

PENENTUAN PREDIKTOR UNTUK PREDIKSI CURAH HUJAN BULANAN MENGGUNAKAN METODE STATISTICAL DYNAMICAL DOWNSCALING

Dodo Gunawan, Utoyo Ajie Linarka

Puslitbang BMKG, Jl. Angkasa 1 No.2 Kemayoran, Jakarta

Email: dgunawan@yahoo.com

ABSTRAK

Pemilihan prediktor terbaik untuk curah hujan di 15 pos pengamatan di Indramayu telah dilakukan menggunakan metode statistical downscaling. Teknik Singular Value Decomposition (SVD) yang diaplikasikan pada metode ini menggunakan data curah hujan bulanan dari GPCP dan CMAP, serta data tekanan udara, precipitable water, tekanan udara permukaan laut, suhu, dan komponen angin zonal luaran NCEP/NCAR reanalisis sebagai input. Dari metode ini diperoleh hasil bahwa angin zonal adalah prediktor terbaik untuk memprediksi rata-rata curah hujan bulanan di 15 pos pengamatan di Indramayu. Selanjutnya, digunakan data input NCEP/NCAR reanalisis yang telah di-downscale menggunakan CCAM (dynamical downscaling) resolusi ~60 km untuk wilayah Indonesia. Kombinasi dua metode ini (dynamical dan statistical downscaling) terbukti mampu meningkatkan akurasi prediksi curah hujan bulanan dan menurunkan nilai RMSEP di 15 pos pengamatan tersebut.

Kata kunci: Statistical downscaling, dynamical downscaling, Singular Value Decomposition, CCAM

ABSTRACT

Selection of best predictor for 15 rain gauge station in Indramayu has been investigated using statistical downscaling method. The Singular Value Decomposition technique is applied using monthly rainfall data from GPCP and CMAP, and air pressure, precipitable water, sealevel air pressure, temperature zonal wind component from NCEP/NCAR reanalysis as an input. From this method is shown that the zonal wind component is the best predictor to predict monthly rainfall at 15 rain gauge observation in Indramayu. Furthermore, the NCEP/NCAR reanalysis downscaled using CCAM (dynamical downscaling, ~60 km resolution) is used as an input for Indonesia region. The combination of this two methods (dynamical dan statistical downscaling) proven the ability to increase monthly rainfall prediction accuracy and to reduce RMSEP values at these 15 raingauge observation site.

Keywords: Statistical downscaling, dynamical downscaling, Singular Value Decomposition, CCAM

Naskah masuk : 21 Maret 2011

Nasakah diterima : 2 Mei 2011

I. PENDAHULUAN

Global Circulation Model (GCM) merupakan alat yang sangat penting untuk mempelajari perubahan iklim dan membuat peramalan iklim pada masa yang akan datang.¹⁾ GCM mensimulasikan tiap peubah iklim dengan tingkat akurasi yang berbeda-beda dan hanya menggambarkan keadaan iklim berskala global (resolusi rendah), sehingga diperlukan suatu teknik untuk pengamatan peubah iklim secara lokal.

Secara umum, ada dua pendekatan yang dapat dilakukan untuk memanfaatkan GCM menjadi informasi skala lokal yaitu *Dynamical Downscaling* dan *Statistical Downscaling*¹⁾. *Statistical Downscaling* (SD) merupakan suatu teknik yang menggunakan model statistika untuk melihat hubungan antara suatu data yang berskala besar dengan data yang berskala lokal. Pada SD pola hubungan antara kedua peubah dapat diasumsikan linier dan non-linier²⁾.

Metode-metode yang dapat digunakan untuk pola hubungan linier, diantaranya adalah Regresi Linier Peubah Ganda, Analisis Korelasi Kanonik, Regresi Komponen Utama, dan *Singular Value Decomposition* (SVD). Metode-metode non-linier umumnya menggunakan Jaringan Saraf Tiruan dan Metode Analog³⁾. Beberapa permasalahan dalam SD adalah penentuan domain, penentuan prediktor, dan mendapatkan model yang tepat sesuai dengan karakteristik data sehingga bisa menggambarkan hubungan antara gugus data respon dan prediktor dengan baik.

