

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 1.1 *Statistical Downscaling*

Teknik *downscaling* adalah suatu proses transformasi data dari suatu grid dengan unit skala besar menjadi data pada grid dengan unit skala yg lebih kecil (Wigena, 2006). Sedangkan menurut (Sutikno, 2008) *Downscaling* didefinisikan sebagai upaya menghubungkan antara sirkulasi peubah skala global (peubah penjas) dan peubah skala lokal (peubah respon). *Downscaling* didasarkan pada asumsi bahwa iklim lokal terpengaruh melalui iklim bumi dan benua (Sutikno, 2008). Iklim regional yang berinteraksi antara atmosfer seperti medan, lautan, sirkulasi spesifik (topikal), vegetasi dan distribusi penggunaan lahan.

Model berskala lokal memiliki resolusi tinggi dengan ukuran grid lebih kecil dari pada grid dari ESM dapat memperhitungkan topografi lokal, vegetasi, dan jenis tanah, serta mentranslasikan hasil prediksi ESM pada skala local. *Downscaling* dibagi menjadi empat kategori yaitu, metode regresi, pendekatan berbasis pola cuaca, generator cuaca stokastik dan model area terbatas. Terdapat dua jenis pendekatan *downscaling* yaitu *Dynamical Downscaling* dan *Statistical Downscaling* (Wilby.et al, 1997). *Dynamical downscaling* dilakukan dengan cara menetapkan ESM terserang dengan resolusi spasial yang lebih tinggi, sedangkan

SD berdasarkan hubungan fungsional antara prediktor berskala besar dan variabel respon berskala kecil.

Busuioc (2001) menyatakan bahwa model SD akan memberikan hasil yang baik jika memenuhi 3 syarat utama berikut :

1. Hubungan antar respon (skala local) dengan predicator (skala global) harus kuat untuk menjelaskan keragaman iklim local dengan baik.
2. Peubah prediktor harus disimulasikan dengan baik oleh ESM.
3. Hubungan antara respon dengan predicator tidak berubah dengan adanya perubahan waktu dan tetap sama meskipun perubahan iklim di masa depan.

Hubungan antara data skala lokal dan data skala global perlu dieksplorasi sebelumnya melalui fungsi korelasi silang (*cross correlation function*) untuk menentukan pergeseran waktu (*time lag*) saat terjadi korelasi tertinggi. Untuk permodelan SD lebih didukung dengan korelasi yang kuat antara temperature, curah hujan dengan luaran ESM (Wigena, 2006).

## 1.2 Climate-Impirint

Metode *downscaling Climate Imprint* (CI) atau disebut juga delta yang merupakan metode CI untuk menghasilkan downscale untuk curah hujan dan temperatur. (Hunter dan Meentemeyer, 2005).

Perhitungan temperatur minimum dan maksimal dihitung dengan cara yang sama seperti curah hujan, namun dalam input harian sebagai perbedaan antara suhu rata-rata bulanan (minimum atau maksimal) dan nilai harian yang diamati,

$$T_{difference} = T_{monthly} - T_{daily} \quad (2.3)$$

$T_{difference}$  adalah temperatur harian data luaran ESM ( $T_{daily}$ ) dikurangi dengan temperatur bulanan ( $T_{monthly}$ ) data luaran ESM. Interpolasi bilinear digunakan untuk menginterpolasi permukaan grid  $T_{difference}$  untuk hari tertentu yang secara visual menyerupai output dari metode interpolasi pada umumnya, maka persamaan 2.3 dimodifikasi menjadi persamaan 2.4 untuk mendapatkan temperatur bersekala lokal ( $T_{daily\_obs}$ ).

$$T_{daily\_obs} = T_{monthly\_obs} - T_{interpolated\ difference} \quad (2.4)$$

dengan  $T_{interpolated\ difference}$  adalah hasil interpolasi bilinear dari perbedaan temperatur luaran ESM dan  $T_{monthly\_obs}$  adalah temperatur bulanan skala lokal.

