



Kajian Risiko dan Adaptasi Terhadap Perubahan Iklim Pulau Lombok Provinsi Nusa Tenggara Barat

Analisis dan Proyeksi Curah Hujan dan temperatur



gtz



DAFTAR ISI

ISI	i
GAMBAR	ii
1. PENDAHULUAN	1
.1 Latar Belakang	1
.2 Tujuan dan Sasaran	4
.3 Ruang Lingkup	4
2. GAMBARAN UMUM	5
.1 Pengertian Perubahan Iklim	5
.2 Iklim dan Variabilitas Iklim di Pulau Lombok.....	6
.3 Proyeksi Perubahan Iklim	8
3. ANALISIS DAN PROYEKSI PERUBAHAN IKLIM DI PULAU LOMBOK ...11	
.1 Deskripsi Singkat Metodologi	11
.1.1 Analisis Kondisi Iklim Saat Ini	11
.1.2 Analisis Perubahan Iklim Dari Data Observasi	13
.1.3 Proyeksi Perubahan Iklim untuk Pulau Lombok.....	15
.2 Hasil Analisis Kondisi Iklim Saat ini	18
.3 Hasil Analisis Perubahan Iklim dari Data Observasi.....	20
.4 Hasil Proyeksi Temperatur dan Curah Hujan di Pulau Lombok Sampai 2100	22
4. ANALISIS BAHAYA PERUBAHAN IKLIM DI PULAU LOMBOK	25
.1 Bahaya Perubahan Iklim Saat Ini	25
.2 Bahaya Perubahan Iklim Periode 2020-2050 dan 2070-2100	27
.2.1 Perubahan Curah Hujan	27
.2.2 Perubahan Temperatur.....	29
5. REKOMENDASI UNTUK ANALISIS RISIKO PERUBAHAN IKLIM	30
.1 Rekomendasi Umum untuk Sektor Air.....	30
.2 Rekomendasi Umum untuk Sektor Pertanian.....	31
.3 Catatan untuk Strategi Adaptasi Perubahan Iklim	32
PUSTAKA	35

DAFTAR GAMBAR

1.1	Perkembangan konsentrasi gas-gas rumah kaca di dalam atmosfer selama 2000 tahun. (Sumber : IPCC, 2007).....	2
1.2	Estimasi kenaikan temperatur rata-rata global dari data pengukuran dengan analisis <i>tren</i> untuk periode 150 (merah), 100 (ungu), 50 (orange), dan 25 (kuning) tahun terakhir. (Sumber : IPCC, 2007).....	3
2.1	Identifikasi perubahan iklim secara statistik dari (a)perubahan nilai rerata (mean), (b)perubahan variansi, dan (c)perubahan nilai rerata dan variansi. Sumbu vertikal menyatakan peluang dan sumbu horizontal menyatakan nilai parameter (iklim). (Diadaptasi dari Meehl, 2000).....	6
2.2	Peta pembagian pola hujan di Indonesia (kiri) dan pola curah hujan tahunan di <i>region A</i> (kanan) dengan puncak hujan di sekitar Januari (Sumber : Aldrian 2003).....	7
2.3	Peta curah hujan tahunan di Asia Tenggara yang dibuat pada awal tahun 1900-an yang menggambarkan distribusi daerah yang sangat kering sampai sangat basah (Sumber : Broek, 1944).....	8
2.4	Bagan alir metode kajian perubahan iklim dengan pendekatan <i>top-down</i> dan <i>bottom-up</i> (diadaptasi dari IPCC-TGICA, 2007).	9
3.1	Peta kabupaten (daerah yang diwarnai) di wilayah Jawa dan Nusa Tenggara yang melaporkan kejadian kekeringan di bulan Januari 2007. Peta dibuat berdasarkan data dari situs web DIBI-BNPB.	12
3.2	Grafik <i>time-series</i> curah hujan bulanan yang diamati di stasiun BMKG Selaparang/Ampenan selama periode 1961-2007. Garis merah menunjukkan nilai rata-rata berjalan (<i>moving average</i>) 12 titik.	14
3.3	Grafik <i>time series</i> temperatur bulanan yang diamati di stasiun BMKG Selaparang/Ampenan selama periode 1961-2007. Garis merah menunjukkan nilai rata-rata berjalan (<i>moving average</i>) 12 titik.	14
3.4	Bagan alir metode proyeksi perubahan iklim dari data keluaran GCM (<i>top-down</i>) baik menggunakan prosedur <i>downscaling</i> standar maupun menggunakan metode alternatif (diadaptasi dari Wilby, 2004).....	17
3.5	Bagan alir metode alternatif proyeksi curah hujan (dan temperatur) Pulau	18
3.6	Grafik curah hujan harian total untuk seluruh Pulau Lombok yang diamati dalam periode 1 Desember 2006 sampai dengan 19 Februari 2007.....	19
3.7	Pola rata-rata curah hujan tahunan di 17 stasiun pengamatan di Pulau Lombok selama 2003-2007 (dari data PU). Diagram batang menunjukkan nilai curah hujan bulanan rata-rata untuk bulan Januari sampai Desember. Sumbu-y menunjukkan nilai curah hujan dari 0-400 mm.	20
3.8	Grafik komposit rata-rata bulanan curah hujan (kiri) dan temperatur (kanan) berdasarkan data observasi di stasiun Selaparang/Ampenan untuk periode <i>baseline</i> 1961-1990 (biru) dan 1991-2007 (merah). Garis vertikal (<i>error-bar</i>) menunjukkan standar deviasi	21
3.9	Perbandingan pola komposit curah hujan bulanan (kiri) dan temperatur (kanan) untuk <i>ensemble</i> keluaran GCM (garis berwarna) dan observasi (garis hitam). Nomor mewakili nama model seperti dijelaskan di dalam teks.	22
3.10	Grafik perbandingan antara hasil proyeksi (garis warna) dan observasi (garis hitam) untuk : (a)temperatur bulanan (tiga skenario SRES B1, A1B, dan A2), (b)curah hujan bulanan SRES B1, (c)curah hujan bulanan SRES A1B, dan (d) curah hujan bulanan SRES A2	23

3.11	Grafik <i>time series</i> proyeksi curah hujan (atas) dan temperatur (bawah) bulanan dari tahun 2001 sampai 2100.....	24
4.1	Grafik (a) <i>Cumulative Distribution Function</i> (CDF) curah hujan tahunan stasiun Selaparang/Ampenan period 1961-2007. Garis putus-putus merah menunjukkan batas pengelompokan 15% ke bawah (kering) dan 85% ke atas (basah), (b) pola curah hujan tahunan untuk komposit tahun kering, normal, dan basah periode 1961-2007, (c) sama dengan (b) tetapi untuk periode 1961-1990, (d) sama dengan (b) tetapi untuk periode 1991-2007.....	26
4.2	Sama dengan Gambar 18 (c) dan (d) tetapi menggunakan kriteria tahun kering, normal, dan basah berdasarkan curah hujan November-Desember-Januari-Februari (NDJF), mewakili periode 1961-1990 (kiri) dan 1991-2007 (kanan).....	27
4.3	Serupa dengan Gambar 19 tetapi berdasarkan data proyeksi curah hujan dengan tiga skenario SRES (B1, A1B, A2) untuk kategori normal (atas) periode 2030-an (kiri) dan 2080-an (kanan) dan kering (bawah) periode 2030-an (kiri) dan 2080-an (kanan).	28
4.4	Perbandingan komposit temperatur <i>baseline</i> (kiri atas) dan proyeksi tahun kering 2030-an (kanan atas) dan perbandingan komposit proyeksi temperatur normal 2030-an (kiri bawah) dan kering 2080-an (kanan bawah).	29
5.1	Grafik indeks <i>Pacific Decadal Oscillation</i> (PDO) dan indeks curah hujan masing-masing diwakili oleh garis merah dan biru (kiri), dan <i>scatter plot</i> yang menunjukkan korelasi kedua parameter (kanan) apabila indeks PDO digeser sekitar 14 tahun ke belakang.	33

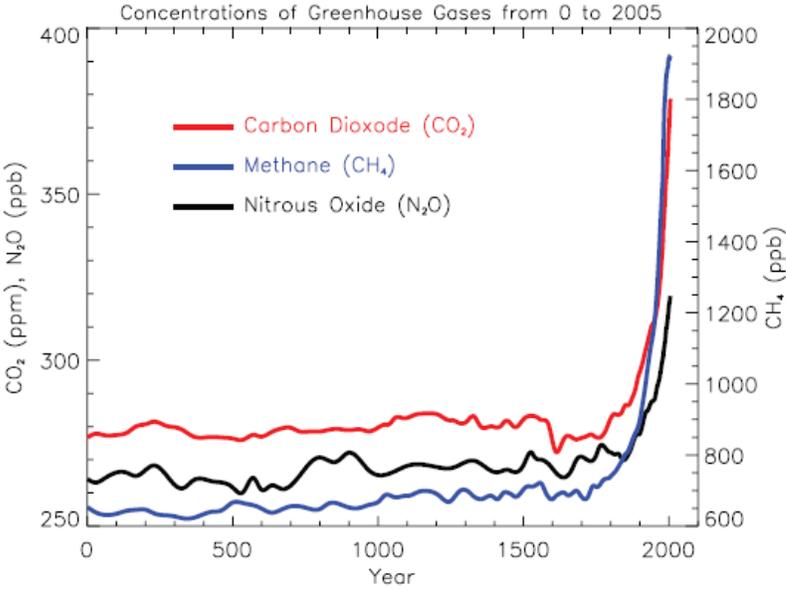
BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Belakang

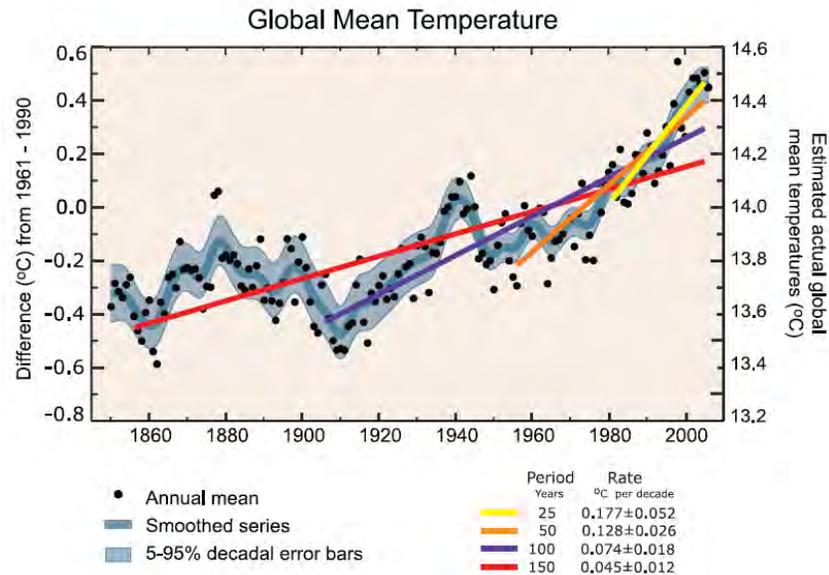
Sejak IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) yakni suatu lembaga pengkajian yang dibentuk oleh WMO (*World Meteorological Organization*) dan UNEP (*United Nations Environmental Program*) tahun 1988, isu perubahan iklim global telah mempengaruhi opini sebagian besar masyarakat dunia dan mulai mewarnai berbagai kebijakan pembangunan di banyak negara, termasuk Indonesia. Hal ini bukanlah sesuatu yang berlebihan, karena beberapa kajian sejarah mengisyaratkan bahwa dampak perubahan iklim dapat berakibat fatal terhadap keberlangsungan suatu bangsa. Beberapa kajian sejarah mengenai kepunahan peradaban Maya di Amerika Tengah sekitar tahun 950 Masehi menyimpulkan bahwa penyebabnya adalah kekeringan panjang yang menimpa masyarakat yang rentan terhadap perubahan iklim. Kerentanan tersebut bersumber kepada besarnya jumlah penduduk (diperkirakan mencapai 13 juta jiwa) dan kondisi geografis (dataran tinggi) menyebabkan ketersediaan air berkurang dengan cepat (Peterson and Haug, 2005).

Masalah utama dalam isu perubahan iklim global adalah naiknya temperatur rata-rata di dekat permukaan bumi yang disebabkan oleh efek rumah kaca dari gas-gas seperti (karbondioksida), (metana), dan (nitrogen-oksida). Konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer diketahui telah naik secara drastis akibat aktifitas industri seperti diperlihatkan dalam Gambar 1.1. Kenaikan suhu dekat permukaan bumi (Gambar 1.2), yang dikenal dengan isu *global warming*, tersebut kemudian dipercayai telah dan akan terus memicu berbagai perubahan seperti ekspansi volume air laut dan mencairnya lapisan es di kedua Kutub Utara (Green Land) dan Kutub Selatan (Antartika) sehingga muka air laut rata-rata akan naik secara global. Berdasarkan hasil-hasil pemodelan iklim, dalam kurun waktu seratus tahun ke depan, pemanasan global juga diperkirakan akan mempengaruhi pola iklim yang memicu peningkatan peluang kejadian cuaca dan iklim ekstrim.