Dynamical downscaling yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan *Conformal Cubic Atmospheric Model* (CCAM) yang dapat diregangkan (*stretched model*)⁴⁾. Keunggulan dari model ini adalah jumlah grid yang tetap sehingga tidak memberatkan kinerja komputer saat prosesnya. Prediktor (GCM) untuk *downscaling* dipilih berdasarkan koefisien korelasi dan SVD⁵⁾. Analisis ini digunakan untuk melihat hubungan linier antara gugus data GCM dan data stasiun cuaca. Setelah mengetahui hubungan tersebut, Regresi Linier Peubah Ganda digunakan sebagai validasi model untuk menghitung koefisien korelasi dan RMSEP antara data prediksi dan data observasi.

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan prediktor terbaik untuk memprediksi rata-rata curah hujan bulanan di 15 pos pengamatan

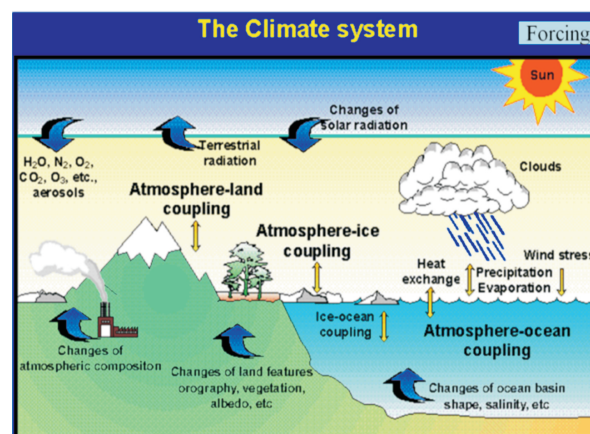
di Indramayu dan membandingkan akurasi model menggunakan data input berbeda skala (global dan regional).

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Global Circulation Model* (GCM)

GCM merupakan representasi numerik dari banyak persamaan dasar yang menggambarkan perilaku sistem iklim dan interaksi antar komponen-komponennya (atmosfer, lautan, kriosfer, biosfer, dan kemosfer)⁶⁾. Suatu model dapat dibentuk dalam berbagai resolusi horizontal dan vertikal, misalnya dengan resolusi $8^\circ \times 10^\circ$, $4^\circ \times 5^\circ$, $2^\circ \times 2.5^\circ$ secara horizontal (bujur dan lintang) dan 9 lapis, 8 lapis, 23 lapis, dan 31 lapis secara vertikal. Setiap grid memiliki resolusi bermacam-macam berdasarkan jenis luaran GCM.

Dalam Gambar 1 di bawah dapat dilihat bahwa radiasi matahari berfungsi sebagai sumber utama bekerjanya mekanisme sistem iklim di bumi ini. Diyakini pula bahwa letak matahari yang memiliki sudut $23,5^\circ$ terhadap bumi memiliki peran penting bagi terciptanya variasi iklim di bumi. Pada umumnya variasi iklim diakibatkan oleh adanya perubahan dalam unsur kimiawi, misalnya aerosol dan CO_2 yang dipengaruhi oleh aktivitas manusia. Variasi iklim mungkin juga disebabkan oleh perubahan radiasi matahari, dan fluktuasi jangka panjang dalam sirkulasi laut dalam yang mempengaruhi perubahan suhu muka laut secara luas.



Gambar 1. Sistem iklim beserta komponen-komponen pembentuknya

[Sumber: CSIRO Division of Atmospheric Research]

Selain itu ada juga variasi dalam jangka pendek yang umum disebut dengan variasi

interannual. Hal ini umumnya disebabkan oleh peristiwa-peristiwa besar yang berpengaruh secara luas, misalnya letusan gunung berapi, yang menyebabkan perubahan variasi unsur kimiawi pada aerosol. Penyebab lainnya adalah kejadian El-Nino dan La Nina yang terjadi akibat perubahan suhu permukaan laut (SST).

