan yang dilakukan oleh sekelompok tim peneliti terhadap sebuah isu yang diangkat menjadi objek penelitian.

Pengumpulan data dapat dilakukan dengan menggunakan dua cara yaitu secara kualitatif (pengalaman) dan secara kuantitatif (bedasarkan jumlah). Pengumpulan data observasi merupakan salah satu teknik pengumpulan data yang utama dalam penelitian kualitatif, sesuai dengan pendapat Mills (2003) yaitu jika dilihat dari segi teknik pengumpulan data kualitatif, ada tiga teknik yang dapat dipilih oleh peneliti untuk mengumpulkan data yang disebut 3 E yaitu:

1. Experiencing yaitu pengumpulan data melalui pengalaman. Teknik pengumpulan datanya dapat berupa observasi.
2. Enquiring yaitu teknik pengumpulan data melalui pertanyaan oleh peneliti. Teknik pengumpulan datanya dapat berupa wawancara, angket, skala sikap, atau tes.

3. Examining yaitu teknik pengumpulan data melalui pembuatan dan pemanfaatan catatan yang dapat berupa data arsip, jurnal, audiotape/videotape, artifak, dan catatan lapangan.

Pada pengumpulan data observasi ini diharapkan agar peneliti dapat langsung mengamati serta mengetahui apa yang terjadi di lapangan obyek penelitian. Sebagai metode ilmiah bisa diartikan sebagai pengamatan dan pencatatan dengan sistematis tentang fenomena-fenomena yang diselidiki. Observasi juga merupakan suatu pengamatan yang khusus dan yang ditujukan pada satu atau beberapa fase masalah di dalam rangka penelitian, dengan maksud untuk mendapatkan data yang diperlukan untuk pemecahan persoalan yang dihadapi. Data observasi tidak hanya penting untuk memantau sistem iklim, tetapi juga untuk mendeteksi dan menghubungkan perubahan iklim, untuk menilai dampak variabilitas iklim, dan untuk mendukung penelitian terhadap peningkatan pemahaman, pemodelan dan prediksi dari sistem iklim.

Kelebihan dari observasi antara lain pengamat mempunyai kemungkinan untuk mencatat hal-hal yang terjadi di lapangan pada saat kejadian tersebut terjadi, sehingga pengamat tidak menggantungkan data-data dari ingatan seseorang. Sedangkan kelemahan dari observasi antara lain observasi memerlukan waktu yang relative lama untuk memperoleh data pengamatan langsung dari lapangan serta pengamat biasanya kesulitan dalam melakukan observasi terhadap suatu fenomena yang berlangsung lama.

Data tidak selalu tersedia seperti yang diinginkan oleh kepentingan analisis. Keadaan ini terutama dijumpai di Indonesia, yang sistem pencatatan datanya masih beragam. Bahkan dalam suatu daerah pun, misalnya propinsi, terdapat perbedaan pencatatan. Contohnya dalam hal data penduduk, terdapat kabupaten atau kecamatan yang mencatat jumlah penduduk terinci menurut golongan umur, sedangkan lainnya mencatat menurut golongan umur lima tahunan bahkan ada yang merinci dengan sebutan anak-anak, dewasa dan tua. Data yang tersedia tidak homogen juga merupakan permasalahan ketersediaan data seperti yang disampaikan oleh Sonjaya (2007) yaitu pada tahun 2007 data cuaca/iklim yang dimiliki stasiun BMG (sekarang BMKG) belum pernah dilakukan uji homogenitas data sehingga basis data cuaca/iklim yang dimiliki BMG belum dapat menjamin keakuratan hasil kajian cuaca/iklim misalnya dalam analisis perubahan iklim dan validasi model-model cuaca/iklim.

Ketersediaan data tidak dalam format standar yaitu tidak dalam bentuk vektor dalam dimensi ruang, sering kali menjadi kendala dalam penggunaan analisis suatu data yang dikaji oleh para peneliti. Untuk dapat menggunakan teknik analisis korelasi data observasi, data terlebih dahulu harus dirubah ke dalam struktur yang diinginkan untuk mempermudah analisis. Namun tidak jarang dalam proses mengubah struktur data awal menjadi struktur data baru banyak informasi yang hilang. Dalam setiap teknik ini disajikan statistik varians-kovarians atau matriks kekeliruan (measurement error) yang terkait dengan hasil perubahan struktur data tersebut yang merupakan ukuran informasi yang hilang selama proses transformasi. Metode *Error based clustering* memungkinkan melakukan penggerombolan objek dengan memperhatikan kekeliruan pengukuran.

Terdapat beberapa cara untuk mengatasi perubahan ketersediaan data observasi. Tehnik yang pertama adalah melihat data dibagian mana yang telah terjadi perubahan tersebut, langkah selanjutnya kita akan melihat apakah data tersebut layak untuk dipertahankan atau data itu harus di hapuskan. Tehnik yang kedua adalah pengumpulan data sekunder, data sekunder sendiri adalah data yang diperoleh peneliti secara tidak langsung yang diusahakan sendiri pengumpulannya oleh peneliti. Melainkan data yang berupa studi kepustakaan, yaitu dengan jalan mempelajari majalah, koran, artikel dan lain

sebagainya, atau bisa juga berupa tentang catatan adanya suatu peristiwa, ataupun catatan-catatan yang jaraknya telah "jauh" dari sumber orisinal.

## **7.2.2 Data Bangkitan**

### **7.2.2.1 Pengertian Data Bangkitan**

Data bangkitan atau data yang dibangkitkan secara sengaja merupakan salah satu bentuk data klimatologi. Data tersebut tergolong ke dalam data lapang yang dibangkitkan dari sumber data lain. Layaknya data lapang, data bangkitan digunakan untuk mengetahui data yang kosong (*missing value*) dengan beberapa pertimbangan secara sains sehingga diperoleh data yang cukup detail dan representative serta akan mengubah suatu data yang dianggap rancu agar menghasilkan data yang diinginkan. Metode yang harus dilakukan untuk memperoleh data bangkitan hampir sama dengan penentuan missing value pada data lapang. Nilai missing value biasanya ditentukan dengan menggunakan metode rata-rata sederhana. Namun pada data bangkitan, metode rata-rata sederhana tidak cocok untuk menentukan besarnya nilai kuantitas data.

Data bangkitan umumnya dianalisis menggunakan metode yang lebih detail dengan memperhatikan keterkaitan antar unsur-unsur yang mempengaruhi data, kesamaan dengan data terdekat, variabilitas data serta parameter yang mempengaruhi data. Salah satu metode data bangkitan yaitu dengan pendekatan fourier. Pendekatan ini digunakan pada data dengan sifat statistik berupa pola harmonik. Pola ini mengikuti beberapa sebaran parameter yang diukur dengan keterkaitan antar unsure iklim sehingga dapat dimodelkan. Data bangkitan juga dikenal dengan data simulasi. Hal ini disebabkan karena data bangkitan diperoleh dari data sekitar dan disimulasikan melalui bantuan software pada computer ataupun secara manual menggunakan formula tertentu dalam pengolahan data. Bahkan terkadang harus dilakukan interpolasi nilai data yang bersangkutan.

### **7.2.2.2 Dasar Pembentukan Data Bangkitan**

Permasalahan yang sering dihadapi dalam analisis data iklim ialah masalah ketersediaan data. Seringkali dijumpai dalam banyak kasus, data iklim lebih banyak tersedia dalam bentuk data bulanan dibandingkan dalam bentuk harian. Kondisi ini menyebabkan kegiatan analisis yang memerlukan data harian sulit untuk dilakukan. Ini juga merupakan salah satu masalah yang harus diselesaikan menggunakan analisis statistika yaitu dengan teknik pembangkitan data menggunakan metode Epstein dan Fourier. Meskipun pengumpulan data percobaan di lapangan biasanya dilakukan dengan sangat hati-hati, namun sejumlah faktor diluar kemampuan peneliti dapat menyebabkan timbulnya data bermasalah. Salah satu bentuk dari data bermasalah itu adalah data yang hilang. Data hilang dapat diartikan tidak tersedianya nilai data pada suatu waktu pengamatan, pada satu atau lebih peubah. Dalam data deret waktu, data hilang diasumsikan bersifat acak. Hal ini mempunyai arti bahwa tidak ada suatu pola khusus dimana posisi data tersebut hilang. Menurut Cryer (1986), jika posisi data hilang terdapat pada awal dan akhir data deret waktu maka data hilang tersebut dapat dihilangkan sehingga data yang digunakan ialah deret data setelah data hilang tersebut dibuang. Jika posisi data hilang terdapat pada pertengahan deret maka perlu dilakukan pendugaan untuk mengisi data hilang tersebut.

### **7.2.2.3 Metode Data Bangkitan**

Pembangkitan data iklim untuk masalah tidak tersedianya data iklim pada suatu lokasi dapat dilakukan dengan melakukan interpolasi parameter dari model stochastic. Banyak teknik yang tersedia, akan tetapi metode perhitungan untuk teknik-tekniknya cukup rumit misalnya Metode Kriging dan Thiesen polygon Weighting .

Menurut Semiaty (2010) data iklim beda bulanan dapat dibangkitkan menjadi data harian apabila pada stasiun tidak diketahui data suhu hariannya. Sedangkan data iklim harian dapat digunakan untuk memprediksi tahun depan di hari yang sama. Seperti halnya dengan metode pembangkitan data hujan bulanan, maka metode yang digunakan untuk pembangkitan data hujan harian juga tergantung daripada asumsi yang dibuat. Secara umum, maka semakin singkat periode curah hujan, maka semakin sulit pula untuk mendapatkan model yang memadai dalam menampilkan karakteristik-karakteristik hidrologi.

Tabel 7.1 Penerapan Model-model Pembangkitan Data Curah Hujan Harian Sintetis menurut Srikanthan dan McMahon (2000)

No. Model	Kelompok Model	Keterangan Penerapan
1.	Two-Part	Terdiri dari dua bagian pembangkitan yang independen, (1) Hujan 0, dan (2) Hujan > 0 yang menggunakan Distribusi Log-Normal. Sifat musim bulanan diperhitungkan.
2.	Matrik-Transisi	Pembangkitan dengan menggunakan Matriks Transisi dengan 8 kelas hujan. Didalam setiap kelas menggunakan distribusi uniform. Sifat musim bulanan diperhitungkan.
3.	Resampling	Menggunakan pengambilan sampel acak pada populasi per setiap bulan. Selektor sampel menggunakan bilangan acak uniform $U[0,1]$ .
4.	Time-Series	Terdiri dari dua bagian pembangkitan yang dependen menurut prinsip Markov, yaitu (1) Hujan 0, dan (2) Hujan > 0 yang menggunakan Distribusi Log-Normal. Sifat musim bulanan diperhitungkan.
5.	Conditional	Menggunakan model single-site TIME-SERIES dengan input seri bilangan acak $U[0,1]$ yang berkorelasi antar stasiun
6.	Perluasan Rantai Markov	Menggunakan model single-site TWO-PART dengan input seri bilangan acak $U[0,1]$ yang berkorelasi antar stasiun.
7.	Random Cascade	Menggunakan model single-site Matrik-TRANSISI dengan input seri bilangan acak $U[0,1]$ yang berkorelasi antara stasiun

Metode lain yang dapat digunakan untuk membangkitkan data iklim harian dari data harian adalah Metode Fourier. Metode Fourier merupakan sebuah fungsi sinusoidal penjumlahan atau integral dikalikan oleh beberapa koefisien yang disebut dengan data

bangkitan. Kelebihan metode Fourier yaitu cukup akurat untuk membangkitkan data iklim karena datanya tidak berbeda jauh dengan data pengamatan dan lebih bisa merepresentasikan keragaman data asli. Sedangkan kelemahannya yaitu harus tersedianya data iklim harian (Polyanin 1998). Selain Metode Fourier, Metode Epstein dapat juga digunakan untuk membangkitkan data harian. Metode Epstein merupakan metode pembangkit data yang dapat membangkitkan data iklim harian dari data bulanan. Kelebihan dari Metode Epstein yaitu tidak terlalu menyulitkan praktikan karena sebagai salah satu solusi apabila hanya terdapat data asli iklim bulanan. Sedangkan kelemahan Metode Epstein adalah kurang mempresentasikan keragaman data asli. Selain cara tersebut, terdapat metode lain yang dapat digunakan yaitu metode peluang kejadian hujan (rantai Markov), metode Moment dan metode Thom.

