

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Earth System Models (ESM)*

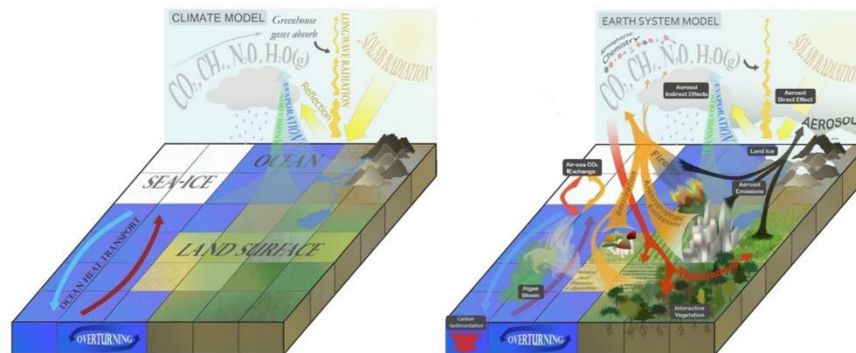
Earth System Models (ESM) berusaha untuk mensimulasikan semua aspek yang relevan dari sistem bumi. Mereka termasuk proses fisik, kimia, dan biologi oleh karena itu mencapai jauh melampaui pendahulunya, *General Circulation Models (GCM)*, yang hanya mewakili proses atmosfer dan samudera fisik konvensional (seperti angin, awan, permukaan tanah, lautan, dan es). Konsentrasi gas rumah kaca dan aerosol tidak hanya dipengaruhi oleh emisi buatan manusia, karena ini terlibat dalam reaksi fisik dan interaksi dengan komponen biologis sistem Bumi yang sangat terkait dengan sistem iklim.



Gambar 2.1. Struktur dasar ESM : kotak biru mewakili proses yang termasuk dalam model iklim; kotak hijau mewakili komponen tambahan yang mungkin disertakan dalam Earth System Models. Sumber : <https://www.cimateurope.eu/earth-system-modeling-a-definition/>

Pada intinya, ESM memiliki komponen atmosfer dan laut dari GCM, namun

untuk ini mereka menambahkan representasi dari siklus karbon global, vegetasi dinamis, kimia atmosfer, bio-geokimia laut, dan bahkan lapisan es benua.



Gambar 2.2. Fitur utama model iklim dan Earth System Models: ESM memperoleh kompleksitas dengan mempertimbangkan proses biologis dan kimia yang menjadi umpan balik fisika iklim. Sumber : ©2013 Nature Education

Alih-alih menggunakan input komposisi atmosfer yang telah ditentukan sebelumnya seperti aerosol dan gas rumah kaca, ESM dapat mensimulasikan bagaimana komponen ini berubah dari waktu ke waktu sebagai respons terhadap aktivitas antropogenik dan perubahan kondisi iklim. Oleh karena itu, perubahan iklim akan mempengaruhi konsentrasi gas rumah kaca dan aerosol yang pada gilirannya akan menjadi umpan balik terhadap iklim. Oleh karena itu, ESM dapat mewakili pengaruh manusia terhadap iklim secara lebih lengkap, misalnya dengan deforestasi dan emisi gas rumah kaca.

ESM disusun oleh seperangkat persamaan yang menggambarkan sirkulasi atmosfer dan samudera dan termodinamika, tetapi juga proses biologis dan kimia yang memberikan umpan balik ke fisika iklim, semuanya diselesaikan untuk sejumlah lokasi di ruang angkasa yang membentuk kisi tiga dimensi di atas permukaan bumi dan di bawah permukaan lautan. Menggabungkan semua aspek yang relevan dengan iklim menjadi satu dalam satu model secara komputasi sangat

menuntut dan memakan waktu. Infrastruktur komputasi yang sangat efisien diperlukan untuk memungkinkan semua modul ini berkomunikasi dan bekerja sama secara efisien.

Earth System Model (ESM) merupakan pengembangan dari model *General Central Model* (GCM) yang digunakan untuk simulasi, prediksi, dan pembuatan skenario iklim, dalam mempelajari variabilitas iklim serta mengkaji dampak perubahan iklim. Menurut IPCC (2007) skenario bukanlah metode untuk memprediksi masa mendatang tetapi untuk memahami ketidakpastian dan gambaran alternatif tentang iklim dimana yang akan datang. IPCC telah Menyusun beberapa skenario iklim untuk mengetahui proyeksi iklim global dan regional sampai tahun 2100 melalui skenario *Representative Concentration Pathway* (RCP) (Moss et al., 2010). Skenario RCP didasarkan pada *Radiative Forcing* (RF) yang ditimbulkan oleh konsentrasi gas rumah kaca. Terdapat empat skenario RCP yaitu RCP2.6, RCP 4.5, RCP 6.0, dan RCP 8.5 seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Skenario RCP