Untuk mengetahui dan memahami mekanisme dan perilaku iklim, para ilmuwan mencoba untuk mengadopsi sistem iklim tersebut

ke dalam suatu model iklim. Sehingga diharapkan, kondisi iklim di masa yang akan datang dapat diprediksi sebelumnya. Berdasarkan Gambar 2 di bawah, dapat dilihat bahwa model GCM mengadopsi tiga komponen dasar yang terdiri atas komponen dinamis, komponen fisis, dan komponen lain. Terdapat beberapa pendekatan fisika yang dilakukan pada komponen dinamis, seperti:

a. Persamaan Kekekalan Momentum

$$\frac{dv}{dt} = -fk \times v - \nabla \phi + \frac{1}{\rho_a} \nabla p_a + \frac{\eta_a}{\rho_a} \nabla^2 v + \frac{1}{\rho_a} (\nabla \cdot \rho_a K_m \nabla) v \quad (1)$$

b. Persamaan Kekekalan Massa

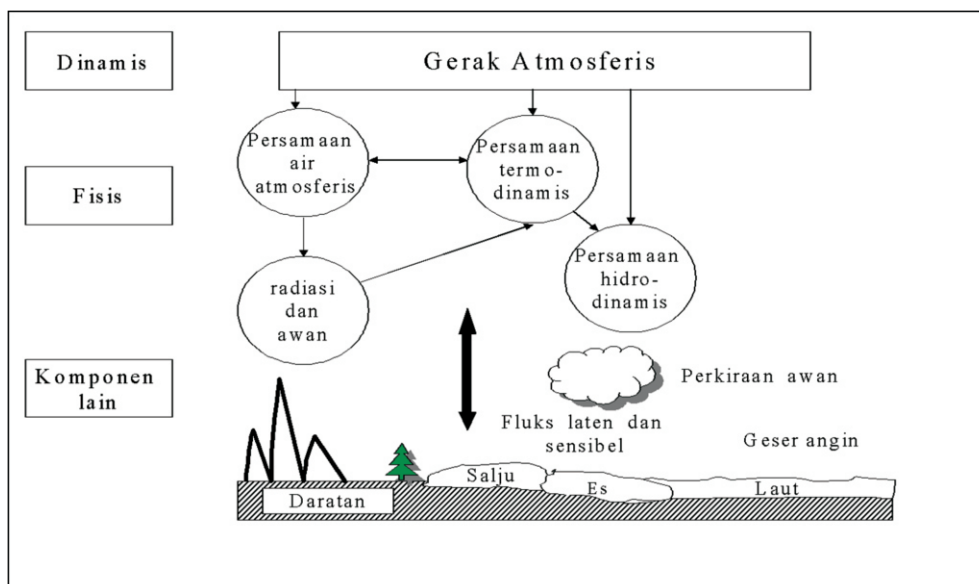
$$\frac{\partial \bar{p}_a}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{v} \bar{p}_a) + \nabla \cdot (\bar{v}' p'_a) = 0 \quad (2)$$

c. Persamaan Kekekalan Energi Termal

$$\frac{\partial \theta_v}{\partial t} + (v \cdot \nabla) \theta_v = \frac{1}{\rho_a} (\nabla \cdot \rho_a K_h \nabla) \theta_v + \frac{\theta_v}{c_{p,d} T} \sum_{n=1}^{N_{a,h}} \frac{dQ_n}{dt} \quad (3)$$

d. Persamaan Hidrostatik

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho_a g \quad (4)$$



Gambar 2. Komponen dalam model GCM [Sumber: A. Henderson-Sellers and K. McGuffie, 1987]

Model GCM dapat memberikan gambaran mengenai suatu nilai peubah iklim pada masa yang lalu dan masa yang akan datang. Data peubah iklim yang dihasilkan GCM mempunyai hubungan

fungsional dengan data yang berasal dari stasiun cuaca⁵⁾. GCM hanya memprediksi peubah iklim skala besar (resolusi rendah), sehingga diperlukan suatu teknik untuk menduga peubah iklim skala

lokal dengan tingkat akurasi yang tinggi²⁾. Salah satu teknik untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan menggunakan *Statistical Downscaling*.