Karena banyaknya dampak negatif dari perubahan iklim global yang diperkirakan akan terjadi, maka kemudian muncul seruan masyarakat internasional untuk melakukan *mitigasi* (dalam bentuk pengurangan emisi gas rumah kaca secara antropogenik) dan kebutuhan untuk melakukan *adaptasi* (dalam bentuk strategi pembangunan yang dapat mereduksi dampak negatif perubahan iklim). Rencana mitigasi maupun adaptasi membawa berbagai persoalan pelik karena implementasinya akan mempengaruhi perkembangan pembangunan ekonomi yang berdampak langsung kepada masyarakat luas.



Gambar 1.1 Perkembangan konsentrasi gas-gas rumah kaca di dalam atmosfer selama 2000 tahun. (Sumber : IPCC, 2007)



Gambar 1.2. Estimasi kenaikan temperatur rata-rata global dari data pengukuran dengan analisis *tren* untuk periode 150 (merah), 100 (ungu), 50 (orange), dan 25 (kuning) tahun terakhir. (Sumber : IPCC, 2007)

Untuk mengantisipasi berbagai dampak buruk yang mungkin terjadi, Pemerintah Daerah Nusa Tenggara Barat (NTB), telah mencanangkan upaya pengarusutamaan isu perubahan iklim pada rencana kebijakan pembangunan. Inisiatif yang baik ini perlu didukung dengan kajian akademik yang lebih mendasar karena penyusunan strategi adaptasi terhadap perubahan iklim haruslah berlandaskan kepada kajian kerentanan dan risiko secara lebih seksama. Di pihak lain, kajian kerentanan dan risiko harus didasarkan kepada hasil kajian mengenai pola dan besaran perubahan iklim pada lokasi yang spesifik, baik pada waktu sekarang maupun yang akan datang.

Perubahan iklim adalah suatu keniscayaan karena telah terjadi di masa lalu dan akan terus terjadi di masa mendatang. Masalah yang kita hadapi adalah bagaimana, kapan, di mana, dan seberapa besar perubahan iklim di masa yang akan datang. Analisis dan proyeksi perubahan iklim perlu dilakukan secermat mungkin karena isu perubahan iklim terkait dengan aspek ketidakpastian yang tinggi, terutama menyangkut hasil keluaran (*output*) model iklim global (e.g., Schneider, 2001).

1.2 dan Sasaran

Kajian “Analisis dan Proyeksi Perubahan Iklim” ini bertujuan untuk memberikan landasan akademik yang kuat untuk melakukan analisis risiko perubahan iklim di Pulau Lombok, yang pada akhirnya akan digunakan untuk menyusun strategi adaptasi terhadap perubahan iklim. Adapun sasaran yang ingin dicapai dengan kajian ini adalah :

- 1) Mendapatkan keyakinan ilmiah terhadap adanya perubahan iklim di Pulau Lombok dengan berbagai dampaknya terhadap pembangunan,
- 2) Mengidentifikasi pola dan besaran bahaya (*hazard*) perubahan iklim yang bersifat spesifik untuk Pulau Lombok, sepanjang data masih memungkinkan.
- 3) Menyiapkan data iklim (termasuk proyeksi curah hujan dan temperatur) yang dapat digunakan dalam analisis risiko perubahan iklim, terutama pada sektor air dan pertanian di Pulau Lombok

Dengan tujuan dan sasaran tersebut di atas, kajian analisis dan proyeksi perubahan iklim ini praktis menjadi prasyarat untuk dapat dilaksanakannya kajian risiko terhadap perubahan iklim untuk Pulau Lombok.

1.3 Lingkup

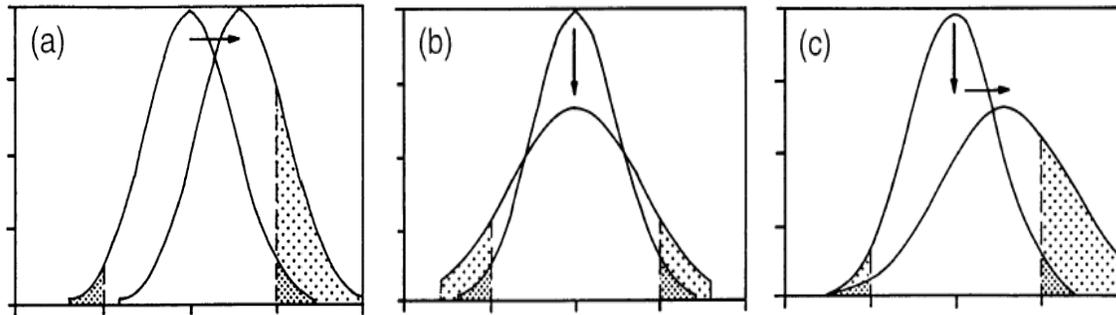
Perubahan iklim adalah suatu topik kajian yang sangat luas dan melibatkan keahlian interdisiplin yang mendalam. Laporan ini hanya membahas beberapa aspek penting yang secara spesifik terkait dengan perubahan iklim di Pulau Lombok dari data yang bisa didapatkan melalui sumber-sumber yang dapat diakses dalam waktu relatif singkat. Sebelum membahas mengenai perubahan iklim di Pulau Lombok, dibahas terlebih dahulu gambaran umum menyangkut pengertian iklim dan perubahan iklim. Selanjutnya diberikan penjelasan mengenai metodologi yang digunakan dalam analisis dan proyeksi iklim di Pulau Lombok serta hasil-hasilnya. Pengolahan lebih lanjut terhadap data observasi maupun data proyeksi curah hujan dan temperatur dibahas untuk memberikan ilustrasi mengenai bahaya (*hazard*) perubahan iklim saat ini maupun masa yang akan datang. Di bagian akhir laporan ini disampaikan kesimpulan serta rekomendasi terkait pemanfaatan hasil proyeksi iklim untuk melakukan analisis risiko perubahan iklim di Pulau Lombok.

BAB 2. GAMBARAN UMUM

2.1 Perubahan Iklim

Sistem iklim bumi merupakan sistem yang sangat kompleks dibentuk oleh interaksi komponen-komponen bumi berupa : atmosfer, hidrosfer, litosfer, kriosfer (lapisan es), dan biosfer (vegetasi). Dewasa ini bahkan dipercayai bahwa manusia (*humanosfer*) dapat mempengaruhi perilaku sistem iklim oleh karena dampak kegiatan industri. Definisi iklim secara luas adalah keadaan (*state*) dari keseluruhan sistem iklim itu sendiri. Namun demikian, pengertian iklim yang lebih umum digunakan untuk suatu lokasi atau daerah tertentu adalah deskripsi statistik dari unsur-unsur iklim seperti temperatur (suhu), presipitasi (hujan), angin, dan sebagainya, yang menyatakan nilai rerata (*mean*) dan variansinya dalam rentang waktu mulai dari bulanan hingga jutaan tahun. Secara operasional, WMO mendefinisikan rentang waktu klimatologis adalah 30 tahun.

Menurut Meehl (2000), perubahan iklim dapat diidentifikasi dengan membandingkan kurva distribusi peluang seperti diperlihatkan pada Gambar 2.1 sehingga diketahui perubahan (antar kurun 30 tahun) pada nilai rerata (*mean*) atau variansi, atau keduanya. Berdasarkan pengertian ini, perubahan yang terjadi dalam kurun 30 tahun itu sendiri dikatakan sebagai **variabilitas iklim**, dan untuk melakukan identifikasi perubahan iklim saat ini (*current climate change*) setidaknya diperlukan data pengamatan (historis) selama kurang lebih 60 tahun ke belakang. Analisis perubahan iklim menggunakan data historis dimaksudkan untuk mengetahui *trend* (kecenderungan) pola iklim yang akan berpengaruh sampai kurang lebih 15 tahun ke depan.

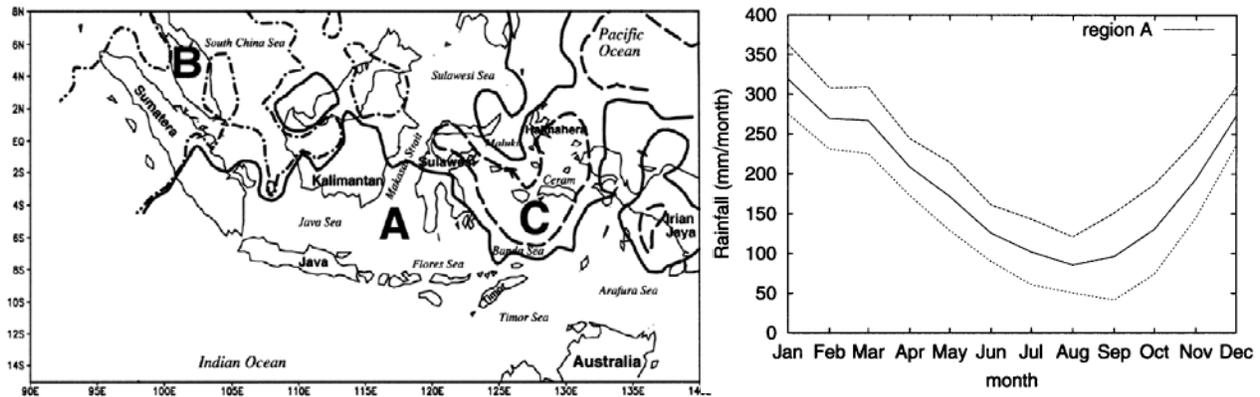


Gambar 2.1 Identifikasi perubahan iklim secara statistik dari (a)perubahan nilai rerata (mean), (b)perubahan variansi, dan (c)perubahan nilai rerata dan variansi. Sumbu vertikal menyatakan peluang dan sumbu horizontal menyatakan nilai parameter (iklim). (Diadaptasi dari Meehl, 2000).

2.2 dan Variabilitas Iklim di P. Lombok

Kajian iklim yang spesifik untuk Pulau Lombok masih sangat langka. Meskipun demikian, secara umum diketahui bahwa iklim di Indonesia dikendalikan oleh sirkulasi monsun Asia-Australia, yakni aliran udara (angin) di lapisan bawah atmosfer yang melintasi ekuator di atas Indonesia dan berganti arah pada kurang lebih setiap setengah tahun. Di sebagian besar wilayah Indonesia, termasuk Pulau Lombok, perubahan arah aliran udara lintas ekuator ini menyebabkan terjadinya musim hujan di bulan-bulan Desember-Januari-Februari (DJF) dan musim kemarau di sekitar bulan-bulan Juni-Juli-Agustus (JJA), sedangkan bulan-bulan lain merupakan periode transisi atau dalam istilah awamnya disebut pancaroba.

Pada Gambar 2.2 diperlihatkan peta pembagian pola curah hujan di Indonesia dan pola curah hujan musonal dimana secara rata-rata puncak musim hujan terjadi di sekitar bulan Januari. Namun demikian, adanya variabilitas iklim menyebabkan kondisi yang tidak sama untuk setiap tahunnya. Variabilitas iklim dapat bersifat *intra-seasonal* (periode lebih pendek dari tiga bulan) maupun *inter-annual* (periode dua tahun atau lebih). Variabilitas iklim inter-annual antara lain adalah ENSO (*El Nino Southern Oscillation*) atau yang lebih dikenal dengan fenomena El Nino dan La Nina.



Gambar 2.2 Peta pembagian pola hujan di Indonesia (kiri) dan pola curah hujan tahunan di *region A* (kanan) dengan puncak hujan di sekitar Januari (Sumber : Aldrian 2003).

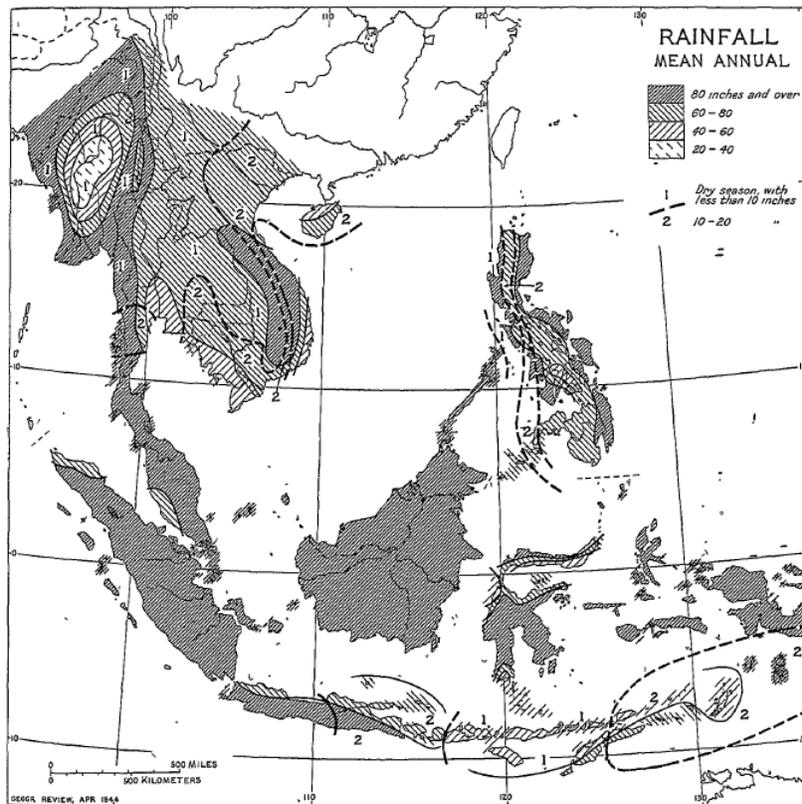
Pengamatan terhadap variabilitas iklim di Indonesia sudah dilakukan sejak jaman kolonial belanda. Dalam sebuah laporannya mengenai iklim di Hindia Timur, Braak (1929) menuliskan :

“..., in successive years differences occur in the force of the monsoons which are closely connected with the general air-circulation. Consequently the differences between the seasons may vary appreciably, so that in some years the farmer will wait in vain for the dry season, whereas in other years he will look out for months and months for the first good shower.”