#### **7.2.2.4 Generator Cuaca Stochastic**

Generator cuaca Stochastic merupakan salah satu teknik pembangkit data yang sering digunakan untuk mensimulasikan data cuaca sintetis. Generator stochastic biasanya didasarkan pada asumsi bahwa masa lalu yang akan mewakili masa depan. Generator cuaca Stochastic telah digunakan untuk memperoleh alternatif set data iklim berdasarkan kriteria pengkondisian yang ditentukan. Tidak semua pengguna memerlukan data harian untuk mengolah data yang dibutuhkan. Namun, terdapat fakta bahwa sebagian besar model lebih teliti dan representatif jika diolah dari data harian. Sehingga generator data menjadi salah satu metode yang cukup ideal untuk membangkitkan data.

Richardson (1981) mengusulkan salah satu bentuk generator data Stochastic dalam bentuk generator data cuaca. Lars-WG adalah generator cuaca stokastik yang dapat digunakan untuk simulasi data cuaca di satu situs. Terdapat dua generator data stokastik yang telah dikembangkan yaitu generator cuaca WGEN dan Lars-WG. Generator cuaca dengan sebutan WGEN merupakan model *time series* multivariasi yang stokastik dapat menghasilkan nilai harian dari suhu maksimum dan minimum, curah hujan dan radiasi matahari untuk jangka waktu yang diperlukan. Sejak Lars-WG menggunakan setiap pengamatan dalam proses modeling, hasil asili dari sistem modelling ini diharapkan lebih baik daripada model yang didasarkan pada pemasangan distribusi dengan data lapangan. Generator cuaca Stochastic yang awalnya dikembangkan untuk dua tujuan utama :

1. Untuk menyediakan sarana simulasi cuaca sintetis (time-series) dengan karakteristik statistik yang sesuai dengan statistik diamati, tapi yang cukup membutuhkan waktu yang lama jika digunakan dalam penilaian risiko dan aplikasi hidrologi atau pertanian.
2. Untuk memberikan sarana dalam rangka memperluas simulasi cuaca time-series suatu lokasi, melalui interpolasi parameter pembangkit cuaca yang diperoleh dari menjalankan model sumber lainnya.

Satu hal yang perlu diketahui adalah generator cuaca stochastic bukanlah alat prediksi yang dapat digunakan dalam peramalan cuaca, tetapi hanyalah sebuah sarana untuk menghasilkan time-series cuaca sintetis pengamatan. Selain itu dapat juga berfungsi sebagai alat komputasi yang murah untuk menghasilkan beberapa tahun skenario perubahan iklim pada skala waktu harian dan menggabungkan perubahan keduanya (Semenov and Barrow 1997).

Ada tiga tahapan yang harus dilakukan untuk memperoleh data cuaca sintetis, yaitu:

- a) Model Kalibrasi

Analisis data sumber berupa data cuaca yang diamati dan dianalisis untuk menentukan karakteristik statistik mereka, informasi ini disimpan dalam dua file parameter.

- b) Model Validasi - QTEST

Karakteristik statistik yang diamati dan data cuaca sintetis dianalisis untuk menentukan apakah ada perbedaan statistik.

#### c) Generasi Data Cuaca Sintetis - GENERATOR

File parameter yang berasal dari data cuaca yang diamati selama proses kalibrasi model yang digunakan untuk menghasilkan data cuaca sintetis memiliki karakteristik statistik yang sama dengan data yang asli yang diamati, tetapi berbeda dari hari-hari berikutnya.

Sebuah generator cuaca stokastik dapat dikatakan model numerik yang menghasilkan data harian sintetis time series dari rangkaian variabel iklim berupa curah hujan, suhu dan radiasi matahari, dengan sifat statistik tertentu. Generator cuaca juga digunakan untuk interpolasi data yang diamati sehingga menghasilkan data cuaca sintetis di lokasi baru. Generator harus diuji untuk memastikan bahwa data yang produces memuaskan untuk tujuan yang akan digunakan. Akurasi yang diperlukan akan tergantung pada aplikasi data, dan kinerja generator dapat bervariasi untuk iklim yang berbeda.

#### **7.2.2.5 Data Generator Parametrik dan Nonparametrik**

Generator cuaca parametrik memiliki beberapa kelemahan, diantaranya :

- Tidak memadai dalam menghasilkan berbagai aspek ketergantungan spasial dan temporal variabel.
- Harus menggunakan asumsi yang dibuat mengenai distribusi probabilitas dari variabel yang sering subyektif.
- Fitur non-Gaussian dalam data tidak dapat secara memadai ditangkap sebagai autoregressive multivariat (MAR) model implisit yang mengasumsikan distribusi normal.
- Sejumlah besar parameter terpasang secara terpisah dipasang pada setiap periode dan jumlah meningkat lebih lanjut jika simulasi yang untuk dikondisikan.
- Model tidak mudah diletakkan ke situs lain karena asumsi spesifik dibuat mengenai distribusi probabilitas dari variabel.
- Model parametrik seringkali gagal untuk mereproduksi struktur korelasi dari data yang diamati.

Generator cuaca nonparametrik menjadi solusi bagi metode parametrik dimana metode ini dapat mengatasi masalah yang terkait dengan metode parametrik. Teknik nonparametric sangat sederhana, pada dasarnya melibatkan resampling acak dari data historis untuk menghasilkan urutan sintetis durasi yang diperlukan. Urutan seperti itu sering gagal untuk menangkap waktu korelasi seri data. Beberapa prosedur telah dikembangkan untuk dapat menangkap waktu korelasi yang menonjol antara data cuaca.

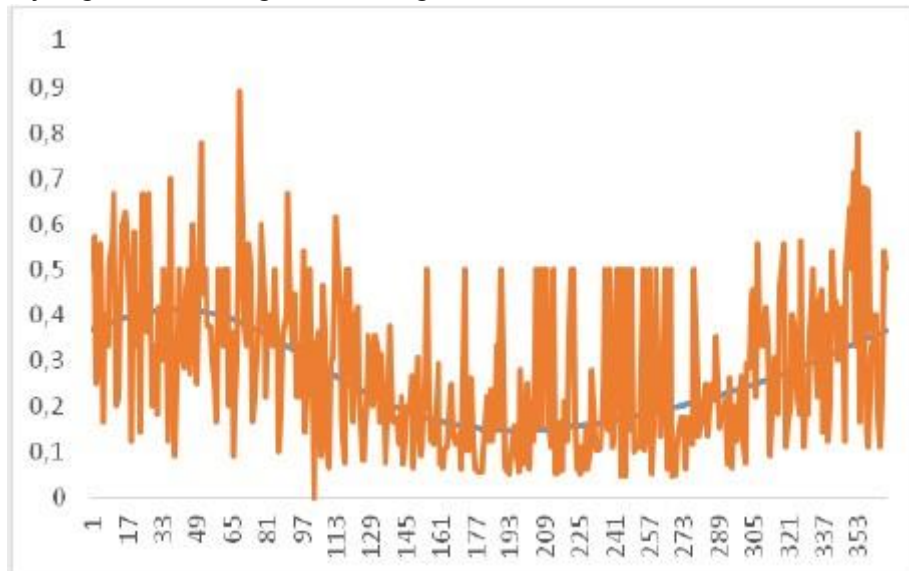
Teknik nonparametrik yang paling menjanjikan untuk menghasilkan data cuaca adalah K-nearest neighbour (K-NN) dengan menggunakan pendekatan resampling. Terdapat beberapa karya-karya Rajagopalan dan Lall (1999), serta Buishand dan Brandsma (2001) yang menggambarkan berbagai bentuk K-NN resampling. Algoritma K-NN biasanya melibatkan memilih jumlah hari yang ditentukan dengan menggunakan 1 hari secara acak untuk mewakili cuaca pada hari itu. Sebuah generator cuaca nonparametrik dapat digunakan untuk membuat data meteorologi sintetis untuk skenario iklim tertentu dan beroperasi pada langkah waktu harian. Output dari model ini berfungsi sebagai masukan untuk model hidrologi digunakan untuk mensimulasikan aliran sungai. Sementara data pembangkit cuaca harian dapat menjadi inputan langsung ke model hidrologi.

Salah satu keterbatasan generator cuaca K-NN adalah tidak menghasilkan nilai-nilai baru tetapi hanya reshuffle dari data historis untuk menghasilkan urutan cuaca yang

realistis. Untuk itu, dikembangkan suatu pendekatan yang dimodifikasi yang memerlukan resampling dengan gangguan dari data historis. Model ini mampu melakukan ekstrapolasi melampaui rekor diamati untuk menghasilkan curah hujan dan temperatur nilai-nilai yang berbeda dari nilai-nilai yang diamati.

#### 7.2.2.6 Contoh Hasil Olahan Data Bangkitan

Data bangkitan akan representatif jika sumber data yang digunakan bersifat aktual dan bernilai homogen satu sama lain. Dibandingkan dengan data yang menggunakan metode rata-rata biasa, metode fourier yang digunakan akan menghasilkan trendline data yang bagus jika menggunakan data hasil bangkitan. Berikut ini merupakan salah satu contoh data yang telah dibangkitkan dengan metode Fourier.

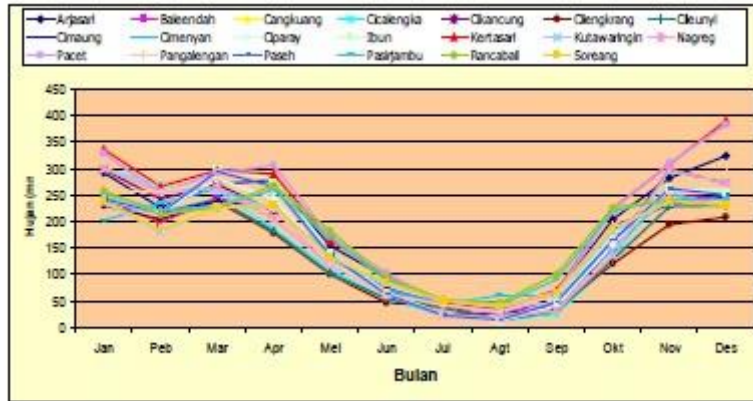


Gambar 7-8 Peluang kejadian hujan

Nilai grafik tersebut menunjukkan berapakah peluang hari ini hujan jika hari sebelumnya tidak hujan  $P(0|1)$ . Garis biru menunjukkan peluang Fourier dan garis merah menunjukkan peluang estimasinya. Penjelasan dari grafik tersebut adalah jika nilai garis menunjukkan 0,5 maka dapat diartikan bahwa peluang kejadian hari ini hujan dipengaruhi sebesar 50% dengan kejadian hari sebelumnya tidak hujan. Sehingga terjadi kemungkinan hari ini hujan.