2.2. Conformal Cubic Atmospheric Model (CCAM)

Model yang digunakan dalam penelitian ini dikembangkan oleh *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)*, Australia. Model ini mewakili pemanfaatan metode *dynamical downscaling* pada data global NCEP-NCAR reanalisis sebagai input untuk kajian klimatologi ini. CCAM diformulasikan menggunakan *conformal-cubic grid* yang melingkupi seluruh permukaan dunia yang dapat diregangkan (*stretched*) untuk mendapatkan simulasi iklim resolusi tinggi pada area yang diinginkan. Hal ini memberikan fleksibilitas bagi pengguna untuk melakukan ujicoba simulasi iklim resolusi tinggi pada daerah yang berbeda. Dalam melakukan simulasi iklim resolusi tinggi, CCAM menggunakan parameter atmosfer yang berasal dari model *host* (GCM). Model *host* yang digunakan adalah data reanalisis bulanan resolusi $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ yang berasal dari *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP). Selain itu, dapat juga digunakan data input dari model-model yang tergabung dalam *Intergovernmental Panel on Climate Change Forth Assessment Report (IPCC AR4)*.

CCAM adalah model hidrostatis dan mencakup parameter fisis yang cukup lengkap. Parameter radiasi gelombang panjang (*long-wave*) dan gelombang pendek (*short-wave*) diadopsi dari *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory/GFDL*^{7,8)}. Distribusi awan interaktif menggunakan skema *liquid and ice-water*. Model ini menggunakan skema stabilitas yang bergantung pada lapisan batas (*boundary layer*) berdasarkan teori persamaan Monin-Obukhov⁴⁾. Skema *canopy* berdasarkan teori Kowalczyk⁹⁾, dengan 6 lapisan suhu tanah, 6 lapisan kelembaban tanah, dan 3 lapisan untuk salju. Konveksi kumulatif menggunakan skema *mass-flux* berdasarkan teori dari McGregor termasuk *evaporative downdraft*¹⁰⁾. Skema gelombang gravitasi berdasarkan teori Chouinard, bersama dengan skema *non-local vertical mixing*. CCAM dapat digunakan dalam mode *quasi-uniform* atau mode *stretched* dengan menggunakan transformasi Schmidt¹¹⁾.

CCAM diformulasikan menggunakan *semi-lagrangian advection* dan *semi-implicit time-step*, sehingga dapat melakukan simulasi iklim jangka panjang secara efisien.

CCAM menggunakan *conformal-cubic grid*, suatu teknik yang memproyeksi kubus pada permukaan bola (sebagai representasi bumi). Tiap permukaan kubus memiliki 48×48 titik grid dan 18 level ketinggian (*sigma level*). Jumlah total titik grid untuk seluruh permukaan bola adalah $48 \times 48 \times 6 \times 18$ atau setara dengan 248.832 titik.

Data input lainnya yang diperlukan adalah data topografi dan penggunaan lahan (*land-use*). Data topografi yang terintegrasi di dalam program inti CCAM tersedia dalam 3 skala, yaitu:

1. skala 10 km seluruh dunia (topo2)
2. skala 1 km seluruh dunia (*.DEM)
3. skala 250 m untuk Australia (*.ter)

Tipe vegetasi (*vegetation type*), ketinggian permukaan (*surface height*), dan tipe tanah (*soil type*) wilayah Indonesia dapat dilihat secara berurutan pada gambar 5, 6, dan 7 dibawah. CCAM menggunakan 2 jenis dataset penggunaan lahan (*land-use*), yaitu:

1. dataset skala 1 derajat global dengan 12 jenis kategori *land-use* (SiB)
2. dataset skala 1 derajat 'global soil' dengan 10 kategori Zoller

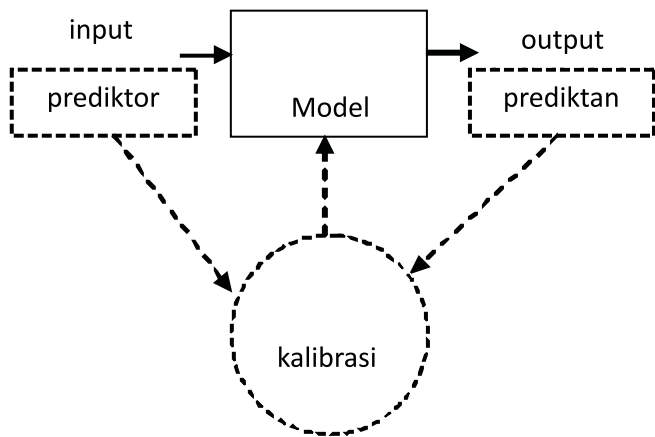
Selanjutnya, CCAM secara otomatis memilih data topografi mana yang akan digunakan pada proses simulasi setelah pengguna (*user*) memasukkan nilai lintang dan bujur wilayah yang dikehendaki.