Jadi sejak lama telah diketahui bahwa variabilitas iklim dapat menyebabkan perubahan perilaku pola monsunal dimana musim kering hampir tidak ada pada satu tahun tetapi pada tahun lain kemarau berlangsung sangat lama.

Berdasarkan peta curah hujan tahunan yang dibuat pada awal 1900-an (Gambar 2.3), dapat diketahui bahwa Pulau Lombok berada pada perbatasan antara daerah yang relatif basah dan relatif kering. Oleh karena itu, dapat diduga bahwa Pulau Lombok termasuk wilayah yang cukup sensitif terhadap variabilitas iklim dan/atau perubahan iklim. Dalam suatu laporan hasil kajian yang dilakukan baru-baru ini oleh Muhammad

(2007) disebutkan bahwa pada tahun 2007 di Pulau Lombok dan Sumbawa terjadi kekeringan di dalam bulan Januari, yang seharusnya merupakan musim penghujan, sehingga menyebabkan gagal panen di sejumlah areal pertanian (padi). Namun demikian, untuk dapat menganalisis keterkaitan fenomena kekeringan ini dengan efek pemanasan dan perubahan iklim global, informasi iklim yang ada sangatlah terbatas . Suatu kajian yang lebih rinci mengenai kondisi iklim di Pulau Lombok perlu dilakukan untuk memenuhi tujuan seperti disebutkan sebelumnya.

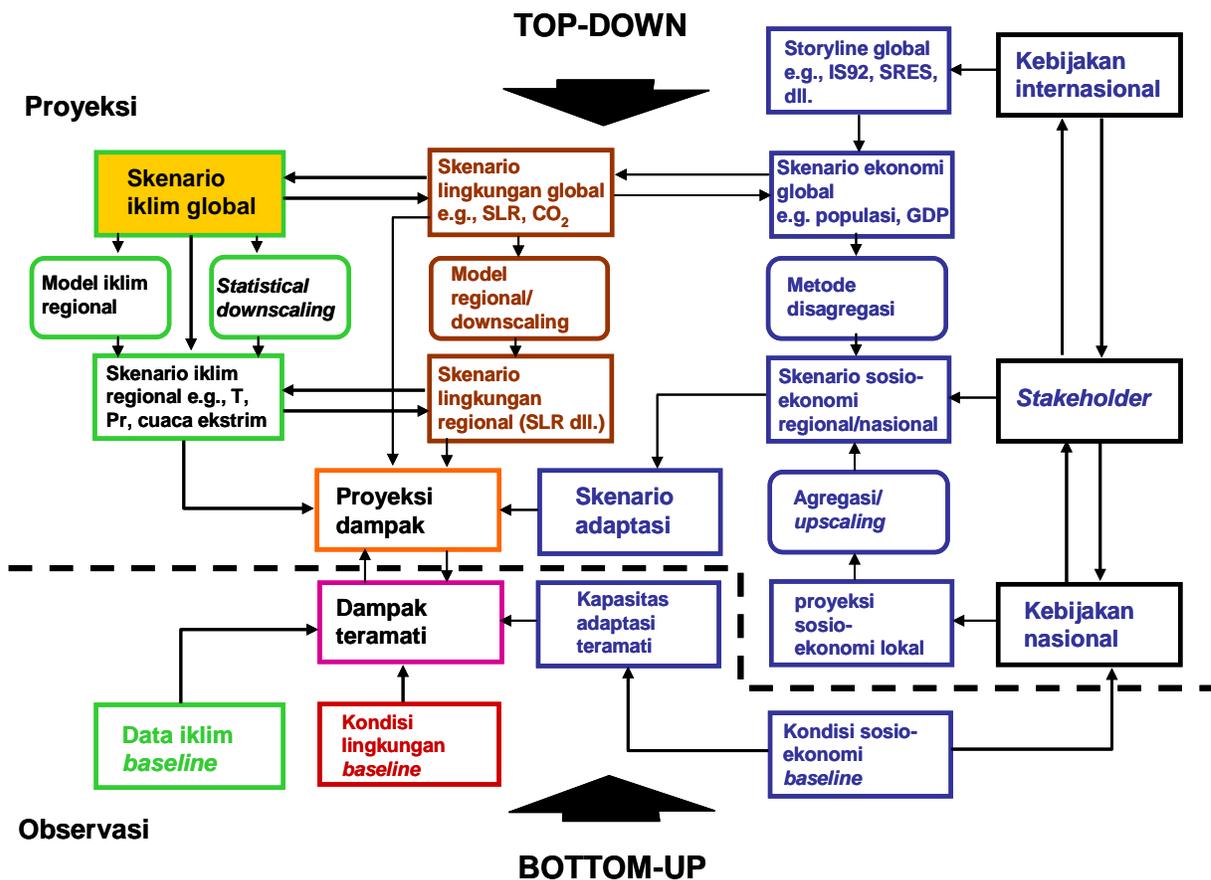


Gambar 2.3 Peta curah hujan tahunan di Asia Tenggara yang dibuat pada awal tahun 1900-an yang menggambarkan distribusi daerah yang sangat kering sampai sangat basah (Sumber : Broek, 1944).

2.3 Proyeksi Perubahan Iklim

Kajian perubahan iklim dan dampaknya secara umum dapat dilakukan dengan dua pendekatan yakni (1) *bottom-up*, dan (2) *top-down* (IPCC-TGICA, 2007), seperti ditunjukkan oleh bagan di dalam Gambar 2.4. Pendekatan *bottom-up* dilakukan

berdasarkan analisis terhadap data observasi (historis) dan *baseline* data lingkungan maupun sosio-ekonomi, sedangkan pendekatan *top-down* didasarkan kepada hasil-hasil simulasi GCM yang terkait dengan skenario perubahan kondisi lingkungan serta sosio-ekonomi global. Dalam kajian ini, kedua pendekatan tersebut dicoba diterapkan dalam analisis dan proyeksi perubahan iklim untuk Pulau Lombok. Analisis data observasi diperlukan untuk mengidentifikasi pola perubahan iklim saat ini, sedangkan analisis data keluaran GCM dilakukan untuk mendapatkan proyeksi perubahan iklim ke depan.



Gambar 2.4 Bagan alir metode kajian perubahan iklim dengan pendekatan *top-down* dan *bottom-up* (diadaptasi dari IPCC-TGICA, 2007).

Permasalahan yang sering dihadapi dalam analisis perubahan iklim (secara *bottom-up*) adalah tidak tersedianya data dengan kualitas dan kontinuitas yang memadai, baik menyangkut data historis iklim maupun data kondisi lingkungan. Dalam hal analisis *top-down*, masalah yang sudah diketahui secara umum adalah tidak cukupnya resolusi

spasial data GCM untuk, antara lain, mewakili faktor topografi yang berpengaruh terhadap variasi iklim regional dan lokal. Data keluaran GCM dapat digunakan setelah melalui proses pengolahan yang disebut *downscaling*, yakni teknik untuk mengolah data keluaran model global sehingga didapatkan data simulasi iklim dengan resolusi yang lebih tinggi atau lebih mewakili kondisi lokal.

Metode yang dapat digunakan untuk melakukan *downscaling* secara umum dapat digolongkan ke dalam (1) *statistical downscaling* dan (2) *dynamical downscaling* yang mencerminkan *tool* pemodelan yang digunakan. *Dynamical downscaling* didasarkan kepada penggunaan model matematis yang konsisten dengan gambaran fisis sistem iklim. Kekurangan metode ini adalah karena biasanya menghasilkan nilai estimasi dengan bias yang besar terhadap data pengamatan dan keperluan sumberdaya komputasi yang tinggi. Sebaliknya, metode *statistical downscaling* dapat menghasilkan estimasi yang cukup akurat dengan kebutuhan komputasi yang jauh lebih sedikit tetapi hasilnya tidak selalu dapat diinterpretasikan secara fisis karena model untuk satu variabel bisa sangat berbeda dengan model untuk variabel lain (tidak konsisten). Selain itu, implementasi *statistical downscaling* memerlukan data pengamatan (historis) yang cukup lengkap. Pada dasarnya, kedua metode dapat digunakan karena menghasilkan ketelitian yang relatif sama (Wilby et al., 2004).

BAB 3. ANALISIS DAN PROYEKSI PERUBAHAN IKLIM DI PULAU LOMBOK

3.1 Singkat Metodologi

Untuk mendapatkan gambaran yang lebih komprehensif menyangkut permasalahan iklim di Pulau Lombok, analisis dan proyeksi perubahan iklim di Pulau Lombok dibagi ke dalam tiga bagian :

- Analisis terhadap data observasi terkini untuk mengetahui kondisi iklim yang berlangsung saat ini dan dan peluang bahaya iklim yang ada
- Analisis terhadap data observasi jangka panjang (lebih dari 30 tahun) untuk mengidentifikasi ada atau tidaknya unsur perubahan iklim terkait dengan munculnya bahaya iklim yang ada saat ini
- Proyeksi perubahan iklim berdasarkan keluaran model global (GCM) untuk mengetahui karakteristik bahaya iklim pada masa yang cukup jauh ke depan yakni untuk periode 2020-2050 dan 2070-2100.

Metodologi dari masing-masing bagian analisis tersebut, data, serta asumsi yang digunakan, diuraikan lebih lanjut di bawah ini.

3.1.1 Analisis kondisi iklim saat ini

Analisis terhadap kondisi iklim yang berlangsung saat ini di P. Lombok lebih difokuskan kepada kemungkinan adanya bahaya iklim berupa berkurangnya curah hujan di bulan Januari (Muhammad, 2007), yang terkait erat dengan ketersediaan air untuk kegiatan pertanian padi. Berdasarkan data yang didapatkan dari situs web Data Informasi Bencana Indonesia (DIBI) Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), diketahui bahwa pada bulan Januari tersebut beberapa kabupaten di wilayah Jawa dan Nusatenggara melaporkan kejadian kekeringan (peta pada Gambar 3.1).



Gambar 3.1 Peta kabupaten (daerah yang diwarnai) di wilayah Jawa dan Nusa Tenggara yang melaporkan kejadian kekeringan di bulan Januari 2007. Peta dibuat berdasarkan data dari situs web DIBI-BNPB.

Untuk mengkaji anomali iklim pada bulan Januari 2007 tersebut di atas dan keterkaitannya dengan kecenderungan (*trend*) iklim selama lima tahun terakhir, maka dilakukan analisis lebih lanjut terhadap data iklim yang tersedia. Data utama yang tersedia untuk melakukan analisis ini adalah sebagai berikut :

- Data curah hujan harian yang didapatkan dari Dinas Pengairan PU (Departemen Pekerjaan Umum) Nusa Tenggara Barat. Data ini tersedia untuk 16 stasiun yang tersebar (meskipun tidak terlalu merata) di Pulau Lombok dan dan mewakili periode 2003-2007.
- Data curah hujan bulanan yang didapatkan dari BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika) Stasiun Selaparang (Ampenan) dan tersedia untuk periode 1971-2007.

Data pendukung yang digunakan adalah data iklim lain yang bisa didapatkan dari sumber-sumber di internet seperti data reanalysis dari situs *National Center for Environmental Prediction* (NCEP) di Amerika Serikat.

Dalam analisis ini digunakan metode statistik sederhana untuk mencari pola komposit (rata-rata) dan sebagainya, yang secara umum dapat digolongkan ke dalam metode *Exploratory Data Analysis* (EDA) (e.g., Wilks, 1995).