Dwiratana et al (2013) melakukan penelitian tentang analisis curah hujan dan aplikasinya dalam penetapan jadwal dan pola tanam pertanian lahan kering di Kabupaten Bandung. Data curah hujan yang digunakan berasal dari data curah hujan harian di 13 stasiun curah hujan yang ada di wilayah DAS Citarum. Ketersediaan data curah hujan harian dari tahun 1998 hingga 2009 bersumber dari BMKG Bandung. Data curah hujan dari 13 stasiun ini digunakan untuk menghitung curah hujan wilayah dengan metode Thiessen dari 20 kecamatan di Kabupaten Bandung yang dijadikan lokasi penelitian. Secara ringkas rata-rata curah hujan wilayah di Kabupaten Bandung dapat dilihat pada Gambar 7-9.

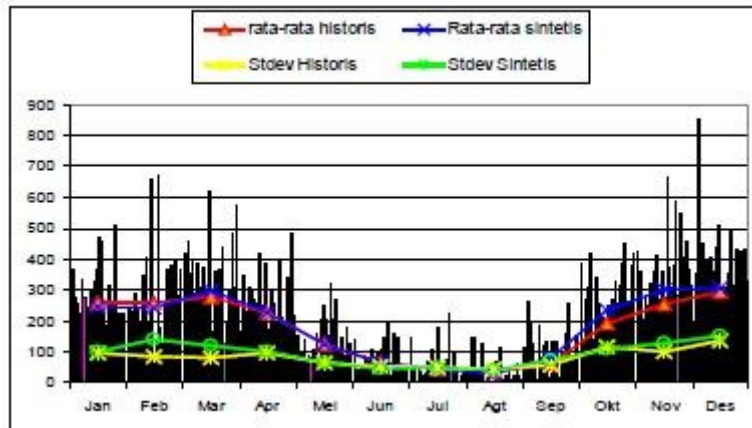




Gambar 7-9 Curah hujan rata-rata wilayah Kabupaten Bandung

Dari Gambar 7-9 terlihat bahwa, rata-rata dalam satu tahun Kabupaten Bandung mengalami 4 bulan kering (curah hujan < 100 mm/bulan) dan 8 bulan basah (curah hujan > 100 mm/bulan), bulan basah rata-rata dimulai dari bulan Oktober hingga bulan Mei, dengan rata-rata curah hujan tahunan antara 1600- 2500 mm.

Setelah dilakukan analisis curah hujan wilayah, langkah berikutnya adalah membangkitkan data hujan bulanan dan tahunan dengan menggunakan persamaan Thomas-Fiering dan Autoregressive (AR) kemudian digabungkan dengan menggunakan Metode Two Tier.



Gambar 7-10 Karakteristik curah hujan historis dan sintetis Kecamatan Pangalengan

Berdasarkan analisis statistik data hujan diketahui bahwa curah hujan bulanan dan tahunan dari 20 kecamatan yang digunakan tidak terdistribusi normal, hal ini dilihat dari nilai koefisien skewness yang tidak mendekati nol. Untuk itu sebelum dilakukan analisis stokastik data hujan harus ditransformasikan terlebih dahulu dengan menggunakan metode Probability Plot of Correlation Coefficient (PPCC). Data sintetis dibangkitkan selama 38 tahun, jika ditambah dengan data historis selama 12 tahun, maka panjang rekaman data yang gunakan menjadi 50 tahun, dengan demikian diharapkan hasil analisis curah hujan andalan akan lebih akurat. Dari hasil uji karakteristik curah hujan sintetis dengan bangkitan 38 tahun tidak jauh berbeda dengan menggunakan data historisnya

#### 7.2.2.7 Kelemahan Data Bangkitan

Data bangkitan memiliki kesamaan dengan data lapang karena data bangkitan bersumber dari data lapang. Kelemahan data lapang dan bangkitan memiliki kesamaan, namun terdapat beberapa keunikan dalam kelemahan data bangkitan diantaranya:

- Jika data bangkitan yang diperoleh salah, nilai ini tentunya akan mengubah pola data sehingga terjadi kesalahan prediksi dan tidak sesuai dengan apa yang seharusnya terjadi.
- Data - data sumber yang diperoleh terkadang akan menyebabkan terjadinya kesalahan dikarenakan adanya faktor seperti homogenitas dari data lapang yang digunakan.
- Penggunaan data bangkitan tentunya membutuhkan data sumber dari data lapang sehingga perbedaan cara pengukuran dari petugas yang berbeda dan tempat titik sample data yang tidak tetap akan sangat mempengaruhi.

Dari permasalahan diatas, cara paling mudah untuk memperoleh data bangkitan adalah mendapatkan data sumber yang yang benar dan seusai dengan data aktual yang seharusnya, datapun merupakan data yang homogen sehingga error yang dihasilkan dalam pengolahan data sesuai dengan data yang diharapkan.

## **7.3 PENUTUP**

### **7.3.1 KESIMPULAN**

Data observasi merupakan data yang diperoleh dari Observasi di lapangan secara langsung. Di Indonesia jumlah stasiun cuaca masih sedikit, sehingga data meteorologi yang di dapat hanya sedikit, sehingga untuk menunjang akan kebutuhan data yang semakin besar maka dilakukan pembangkitan data iklim, hanya saja data yang dihasilkan dari pembangkitan data memiliki nilai keakuratan yang rendah atau tergantung dari sumber data bangkitan yakni data observasi.

## 7.4 DAFTAR PUSTAKA

- Bungin B. 2007. *Penelitian Kualitatif*. Jakarta (ID) : Prenada Media Group.
- Buishand TA and Brandsma T. 2001. Multisite simulation of daily precipitation and temperature in the Rhine Basin by nearest-neighbor resampling. *Water Resources Research*. 37(11): 2761-2776.
- Conrad V and Pollak LW. 1962. *Methods in Climatology*. Cambridge Massachusetts (UK) : Harvard University Press. 459 pp.
- Cryer JD. 1986. *Time Series Anaysis*. Boston (US) : PWS-KENT Publishing.
- Dwiratna NPS, Nawawi G, dan Asdak C. 2013. Analisis curah hujan dan aplikasinya dalam penetapan jadwal dan pola tanam pertanian lahan kering di Kabupaten Bandung. *Bionatura-Jurnal Ilmu-ilmu Hayati dan Fisik*. 15 (1) : 29 - 34.
- Guttman NB. 1998. *Homogeneity, Data Adjustments and Climatic Normals*. National Climatic Data Center.
- Mills G. 2003. *Action Research: A Guide for Teacher Researcher*. New York (US) : Prentice Hall.
- Peterson TC and Easterling DR. 1994. Creation of homogeneous composite climatological reference series. *Intl. J. Climatol*. 14 : 671-679.
- Peterson TC and Vose RS. 1997. An overview of the global historical climatology network temperature data base. *Bull. Am. Meteorol. Soc*. 78 : 2837-2849.
- Polyanin. 1998. *Handbook of Integral Equations*. Boca Raton : CRC Press.
- Rajagopalan B and Lall U. 1999. A K-nearest neighbor simulator for daily precipitation and other variables. *Water Resources Research*. 35(10): 3089-3101.
- Richardson CW. 1981. Stochastic simulation of daily precipitation, temperature and solar radiation. *Water Resources Research*. 17(1): 182-190.
- Semenov MA and Barrow EM. 1997. Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. *Climate Change*. 35: 397-414.
- Semiati R. 2010. Regresi nonparametrik Deret Fourier Birespon[Tesis]. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Sonjaya I. 2007. *Uji Homogenitas Data Iklim di Stasiun Klimatologi Banjarbaru*. Stasiun Klimatologi Banjarbaru. 24
- Srikanthan R and McMahon TA. 2000. Stochastic generation climate data: A review. *CRCCH Report 00/16*. Clayton : Monash University, 34pp.
- Sutikno. 2013. Perbandingan uji homogenitas runtun data curah hujan sebagai prapemrosesan kajian perubahan iklim. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*. 2 (2) : 2337-3520.
- Vose RS, Schmoyer RL, Steurer PM, Peterson TC, Heim R., Karl TR, and Eischeid J. 1992. *The Global Historical Climatology Network: Long-Term Monthly Temperature, Precipitation, Sea Level Pressure, And Station Pressure Data*. ORNL/CDIAC-53, NDP-041. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN.
- [WMO]World Meteorological Organization. 2014. *Climate Observation Networks and Systems*[Terhubung Berkala]. [http://www.wmo.int/pages/themes/climate/climate\\_observation\\_networks\\_systems.php](http://www.wmo.int/pages/themes/climate/climate_observation_networks_systems.php). [4 November 2014].

# 8 DATA GRID, DATA SATELIT, DAN REANALISIS DATA

## 8.1 DATA GRID

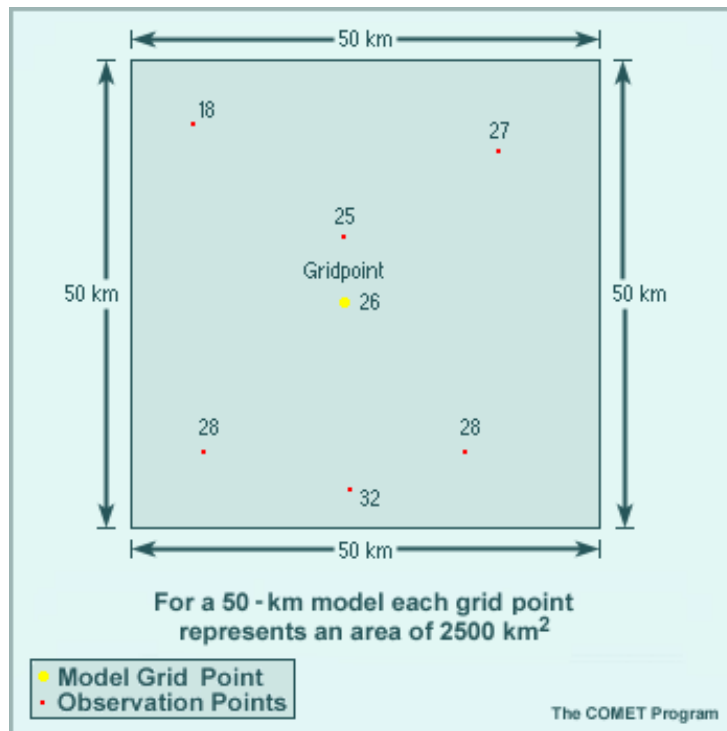
Grid adalah jaringan titik segi empat yang tersebar secara teratur ke seluruh area pemetaan. Grid dibentuk berdasarkan pada data XYZ dan menggunakan algoritma matematis tertentu. Model data grid menampilkan, menempatkan, dan menyimpan data spasial dengan menggunakan struktur matriks atau piksel-piksel yang membentuk grid. Setiap piksel ini memiliki atribut tersendiri, termasuk koordinat yang unik. Setiap baris matriks berisikan sejumlah sel yang memiliki nilai tertentu yang merepresentasikan suatu fenomena geografik. Nilai yang dikandung oleh suatu sel adalah angka yang menunjukkan data nominal. Akurasi model data ini sangat bergantung pada resolusi atau ukuran pikselnya di permukaan bumi.

Besar kecilnya piksel dapat mempengaruhi resolusi suatu data grid, karena resolusi suatu data grid merujuk pada ukuran permukaan bumi yang direpresentasikan oleh tiap pikselnya. Semakin kecil ukuran atau luasan permukaan bumi yang dapat direpresentasikan oleh setiap pikselnya, maka semakin tinggi pula resolusi spasialnya.