2.3. Statistical Downscaling

Statistical downscaling (SD) merupakan suatu teknik yang menggunakan model statistika untuk melihat hubungan antara suatu data yang berskala besar dengan data yang berskala lokal. Setelah mengetahui hubungan kedua gugus data tersebut, data yang berskala besar (GCM) digunakan untuk memprediksi data peubah iklim berskala lokal (skala stasiun/pos pengamatan hujan).

Menurut Benestad¹⁾ kriteria pemilihan prediktor antara lain:

1. Prediktor memiliki hubungan yang kuat secara fisik dengan peubah respon
2. Prediktor disimulasikan dengan baik oleh GCM.



Gambar3. Skema hubungan prediktor dan prediktan.

2.4. Singular Value Decomposition (SVD)

Penerapan SVD pada klimatologi digunakan untuk mengetahui hubungan linier dua gugus data, seperti data GCM dan data curah hujan pos pengamatan. Metode ini menggunakan matriks koragam silang dari dua gugus data. Misal, terdapat dua buah matriks X dan Y, masing-masing berukuran $t \times p$ dan $t \times q$.

$$X = \begin{pmatrix} X_{11} & \cdots & X_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{t1} & \cdots & X_{tp} \end{pmatrix}$$

$$Y = \begin{pmatrix} Y_{11} & \cdots & Y_{1q} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{t1} & \cdots & Y_{tq} \end{pmatrix}$$

X_{tp} adalah nilai prediktor pada waktu ke- t di grid ke- p . Y_{tq} adalah nilai curah hujan pada waktu ke- t di stasiun ke- q . Matriks koragam silang (C_{xy}) dapat dituliskan dengan rumus sebagai berikut¹²:

$$C_{xy} = Z^T S \quad (6)$$

$$Z = \begin{pmatrix} X_{11} & \cdots & X_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{t1} & \cdots & X_{tp} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \bar{X}_1 & \cdots & \bar{X}_p \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{X}_1 & \cdots & \bar{X}_p \end{pmatrix}$$

$$S = \begin{pmatrix} Y_{11} & \cdots & Y_{1q} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{t1} & \cdots & Y_{tq} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \bar{Y}_1 & \cdots & \bar{Y}_q \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{Y}_1 & \cdots & \bar{Y}_q \end{pmatrix}$$

dimana,

Z^T = matriks transpose dari matriks Z

$\bar{X}_i$ = rata-rata kolom ke- i matriks X untuk $i = 1, 2, 3, \dots, p$

$\bar{Y}_j$ = rata-rata kolom ke- j matriks Y untuk $j = 1, 2, 3, \dots, q$

Tujuan dari analisis SVD adalah untuk mencari kombinasi linier p peubah prediktor yang mempunyai nilai koragam maksimum dengan kombinasi linier q peubah respon¹²).

$$A = u_1x_1 + u_2x_2 + \dots + u_px_p = XU \quad (7)$$

$$B = v_1y_1 + v_2y_2 + \dots + v_qy_q = YV \quad (8)$$

Pasangan kombinasi linier A dan B disebut *expansion coefficient*. *Expansion coefficient* analog dengan skor komponen pada analisis komponen utama. Dengan SVD, matriks koragam silang akan diuraikan menjadi dua gugus *spatial pattern* yang orthogonal dan berpasangan dengan nilai singular. *Spatial pattern* analog dengan vektor ciri pada analisis komponen utama. Matriks C_{xy} diuraikan dengan SVD sebagai berikut¹²):

$$C_{xy} = UDV^T \quad (9)$$

dimana:

U = matriks singular berukuran $p \times m$ dari matriks C_{xy}

V = matriks singular berukuran $m \times q$ dari matriks C_{xy}

Matriks D merupakan matriks diagonal tak negatif yang unsur-unsurnya $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_m$. Matriks U dan V masing-masing secara berurutan dapat ditentukan dengan mencari vektor ciri dari $C_{xy} C_{xy}^T$ dan $C_{xy}^T C_{xy}$ yaitu vektor ciri $u_1, u_2, u_3, \dots, u_p$ dan $v_1, v_2, v_3, \dots, v_q$ yang berpadanan dengan dengan akar ciri $\lambda_1^2 > \lambda_2^2 > \dots > \lambda_m^2$. Pasangan *spatial pattern* ke- i merupakan pasangan dari vektor pada kolom matriks U ke- i dan vektor pada kolom matriks V ke- i .