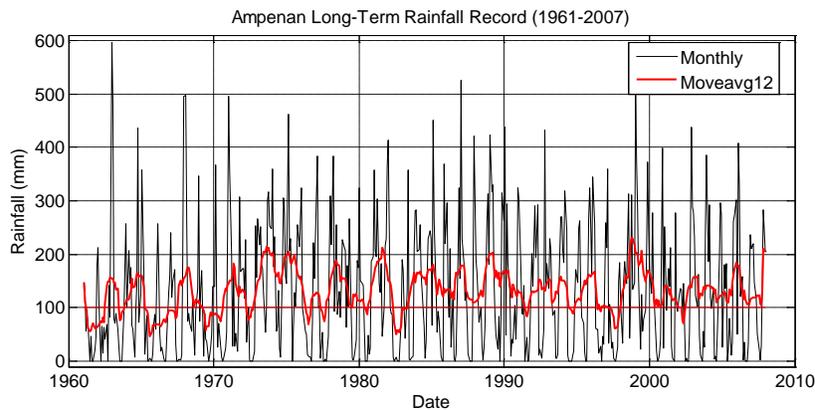
3.1.2 Analisis perubahan iklim dari data observasi

Analisis perubahan iklim dari data observasi dilakukan dengan mengadopsi pendekatan Meehl (2000), yakni dengan membandingkan parameter statistik dasar (rerata dan variansi) dan melihat apakah ada perubahan yang signifikan dari periode *baseline* ke periode sekarang. Variabel iklim yang ditinjau dibatasi pada curah hujan dan temperatur bulanan saja. Selain karena ketersediaan data, dua variabel tersebut adalah variabel kunci yang digunakan dalam berbagai kajian mengenai perubahan iklim, terutama di daerah tropis. Data utama yang digunakan dalam analisis perubahan iklim adalah sebagai berikut :

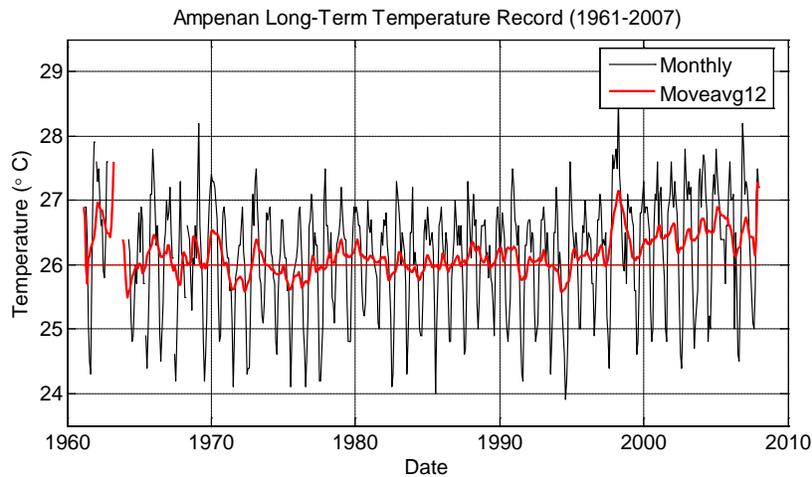
- Data curah hujan dan temperatur bulanan yang didapatkan dari BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika) Stasiun Selaparang (Ampenan) dan tersedia untuk periode 1971-2007
- Data iklim dari *Global Historical Climatological Network* (GHCN) melalui situs <http://www.ncdc.noaa.gov/> dimana tersedia data temperatur 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. Dalam hal ini, data GHCN digunakan untuk melengkapi data stasiun Ampenan sehingga didapatkan data iklim untuk periode 1961-2007 (lebih dari 30 tahun).

Gambar 3.2 dan 3.3 memperlihatkan grafik *time series* dari data curah hujan dan temperatur bulanan stasiun Selaparang (Ampenan) yang merupakan gabungan dari data GHCN dan data BMKG. Jika dilihat dari grafik ini saja, maka tren kenaikan temperatur antara 1990 sampai dengan 2007 dapat ditengarai akan tetapi tidak demikian dengan perubahan curah hujan yang tidak memperlihatkan pola yang jelas.

Untuk mengidentifikasi adanya perubahan iklim, maka analisis komposit diterapkan dengan membagi data ke dalam dua periode yaitu 1961-1990 sebagai periode baseline dan kemudian membandingkannya dengan periode 1991-2007 yang lebih mewakili kondisi sekarang.



Gambar 3.2 Grafik *time-series* curah hujan bulanan yang diamati di stasiun BMKG Selaparang/Ampenan selama periode 1961-2007. Garis merah menunjukkan nilai rata-rata berjalan (*moving average*) 12 titik.



Gambar 3.3 Grafik *time-series* temperatur bulanan yang diamati di stasiun BMKG Selaparang/Ampenan selama periode 1961-2007. Garis merah menunjukkan nilai rata-rata berjalan (*moving average*) 12 titik.

3.1.3 Proyeksi Perubahan Iklim untuk Pulau Lombok

Proyeksi perubahan iklim dilakukan untuk mengetahui pola iklim pada masa yang cukup jauh ke depan. Pada dasarnya, simulasi menggunakan model iklim global (GCM) adalah cara yang paling ilmiah untuk melakukan hal itu. Berbagai institusi di dunia telah memberikan kontribusi kepada IPCC berupa data proyeksi iklim keluaran GCM dari masing-masing institusi tersebut. Data tersebut dapat diakses melalui internet dari situs-situs <http://www.ipcc-data.org/> (*IPCC Data Distribution Center*) dan <http://www-pcmdi.llnl.gov/> (*Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison*).

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, pemanfaatan data keluaran GCM untuk proyeksi iklim memerlukan suatu langkah pengolahan yang dikenal sebagai metode *downscaling*. Gambar 3.4 memperlihatkan alur umum pengerjaan *downscaling* keluaran model GCM yang dapat dijelaskan secara ringkas sebagai berikut :

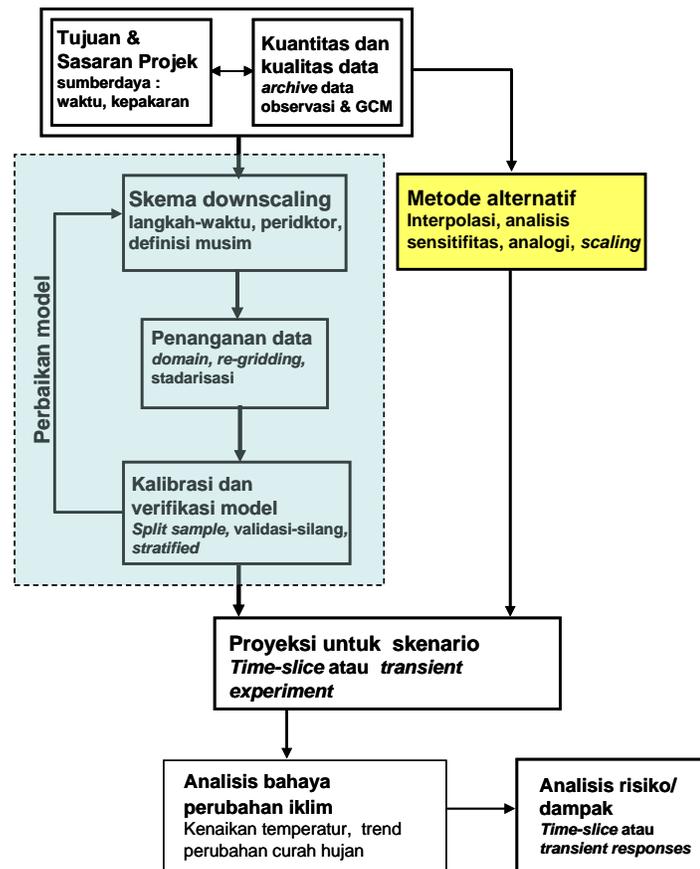
- Pemilihan metode atau skema *downscaling* dilakukan dengan memperhatikan tujuan dan sasaran dari proyek pekerjaan yang dijalankan. Hal ini terkait dengan ketersediaan sumberdaya berupa dana, waktu, kepakaran, dan lain lain. Selain itu, kuantitas dan kualitas data yang tersedia, baik itu data observasi maupun data keluaran GCM, harus dipertimbangkan. Penggunaan metode *downscaling* standar memerlukan langkah iteratif yang memakan waktu dan sumberdaya lain yang tidak sedikit. Penjelasan mengenai metode *downscaling* secara lebih lengkap dapat dilihat di dalam Wilby (2004).
- Secara umum, metode *statistical downscaling* lebih memungkinkan untuk diterapkan dengan sumberdaya yang terbatas. Namun demikian, metode *statistical downscaling* yang standar tetap memerlukan langkah pengerjaan yang rumit. Implementasi metode *statistical downscaling* dalam bentuk *software* pun sudah dikembangkan (e.g., San-Martin et al., 2008). Namun demikian, kendala utama dalam penerapan metode ini adalah ketersediaan data pengamatan yang pada umumnya kurang memadai untuk wilayah Indonesia.

- Untuk suatu pekerjaan analisis dampak ataupun penilaian risiko perubahan iklim yang tidak terlalu detail, dapat digunakan metode alternatif yang lebih sederhana akan tetapi tetap berdasarkan kaidah ilmiah yang dapat diuji.

Untuk proyeksi iklim di Pulau Lombok, kami mencoba mengembangkan metode alternatif yang disesuaikan dengan kondisi ketersediaan sumberdaya dan data yang dapat diperoleh. Pendekatan dan asumsi yang digunakan dalam metode alternatif untuk proyeksi iklim di Pulau Lombok dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Dari sekian banyak data GCM, dipilih beberapa keluaran model yang dianggap cukup baik. Kriteria penilaian terhadap model didasarkan kepada hasil kajian literatur mengenai pengujian kinerja GCM di daerah tropis. Berdasarkan kajian Annamalai et al. (2006) terhadap hasil simulasi ENSO-Monsun, terdapat empat model yang menunjukkan kinerja paling baik yakni : (1)ECHAM5 yang dikembangkan di Jerman, (2)MRI (Jepang), dan (3)GFDL2.0 dan GFDL2.1 (Amerika Serikat). Selain data dari keempat model tersebut, data yang berhasil didapatkan adalah keluaran dari model-model CSIRO Mk2 (Australia), NCCSM (AS), dan MIROC3 (Jepang). Model-model tersebut menyediakan data proyeksi iklim (curah hujan dan temperatur bulanan) untuk tahun 2001-2100.
- Reichler (2008) mengemukakan bahwa rata-rata (*ensemble*) dari keluaran model global memberikan hasil yang lebih baik daripada masing-masing model. Oleh karena itu, proyeksi iklim di Pulau Lombok dilakukan menggunakan data rata-rata *ensemble* dari beberapa keluaran model. Tidak semua model disertakan dalam perhitungan *ensemble*, tetapi dipilih berdasarkan kecocokan pola komposit tahunan antara rata-rata *ensemble* dengan observasi untuk periode *baseline* (dipilih 1961-1990).
- Setelah didapatkan kombinasi keluaran model yang dianggap terbaik, maka untuk tiap-tiap keluaran model tersebut dihitung selisih (Δ) antara nilai proyeksi (simulasi untuk waktu yang akan datang) dengan rata-rata *baseline* per data pada bulan yang sama.

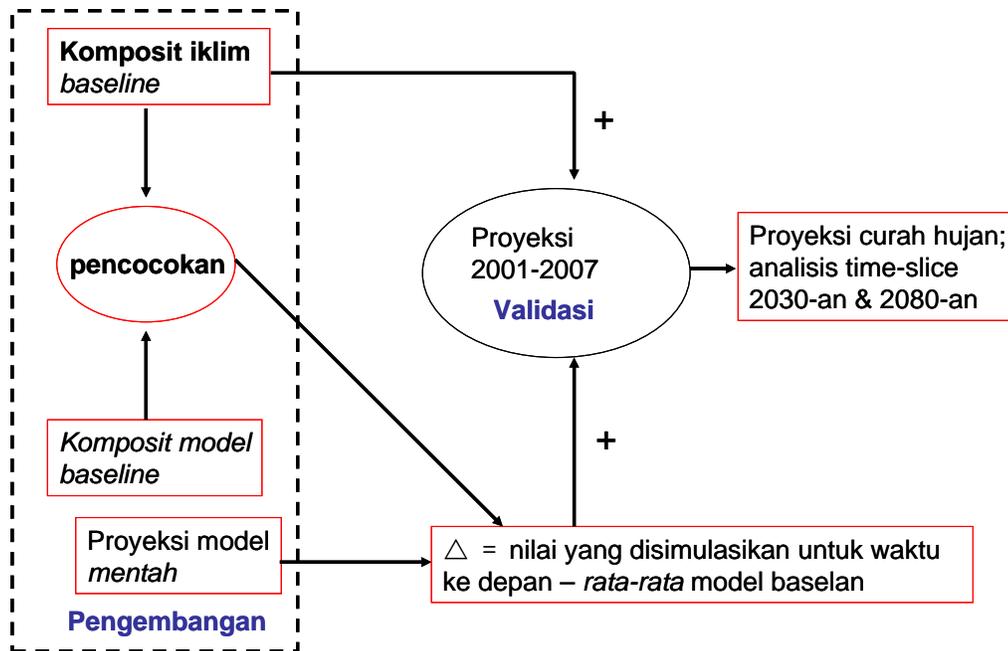
Nilai proyeksi curah hujan maupun temperatur kemudian didapatkan dengan menambahkan nilai selisih (Δ) tiap-tiap model dengan rata-rata *baseline* pengamatan. Hasil proyeksi untuk 2001-2007 dapat dibandingkan dengan hasil pengamatan sebagai validasi.



Gambar 3.4 Bagan alir metode proyeksi perubahan iklim dari data keluaran GCM (*top-down*) baik menggunakan prosedur *downscaling* standar maupun menggunakan metode alternatif (diadaptasi dari Wilby, 2004).

Gambar 3.5 secara sederhana memperlihatkan bagan alir pengerjaan proyeksi curah hujan (dan temperatur) seperti yang dijelaskan di atas. Dalam hal ini data stasiun Selaparang/Ampenan dianggap mewakili seluruh Pulau Lombok karena tidak tersedianya data observasi lain yang memadai.