Data grid bersumber dari citra satelit maupun citra radar. Beberapa satelit yang menjadi sumber data grid adalah NOAA. Spot, Landsat Ikonos, dan sebagainya. Sedangkan radar yang menjadi sumber data grid adalah DTM atau DEM dalam model data grid.

Data grid dari titik telah dikembangkan oleh Lee et al (2000) dalam Perry dan Daniel (2006) untuk menambah nilai ke sebuah data dengan memproduksi seri konsisten dari statistik iklim yang memungkinkan membuat perbandingan melintasi ruang dan waktu. Ada peningkatan permintaan untuk dataset grid variabel iklim dari bidang-bidang seperti hidrologi, kehutanan, ekologi, pertanian, penelitian perubahan iklim, dan model verifikasi iklim.

Batas grid merupakan batas-batas pemetaan yang diambil dari nilai X terkecil, X terbesar, Y terkecil, dan Y terbesar. Nilai X dan Y diambil dari data mentah di worksheet. Batas-batas pemetaan tersebut membentuk sebuah segi empat dengan koordinat terluar nilai-nilai terbesar dari X dan Y. kepadatan grid merupakan lebar kolom dan garis pada file grid. Kolom dan baris ini berupa garis grid minor yang terbentuk oleh proses interpolasi file XYZ di sepanjang sumbu X dan Y. Salah satu cara teknik untuk menentukan nilai-nilai pada data grid tersebut adalah interpolasi.



Gambar 8-1 Horizontal data grid

Sumber: <http://meted.ucar.edu/nwp/pcu1/ic2/frameset.htm> (Grid Spacing, p2)

Interpolasi adalah metode untuk mendapatkan data berdasarkan beberapa data yang telah diketahui. Dalam pemetaan, interpolasi adalah proses estimasi nilai pada wilayah yang tidak disampel atau diukur, sehingga terbentuk peta atau sebaran nilai pada seluruh wilayah. Interpolasi spasial dapat digunakan, baik pada residual regresi untuk memperhitungkan variasi yang tidak dapat dijelaskan atau anomali bulanan. Metode yang digunakan meliputi normalisasi, regresi dan interpolasi untuk banyak variabel iklim, dengan regresi pemodelan umum pola sirkulasi dan tren khusus setiap bulan, dan interpolasi untuk menghitung variasi lokal. Metode interpolasi yang tersedia meliputi geostatistik misalnya kriging, bobot inverse jarak (IDW), dan smoothing splines. Kriging telah digunakan untuk interpolasi suhu dan residual regresi curah hujan di suatu daerah yang luas.

1. Inverse Distance to a Power

Metode ini cenderung memiliki pola "bull's eyes" pada kontur-kontur yang konsentris melingkar pada titik data. Metode ini merupakan metode penimbangan rata-rata yang sederhana untuk menghitung nilai jarak grid.

2. Kriging

Kriging adalah metode gridding geostatistik yang telah terbukti berguna dan populer di berbagai bidang. Metode ini menghasilkan visual peta yang menarik dari data yang tidak teratur. Kriging adalah metode gridding sangat fleksibel. Dimana kriging dapat menghasilkan jaringan yang akurat pada data. Kriging merupakan metode default pada surfer.

3. Minimum Curvatur

Metode ini melakukan generalisasi permukaan secara halus. Metode ini juga secara luas digunakan dalam ilmu bumi karena hasil interpolasi dengan metode Minimum curvature analog yang sangat tipis, piringan linier elastis melewati setiap nilai data dengan jumlah minimum yang dapat berubah. Salah satu kelemahan metode ini adalah kecenderungan mengekstrapolasikan nilai-nilai di daerah yang tidak ada datanya.

4. Modified Shepard's Method

Hasil metode ini serupa dengan inverse distance, tetapi apabila parameter smoothing diaktifkan maka kecenderungan kontur membentuk pola "bull's eye" tidak akan terjadi. Dengan menggunakan metode ini kita dapat meramalkan kemungkinan nilai-nilai di luar rentang Z dari data yang kita miliki.

#### 5. Natural Neighbor

Metode ini menghasilkan kontur yang baik dari data set yang berisi data padat di beberapa daerah dan data jarang di daerah lainnya. Hal ini tidak menghasilkan data di daerah tanpa data dan tidak ekstrapolasi nilai-nilai Z di luar grid jangkauan data.

#### 6. Nearest Neighbor

Metode ini efektif untuk data-data XYZ yang tersebar merata dalam setiap daerah pemetaan, tetapi akan terjadi masalah apabila data XYZ tidak tersebar merata akan mengakibatkan hasil kontur menjadi bias. Metode Nearest neighbor menggunakan titik terdekat untuk memberikan nilai pada node grid. Hal ini berguna untuk konversi secara teratur XYZ data file ke dalam file grid. Metode ini tidak meramalkan kemungkinan grid Z di luar jangkauan data.

#### 7. Polynomial Regression

Metode ini bermanfaat untuk analisis permukaan secara umum. Metode ini menampilkan kecenderungan kemiringan pada pola topografi secara umum dengan cakupan wilayah yang luas. Metode Regresi polynomial memproses data sehingga mendasari skala besar dengan kecenderungan pola yang ditampilkan. Hal ini digunakan untuk analisis yang cenderung berada di permukaan. Metode ini dapat memaparkan nilai-nilai grid di luar data jangkauan Z.

#### 8. Radial Basis Function

Metode radial basis function merupakan metode terbaik untuk sebagian besar jenis data. Tetapi cenderung membentuk pola "bull's eye" terutama jika parameter smoothing diaktifkan. Gambar yang dihasilkan dengan metode ini mirip dengan krigging tetapi menghasilkan hasil yang sedikit berbeda.

#### 9. Triangulation with linear interpolation

Metode ini bermanfaat menghasilkan analisis patahan. Metode ini membutuhkan data yang banyak, karena apabila terjadi kekurangan data maka akan terjadi pembentukan pola segitiga pada permukaan kontur. Walau demikian metode ini dapat menangani situasi sulit seperti pembuatan fitur seperti teras dan lubang. Metode ini tidak mengekstrapolasi nilai-nilai Z di luar jangkauan data.

#### 10. Moving Average

Metode ini hanya berlaku pada set data yang sangat besar dan banyak (misal >1000 titik data) sehingga dapat menggabungkan data breakline. Metode Moving Average ini memberikan nilai ke node jaringan dengan rata-rata data di dalam elips pencarian node grid.

#### 11. Data Metrics

Metode gridding satu ini digunakan untuk membuat informasi grid tentang data. Metode gridding data metrik secara umum cenderung tidak menginterpolasi rata-rata dari nilai-nilai Z.

#### 12. Local Polynomial

Metode ini paling berlaku untuk set data yang halus lokal (misalnya relatif halus permukaan dalam lingkungan pencarian). Metode gridding Polynomial local memberikan

nilai ke node jaringan dengan menggunakan kuadrat terkecil berbobot sesuai dengan data di dalam elips pencarian node grid.

Fungsi spline cenderung menghasilkan permukaan realistis yang halus mengingat berbagai variabel dan lingkungan yang tercakup. Kriging tidak akan memberikan bias, perkiraan optimal berdasarkan korelasi spasial antara nilai-nilai, tetapi mungkin menghasilkan permukaan yang terlalu halus (Brown dan Comrie, 2002). Inverse-distance weighting dipilih karena dapat menangkap variasi lokal dengan baik, menghluskan permukaan interpolasi, dan membuat penggambaran yang mendekati dengan nilai-nilai yang terletak di titik-titik grid.

Metode gridding memiliki dua tahap proses regresi berganda dari variabel iklim dengan faktor geografis sebagai variabel independen, diikuti dengan interpolasi dari model residual. Regresi permukaan dan permukaan residual yang diinterpolasi kemudian dijumlahkan untuk mendapatkan data grid akhir, yang dinormalisasi jika perlu. Verifikasi statistik juga memberikan indikasi yang baik dari akurasi proses gridding dalam memperkirakan nilai dari masing-masing variabel iklim di lokasi di mana kita tidak memiliki data yang diamati.

Set data telah digunakan untuk berbagai tujuan penelitian, termasuk verifikasi skenario perubahan iklim, pemodelan ekologi dan hidrologi, studi pertanian, dan penilaian sumber energi. Data grid juga digunakan untuk pembuatan areal seri iklim dikompensasi dengan iklim baru-baru yang secara rutin dibandingkan (Perry dan Daniel 2006). Blok dasar bangunan model iklim adalah "grid cell" 3-D yang mengandung informasi fisik terkait iklim pada suatu lokasi. Didalam setiap grid cell kunci fisik, kimia, geologi dan biologi proses iklim direpresentasikan oleh persamaan matematik, yang kebanyakan berdasarkan pada hukum-hukum fisika termasuk persamaan kekekalan momentum, massa dan energi. Proses-proses yang tidak dapat digambarkan dengan hukum fisika atau kimia direpresentasikan oleh persamaan-persamaan yang diturunkan dari pengamatan bagaimana suatu parameter berperilaku pada keadaan yang sebenarnya (diturunkan secara empiris atau istilah pemodelannya di parameterisasi).

Menurut Perry dan Daniel (2006) kelebihan datagrid meliputi:

1. Nilai-nilai regional dapat diproduksi untuk setiap wilayah (county, otoritas kesatuan, dan DAS) dengan akurasi yang lebih besar dan konsistensi
2. Data grid memfasilitasi pembuatan peta kontur atau warna-berbayang, misalnya 30-tahun rata-rata.
3. Data grid dapat dikombinasikan dengan data spasial lainnya, seperti rute transportasi, untuk mempelajari hubungan antara mereka
4. Tidak tergantung kepada jaringan stasiun cuaca yang tidak teratur ruangnya dan berubah terhadap waktu
5. Dapat diandalkan dalam pendugaan iklim untuk titik yang jauh dari stasiun cuaca, misalnya di daerah dataran tinggi.
6. Seri data iklim yang konsisten, memungkinkan membuat perbandingan dalam skala ruang dan waktu.
7. Data iklim yang lengkap, tanpa nilai-nilai yang hilang (masalah yang dapat muncul di stasiun cuaca).
8. Tersedia dalam semua lokasi.
9. Sifatnya kontinyu.

Terlepas dari kelebihan yang dimiliki oleh data grid, terdapat pula beberapa kekurangan yang dimiliki oleh data grid, meliputi:

- Secara umum memerlukan ruang atau tempat penyimpanan yang besar dalam komputer.
- Penggunaan sel atau ukuran grid yang lebih besar untuk menghemat ruang penyimpanan akan menyebabkan kehilangan informasi dan ketelitian.
- Tampilan atau representasi dan akurasi posisi sangat bergantung pada ukuran pikselnya (resolusi spasial).

Data grid bukan merupakan data yang diperoleh dari data observasi tetapi diperoleh dari interpolasi maupun satelit sehingga perlu dilakukan validasi data. Jika data grid tidak divalidasi, maka data grid tidak akan menunjukkan hasil yang akurat. Jumlah stasiun yang digunakan sebagai masukan untuk gridding bervariasi terhadap waktu, sebagian karena perubahan dalam ukuran jaringan pengamatan dan sebagian karena ketersediaan data digital. Pengamatan stasiun digunakan untuk menghasilkan grid yang telah dikoreksi atau dihapus data yang tidak sesuai atau salah. Semua grid harian diperiksa untuk memastikan bahwa tidak ada data stasiun yang salah digunakan (UK Climate Impacts Programme (UKCIP) 2013).