Skenario	Radiative Forcing (RF)	Konsentrasi (ppm)	Pathway
RCP 2.6	Mencapai $\sim 3\text{W/m}^2$ sebelum 2100 dan kemudian turun	Mencapai ~ 490 setara dengan CO_2 sebelum 2100 dan kemudian turun	Mencapai nilai tertinggi kemudian menurun
RCP 4.5	$\sim 4.5\text{ W/m}^2$ stabil setelah 2100	Setara dengan CO_2 ~ 650 stabil setelah 2100	Stabil tanpa melampaui
RCP 6.0	$\sim 6.0\text{ W/m}^2$ stabil setelah 20100	Serara dengan CO_2 ~ 850 stabil setelah 2100	Stabil tanpa melampaui

RCP 8.5	>8.5W/m ² pada 2100	Setara dengan CO ₂ >1370 pada 2100	Meningkat
---------	-----------------------------------	--	-----------

Sumber : Moss et al., 2010

Data skenario yang digunakan dalam penelitian ini adalah skenario *Representative Concentration Pathway* (RCP) 4.5.

2.2 *Statistical Downscaling*

Menurut Ratag (2001) data luaran *Earth System Models* (ESM) memiliki resolusi rendah yang tidak dapat memresolusikan kejadian-kejadian dalam skala lokal dari keberadaan heterogenitas topografi, vegetasi, dan komposisi tanah. Parameter-parameter skala kecil ESM dapat digunakan dalam memprediksi variabilitas dan perubahan lokal dengan syarat wilayah tersebut. Perubahan iklim yang disimulasikan terjadi pada satu *grid* kemungkinan akan berlaku secara merata pada wilayah homogen tersebut. Sebaliknya pada Kawasan dengan variasi topografi yang besar sangat dipengaruhi oleh iklim regional, sehingga dalam memprediksi variabel lokal diperlukan pendekatan *Downscaling*. *Downscaling* adalah pendekatan untuk menghasilkan model iklim resolusi tinggi berdasarkan pada informasi skala besar baik dari data analisis ulang atau model iklim global (Tang et al., 2016).

Terdapat dua jenis pendekatan *Downscaling* yaitu *Dynamical Downscaling* dan *Statistical Downscaling*. *Dynamical Downscaling* dilakukan berdasarkan hubungan fungsional antara variabel prediktor dengan skala besar dan variabel respon dengan skala kecil. Pengolahan pada *Dynamical Downscaling* memerlukan

proses yang cukup lama dengan komputasi yang cukup rumit. Sedangkan *Statistical Downscaling* merupakan pendekatan yang menggunakan data regional atau global untuk memperoleh hubungan fungsional antara skala lokal dengan skala global luaran ESM. Pendekatan *Statistical Downscaling* disusun berdasarkan adanya hubungan antara variabel prediktor dengan *grid* skala besar dan variabel respon dengan *grid* skala lokal yang dinyatakan dengan model statistik sehingga dapat digunakan untuk menerjemahkan penyimpangan-penyimpangan yang terjadi pada skala global menjadi penyimpangan dari beberapa variabel iklim lokal (Zorite dan Stroh, 1999).

Data luaran ESM secara umum merupakan data spasial dan temporal yang memiliki kemungkinan besar untuk terjadi korelasi spasial antar data pada *grid* yang berbeda dalam satu domain dan otokorelasi dalam deret waktu. Domain luaran ESM merupakan salah satu faktor dalam *Statistical Downscaling*, yaitu faktor lokasi dan luasan area permukaan atmosfer. Dalam pemodelan *Statistical Downscaling* domain sebagai variabel prediktor yang berdimensi banyak yang besar kemungkinan terjadi *curse of dimensionality*, korelasi spasial antar *grid* dalam domain dan multikolinieritas antar variabel prediktor. Semakin besar domain dan semakin banyak variabel yang digunakan akan mengakibatkan model semakin kompleks. Pendekatan *Statistical Downscaling* memanfaatkan data luaran ESM untuk melakukan peramalan iklim lokal.