Dalam analisis perubahan iklim dikenal istilah *time-slice* dan *transient experiment*. Analisis *time-slice* biasanya digunakan untuk mengetahui pola iklim rata-rata pada suatu periode tanpa terlalu melihat variasi temporal secara detil. Sebaliknya, *transient experiment* lebih ditujukan untuk memahami variasi temporal suatu parameter iklim dalam periode tertentu, misal dalam kaitannya dengan kejadian ekstrim.

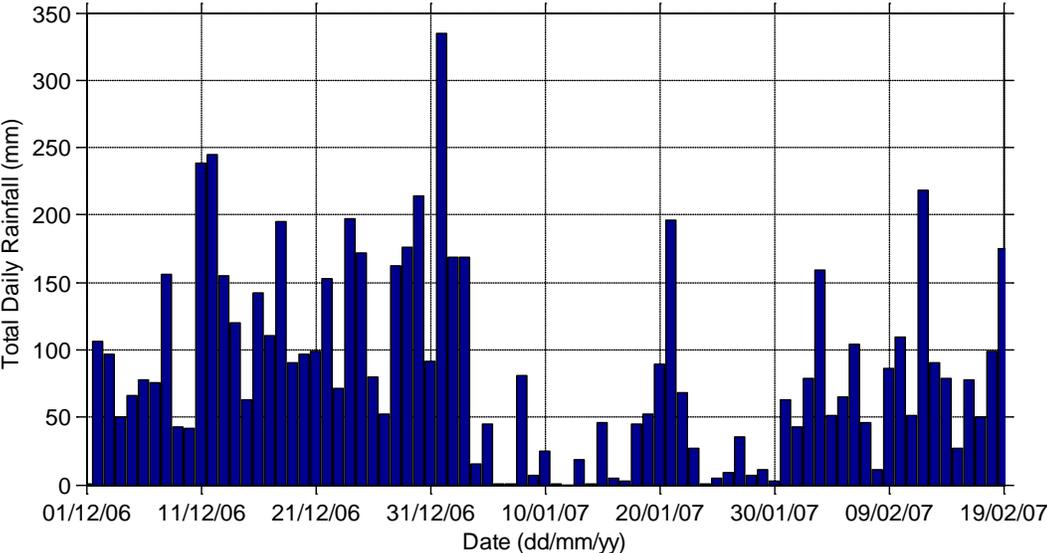


Gambar 3.5 Bagan alir metode alternatif proyeksi curah hujan (dan temperatur) P. Lombok

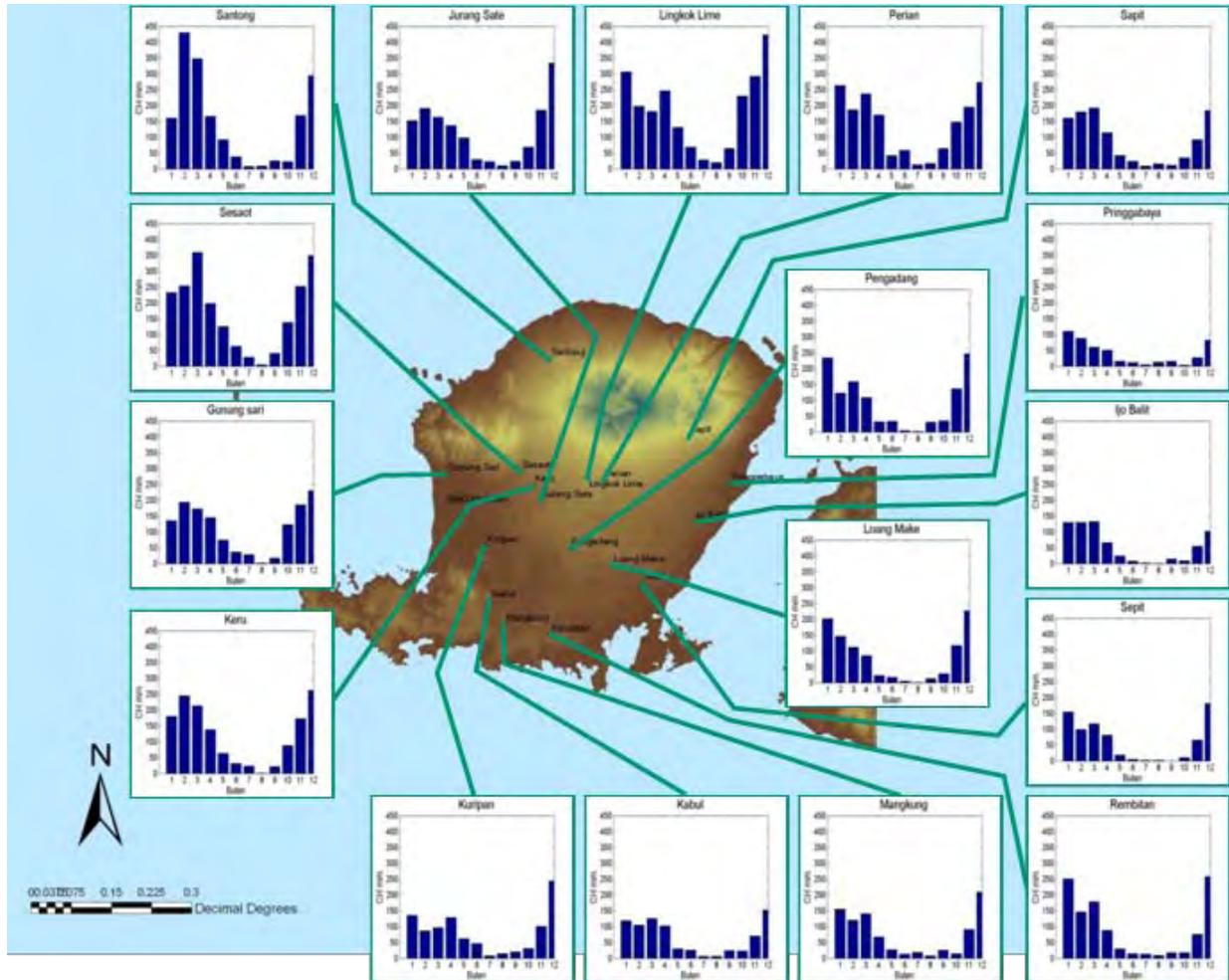
3.2 Analisis Kondisi Iklim Saat ini

Seperti dijelaskan sebelumnya, analisis kondisi iklim saat ini ditujukan untuk mengklarifikasi keberadaan anomali curah hujan bulan Januari 2007. Gambar 3.6 memperlihatkan dampak dari anomali iklim pada bulan Januari 2007 terhadap pola curah hujan dimana terlihat jelas bahwa curah hujan cukup tinggi di bulan Desember 2006 tiba-tiba menghilang dari Pulau Lombok di awal Januari 2007 dan baru muncul lagi pada bulan Februari 2007. Untuk mengetahui apakah pola anomali tersebut mempunyai presistensi klimatologis, dilakukan analisis komposit curah hujan bulanan seperti

diperlihatkan pada Gambar 3.6 yang memberikan ilustrasi mengenai Kondisi iklim saat ini di Pulau Lombok berdasarkan data pengamatan curah hujan dari PU.



Gambar 3.6 Grafik curah hujan harian total untuk seluruh Pulau Lombok yang diamati dalam periode 1 Desember 2006 sampai dengan 19 Februari 2007.



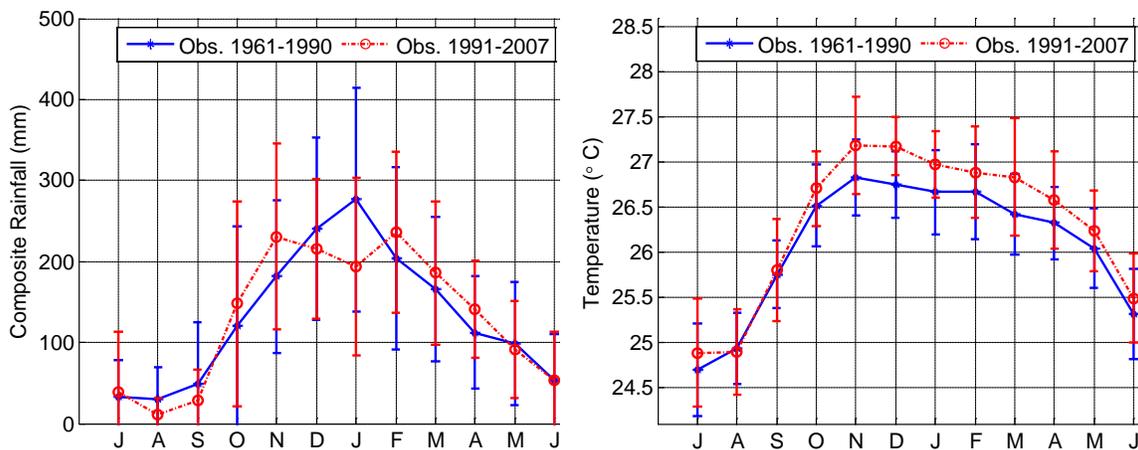
Gambar 3.7 Pola rata-rata curah hujan tahunan di 17 stasiun pengamatan di Pulau Lombok selama 2003-2007 (dari data PU). Diagram batang menunjukkan nilai curah hujan bulanan rata-rata untuk bulan Januari sampai Desember. Sumbu-y menunjukkan nilai curah hujan dari 0-400 mm.

3.3 Analisis Perubahan Iklim dari Data Observasi

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, untuk dapat mengidentifikasi adanya perubahan iklim, kita perlu membandingkan parameter statistik data iklim (curah hujan dan tempertur) untuk dua periode iklim (30 tahun) yang berbeda. Gambar 3.8 memperlihatkan grafik komposit rata-rata curah hujan bulanan untuk periode *baseline* 1961-1990 dan periode 1991-2007. Dari gambar ini dapat dilihat jelas adanya perubahan pola curah hujan terutama di bulan Januari. Jadi dibandingkan dengan

baseline, curah hujan di bulan-bulan Agustus, September (musim kering) , serta Desember, Januari (musim penghujan) cenderung berkurang, sedangkan di bulan-bulan Oktober, November, Maret, dan April (musim transisi) cenderung naik. Di musim penghujan, hanya curah hujan bulan Februari yang cenderung naik. Perlu diperhatikan juga adanya kenaikan variansi (standar deviasi) untuk curah hujan di bulan-bulan Oktober dan November.

Penurunan curah hujan di bulan Januari merupakan fitur yang konsisten karena muncul dalam dua set data yang diamati secara independen oleh PU (meskipun untuk periode yang lebih pendek) dan BMKG. Berdasarkan pendekatan Meehl (2000) dan menggunakan indikator curah hujan, maka dapat dikatakan bahwa di P. Lombok telah terjadi perubahan iklim. Meskipun demikian, pada tahap ini sulit untuk mengatakan apakah perubahan iklim ini dapat dikaitkan (diatribusikan) dengan pemanasan global. Lagipula, untuk penyusunan rencana adaptasi pengungkapan karakteristik perubahan itu sendiri secara detail lebih penting daripada atribusi perubahan iklim.



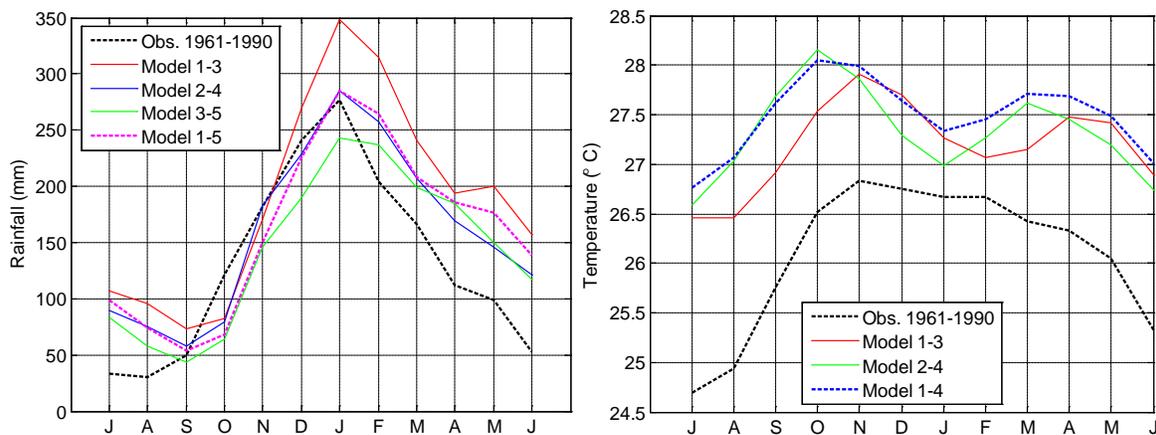
Gambar 3.8 Grafik komposit rata-rata bulanan curah hujan (kiri) dan temperatur (kanan) berdasarkan data observasi di stasiun Selaparang/Ampenan untuk periode *baseline* 1961-1990 (biru) dan 1991-2007 (merah). Garis vertikal (*error-bar*) menunjukkan standar deviasi .