Tabel 8.1 Kelebihan dan kekurangan beberapa metode interpolasi

Metode Interpolasi	Kelebihan	Kekurangan
Nearest Neighbor	Mudah; Komputasi tidak terlalu intensif; nilai masih asli sehingga cocok untuk identifikasi vegetasi; dianjurkan sebelum proses klasifikasi	Kurang baik digunakan untuk sebaran data tidak merata; hasil citra masih kasar dan noise; banyak nilai double karena hasil koreksi;
IDW (Inverse Distance Weighting)	Mudah; ide sederhana; Komputasi tidak terlalu intensif; nilai yang dihasilkan tidak melebihi rata-ratanya;	Kurang baik digunakan untuk sebaran data tidak merata; rentan terhadap subjektivitas pembobotan
TIN (Triangulated Irregular Network)	Penyimpanan data lebih efisien; Dapat digunakan untuk membuat Poligon Thiessen; sederhana dan ekonomis	Hasil interpolasi tidak halus
Kriging	Merupakan teknik yang kuat; Mampu mengukur akurasi dari prediksi; memadukan korelasi	Membutuhkan estimasi variogram yang cukup sulit; Membutuhkan pengetahuan



	spasial antar data; tingkat presisi dapat diketahui	yang mendalam mengenai prosedur kriging; Komputasi yang intensif; banyak metode yang membangun teknik ini; asumsi data menyebar normal
Spline	Mampu menghasikan data yang cukup akurat dari beberapa sampel titik; Mampu menyimpan fitur-fitur kecil; memberikan fleksibilitas yang cukup untuk analisis geometri lokal; hasil interpolasi halus	Terlalu sensitif dengan nilai pencilan; Baik digunakan hanya untuk data yang permukaannya halus, dimana keragamannya sedikit

## 8.2 DATA SATELIT

Data satelit cuaca merupakan suatu teknik yang dikembangkan untuk perolehan data cuaca dan analisa informasi tentang bumi dimana informasi tersebut khusus berbentuk radiasi gelombang elektromagnetik yang dipantulkan atau dipancarkan dari permukaan bumi. Penginderaan jarak jauh (remote sensing) dapat juga diartikan sebagai suatu gejala cuaca yang diperoleh melalui analisa data yang menggunakan suatu peralatan yang tidak berhubungan langsung dengan obyek, daerah, atau gejala yang sedang diamati (Lillesand dan Kiefer, 1979). Data satelit yang dihasilkan tergantung pada jenis satelitnya, dimana dari masing-masing jenis satelit menghasilkan beragam data.

Beberapa data satelit diantaranya GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) dan Meteosat (Meteorological satellite) yang masing-masing dimanfaatkan untuk mengamati kondisi lingkungan dan memantau keadaan cuaca. Sedangkan data SKYLAB (Sky Laboratorium) jarang digunakan karena merupakan satelit ruang laboratorium ruang angkasa (Adiningsih 2004). Skylab merupakan stasiun luar angkasa pertama yang dioperasikan oleh Amerika Serikat. Satelit ini menghabiskan enam tahun mengorbit Bumi sampai rusak orbitnya menyebabkan ia kembali memasuki atmosfer. Satelit ini tersebar di puing-puing di Samudera India dan jarang menetap daerah Australia Barat. Orbit ruang stasiun rusak lebih cepat dari yang diharapkan karena aktivitas matahari yang intens memanaskan atmosfer bumi. NASA dihadapkan dengankenyataan tak terelakkan, sebuah kesalahan matematika menyebabkan potongan jatuh di Australia, tapi untungnya tidak ada yang terluka. Akhirnya, Skylab berhenti sementara untuk pengerjaan NASA pada penerbangan ruang berdurasi lama. Namun, penerbangan panjang tetap dilanjutkan secara rutin denganmengirimkanastronot selama berbulan-bulan pada suatu waktu di Stasiun Luar Angkasa Internasional (Howell 2013).

Dalam pengolahan data citra satelit perlu dilakukannya uji akurasi data. Akurasi yang dimaksud disini adalah kecocokan antara suatu informasi standar yang dianggap benar, dengan citra terklasifikasi yang belum diketahui kualitas informasinya (Campbell, 1987). Satelit merupakan penginderaan jarak jauh pasif dengan sumber gelombang elektromagnetiknya berasal dari alam yaitu matahari, bumi, atau objek itu sendiri, dimana sensor tidak dapat menghasilkan radiasi gelombang elektromagnetik tetapi hanya menerima radiasi gelombang yang jatuh pada sensor tersebut. Sehingga satelit menggunakan sensor yang peka terhadap emisi radiasi dan pantulan gelombang elektromagnetik dari suatu objek di permukaan bumi maupun yang ada di atmosfer.

Kemudian, dapat diketahui komposisi struktur maupun keadaan fisis dari suatu objek yang berada di permukaan bumi maupun yang ada di atmosfer meliputi jenis, suhu, dan medan ketinggian awan. Uji akurasi dilakukan dengan membandingkan dua peta, satu peta bersumber dari hasil analisis penginderaan jauh (peta yang akan diuji) dan satunya adalah peta yang berasal dari sumber lainnya, Peta kedua dijadikan sebagai peta acuan, dan diasumsikan memiliki informasi yang benar. Seringkali data acuan ini dikompilasi dari informasi yang lebih detail dan akurat dari data yang akan diuji.

Berdasarkan orbitnya, satelit dibagi menjadi 2 macam yaitu satelit cuaca orbit geostasioner dan satelit cuaca orbit polar. Satelit cuaca orbit geostasioner mengorbit di khatulistiwa pada tingkat kecepatan putar yang sama dengan rotasi bumi. Satelit ini mengorbit pada ketinggian 36000 km di atas titik tetap di permukaan bumi. Karena posisinya yang tetap, satelit ini mampu memonitor suatu region secara terus-menerus. Satelit cuaca orbit polar mengorbit hampir paralel dengan garis meridian bumi. Satelit jenis ini melewati kutub utara dan kutub selatan bumi tiap kali revolusi bumi. Saat bumi berotasi menuju timur dibawah satelit, tiap monitor memberikan gambar kebarat sehingga menghasilkan gambar dengan area yang lebih besar. Satelit polar memiliki keuntungan dalam memotret perawanan yang tepat berada dibawahnya. Gambar satelit geostasioner untuk daerah kutub terdistorsi disebabkan sudut penglihatan satelit yang sempit ke kutub. Satelit polar juga berputar pada ketinggian yang lebih rendah (kurang lebih 850 km) sehingga mampu menyediakan informasi badai dan sistem perawanan yang lebih mendetail.

Citra satelit cuaca merupakan gambaran rekaman daerah liputan awan di suatu daerah dimana citra tersebut terekam dalam sensor dengan menggunakan saluran yang sebagian besar merupakan saluran tampak (visible) dan saluran inframerah (IR). Masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan yang saling melengkapi. Perlu diketahui bahwa perbedaan warna dalam foto tampak (visible) menyatakan perbedaan daya pantul dan perbedaan warna dalam foto infra merah (IR) menyatakan perbedaan suhu.

### **8.2.1 Data gambar tampak (visible data)**

Sinaran dari matahari oleh benda itu umumnya sebagian diteruskan, sebagian diserap dan sebagian dipantulkan kembali sewaktu sinaran tersebut mengenai benda tersebut, sedangkan yang diserap dipancarkan kembali pada saat itu atau pada saat berikutnya. Umumnya satelit cuaca menggunakan alat yang dapat menerima sinaran pantul gelombang 6 mikrometer. Sinaran dengan panjang gelombang 6 mikrometer ini dipandang paling baik, karena secara nisbi gelombang ini sedikit sekali mengalami hamburan di atmosfer. Alat ini merekam banyaknya sinar pantulan atau albedo dari bendanya. Setiap benda, termasuk berbagai jenis awan mempunyai albedo yang besarnya berbeda - beda. Banyak dan sedikitnya albedo dari suatu permukaan dapat digunakan untuk membedakan benda atau awan yang memantulkan sinaran tersebut. Dengan kamera sinar tampak ini, benda atau awan yang paling banyak albedonya tampak paling putih. Awan Cumulonimbus (Cb) mempunyai albedo paling besar ( $\pm 92\%$ ) dan Cumulus di cuaca cerah di atas permukaan daratan mempunyai albedo paling kecil ( $\pm 29\%$ ). Berdasarkan citra ini awan dan salju terlihat sebagai warna yang cerah dan semakin tebal awan semakin cerah warnanya. Permukaan bumi ditampilkan sebagai abu-abu dan lautan nyaris mendekati hitam. Keterbatasan utama dari citra visible adalah ketersediaannya hanya pada waktu siang hari.

### **8.2.2 Data Inframerah**

Data inframerah diperoleh dengan cara merekam sinaran infra merah yang dipancarkan benda (awan) dengan menggunakan radiometer. Sinaran infra merah ini

dipancarkan oleh benda karena benda tersebut telah menyerap sebagian sinaran matahari yang jatuh pada benda itu. Banyaknya sinaran infra merah sebanding dengan suhu benda yang memancarkannya. Makin sedikit benda menyerap sinaran, makin sedikit sinaran infra merah yang dipancarkan kembali dan makin rendah suhu benda tersebut. Untuk memperoleh data sinaran infra merah diambil gelombang dengan panjang gelombang sekitar 10,5 sampai 12,5 mikrometer. Dari foto infra merah yang dihasilkan oleh radiometer, menunjukkan bahwa makin rendah suhunya, warna foto makin putih.

Pengamatan satelit meteorologi sangat penting untuk memonitor dinamika atmosfer dalam skala meso, sinoptik dan global dengan resolusi temporal yang tinggi sehingga bermanfaat untuk meningkatkan akurasi prakiraan cuaca jangka pendek (nowcasting dan short-range weather forecast). Salah satu keuntungan teknik penginderaan jauh ini adalah dapat mengidentifikasi kejadian meteorologi dan dampaknya pada daerah yang tidak teramati oleh pengamatan di stasiun. Selain itu dengan adanya pengumpulan data satelit yang berkelanjutan selama kurun waktu yang lama, dapat mendukung Climatological Early Warning System (CEWS). Metode statistik yang diterapkan pada data satelit dapat digunakan untuk prediksi klimatologi dan pembelajaran perubahan iklim dalam skala yang luas. Ada tiga bidang studi utama yang menangani pengolahan data berbentuk gambar atau citra yaitu: grafika komputer, pengolahan citra, dan pengenalan pola. Pengolahan citra merupakan proses pengolahan dan analisis citra yang banyak melibatkan persepsi visual (Candra 2011).

- Data Citra Satelit Tentang Cuaca di BMKG

Operasional khusus adalah kegiatan operasional yang dilakukan berdasarkan kejadian khusus untuk mendukung operasional MEWS di BMKG Pusat dan UPT BMKG daerah. Kegiatan yang dimaksud adalah analisa dan/atau prakiraan kejadian cuaca signifikan berdasarkan citra satelit dan data pendukung lainnya (Yunus, 2011).

- Monitoring Potensi Cuaca Signifikan

Kegiatan monitoring yang dilakukan apabila terdapat indikasi adanya potensi cuaca signifikan yang dapat terjadi di wilayah lokal UPT, atau fenomena cuaca di sekitar wilayah tersebut yang diperkirakan mempunyai dampak kepada wilayah UPT tersebut. Cuaca signifikan dimaksud adalah cuaca ekstrem yang berkaitan dengan adanya awan konvektif khususnya Cb seperti: hujan lebat, putting beliung, badai guntur/thunderstorm, Inter-tropical Convergence Zone (ITCZ), badai tropis, palung (Yunus 2011).