### 1.3 Regresi Nonparametrik

Regresi merupakan analisis untuk mengetahui pengaruh antara variabel dependen dan variabel independen. Model persamaan regresi:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_p x_{pi} + \varepsilon_i \quad (2.5)$$

dengan,  $y_i$  merupakan variabel dependen,  $x$  adalah variabel independen. Jika ingin mencari pola hubungan antara variabel independen dengan variabel dependen ( $y$ ), dimana bentuk kurva regresinya tidak diketahui maka metode yang digunakan adalah dengan pendekatan regresi nonparametrik

Regresi nonparametrik adalah salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui pola hubungan antara variabel respon dan prediktor dimana fungsi dari kurva regresi tidak diketahui (Litawati & Budiantara, 2013). Model regresi nonparametrik dapat berbentuk fungsi apa saja, baik linear ataupun nonlinear.

Regresi nonparametrik sangat memperhatikan fleksibilitas, dan hanya diasumsikan bentuk fungsinya yang terlalu mulus (Eubank, 1988). Model umum regresi nonparametrik adalah sebagai berikut:

$$y_i = f(x_i) + \varepsilon_i \quad (2.6)$$

dengan,

$f(x_i)$  = fungsi regresi

$\varepsilon_i$  = error

Pada regresi nonparametrik, data dapat mencari sendiri bentuk estimasi kurva regresinya tanpa dipengaruhi faktor subyektifitas peneliti (Rachman, 2018). Fungsi regresi  $f$  pada model regresi nonparametrik memiliki fleksibilitas yang tinggi dalam mengestimasi fungsi regresinya karena diasumsikan mulus fungsi yang mulus. Adapun model regresi nonparametrik yang sering digunakan banyak peneliti antara lain *Spline*, polinomial lokal, deret *ohogonal*, deret fourier, *walvelets* dan MARS. Tetapi untuk penelitian ini saya menggunakan dengan pendekatan regresi nonparametrik dengan deret fourier.

#### 1.4 Deret Fourier

Deret Fourier merupakan suatu deret tak hingga dengan suku-suku memuat komponen trigonometri, sinus-cosinus, yang konvergen ke suatu fungsi periodik.

Fungsi deret fourier adalah sebagai berikut:

$$f(t) = \frac{1}{2} a_0 + yt + \sum_{k=1}^k a_k \cos\left(\frac{2\pi kt}{2L}\right) + \hat{b}_k \sin\left(\frac{2\pi kt}{2L}\right) \quad (2.7)$$

Jika fungsi  $f(t)$  pada interval  $(-L, L)$  dan diluar selang ini oleh  $f(t \pm 2L) = f(t)$  sehingga  $f(t)$  merupakan fungsi periodik dengan periode  $2L$ .  $f(t)$  dapat direpresentasikan dengan deret perluasan fourier sebagai berikut :

$$f(t) = \frac{1}{2}a_0 + yt + \sum_{k=1}^{\infty} a_j \cos\left(\frac{2\pi kt}{2L}\right) + b_j \quad (2.8)$$

$$f(t) = \frac{1}{2}a_0 + yt + \sum_{k=1}^{\infty} a_j \cos\left(\frac{\pi kt}{2L}\right) + b_j \quad (2.9)$$

$$a_k = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) \cos\left(\frac{\pi kt}{2L}\right) dt, k = 1, 2, 3, \dots \quad (2.10)$$

$$a_k = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) \sin\left(\frac{\pi kt}{2L}\right) dt, k = 1, 2, 3, \dots \quad (2.11)$$

Nilai  $\frac{2\pi}{T}$  (Dengan T adalah periode  $f(t)$  merupakan pengali agar  $t$  dalam satuan radian. Diberikan n data pengamatan  $\{(t_i, y_i)\}_{i=1}^n$  yang memenuhi persamaan diatas.

Jika  $T_i \in [-L, L]$  dan  $Y_i \in R$  dan diasumsikan periode  $f(t)$  dapat didekati oleh deret fourier yang didefinisikan sebagai berikut :

$$f(t) = \frac{1}{2}a_0 + yt + \sum_{k=1}^k a_k \cos\left(\frac{2\pi kt}{2L}\right) \quad (2.12)$$