Selain perubahan curah hujan, dari Gambar 3.8 terlihat pula adanya peningkatan temperatur rata-rata pada hampir setiap bulan kecuali Agustus dan September. Perubahan maksimum, berkisar 0.5° C terdapat untuk bulan Desember. Adanya

peningkatan standar deviasi temperatur untuk bulan-bulan musim kering Juli, Agustus, September juga dapat dilihat. Meskipun data pengamatan dengan cukup jelas memperlihatkan kenaikan temperatur permukaan rata-rata di P. Lombok, atribusi kepada pemanasan global masih memerlukan pembuktian lebih lanjut.

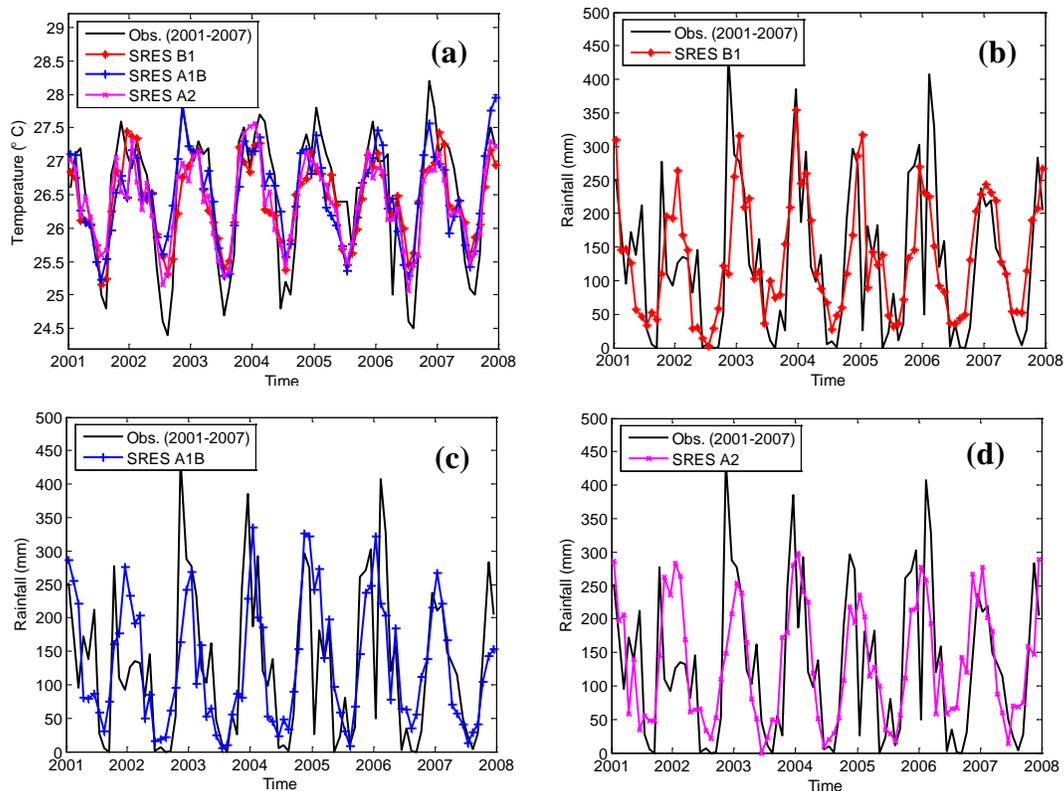
3.4 Proyeksi Temperatur dan Curah Hujan di P. Lombok Sampai 2100

Proyeksi iklim untuk P. Lombok dilakukan dengan metode seperti dijelaskan di atas. Dalam metode tersebut, seleksi model berdasarkan pencocokan pola komposit termasuk salah satu langkah penting yang harus dilakukan. Gambar 3.9 memberikan ilustrasi mengenai kecocokan kualitatif antara komposit model dengan pengamatan *baseline* (1961-1990) baik untuk curah hujan maupun temperatur. Dalam hal ini, model yang digunakan hanya dipilih lima yakni : (1)ECHAM5, (2)GFDL2.0, (3)GFDL2.1, (4)MRI, dan (5)CSIRO Mk.2 . Untuk curah hujan, kecocokan komposit paling baik didapatkan dari rata-rata kelima model tetapi untuk temperatur, tetapi untuk temperatur model CSIRO Mk. 2 tidak digunakan. Perlu dicatat bahwa kecocokan nilai kuantitatif tidak terlalu penting karena nilai proyeksi yang akan diambil adalah selisih (Δ) terhadap *baseline* yang nantinya akan ditambahkan kepada nilai rata-rata *baseline* pengamatan.



Gambar 3.9 Perbandingan pola komposit curah hujan bulanan (kiri) dan temperatur (kanan) untuk *ensemble* keluaran GCM (garis berwarna) dan observasi (garis hitam). Nomor mewakili nama model seperti dijelaskan di dalam teks.

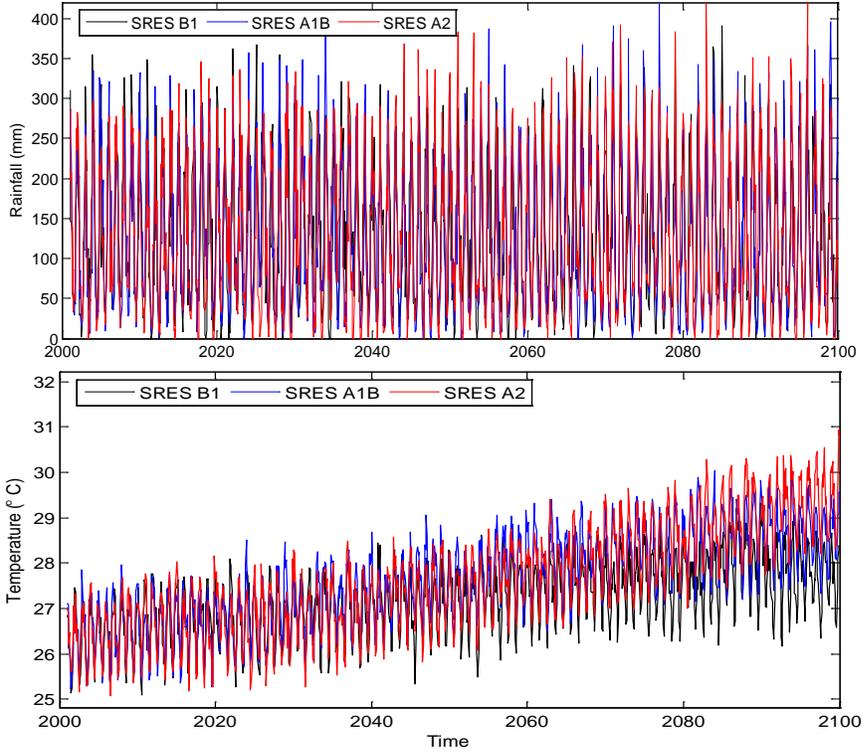
Sebagai validasi, perbandingan hasil proyeksi temperatur dan curah hujan di Pulau Lombok untuk tahun 2001-2007 dengan data pengamatan disajikan dalam Gambar 3.10. Dalam hal ini, proyeksi iklim dilakukan dengan mengambil tiga skenario emisi global berdasarkan SRES (*Special Report on Emissions Scenarios*) B1, A1B, dan A2 yang masing-masing mewakili skenario emisi rendah (550 ppm pada 2100), sedang (750 ppm pada 2100), dan tinggi (tidak mencapai stabilisasi). Dari Gambar 3.10 tersebut dapat dilihat bahwa hasil proyeksi dapat menggambarkan pola umum variasi temperatur dan curah hujan bulanan tetapi kurang akurat dalam mensimulasikan variabilitas nilai ekstrim (maksimum dan minimum).



Gambar 3.10 Grafik perbandingan antara hasil proyeksi (garis warna) dan observasi (garis hitam) untuk : (a)temperatur bulanan (tiga skenario SRES B1, A1B, dan A2), (b)curah hujan bulanan SRES B1, (c)curah hujan bulanan SRES A1B, dan (d) curah hujan bulanan SRES A2 .

Hasil proyeksi temperatur dan curah hujan dan temperatur selengkapnya sampai tahun 2100 untuk ketiga skenario SRES disajikan pada Gambar 3.11 dimana tren kenaikan temperatur akibat pemanasan global dapat dilihat dengan jelas. Berbeda dengan

temperatur, proyeksi curah hujan tidak memperlihatkan adanya tren linier melainkan menunjukkan adanya pola osilasi. Selain itu, dapat dilihat bahwa sampai tahun 2030-an tren kenaikan temperatur masih relatif sama untuk ketiga skenario. Perbedaan kenaikan temperatur antara skenario SRES A2 dengan A1B lebih terlihat jelas di dekade terakhir abad ke-21.



Gambar 3.11 Grafik *time series* proyeksi curah hujan (atas) dan temperatur (bawah) bulanan dari tahun 2001 sampai 2100.

BAB 4. ANALISIS BAHAYA PERUBAHAN IKLIM DI PULAU LOMBOK

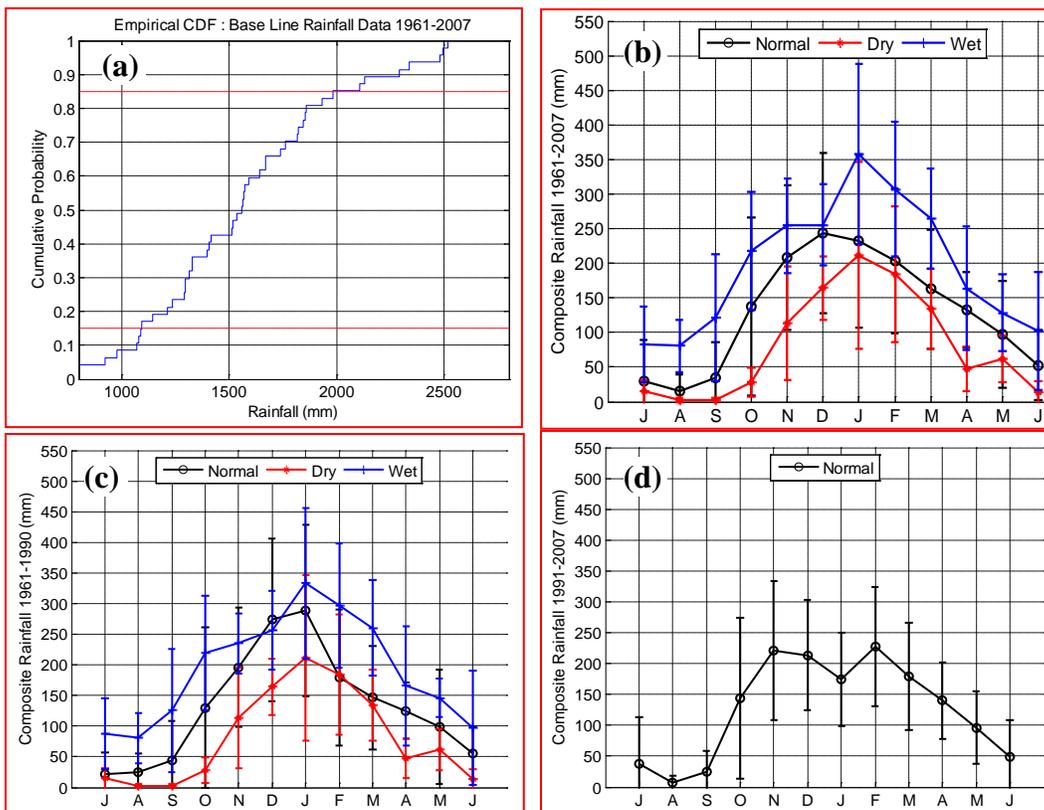
4.1 Perubahan Iklim Saat Ini

Untuk dapat lebih memahami aspek bahaya perubahan iklim yang tengah berlangsung saat ini, dilakukan analisis lebih lanjut terhadap data pengamatan curah hujan dengan cara mengklasifikasikan kondisi kering, normal, dan basah. Klasifikasi dilakukan berdasarkan nilai fungsi distribusi peluang empirik (*empirical distribution function* atau CDF). Adapun bahaya perubahan temperatur rata-rata tidak dibahas secara detil karena maksimum masih berkisar $0,5^{\circ}\text{C}$. Gambar 4.1 memperlihatkan pola curah hujan berdasarkan klasifikasi untuk data tahunan. Ini berarti masing-masing komposit mewakili kondisi tahun-tahun kering (15% terbawah), normal (antara 15-85%), dan basah (15% teratas) yang didefinisikan oleh kurva CDF. Di sini dapat dilihat bahwa kondisi periode *baseline* (1961-1990) tidak banyak berbeda dengan kondisi rata-rata seluruh tahun (1961-2007). Namun demikian, jika dilihat periode 1991-2007 saja, maka seluruh tahun diklasifikasikan ke dalam tahun normal meskipun pola penurunan curah hujan di bulan Januari tetap terlihat. Jadi, ditinjau dari jumlah curah hujan tahunan, dapat dikatakan bahwa saat ini bahaya (*hazard*) perubahan iklim.