Statistical Downscaling menggunakan model statistik dalam menggambarkan hubungan *grid* data pada skala global dengan *grid* data pada skala lokal untuk menerjemahkan anomali-anomali skala global menjadi anomali dari

beberapa peubah iklim lokal (Zorita & Storch, 1998). Pendekatan tersebut mencari informasi skala kecil pada informasi skala besar melalui hubungan fungsional. Namun keadaan skala lokal akan beraneka ragam meskipun memiliki skala global yang sama. Persamaan umum *Statistical Downscaling* adalah sebagai berikut (Storch, et al., 1993).

$$Y_{t,p} = f(X_{t,q,s,g}) \quad (1)$$

Keterangan :

Y = Peubah-peubah iklim lokal yang memiliki dimensi $(t \times 1)$

X = Peubah-peubah luaran *Earth System Models* (ESM) yang memiliki dimensi $(t \times p)$

t = Periode waktu bisa dalam harian ataupun bulanan

p = Banyaknya peubah Y (grid domain dalam skala besar)

q = Banyaknya peubah X

s = Banyaknya lapisan atmosfer

g = Banyaknya grid domain *Earth System Models* (ESM)

2.3 *Climate Imprint* (CI)

Climate Imprint (CI) atau disebut juga delta merupakan salah satu metode *Downscaling* yang dikenalkan oleh Hunter dan Meentemeyer (2005). Hasil metode

CI menghasilkan *Downscale* sebagai berikut:

2.3.1 Temperatur

Suhu maksimum dan minimum dihitung dengan cara yang sama seperti presipitasi, tetapi sebaliknya nilai input untuk hari tertentu dihitung sebagai perbedann antara suhu rata-rata bulanan (minimum atau maksimum) dan nilai harian yang diamati sebagai berikut :

$$T_{difference} = T_{monthly} - T_{daily} \quad (2)$$

dimana $T_{difference}$ merupakan temperature harian dari data luasan ESM (T_{daily}) dikurangi dengan temperatur bulanan ($T_{monthly}$) dari data luaran ESM. Nilai-nilai ini dimasukkan ke mmodel kriging yang menginterpolasi permukaan nilai perbedaan untuk keseluruhan posisi. Interpolasi bilinear digunakan untuk menginterpolasi permukaan grid $T_{difference}$ untuk hari tertentu yang secara visual menyerupai *output* dari metode interpolasi pada umumnya maka persamaan (2) dimodifikasi menjadi persamaan (3) untuk mendapatkan temperatur yang berskala lokal (T_{daily_obs}) yaitu sebagai berikut :

$$T_{daily_obs} = T_{monthly_obs} - T_{interpolated\ difference} \quad (3)$$

Dimana $T_{interpolated\ difference}$ merupakan hasil interpolasi bilinear dari perbedaan temperatur luaran ESM dan $T_{monthly_obs}$ merupakan temperatur bulanan dalam skala lokal.

2.4 *Quantile Mapping (QM)*

Dasanto (2014) mengatakan bahwa koreksi bias statistik dengan pendekatan *Quantile Mapping* adalah teknik membangun hubungan antara data observasi dan prediksi untuk membentuk suatu fungsi transfer tertentu [$y = f(x)$]. Fungsi tersebut menghubungkan nilai dari fungsi sebaran kumulatif (CDF) observasi dan prediksi dalam bentuk suatu persamaan $CDF_{obs}(y) = CDF_{pred}(x)$. Hubungan antara data observasi dan prediksi dapat berupa persamaan regresi linear, eksponensial atau polynomial. Metode yang menghubungkan data observasi dan prediksi banyak disebutkan dengan istilah yang berlainan seperti *statistical downscaling*, *Quantile Mapping*, *histogram Equalizing* dan *Statistical Bias Correction* (Piani, 2010). *Quantile Mapping* sebagai suatu transformasi statistik memetakan variabel model terhadap variabel observasi yang diketahui distribusinya sebagaimana pada persamaan berikut (Gudmundsson dkk., 2012).

$$X_o = F_o^{-1}(F_m(X_m)) \quad (4)$$

Keterangan :

X_m = data temperatur atau *relative humidity* rata-rata model

F_m = *Cumulative Distribution Function (CDF/quantile function)* dari X_o

X_o = data temperatur atau *relative humidity* rata-rata observasi

F_o^{-1} = *CDF invers* dari data temperatur atau *relative humidity* rata-rata observasi

2.5 Evaluasi Model

Evaluasi model digunakan untuk membandingkan PDF model prediksi sebelum dan sesudah terkoreksi.

Setelah itu, perbandingan model sebelum dan sesudah dikoreksi akan dievaluasi menggunakan *Root Means Square Error Prediction* (RMSEP) sebagai berikut :

$$RMSEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2}{n}} \quad (5)$$

Keterangan :

\hat{x}_i = data hasil bias terkoreksi

x_i = data reanalisis atau data MERRA-2

Root Means Square Error Prediction (RMSEP) digunakan untuk mengukur perbedaan antara nilai prediksi dengan nilai aktual, yang dimana jika nilai yang dihasilkan semakin kecil maka pola yang dihasilkan akan semakin baik.