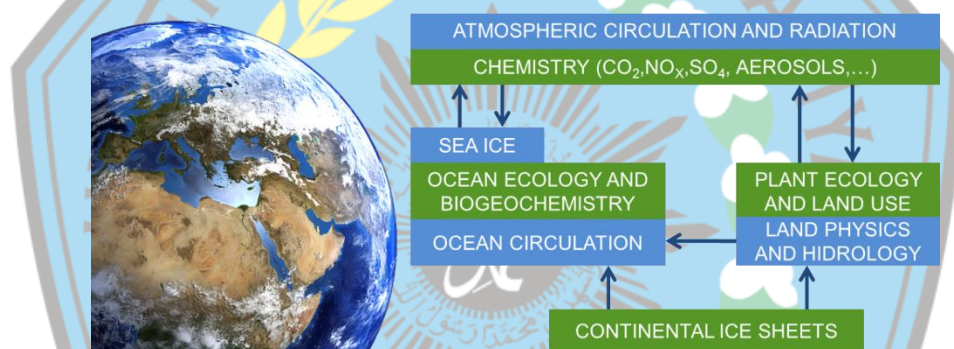
Dengan  $a_0, a_k$  dan  $b_k$  adalah koefisien fourier (Asrini,2012).

Tingkat kemulusan estimator deret fourier ditentukan oleh pemilihan parameter pemulus K. Semakin kecil parameter pemulus K, semakin kurang mulus estimasi dari  $f$ . Oleh karena itu perlu dipilih K yang optimal.



## 1.5 *Earth System Model (ESM)*

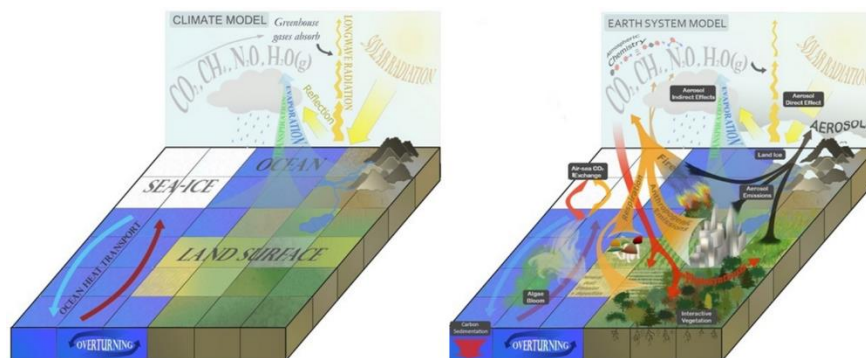
*Earth System Model (ESM)* adalah model iklim sistem global dengan kemampuan tambahan, dan menambahkan beberapa proses biogeokimia yang berinteraksi dengan iklim fisik dan merupakan perbalikan dari model sebelumnya yaitu *General Circulation Models (GCM)*. Proses yang terdapat pada ESM diantaranya fisik, kimia, biologis. ESM dikembangkan untuk simulasi, prediksi, dan pembuatan skenario iklim, serta digunakan untuk mempelajari variabilitas iklim dan mengkaji dampak perubahan iklim



**Gambar 2. 1 Struktur dasar Model Sistem Bumi**

**Sumber:** ©2013 Nature Education

Menurut *Climate Europe Linking science and society (CELSS)* 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 model sistem bumi

Sumber: ©2013 Nature Education

*Earth System Model* (ESM) dapat mensimulasikan bagaimana komponen berubah seiring 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 memberi umpan balik kepada iklim. Karenanya ESM mampu mewakili pengaruh manusia terhadap iklim secara lebih lengkap. *Earth System Model* (ESM) disusun oleh seperangkat persamaan yang menggambarkan sirkulasi atmosfer dan samudera dan termodinamika, tetapi juga proses biologis dan kimia yang memberi umpan balik kepada fisika iklim, semuanya diselesaikan untuk sejumlah lokasi di ruang angkasa yang membentuk kisi tiga dimensi di atas permukaan Bumi dan dibawah permukaan lautan

ESM merupakan pengembangan dari model GCM yang digunakan untuk mengkaji tentang perubahan iklim. Menurut IPCC (2007) skenario bukanlah metode untuk memprediksi masa mendatang tetapi untuk memahami ketidakpastian dan gambaran alternative tentang iklim dimasa yang akan datang. IPCC telah menyusun beberapa skenario iklim untuk mengetahui proyeksi iklim

global dan regional tahun 2100 melalui skenario Representative Concentration Pathway (RCP). Terdapat empat skenario RCP, RCP 2.6, RCP 4.5 RCP 6.0 dan RCP 8.5, akan tetapi dalam penelitian ini hanya menggunakan skenario RCP 4.5.