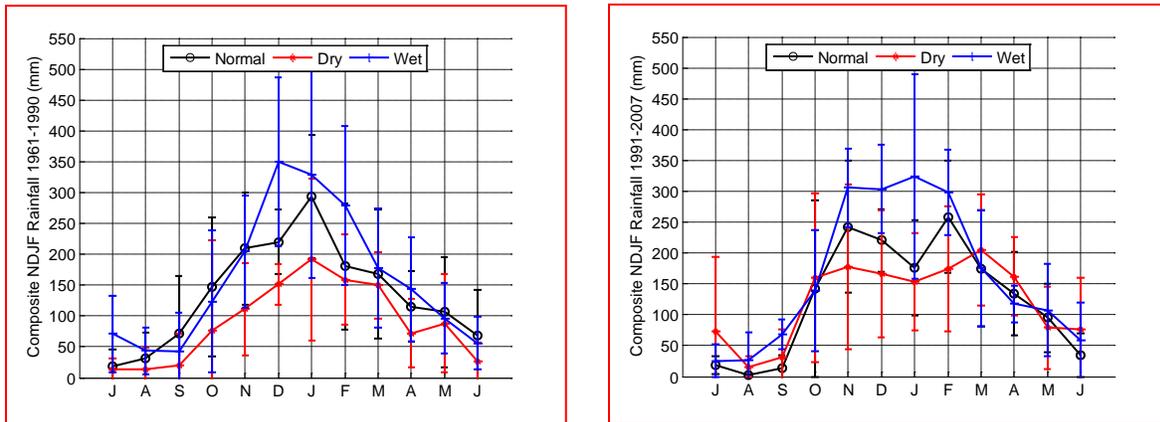
Bahaya perubahan iklim yang lebih jelas harus dilihat dengan cara lain yakni mengklasifikasikan kondisi kering, normal, dan basah berdasarkan CDF curah hujan pada musim penghujan November-Desember-Januari-Februari (NDJF) saja. Gambar 4.1 memperlihatkan pola curah hujan rata-rata untuk kondisi kering, normal, dan basah apabila diklasifikasikan berdasarkan jumlah curah hujan NDJF. Dari gambar tersebut dapat dilihat perubahan pola hujan Januari yang cukup drastis justru terjadi pada kondisi "normal" dimana pada periode 1961-1990 curah hujan Januari berkisar 300 mm tetapi pada periode 1991-2007 hanya berkisar 175 mm.

Berdasarkan analisis data curah hujan yang diamati di stasiun Selaparang/Ampenan, maka dapat dikatakan bahwa bahaya perubahan iklim saat ini adalah penurunan curah

hujan bulan Januari justru pada tahun normal. Mungkin anomali tersebut tidak terjadi setiap tahun, tetapi jika terjadi dampaknya akan sangat terasa bagi sektor pertanian seperti ketika tahun 2007. Dampak yang cukup serius akan terjadi bila tidak ada kewaspadaan terhadap kemungkinan adanya bahaya penurunan curah hujan Januari karena dilihat dari pola normal, kejadian kekeringan tersebut didahului oleh curah hujan yang cukup banyak di bulan-bulan November dan Desember. Perlu dicatat bahwa temuan ini hanya didasarkan kepada data di satu titik saja sehingga belum merepresentasikan pola spasial anomali curah hujan. Berdasarkan data curah hujan PU, anomali curah hujan bulan Januari tampaknya mempunyai efek yang lebih besar di bagian Barat Pulau Lombok. Selain itu, beberapa stasiun dengan elevasi cukup tinggi masih mencatat kejadian hujan saat berlangsungnya kekeringan di bulan Januari.



Gambar 4.1 Grafik (a) *Cumulative Distribution Function* (CDF) curah hujan tahunan stasiun Selaparang/Ampenan periode 1961-2007. Garis putus-putus merah menunjukkan batas pengelompokan 15% ke bawah (kering) dan 85% ke atas (basah), (b) pola curah hujan tahunan untuk komposit tahun kering, normal, dan basah periode 1961-2007, (c) sama dengan (b) tetapi untuk periode 1961-1990, (d) sama dengan (b) tetapi untuk periode 1991-2007.



Gambar 4.2 Sama dengan Gambar 18 (c) dan (d) tetapi menggunakan kriteria tahun kering, normal, dan basah berdasarkan curah hujan November-Desember-Januari-Februari (NDJF), mewakili periode 1961-1990 (kiri) dan 1991-2007 (kanan)

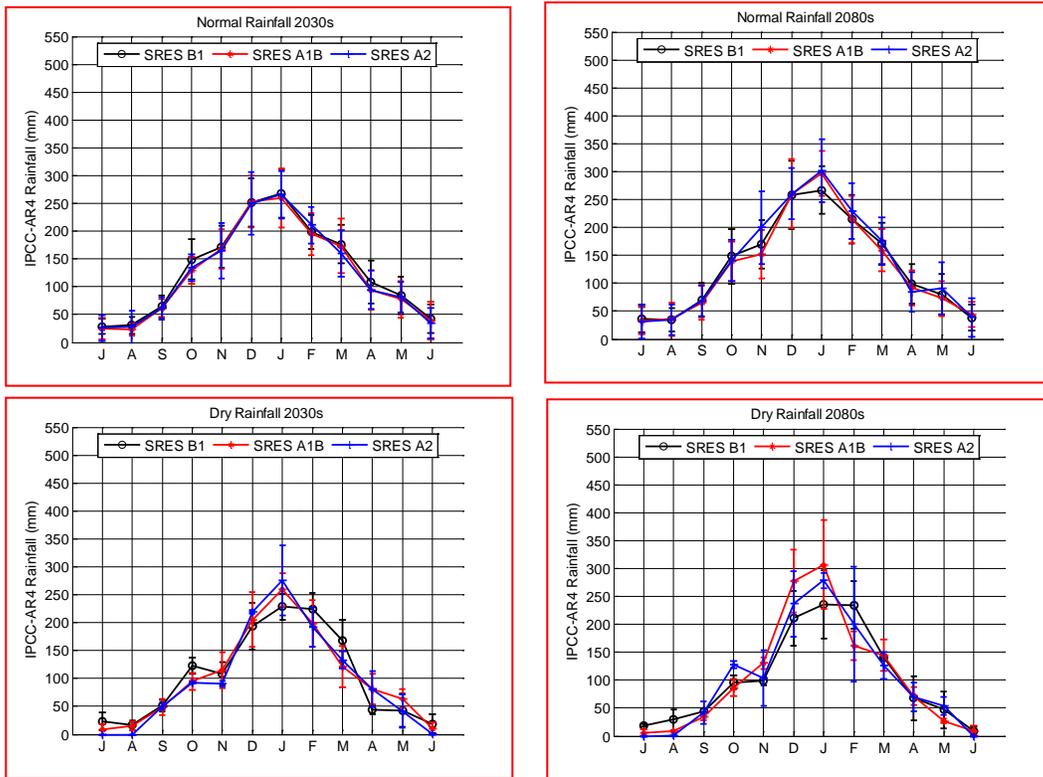
4.2 Perubahan Iklim Periode 2020-2050 dan 2070-2100

Untuk melihat potensi bahaya perubahan iklim akibat perubahan iklim pada periode yang jauh ke depan, tidak ada cara lain yang dapat dilakukan kecuali melakukan analisis terhadap data proyeksi iklim yang sudah dihasilkan. Dalam hal ini, analisis dilakukan dengan pendekatan *time-slice* untuk dua periode : (1)2020-2030, selanjutnya disebut 2030-an, dan (2)2070-2100, selanjutnya disebut 2080-an.

4.2.1 Perubahan Curah Hujan

Dari pembahasan sebelumnya, data proyeksi iklim tidak menunjukkan pola perubahan curah hujan yang jelas sampai tahun 2100. Gambar 4.3 memperlihatkan analisis komposit untuk periode 2030-an dan 2080-an untuk tahun normal dan tahun kering seperti didefinisikan sebelumnya dengan data pengamatan. Dari gambar tersebut dapat dilihat adanya perubahan pola curah hujan dimana untuk periode 2080-an curah hujan pada bulan-bulan Desember dan Januari lebih banyak dibandingkan tahun 2030-an. Hal ini lebih jelas terlihat untuk pola kondisi kering dengan skenario A1B dan A2. Perlu dicatat bahwa dengan klasifikasi normal, kering, dan basah berdasarkan data pengamatan *baseline*, hasil proyeksi iklim yang ada lebih banyak merepresentasikan

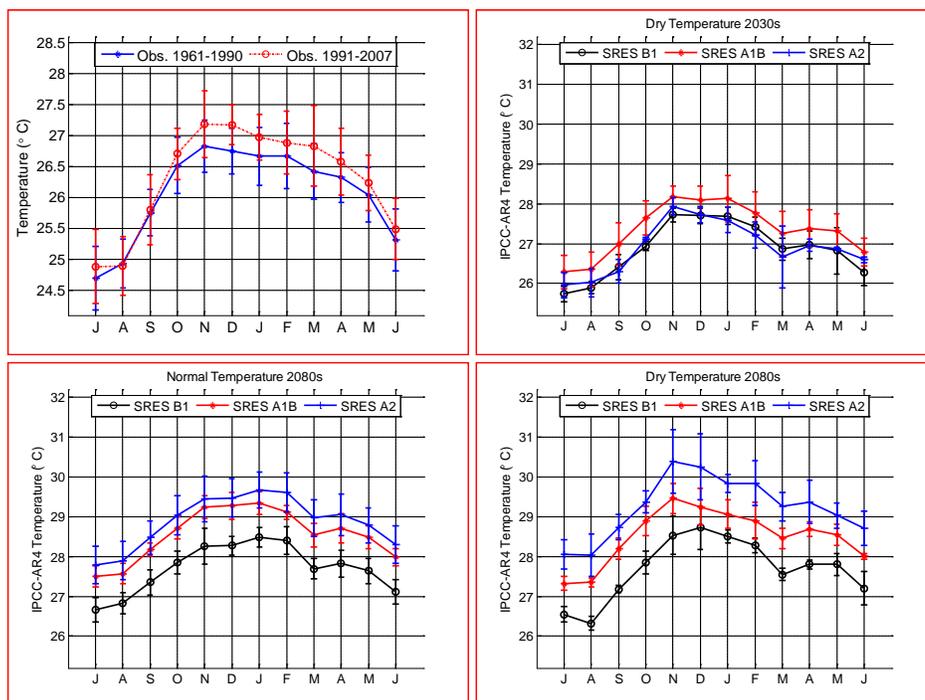
curah hujan normal dan kurang mencerminkan fluktuasi ekstrim. Meskipun demikian, dari hasil analisis ini setidaknya kita perlu mewaspadaai adanya bahaya dari perubahan pola curah hujan dengan kecenderungan untuk semakin terkonsentrasinya curah hujan di bulan-bulan Desember dan Januari akibat dari pemanasan global, terutama pada periode 2080-an. Hal yang perlu juga diperhatikan adalah proyeksi pola curah hujan dengan skenario B1, dengan konsentrasi yang relatif rendah, lebih mencerminkan kondisi saat ini (Gambar 4.1 (c)).



Gambar 4.3 Serupa dengan Gambar 19 tetapi berdasarkan data proyeksi curah hujan dengan tiga skenario SRES (B1, A1B, A2) untuk kategori normal (atas) periode 2030-an (kiri) dan 2080-an (kanan) dan kering (bawah) periode 2030-an (kiri) dan 2080-an (kanan).

4.2.2 Perubahan Temperatur

Dari pembahasan sebelumnya, diketahui bahwa data proyeksi iklim memperlihatkan tren kenaikan temperatur permukaan sampai 2100. Gambar 4.4 memperlihatkan analisis komposit untuk periode *baseline*, sekarang, 2030-an dan 2080-an. Hasil analisis menunjukkan bahwa kenaikan temperatur terbesar terjadi pada kondisi kering. Oleh karena itu, untuk periode 2030-an hanya diperlihatkan pola komposit untuk kondisi kering dimana kenaikan temperatur diproyeksikan berkisar 1°C relatif terhadap *baseline*. Hal yang menarik untuk diperhatikan adalah adanya kenaikan temperatur yang lebih besar untuk skenario A1B, meskipun perbedaan proyeksi antar skenario kurang dari $0,5^{\circ}\text{C}$. Perbedaan tersebut jauh lebih terlihat nyata untuk proyeksi periode 2080-an pada kondisi kering dimana kenaikan temperatur rata-rata relatif terhadap *baseline* berkisar 2°C (B1) sampai 3°C (A2). Jadi berdasarkan pendekatan *top-down* dari analisis keluaran GCM, kenaikan temperatur adalah bahaya (*hazard*) perubahan iklim yang paling perlu diwaspadai.



Gambar 4.4 Perbandingan komposit temperatur *baseline* (kiri atas) dan proyeksi tahun kering 2030-an (kanan atas) dan perbandingan komposit proyeksi temperatur normal 2030-an (kiri bawah) dan kering 2080-an (kanan bawah).

BAB 5. REKOMENDASI UNTUK ANALISIS RISIKO PERUBAHAN IKLIM

Dari penjelasan dan pembahasan di atas dan dari analisis data observasi iklim yang tersedia dapat disimpulkan bahwa pola iklim di Pulau Lombok saat ini telah mengalami perubahan relatif terhadap periode baseline (1961-1990) baik dilihat dari rata-rata curah hujan maupun temperatur. Suatu metode alternatif yang cukup sederhana untuk melakukan "downscaling" terhadap data keluaran GCM juga telah dikembangkan. Metode berdasarkan pencocokan pola komposit dari rata-rata *ensemble* terhadap observasi tersebut menghasilkan proyeksi curah hujan dan temperatur yang dapat mengikuti pola rata-rata observasi. Dengan metode tersebut dapat dihasilkan data proyeksi curah hujan dan temperatur di Pulau Lombok (dianggap sebagai titik) untuk periode 2001-2100.