- Monitoring Penyebaran Asap Kebakaran Hutan

Kegiatan monitoring penyebaran asap kebakaran hutan dibagi ke dalam 2 tahap yaitu identifikasi titik panas yang dianggap menjadi sumber penyebaran asap (menggunakan MTSAT2 atau NOAA18/19), dan pembuatan trayektori sebaran asap untuk beberapa hari ke depandengan SATAID (Yunus, 2011).

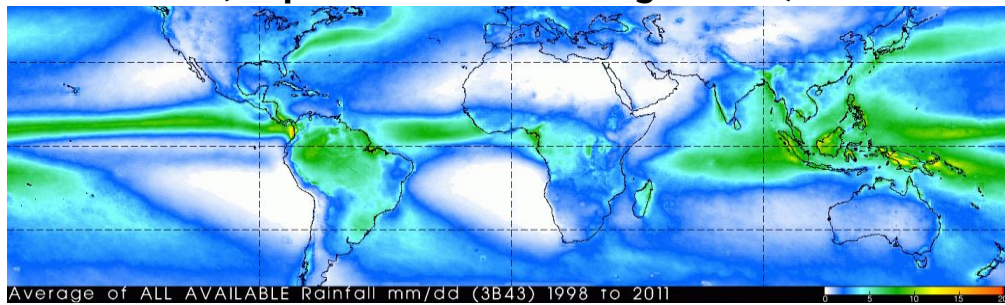
- Monitoring Kejadian Khusus

Kegiatan monitoring kejadian khusus adalah monitoring keadaan cuaca pada saat terjadiperistiwa kecelakaan transportasi, baik di darat, laut atau udara dan kejadian lainnya (banjir, tanah longsor, dan lainnya).

- Melakukan identifikasi awan dengan menggunakan citra satelit sesuai waktu kejadian atau apabila tersedia juga keadaan sebelum dan sesudahnya. Identifikasi daerah yangberpotensi terkena dampak dari awan tersebut.
- Menampilkan karakteristik citra satelit pada lokasi kejadian, misalnya brightnesstemperature pada titik tersebut.
- Analisa data NWP berupa data angin vertikal dan horizontal untuk beberapa level, temperatur, dan kelembaban pada daerah kejadian, dan parameter cuaca lain

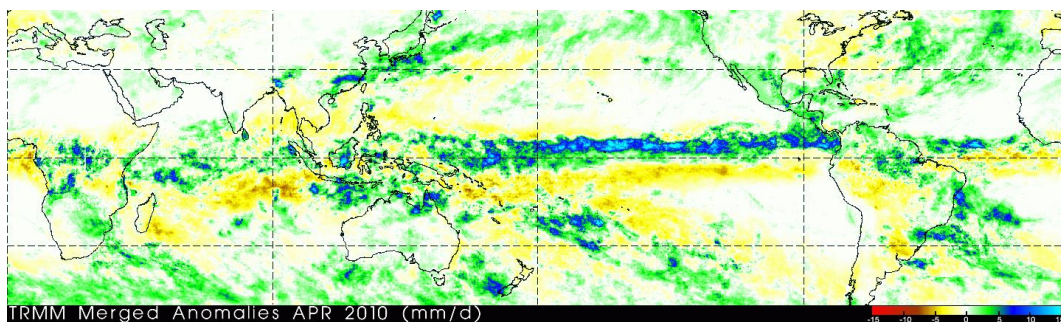
untuk memperoleh gambaran pembentukan awan dan presipitasi di daerah tersebut (Yunus, 2011).

### 8.2.3 Satelit TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission)



Gambar 8-2 Rata-rata curah hujan di seluruh wilayah menggunakan data TRMM

Sumber: [http://trmm.gsfc.nasa.gov/trmm\\_rain/Events/all\\_years.3B43.color.annotated.gif](http://trmm.gsfc.nasa.gov/trmm_rain/Events/all_years.3B43.color.annotated.gif)



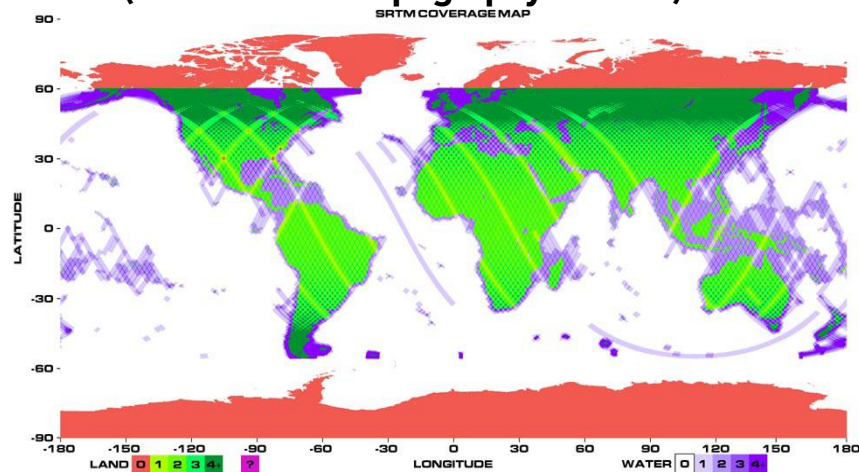
Gambar 8-3 Anomali curah hujan dari data TRMM

Sumber: [http://trmm.gsfc.nasa.gov/trmm\\_rain/Events/3B43\\_anom\\_apr10\\_vsn6.gif](http://trmm.gsfc.nasa.gov/trmm_rain/Events/3B43_anom_apr10_vsn6.gif)

Data TRMM adalah data presipitasi (hujan) yang didapat dari satelit meteorologi TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) dengan sensornya PR (Precipitation Radar), TMI (TRMM Microwave Imager), dan VIRS (Visible and Infrared Scanner), CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System), dan LIS (Lightning Imaging Sensor). Ada beberapa satelit meteorologi selain satelit TRMM, yaitu: Satelit DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) dengan sensor SSM/I (Special Sensor Microwave Imager). Satelit Aqua dengan sensor AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer-Earth Observing System), dan satelit NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) dengan sensor AMSU-B (Advanced Microwave Sounding Unit-B). Karakteristik umum sensor-sensor satelit TRMM dapat diungkapkan sebagai berikut. Pertama, sensor VIRS (Visible Infrared Scanner) terdiri dari 5 kanal, masing-masing pada panjang gelombang 0,63; 1,6; 3,75; 10,8 dan 12  $\mu\text{m}$ . Sensor VIRS ini terutama digunakan untuk pemantauan liputan awan, jenis awan dan temperatur puncak awan, dan sensor VIRS TRMM ini memiliki kemiripan dengan sensor AVHRR NOAA (*Advance Very High Resolution Radiometer, National Oceanic and Atmospheric Administration*). Resolusi spasial dari data yang dihasilkan oleh sensor VIRS ini adalah 2,2 km. Ke-dua, sensor TMI (TRMM Microwave Imager) merupakan suatu multichannel passive microwave radiometer yang beroperasi pada 5 frekuensi yaitu 10,65; 19,35; 37,0; dan 85,5 GHz polarisasi ganda dan pada 22,235 GHz polarisasi tunggal. Dari sensor TMI ini dapat diekstraksi data-data untuk integrated column precipitation content, air cair dalam awan (cloud liquid water), es awan (cloud ice), intensitas hujan (rain intensity), tipe hujan (rain type) misalnya hujan stratiform ataukah hujan konvektif. Sensor TMI ini memiliki kemiripan dengan sensor SSM/I DMSP (Special Sensor Microwave / Imager, Defense Meteorological Satellite Program). Sensor ke tiga adalah sensor PR (Precipitation

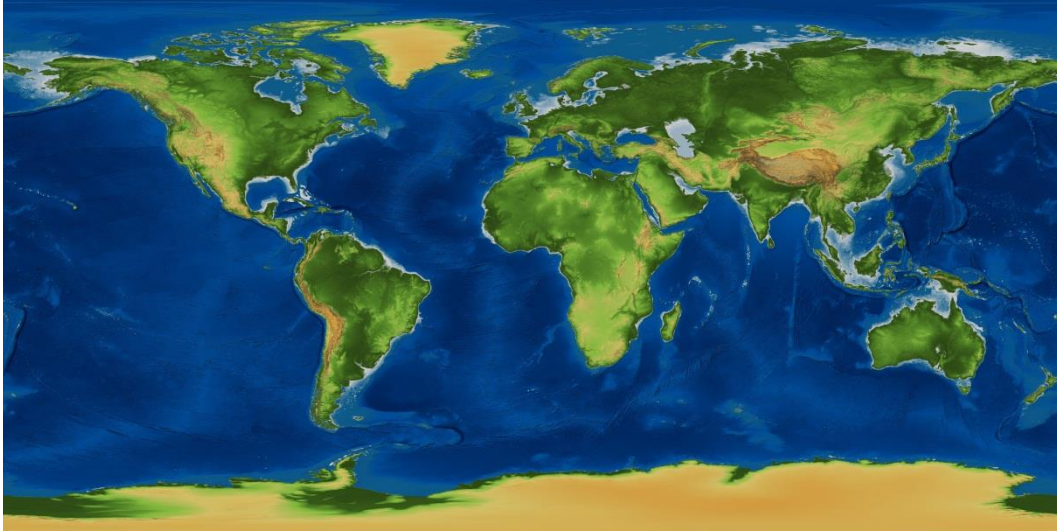
Radar). Sensor PR ini merupakan sensor radar untuk pemantauan presipitasi yang pertama di antariksa. Sensor PR ini bekerja pada frekuensi 13,8 GHz untuk mengukur distribusi presipitasi secara 3 dimensi, baik untuk presipitasi di atas daratan maupun di atas lautan; serta untuk menentukan kedalaman lapisan presipitasi. Data-data yang dihasilkan dari ketiga sensor satelit TRMM ini (VIRS, TMI dan PR) dikelola oleh GSFC (Goddard Space Flight Center) NASA. Sedangkan sensor ke-empat dan ke-lima dalam satelit TRMM yaitu sensor LIS (Lightning Imaging Sensor) dan CERES (Clouds and Earth's Radiant Energy System), pengelolaan data-data yang dihasilkan dari sensor-sensor tersebut tidak dilakukan oleh Goddard Space Flight Center DAAC (Distributed Active Archive Center).

#### 8.2.4 Satelit SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)



Gambar 8-4 Jalur proyeksi citra satelit SRTM

SRTM adalah kependekan dari kata *the Shuttle Radar Topography Mission*. Data ini berisi data ketinggian tempat atau elevasi dari permukaan bumi yang diambil melalui perekaman system radar. SRTM merupakan sebuah proyek yang dimotori oleh National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) dan NASA. Proyek ini bertujuan untuk membuat basis data digital topografi muka bumi dengan resolusi tinggi. Area yang direkam terentang dari 60° LU hingga 56° LS, dengan nilai akurasi data ketinggian hingga 16 meter. Sudut inklinasi orbit wahana SRTM adalah sebesar 57o sehingga dapat merekam muka bumi pada lokasi tersebut. Rentangan lokasi ini telah meliputi 80% dari seluruh permukaan bumi. Data SRTM ini dapat dimanfaatkan untuk berbagai tujuan seperti kepentingan militer, sipil dan sipil seperti pemodelan drainase, simulasi penerbangan, penentuan letak tower selular, keamanan navigasi, dan lain-lain. Dalam bidang lingkungan, data SRTM ini dapat dimanfaatkan pula untuk pemodelan banjir, konservasi tanah, perencanaan penghijauan, pengawasan gunung api, penelitian gempa dan pengawasan gerakan es.