**Tabel 2.1 Skenario RCP**

Skenario	<i>Radiative Forcing</i>	Konsentrasi (ppm)	<i>Pathway</i>
RCP 2.6	Mencapai -3W/m Sebelum 2100 dan kemudian turun	Mencapai ~490 setara dengan CO2 sebelum 2100 dan kemudian turun	Mencapai nilai tertinggi kemudian menurun
RCP 4.5	~4.5 W/m <sup>2</sup> Stabil setelah 2100	Setara dengan CO2 ~650 setabil setelah 2100	Stabil tanpa melampaui
RCP 6.0	~6.0 W/m <sup>2</sup> Stabil setelah 2100	Setara dengan CO2 ~850 setabil setelah 2100	Stabil tanpa melampaui
RCP 8.5	>8.5 W/m <sup>2</sup> pada 2100	Setara dengan CO2 >1370 pada 2100	Meningkat

Sumber : Moss et al., 2010



## 1.6 Kenyamanan Iklim dan Termal

Iklim adalah suatu keadaan dimana rata-rata dari cuaca di suatu daerah di dalam periode tertentu. Sedangkan pengertian dari cuaca yaitu keadaan atmosfer selama periode dalam waktu yang singkat. Iklim dapat dinyatakan sebagai nilai statistik cuaca jangka panjang dari suatu wilayah.

**Tabel 2.1 Aspek Kenyamanan iklim dan pengaruhnya**

<b>Aspek Iklim</b>	<b>Dampak</b>
<b>Termal</b> Efek suhu udara, kelembaban, kecepatan angin, radiasi gelombang	<b>Dampak fisiologi signifikan</b> Sensasi panas, kenyamanan termal dan stres secara psikologi akibat iklim
<b>Fisik</b> Angin Hujan Salju Es Kualitas udara Radiasi UV	<b>Dampak fisik</b> Membawa debu, pasir dan merusak properti Basah, mengurangi jarak pandang Mengurangi aktivitas outdoor Cedera dan kerusakan properti Kesehatan, alergi dan kesejahteraan Kesehatan dan kulit terbakar saat berjemur
<b>Estetika</b> Lama penyinaran/penutupan awan Visibilitas Panjang hari	<b>Dampak psikologi</b> Daya tarik dan kenikmatan Daya tarik dan kenikmatan Periode kegiatan dan kenyamanan

Sumber:(De Freitas, 2003)

Tabel 2.1 menjelaskan tentang kenyamanan dalam melakukan aktivitas di dalam maupun di luar gedung dapat dilakukan dalam pendekatan iklim lingkungan yang ada (Frick, 2007). Termal adalah sebuah proses dimana kolom udara naik pada ketinggian rendah atmosfer bumi yang dibentuk oleh penghangatan permukaan bumi dari radiasi matahari (Santoso, 2012). Seperti contohnya matahari menghangatkan daratan, yang akhirnya menghangatkan udara yang berada di atasnya. Terdapat tiga macam pendekatan dari kenyamanan termal yaitu: pendekatan *thermophysiological*, pendekatan *heat balance* dan pendekatan psikologis (Hoppe, 2002). ISO 7730 Menyatakan bahwa kondisi dari pikiran manusia yang mengekspresikan kepuasan terhadap lingkungan termal. ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating Air Conditioning Engineer) menyebutkan bahwa kenyamanan termal adalah dimana kondisi pikir yang mengekspresikan kepuasan seseorang terhadap lingkungan termalnya dengan sebuah tingkatan. Dari kesimpulan diatas (Lechner,2015) terdapat empat kenyamanan termal yang dirangkum dalam aspek kenyamanan termal.

1. Suhu udara Sebanyak 80% orang memilih tingkat kenyamanan termal berada pada suhu 20°C saat musim dingin dan 25,5°C pada saat musim panas.
2. Kelembaban dapat terlihat ketika terjadinya penguapan air dari kulit. Ketika kelembaban relatif 100%, maka penguapan dapat menyejukan badan. Kelembaban yang ideal yaitu di bawah 80% saat musim dingin dan dibawah 60% disaat musim panas. Semakin tinggi tingkat kelembaban akan semakin terasa tidak nyaman.

3. Kecepatan udara menghilangkan panas baik secara konveksi maupun penguapan. Kecepatan dari udara tersebut dapat dikatakan nyaman jika kecepatannya sebesar 20 sampai 60 fpm.
4. *Mean Radian Temperature* (MRT) disebutkan sebagai temperatur yang seragam dari keadaan semu, perpindahan radiasi panas dari tubuh manusia sama dengan perpindahan radiasi panas dari keadaan sesungguhnya.