2.6 Kenyamanan Iklim dan Termal

Iklim merupakan suatu kondisi cuaca berdasarkan periode yang berjangka. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup (2009), iklim terdiri dari unsur-unsur iklim seperti temperatur, *relative humidity*, curah hujan, angin dalam rentan waktu

dari harian hingga jutaan tahun. Menurut Kartasapoetra (2004), ada beberapa macam unsur iklim, yaitu :

1. Lama penyinaran matahari yang sangat bergantung pada letak posisi bumi yang mengelilingi matahari, dimana tergantung pada jarak dari matahari, lama penyinaran matahari, intensitas radiasi matahari, dan hari/durasi serta atmosfer.
2. Temperatur adalah satuan derajat yang bisa panas atau dingin dan diukur menggunakan thermometer. Satuan suhu yang biasa digunakan adalah derajat celcius ($^{\circ}\text{C}$) dan Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$).
3. Kelembaban udara atau *relative humidity* mengandung kadar uap air yang berada di udara. Umumnya kelembaban tinggi berada di khatulistiwa sedangkan kelembaban terendah berada pada lintang 40°C . kelembaban biasanya memiliki nilai yang tinggi saat hujan dan rendah saat kemarau.
4. Hujan merupakan bentuk presipitasi uap air yang berasal dari awan yang terdapat di atmosfer dengan satuan mm. Bentuk lainnya seperti salju es. Terjadinya hujan dikarenakan ada titik-titik kondensasi, asam belerang, debu, dan amoniak.
5. Angin merupakan gerakan atau perpindahan masa udara dari satu tempat ke tempat lain secara horizontal. Angin memiliki arah dan kecepatan.

Kenyamanan termal adalah sensasi nyaman manusia dengan lingkungan setempat (Nugroho, 2011). Manusia bisa disebut nyaman secara termal apabila ia tidak membutuhkan sesuatu untuk meningkatkan ataupun menurunkan suhu di

suatu ruangan dalam maupun luar (McIntyre, 1980). Titik kenyamanan adalah dimana manusia dapat mereduksi tenaga yang harus dikeluarkan dari tubuh dalam mengadaptasikan dirinya terhadap lingkungan sekitarnya (Olgyay, 1963).

Menurut Auliciems dan Szokolay (2007) faktor-faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal yaitu:

1. Suhu udara atau temperature

Suhu udara merupakan salah satu faktor dengan menggunakan thermometer untuk menentukan kenyamanan termal. Satuan yang digunakan untuk temperatur udara adalah Celcius, Fahrenheit, Reamor, dan Celvin.

2. Kelembaban Udara

Kelembaban udara mengandung uap air yang ada di dalam udara, namun kelembaban relatif adalah rasio antara jumlah maksimum uap dengan jumlah uap air di udara dapat ditampung di udara pada temperatur tertentu.

3. Kecepatan Angin

Kecepatan angin adalah kecepatan aliran udara dengan faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan angin berupa gradien barometris, lokasi, tinggi lokasi, dan waktu.

2.7 *Temperature Humidity Index (THI)*

Metode *Temperature Humidity Index (THI)* merupakan metode yang

digunakan untuk mengetahui suatu kenyamanan iklim di wilayah tertentu dan sudah banyak digunakan di daerah tropis. Temperatur merupakan parameter iklim yang mempengaruhi kenyamanan manusia. Semakin tinggi temperatur maka akan timbul sensasi panas yang dirasakan manusia tetapi sebaliknya semakin rendah suhu akan terasa dingin (Hidayat, 2010). Kenyamanan pada dasarnya tidak hanya dipengaruhi oleh temperatur saja akan tetapi juga dipengaruhi oleh parameter iklim lain. Parameter iklim lainnya adalah angin. Angin dapat membawa udara panas ke tempat lain mencampurkan antara udara panas dan udara dingin serta udara lembab dan udara kerin (Lakitan, 2002). Data tersebut merupakan data sekunder yang diperoleh dari data reanalisis. Hasil perhitungan dipresentasikan ke dalam kategori yang nantinya menghasilkan indeks kenyamanan yang dirasakan manusia yang bersifat objektif (Tjasyono, 1996).

Penentuan indeks kenyamanan berdasarkan metode THI dikembangkan oleh Nieuwolt (1997) dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$THI = (0,8 \times T) + \left\{ \frac{RH \times T}{500} \right\} \quad (6)$$

Keterangan :

T = temperatur (°C)

RH = *Relative Humidity* (%)

THI = *Thermal Humidity Index* (THI)/ Indeks Kenyamanan (°C)

Kemudian nilai indeks kenyamanan digunakan untuk menentukan kategori

kenyamanan di wilayah kajian. Emmanuel (2005) mengategorikan kenyamanan berdasarkan penilaian responden yang kemudian didapat kategori berdasarkan rentang nilai THI yang terdapat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Kategori kenyamanan berdasarkan nilai THI

Nilai Index	Tingkat Kenyamanan Iklim
21-24	Nyaman
25-26	Setengah Tidak Nyaman
>26	Tidak Nyaman

Sumber : Niewolt and Mc Gregor (1998).