Gambar 8-5 Peta hasil SRTM  
Sumber: <http://www.geosage.com>

### 8.3 REANALISIS DATA

**Reanalisis** adalah pendekatan sistematis untuk menghasilkan setdata untuk pemantauan iklim dan penelitian. Reanalisis diciptakan melalui skema data asimilasi dan model yang mencakup semua pengamatan setiap 6-12 jam selama periode yang analisis.

Reanalysis adalah metode ilmiah untuk mengembangkan catatan komprehensif tentang bagaimana cuaca dan iklim berubah dari waktu ke waktu. Di dalamnya, pengamatan dan model numerik yang mensimulasikan satu atau lebih aspek dari sistem Bumi kemudian digabungkan secara obyektif untuk menghasilkan perkiraan disintesis dari keadaan suatu sistem. Aspek sistem Bumi tersebut berisi perkiraan parameter atmosfer seperti suhu udara, tekanan dan angin pada ketinggian yang berbeda, dan parameter permukaan seperti curah hujan, kadar air tanah, dan suhu permukaan laut. Perkiraan dalam reanalysis digunakan untuk semua lokasi di bumi yang menggunakan periode waktu yang lama dapat mencapai satu dekade atau lebih. Sehingga reanalyses Iklim menghasilkan dataset besar yang dapat mengambil banyak ruang mencapai Terabyte (TB). Oleh karena itu, sebuah reanalisis atau analisis ulang biasanya meluas selama beberapa dekade atau lebih, dan meliputi seluruh dunia dari permukaan bumi untuk di atas stratosfer. Produk reanalysis digunakan secara ekstensif dalam penelitian dan layanan iklim, termasuk untuk memantau dan membandingkan kondisi iklim saat ini dengan data dari orang-orang pada masa lalu, mengidentifikasi penyebab variasi iklim dan perubahannya, dan mempersiapkan prediksi iklim. Selain itu, reanalisis ini juga digunakan untuk memperoleh data iklim lengkap untuk suatu periode dan wilayah. Informasi yang berasal dari reanalysis juga digunakan semakin dalam pada aplikasi komersial dan bisnis di sektor-sektor seperti energi, pertanian, sumber daya air, dan asuransi

Pusat-pusat nasional untuk keperluan prediksi lingkungan (NCEP), Sebelumnya dikenal sebagai pusat meteorologi nasional (NMC) / pusat nasional untuk reanalisis

penelitian atmosfer (NCAR) yang dimulai pada tahun 1991 sebagai hasil dari sistem asimilasi data iklim NMC (CDAS) proyek. Motivasi untuk Proyek CDAS adalah tentang "Perubahan Iklim" yang dihasilkan dari banyak perubahan yang diperkenalkan di sistem asimilasi data global operasional NMC (GDAS) selama dekade terakhir dalam rangka meningkatkan keperluan perkiraan sistem data iklim. Sistem ini berguna dalam parameter iklim yang dirasakan tidak jelas, sampai batas tertentu, sinyal perubahan iklim jangka pendek atau variabilitas iklim.

Ide dasar dari proyek reanalisis adalah dengan menggunakan state-of-the-art analisis / prediksi sistem dan melakukan asimilasi data menggunakan data masa lalu, dari tahun 1957 sampai sekarang (reanalisis). Selain itu, analisis / prediksi sistem yang sama akan digunakan untuk terus melakukan asimilasi data di masa depan (CDAS) sehingga ilmuwan dapat menilai apakah anomali iklim saat ini berjalan signifikan bila dibandingkan dengan reanalisis lama tanpa perubahan dalam sistem asimilasi data.

Sistem reanalisis dirancang di NCEP, dengan didukung lebih dari 25 ilmuwan dari pusat NCEP bidang pemodelan lingkungan, pusat prediksi iklim (CPC), proyek model gabungan, dan pusat operasi.

Proyek reanalisis NCEP / NCAR memiliki dua karakteristik unik yaitu panjang periode yang dicakup dan perakitan database observasi yang sangat komprehensif. Reanalisis ini meliputi periode 40 tahun terhitung dari 1957-1996 dan akan terus berlanjut di masa depan dengan sistem CDAS. Pengamatan akan disimpan dalam organisasi meteorologi dunia (WMO) dengan representasi format universal biner (BUFR), dengan informasi tambahan, seperti hipotesis awal dan memutuskan kontrol kualitas yang dimasukkan ke dalam laporan.

Panjang masa reanalisis, serta keinginan untuk melaksanakannya secepat mungkin untuk meningkatkan kegunaannya, mendorong peneliti untuk merancang suatu sistem yang dapat melakukan satu bulan reanalisis setiap harinya. Langkah cepat eksekusi yang dibutuhkan untuk pengembangan sistem reanalisis jauh lebih kuat dan otomatis daripada menggunakan sistem perkiraan analisis untuk prediksi cuaca numerik operasional. Akibatnya, sistem reanalisis NCEP/ NCAR memiliki banyak fitur baru yang belum ada dalam sistem peramalan cuaca numerik operasional atau penelitian. Sistem reanalisis NCEP/NCAR memiliki tiga modul utama: decoder data dan kontrol kualitas (QC) preprocessor, modul data asimilasi dengan sistem pemantauan otomatis, dan modul arsip.

Modul pusat asimilasi data memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. T62 Model (setara dengan resolusi horizontal sekitar 210 km) dengan 28 level secara vertikal.
2. Interpolasi Spectral statistik (SSI, atau D3 variasi) analisis.
3. QC kompleks data rawinsonde, termasuk pemeriksaan interpolasi waktu, dengan tingkat kepercayaan koreksi dari ketinggian dan suhu.
4. Rata-rata optimal beberapa parameter di beberapa daerah, memberikan rata-rata lebih akurat dan memperkirakan kesalahan rata-rata.
5. interpolasi optimal reanalisis SST.

Untuk mendukung tingkat reanalisis sekitar satu bulan setiap harinya, perlu untuk memastikan bahwa data input umumnya bebas dari masalah data yang besar seperti

kesalahan tanggal, lokasi yang salah, informasi yang kacau, dll, baik konvensional maupun data penginderaan jauh. Hal ini sangat penting untuk data yang telah lama, yang sebelumnya belum pernah digunakan pada NCEP. Demikian pula, tingkat satu bulan reanalisis setiap harinya tidak memungkinkan untuk pengawasan manusia lebih detail bahwa output operasional biasanya menerima masukan apapun.

Diputuskan di awal proyek bahwa salah satu jenis output tidak bisa memenuhi kebutuhan berbagai jenis pengguna. Untuk alasan ini modul keluaran memungkinkan untuk beberapa arsip yang berbeda:

- Data pengamatan level 2 di BUFR, termasuk QC, iklim, analisis, dan 6-h informasi prakiraan.
- Analisis yang komprehensif, diagnosa pertama, dan bidang diagnostik disajikan dalam bentuk sinoptik (semua bidang setiap 6h) di model sigma koordinat, serta tekanan dan koordinat isentropik, dalam biner grid (Grib) Format.
- Serangkaian arsip waktu di mana masing-masing bidang yang tersedia untuk setiap saat, termasuk bidang standar tingkat tekanan, curah hujan, fluks permukaan, dan bidang diagnostik.
- Arsip cepat pada CD-ROM.

Sebuah pertanyaan penting yang telah berulang kali muncul adalah bagaimana menangani perubahan tak terelakkan dalam sistem pengamatan, terutama terkait dengan ketersediaan data satelit baru, yang pasti akan berdampak pada iklim yang dirasakan reanalisis tersebut. Pada dasarnya, pilihannya adalah (a) untuk memilih subset dari pengamatan yang tetap stabil selama periode 40-tahun dari reanalisis atau (b) menggunakan semua data yang tersedia pada waktu tertentu. pilihan (a) akan menyebabkan reanalisis dengan keadaan iklim yang paling stabil, dan pilihan (b) analisis yang seakurat mungkin selama 40 tahun.

Tahap pertama dari reanalisis akan diikuti oleh fase kedua di tahun 1998 dari sistem yang akan digunakan untuk analisis ulang kedua. NCEP merencanakan untuk segera membuat sistem panggilan untuk reanalisis yang diperbarui setiap 5 tahun atau lebih. Reanalisis berturut-turut akan dibuat lebih mudah dengan persediaan database yang komprehensif di BUFR dihasilkan oleh reanalisis tersebut.

Pengumpulan data adalah tugas utama yang telah banyak dilakukan di NCAR. Permukaan udara dan lapisan udara atas pengamatan sedang disiapkan untuk reanalisis tersebut. Rencananya adalah menggunakan data yang tersedia untuk analisis original dari NCEP operasional (tersedia dari Maret 1962) dan menambahkan dataset lain untuk menangkap data yang lebih tua dari tahun 1948.

Reanalisis terdiri dari beberapa komponen kerangka yang berubah. Satu komponen kerangka ini yang tidak bervariasi adalah sumber input data mentah. Hal ini tidak dapat dihindari karena jaringan pengamatan yang terus berubah yang mencakup, tetapi tidak terbatas pada, radiosonde, satelit, pelampung, pesawat terbang dan kapal laporan. Saat ini, sekitar 7-9000000 pengamatan yang tertelan pada setiap langkah waktu. Selama durasi setiap produk analisis ulang, campuran pengamatan perubahan dapat menghasilkan variabilitas buatan dan tren palsu. Namun, berbagai produk reanalisis telah terbukti sangat berguna bila digunakan dengan perawatan yang tepat.

#### **Datasets**

**MERRA-2** : NASA GMAO has just released a new version of the MERRA dataset spanning 1979 to near present.



**20CRv2c** : NOAA and CIRES just released an improved version of the 20th Century Reanalysis, "2c", spanning 1851-2011.

**JRA-55** : The new Japanese 55-year Reanalysis (1958 to present) is available from multiple data providers.

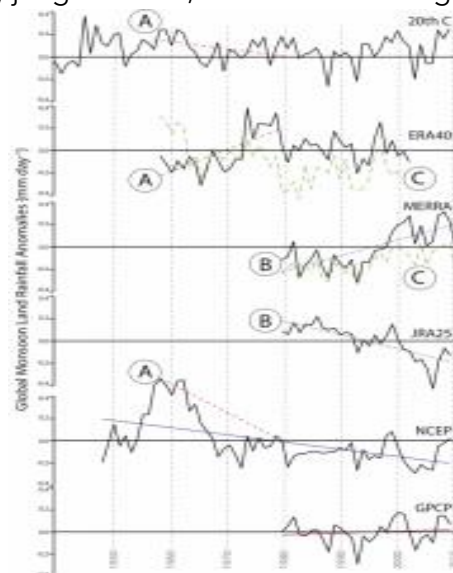
**ERA-20C** : ECMWF just released their first reanalysis of the 20th century.

Keunggulan:

- Set global data, resolusi spasial dan temporal konsisten selama 3 atau lebih dekade, ratusan variabel yang tersedia; Resolusi Model dan bias telah terus membaik.
- Reanalisis memasukkan jutaan observasi ke dalam sistem asimilasi data yang stabil yang akan hampir mustahil bagi seorang individu untuk mengumpulkan dan menganalisis secara terpisah, memungkinkan sejumlah proses iklim yang akan diteliti.
- Set data analisis ulang yang relatif mudah untuk menangani dari sudut pandang pengolahan (meskipun ukuran file bisa sangat besar).