Tingkat kenyamanan termal dinyatakan dengan menggunakan metode indeks PET dengan menggunakan program *RayMan*, yang dikembangkan untuk menentukan indeks kenyamanan termal suatu lingkungan dengan berdasar pada factor iklim.

**Tabel 2.2 Persepsi tekanan fisiologi yang dirasakan manusia dalam PET**

PET (°C)	Persepsi Termal	Tingkat tekanan Fisiologi
1 - 4	sangat dingin	dingin yang ekstrem
5 - 8	Dingin	dingin yang kuat
9 - 13	Sejuk	dingin yang sedang
14 - 18	agak sejuk	agak dingin
19 - 23	Nyaman	tidak ada tekanan termal
24 - 29	agak hangat	agak panas
30 - 35	Hangat	panas yang sedang
36 - 41	Panas	panas yang kuat
≥ 42	sangat panas	panas yang ekstrim

Sumber: Sugeng Nugroho, 2011

Dari tabel 2.2 juga dapat diartikan bahwa kenyamanan termal suatu individu sangat berpengaruh terhadap aktivitas kegiatan individu, dibutuhkan skenario perubahan iklim agar kenyamanan termal dan iklim individu selalu stabil dengan proyeksi perubahan iklim. Kenyamanan termal di Indonesia dengan cuaca yang diperlukan yaitu suhu udara berada di antara 24°C sampai dengan 26°C. Latifah (2015) menyatakan kelembapan ideal berada pada nilai 40% – 60% serta kecepatan udara berkisar antara 0,6 m/s – 1,5 m/s

### 1.7 *Temperature Humadity Index (THI)*

Indeks kenyamanan manusia ditentukan dari energi panas yang diterima oleh manusia dalam melakukan segala aktivitas. *Temperature Humidity index* merupakan indeks kenyamanan yang menggabungkan faktor suhu udara dan suhu bola basah yang kemudian Nieuwolt memodifikasi THI dengan mengombinasikan suhu udara dan kelembaban relatif dalam bentuk persamaan (Kakon et al. 2010) THI menjadi bagian dari indikator kenyamanan manusia yang berfokus pada suhu dan kelembaban relatif.

Suhu dan udara memiliki kaitan dengan kenyamanan. Suhu menjadi parameter iklim yang sangat berpengaruh terhadap kenyamanan yang dirasakan oleh manusia. Semakin meningkat suhu udara hingga melebihi batas tertentu, nyaman yang dirasakan oleh manusia akan semakin berkurang karena sensasi panas dari suhu udara akan terlalu besar dirasakan manusia. Sebaliknya semakin menurun suhu hingga batas tertentu, maka kenyamanan yang dirasakan manusia juga akan semakin menurun karena terlalu dingin (Hidayat 2010). Kenyamanan

pada dasarnya tidak hanya dipengaruhi suhu udara saja tetapi juga di pengaruhi parameter iklim lain dan subjek yang merasakan kenyamanan. Parameter iklim yang juga berpengaruh terhadap kenyamanan manusia adalah angin. Angin dapat membawa udara panas ke tempat lain mencampurkan antara udara panas dan udara dingin serta udara lembab dan udara kering (Lakitan 2002). Penentuan indeks kenyamanan berdasarkan metode THI menghubungkan antara kondisi suhu dan kelembaban relatif di wilayah kajian yang dikembangkan (Nieuwolt 1977) dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$THI = (0,8T) + \frac{RH \times T}{500} \dots \quad 2.13$$

THI : Temperature Humadity Index

T : Suhu udara (°C)

RH : Kelembaban udara (%)

Nilai indeks kenyamanan yang digunakan untuk menentukan kategori kenyamanan didapat dengan mengubungkan penilaian responden manusia sehingga didapat rentang sebagai berikut (Emmanuel 2005):

$$21 \leq THI \leq 24 = \text{nyaman}$$

$$24 < THI \leq 27 = \text{cukup nyaman}$$

$$THI > 27 = \text{tidak merasa nyaman}$$



Nilai THI untuk menentukan kenyamanan manusia didapatkan bersumber dari fisiologi manusia yang dihubungkan dengan kondisi lingkungan sekitar manusia tersebut.