Meskipun analisis bahaya perubahan secara umum juga telah dibahas, diperlukan lebih banyak informasi mengenai bahaya (*hazard*) untuk dapat melakukan analisis risiko terhadap perubahan iklim. Dalam beberapa kasus, informasi mengenai bahaya perubahan iklim seperti tren kenaikan temperatur dapat dianalisis secara langsung dari data proyeksi iklim. Dalam kasus lain, bahaya perubahan iklim harus dirumuskan menggunakan parameter lain yang diturunkan dari data proyeksi iklim. Rekomendasi umum mengenai pemanfaatan data proyeksi tersebut dalam analisis risiko sektor air dan pertanian disampaikan di bawah ini.

5.1 Umum untuk Sektor Air

Hasil analisis bahaya perubahan iklim dari data observasi menunjukkan bahwa untuk curah hujan tahunan kondisi iklim saat ini termasuk masuk dalam kategori normal relatif terhadap *baseline*, sedangkan kenaikan temperatur rata-rata yang tidak lebih dari 0,5° C belum cukup signifikan untuk mempengaruhi ketersediaan air. Satu hal yang mempunyai potensi dampak terhadap sektor air adalah perubahan variabilitas iklim yang

teridentifikasi dalam musim penghujan (bulan-bulan November-Desember-Januari-Februari).

Secara umum, bahaya iklim (*climatological hazard*) yang terkait dengan sektor air adalah : (1) bencana kekeringan, (2) penurunan ketersediaan air, dan (3) bencana banjir. Dari data proyeksi iklim, diketahui bahwa kenaikan temperatur akibat pemanasan iklim global dapat mencapai 3 ° C. Selain itu, dalam data proyeksi curah hujan juga terdapat kecenderungan untuk terkonsentrasinya curah hujan di bulan-bulan basah yang lebih singkat (Desember-Januari). Agar tingkat potensi bahaya tersebut dapat didefinisikan lebih baik, diperlukan analisis lebih lanjut untuk mendapatkan nilai parameter hidrologi dari data proyeksi curah hujan dan temperatur. Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah dengan perhitungan *water balance* yang dapat memberikan estimasi terhadap ketersediaan air permukaan.

Salah satu masalah yang harus diperhatikan dalam analisis risiko sektor air, dimana perhitungan *water balance* misalnya harus dilakukan untuk setiap Daerah Aliran Sungai (DAS), adalah kurangnya informasi spasial dalam data proyeksi iklim. Untuk mengatasi hal itu, dapat disarankan penggunaan data curah hujan PU dengan asumsi bahwa pola spasial tidak berubah sepanjang periode proyeksi.

5.2 Umum untuk Sektor Pertanian

Pergeseran curah hujan di bulan-bulan November-Desember-Januari-Februari yang terjadi dalam setidaknya dekade terakhir mengandung potensi bahaya yang cukup jelas untuk sektor pertanian. Penurunan curah hujan bulan Januari yang cukup presisten secara klimatologis dapat berdampak serius terhadap pertanian padi. Analisis *bottom-up* dengan membandingkan tingkat penurunan curah hujan bulan Januari dengan data produksi padi atau gagal panen misalnya dapat lebih memberikan ilustrasi mengenai adanya bahaya tersebut.

Bahaya perubahan iklim untuk sektor pertanian mungkin dapat didefinisikan secara langsung dari data proyeksi iklim atau melalui perhitungan ketersediaan air (*water balance*). Analisis dampak perubahan iklim yang lebih kompleks melibatkan penggunaan model simulasi hasil pertanian (*crop yield*) yang biasanya memerlukan data iklim lebih lengkap. Dengan keterbatasan informasi data proyeksi iklim yang ada, perlu dicari metode alternatif untuk mentransformasikannya menjadi parameter yang terkait langsung dengan pertanian. Hal ini dapat dilakukan misalnya dengan mencari model regresi sederhana antara curah hujan dan temperatur dengan produksi pertanian.

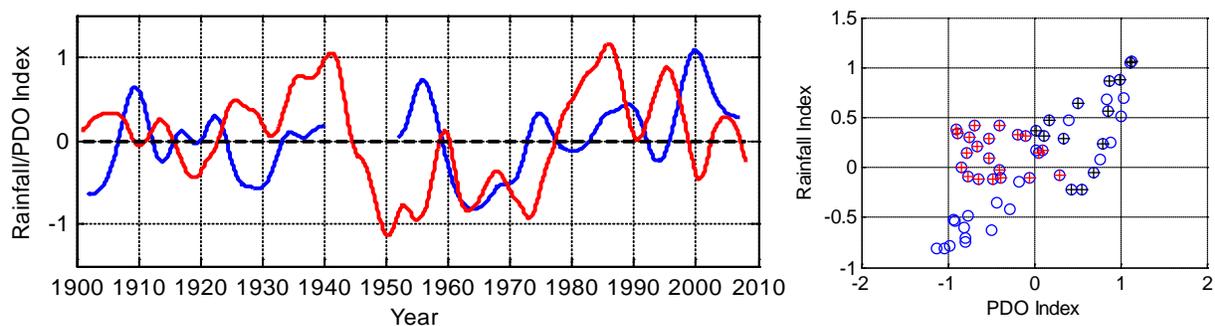
5.3 untuk Strategi Adaptasi Perubahan Iklim

Perlunya adaptasi terhadap perubahan iklim masih seringkali diperdebatkan terkait dengan isu perubahan iklim global yang juga masih menjadi topik perdebatan baik secara akademik maupun kebijakan. Perdebatan ini antara lain terkait dengan faktor ketidakpastian di dalam proyeksi iklim baik secara temporal maupun spasial. Ketidakpastian pada dasarnya merupakan salah satu unsur dalam hal perumusan kebijakan. Meskipun demikian, untuk pengambilan keputusan yang baik, ketidakpastian perlu dikuantifikasi untuk melihat skenario yang paling tinggi kemungkinan terjadinya.

Dalam kajian ini, perumusan ketidakpastian tidak banyak dibahas dan asumsi bahwa rata-rata *ensemble* keluaran GCM yang digunakan sudah mewakili peluang terbaik. Di sisi lain, hal ini lebih mempermudah interpretasi hasil proyeksi iklim dan analisis risiko untuk perumusan kebijakan karena hanya perlu mempertimbangkan tiga skenario emisi (B1, A1B, dan A2) saja. Dari pembahasan di atas, diketahui bahwa hasil proyeksi iklim sampai tahun 2100 dengan skenario emisi tinggi (A2) memperlihatkan bahaya (*hazard*) perubahan iklim yang lebih besar baik dalam bentuk kenaikan temperatur (seperti sudah dipahami secara umum) maupun perubahan pola curah hujan dimana curah hujan tahunan cenderung akan lebih banyak terkonsentrasi di dalam periode basah yang pendek (dua-tiga bulan saja). Namun demikian, hasil proyeksi iklim juga menunjukkan bahwa perubahan iklim yang signifikan baru akan terjadi pada periode 2080-an. Jadi perlukah program adaptasi diterapkan saat ini?

Munculnya isu pemanasan global dan perubahan iklim global dengan segala permasalahannya seharusnya menyadarkan kita akan pentingnya mempertimbangkan informasi cuaca dan iklim di dalam perencanaan pembangunan. Seperti diilustrasikan oleh kasus peradaban Maya pada bagian awal pendahuluan laporan ini, tanpa pemanasan global pun akan terdapat bahaya perubahan iklim yang bisa berdampak fatal terhadap keberlangsungan pembangunan apabila tidak diantisipasi dengan baik. Dalam kasus Pulau Lombok, keberadaan suatu indikator iklim global yang mempunyai telekoneksi dengan variabilitas curah hujan jangka panjang akan memberikan gambaran yang lebih nyata tentang potensi bahaya perubahan iklim saat ini.

Salah satu hasil sementara dari ka lebih lanjut yang dilakukan adalah ditemukannya korelasi yang kuat antara variabilitas curah hujan jangka panjang di Pulau Lombok dengan suatu indeks perubahan suhu muka laut di S. Pasifik yang disebut PDO (*Pacific Decadal Oscillation*), seperti diperlihatkan dalam Gambar 5.1. Penjelasan mengenai data dan metode pengolahan data untuk menghasilkan gambar tersebut dapat dibaca dalam makalah (Hadi et al, 2009) terlampir.



Gambar 5.1 Grafik indeks *Pacific Decadal Oscillation* (PDO) dan indeks curah hujan masing-masing diwakili oleh garis merah dan biru (kiri), dan *scatter plot* yang menunjukkan korelasi kedua parameter (kanan) apabila indeks PDO digeser sekitar 14 tahun ke belakang.

Dari data curah hujan dan indeks PDO yang telah dihaluskan (di-filter) ternyata didapatkan bahwa index curah hujan rata-rata tahunan menunjukkan korelasi positif yang tinggi pada *lag* (keterlambatan) sekitar 14 tahun. Meskipun tercatat adanya pembalikan fase korelasi di sekitar periode 1970-1980, setelah itu korelasi antara indeks PDO dan indeks curah hujan di Pulau Lombok kembali menunjukkan korelasi positif

yang menguat. Dalam hal ini curah hujan rata-rata pada tahun 2007, misalnya, berkorelasi dengan nilai PDO pada sekitar tahun 1993 dimana terjadi minimum lokal (Gambar 5.1). Dengan melihat korelasi tersebut dan tren perubahan indeks PDO yang bergerak menuju negatif, maka kita perlu mewaspadai fluktuasi dengan tren penurunan curah hujan tahunan yang mungkin akan berlangsung secara perlahan sampai tahun 2020-an.

Dari pembahasan di atas, dapat diketahui bahwa bahaya perubahan iklim ataupun variabilitas iklim tidak harus merupakan masalah yang muncul jauh di kemudian hari, tetapi cukup berpotensi untuk terjadi dalam rentang waktu yang dinamis. Oleh karena itu, program adaptasi perubahan iklim harus dilakukan secara seksama dengan penetapan arah prioritas yang dipandu oleh informasi iklim yang seakurat mungkin. Untuk itu, peningkatan kapasitas pengelolaan informasi iklim baik di tingkat nasional maupun daerah adalah prasyarat mutlak bagi keberhasilan program adaptasi terhadap perubahan iklim.

DAFTAR PUSTAKA

- Braak, C., 1929 : On The Climate of and Meteorological Research in The Netherlands Indies, Since in the Netherlands East Indies, Kon. Ak. Wet., I.C.O. Committee, pp. 50-64 (in Science and Scientists in the Netherlands Indies, ed. Pieter Honig and Frans Verdoorn, New York, 1945), diakses dari http://www.knaw.nl/CFdata/indonesia/honig_verdoorn_contents.cfm , 8 April 2009.
- Broek, 1944 : Diversity and Unity in Southeast Asia, Geographical Review 34:175-195 (in Science and Scientists in the Netherlands Indies, ed. Pieter Honig and Frans Verdoorn, New York, 1945), diakses dari http://www.knaw.nl/CFdata/indonesia/honig_verdoorn_contents.cfm, 8 April 2009.
- IPCC-Task Group on Data and Scenario Support for Impacts and Climate Analysis (TGCIA), 2007 : General Guidelines on The Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assesment, Version 2, pp. 66
- Meehl, G.A., F. Zwiers, J. Evans, T. Knutson, L. Mearns, and P. Whetton, 2000 : Trends in extreme weather and climate events : Issues related to modeling extremes in projections of future climate change, *Bull. Amer. Met. Soc.*, **81**(3), 413-416
- Muhammad, A. , 2007 : Strategi Adaptasi Lokal Upaya Pengarusutamaan Pada Rencana Kebijakan Pembangunan, Seminar Nasional LEAD Associates Cohort 12: Skenario Energi Indonesia & Strategi Antisipasi terhadap Perubahan Iklim, <http://www.lead.or.id/lapc12.php> (file dalam format pdf diakses pada tanggal 4 Februari 2009).
- Peterson, L., and G. Haug, 2005 : Climate and the Collapse of Maya Civilization : A series of multi-year droughts helped to doom an ancient culture, Sigma Xi, The Scientific Research Society, diakses tanggal 25 Februari 2009 dari situs

<http://www.americanscientist.org/issues/num2/2005/4/climate-and-the-collapse-of-maya-civilization/1>

San-Martin, D., A.S. Cofino, S. Herrera, and J.M. Gutierrez, 2008 : The ENSEMBLES Statistical Downscaling Portal An End-to-End Tool for Regional Impact Studies, Preprint submitted to Environmental Modelling and & Software (1 July 2008).

Schneider, S., 2002 : Can we estimate the likelihood of climatic changes at 2100?, *Climatic Change*, **52**, 441-451

Wilby, R.L., S. Charles, L.O. Mearns, P. Whetton, E. Zorito, B. Timbal, 2004 : Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods, IPCC Task Group on Data and Scenario Support for Impacts and Climate Analysis (TG CIA), (http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/guidelines/StatDown_Guide.pdf)

Wilks, D. S., 1995: Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. Academic Press, 467 pp.