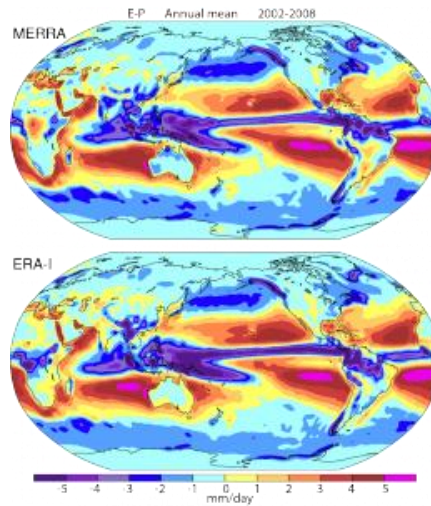
Kelemahan:

- Set data analisis ulang tidak boleh disamakan dengan "pengamatan" atau "realitas".
- Perubahan campuran pengamatan, dan bias dalam pengamatan dan model, dapat memperkenalkan variabilitas palsu dan tren menjadi output reanalisis.
- Kendala pengamatan, dan karena itu analisis ulang keandalan, jauh bisa bervariasi tergantung pada lokasi, jangka waktu, dan variabel dianggap.

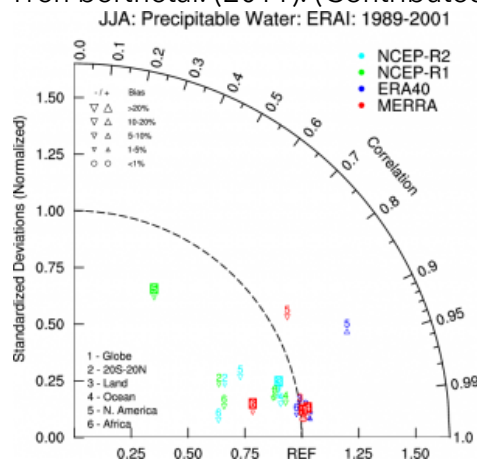


Gambar 8-6 Tren di musim hujan. (Contributed by JFasullo)

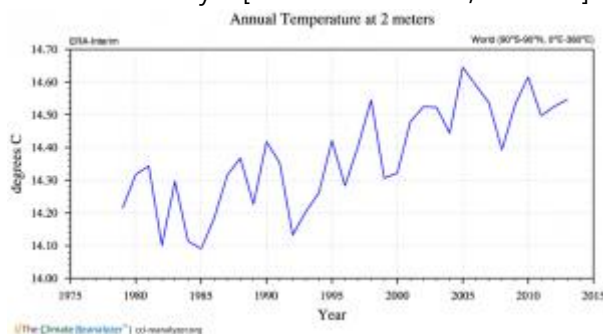
Apa tren di musim hujan? Angka ini menggambarkan evolusi curah hujan monsun global selama tanah seperti yang diperkirakan dari berbagai reanalisis dan GPCP. Beberapa fitur identifiably palsu ada termasuk tren bertentangan sebelum (A) dan selama era satelit (B), dan inkonsistensi dengan konvergensi kelembaban diperkirakan dari anggaran kelembaban atmosfer massal dikoreksi (C).



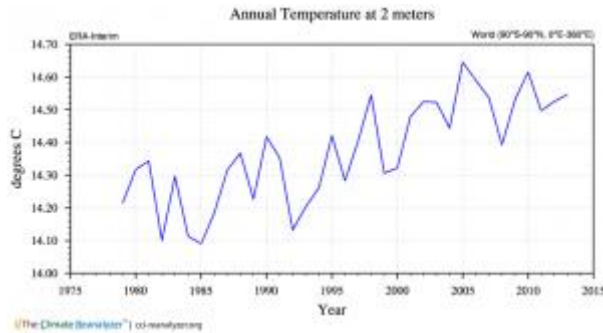
Gambar 8-7 Penguapan dikurangi curah hujan di MERRA (atas) dan ERA-Interim (bawah) berdasarkan Tren berthetal. (2011). (Contributed by JFasullo)



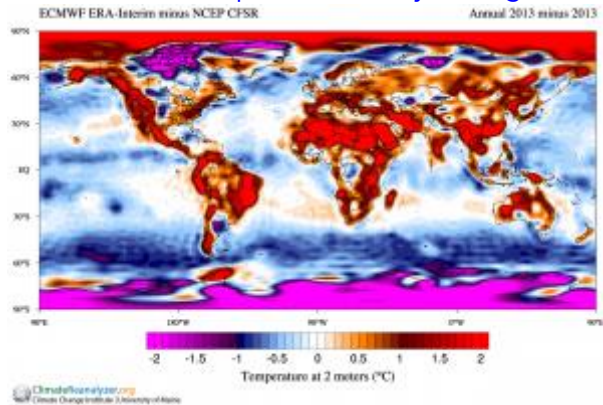
Gambar 8-8 Diagram Taylor yang menggambarkan pola kesamaan dan deviasi standar untuk tahunan air ERA-Interim berarti precipitable (1989-2001) dibandingkan dengan reanalisis lainnya. [Iklim data Gratis; D.Shea]



Gambar 8-9 Time series (1979-2013) global suhu ERA-Interim 2 meter  
Sumber: <http://cci-reanalyzer.org/>



Gambar 8-10 Time series (1870-2013) dari Abad ke-20 reanalisis suhu global 2 meter  
 Sumber: <http://cci-reanalyzer.org/>



Gambar 8-11 Perbedaan (ERA-Interim-CFSR) antara suhu rata-rata tahunan untuk 2013  
 Sumber: <http://cci-reanalyzer.org/>

Tabel 8.2 Ringkasan produk reanalisis

Name	Source	Domain	Period of Record	available timestep(s)	available resolution	available format(s)	Model Resolution	scheme & model vintage
<a href="#">Arctic System Reanalysis (ASR)</a>	Byrd Polar Research Center/ David Bromwich, Sheng-Hung Wang, NCAR, CIRES, U	<a href="#">Arctic</a>	2000/01 to 2012/12	Sub-daily, Monthly	30 km; 71 levels; 10hPA top, 10 km	<a href="#">netCDF</a>	30 km and 10 km	<a href="#">WRF-VAR</a>
<a href="#">Climate Forecast System Reanalysis (CFSR)</a>	NCEP	<a href="#">Global</a>	1979/01 to 2010/12	Sub-daily, Monthly	.5°x.5° & 2.5°x2.5°, 0.266 hPA top	<a href="#">GRIB</a>	T382 x 64 levels	<a href="#">3DVAR   2009</a>
<a href="#">ERA-15</a>	ECMWF	<a href="#">Global</a>	1979/01 to 1993/12	Sub-daily, Monthly	T106, 2.5 x 2.5	<a href="#">GRIB</a>	T106 (1.125)	
<a href="#">ERA-Interim</a>	ECMWF	<a href="#">Global</a>	1979/01 to 2013/08	Sub-daily, Daily, Monthly	0.75°x0.75°x60 lev 0.1 hPA top	netCDF, GRIB	T255, 60 levels	<a href="#">4DVAR   2006</a>
<a href="#">ERA40</a>	ECMWF	<a href="#">Global</a>	1957/01 to 2002/12	Sub-daily, Monthly	2.5°x2.5° / 1.125°x1.125°; 60	netCDF, GRIB	T159, 60 levels	<a href="#">3DVAR   2004</a>
<a href="#">JRA-25</a>	Japanese Meteorological Agency	<a href="#">Global</a>	1979/01 to 2004/12	Sub-daily, Monthly	1.125x1.125/2.5x2.5; 0.4 hPA top	<a href="#">GRIB</a>	T106, 40 levels	<a href="#">3DVAR   2004</a>
<a href="#">JRA-55</a>	Japanese Meteorological Agency	<a href="#">Global</a>	1958/01 to 2012/12	Sub-daily, Monthly	T319 x 60 levels, 0.1 hPA top	<a href="#">GRIB</a>	T319 x 60 levels	<a href="#">4DVAR   2009</a>
<a href="#">NASA MERRA</a>	NASA	<a href="#">Global</a>	1979/01 to 2013/01	Sub-daily, Monthly	0.5° x 0.667° x 72, 0.01 hPA top	netCDF, HDF	0.5° x 0.667° x 72	<a href="#">GEOS IAU   2009</a>
<a href="#">NCEP NARR</a>	NCEP	<a href="#">North America</a>	1979/01 to 2012/09	Climatology, Sub-daily, Monthly	32km	<a href="#">GRIB</a>	32km x 45 eta	<a href="#">3DVAR   2003</a>
<a href="#">NCEP Reanalysis (R2)</a>	NCEP, DOE	<a href="#">Global</a>	1979/01 to 2012/12	Sub-daily, Daily, Monthly	2.5°x2.5° 28 levels 3 hPA top	netCDF, GRIB	T62 28 levels	<a href="#">3DVAR   2001</a>
<a href="#">NCEP-NCAR (R1): An Overview</a>	NCEP, NCAR	<a href="#">Global</a>	1948/01 to 2013/01	Sub-daily, Daily, Monthly	2.5°x2.5°; 3 hPA top	netCDF, GRIB	T62 - 28 levels	<a href="#">3DVAR   1995</a>
<a href="#">NOAA 20th-Century Reanalysis, Version 2</a>	NOAA ESRL, CIRES CDC / Gil Compo	<a href="#">Global</a>	1871/01 to 2011/12	Sub-daily, Daily, Monthly	2°x2°, 28 levels 10 hPA top	netCDF, GRIB	T62 28 levels	<a href="#">Ensemble Kalman Filter   2009</a>

## 8.4 DAFTAR PUSTAKA

- [UK Climate Impacts Programme (UKCIP)].2013.What is the meaning Grid Data of Climatology?.[terhubungberkala].<http://www.metoffice.gov.uk/climatechange/science/monitoring/ukcp09/faq.html>. [16 November 2013]
- Adiningsih, E., Mahmud, Effendi I. 2004. Aplikasi analisis komponen utama dalam pemodelan lensa tanah dengan data satelit multispectral. *Jurnal Matematika dan Sains*.9 (1):215-222.
- Candra, Rina. 2011. *Teknik Perbaikan Kualitas Citra Satelit Cuaca dengan Sataid*. Semarang: Universitas Stikubank
- Elizabeth Howell. 2013. Skylab: First U.S. Space Station. <http://space.com/19607-skylab.html> akses 5 Januari 2016
- Justice, CO.et al. 1985. Analysis of phenology of global vegetation using meteorological satellite data. *International Journal of remote Sensing*6:1271-1318.
- Kalnay, E ,dkk. 1996. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project Vol. 77, No. 3 March 1996. *Journal of the American Meteorological Society*.
- Khomarudin, M.R. 2004. Aplikasi Penginderaan Jauh untuk Menduga Unsur Iklim dan Produktivitas Tanaman Hutan. *Warta LAPAN Volume 6, No. 2*. 50-61.
- Perry, Matthew dan Daniel Hollis.2006. *The generation of monthly gridded datasets for a range of climatic variables over the United Kingdom*Version 2.0, 05/06/2006.United Kingdom
- Sagit, Novria. 2013. *Analisis Citra Satelit Mtsat Dan Trmm Menggunakan Software Er Mapper, Sataid Dan Panoply Saat Kejadian Curah Hujan Ekstrim Di Wilayah Manado 16 Februari 2013*. Manado
- Sukojo, B.M. dan Kustarto, H. 2002. Perbaikan Geometrik Trase Jaringan Jalan dengan Menggunakan Teknologi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis. Surabaya: *Jurnal Makara Sains Volume 6 Nomor 3*.
- Thoha, Achmad. 2008. Karakteristik Citra Satelit. *Skripsi*. Departemen Kehutanan. Universitas Sumatra Utara.
- Yunus, Hadi, Riris, 2011. *Pedoman Operasional Pengelolaan Citra Satelit Cuaca*. Makalah. UPT BMKG Daerah.



Supported by :

**giz** Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

On behalf of  
 Federal Ministry  
for Economic Cooperation  
and Development

of the Federal Republic of Germany