Keeratan hubungan pasangan *spatial pattern* ke- i ditunjukkan oleh koefisien korelasi Pearson dari pasangan *expansion coefficient* ke- i . Tiap pasang *spatial pattern* ini menggambarkan *square covariance fraction* (SCF) dari gugus data X dan Y. SCF ke- i dapat dianalogikan sebagai proporsi keragaman peubah X dan Y yang diterangkan oleh pasangan *spatial pattern* ke- i . SCF ke- i , ditunjukkan dengan persamaan berikut:

$$SCF_i = \frac{\lambda_i^2}{\sum_{i=1}^m \lambda_i^2} \quad (10)$$

Ada dua cara untuk menampilkan *spatial pattern* agar lebih mudah dipahami, yaitu dengan membuat peta korelasi homogen dan heterogen¹². Peta korelasi homogen ke- i adalah peta yang

menggambarkan koefisien korelasi antara *expansion coefficient* A ke-i dengan X atau korelasi antara *expansion coefficient* B ke-i dengan Y, sedangkan peta korelasi heterogen ke-i adalah peta yang menggambarkan koefisien korelasi antara *expansion coefficient* A ke-i dengan Y atau korelasi antara *expansion coefficient* B ke-i dengan X. Peta korelasi homogen berguna sebagai indikator area geografis yang mencakup bagian dari pos pengamatan cuaca, sedangkan peta korelasi heterogen menunjukkan seberapa baik variabel klimatologi di pos pengamatan diprediksi oleh *expansion coefficient*.

III. DATA DAN METODOLOGI

3.1. Data

Data yang digunakan sebagai respon untuk penentuan prediktor terbaik adalah data rata-rata curah hujan bulanan periode 1979-2008 dari 15 pos pengamatan di Indramayu. Prediktor yang dipakai dalam penelitian ini adalah data curah hujan bulanan dari *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP); data curah hujan bulanan dari *Climate Prediction Center Merged Analysis of Precipitation* (CMAP); serta data tekanan udara, precipitable water, tekanan udara permukaan laut, temperatur, dan angin zonal dari *National Centers for Environmental Prediction and the National Center for Atmospheric Research* (NCEP-NCAR) reanalisis. Setiap grid data reanalisis tersebut memiliki resolusi $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ atau sekitar 300×300 km

Sebagai pembanding digunakan data respon rata-rata curah hujan bulanan periode 1980-2000 dari 15 pos pengamatan hujan di Indramayu. Prediktor yang digunakan adalah rata-rata tekanan udara permukaan laut, suhu, dan angin zonal bulanan (*u-wind*) dari luaran *National Centers for Environmental Prediction and the National Center for Atmospheric Research* (NCEP-NCAR) reanalisis resolusi ~ 60 km.

3.2. Metodologi

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan domain 8×8 grid (wilayah lintang dan bujur) untuk masing-masing prediktor.
2. Menganalisis hubungan setiap prediktor (GCM) dan respon (pos pengamatan) dengan SVD menggunakan data untuk pemodelan dengan

beberapa tahapan, yaitu:

- a. Membuat matriks *cross-covariance* X dan Y
 - b. Menguraikan matriks Cxy dengan SVD
 - c. Menghitung *expansion coefficient* A pertama (A1) dan *expansion coefficient* B pertama (B1)
 - d. Menghitung SCF pertama
 - e. Menghitung korelasi antara A1 dengan Y
 - f. Menghitung korelasi antara B1 dengan X
3. Menghitung RMSEP dan korelasi 15 pos pengamatan menggunakan data curah hujan tahun 2008 untuk masing-masing prediktor dengan analisis Regresi Peubah Ganda antara Y dengan A1.
 4. Memilih prediktor berdasarkan:
 - a. Koefisien korelasi A1 dan B1 relatif besar
 - b. Koefisien korelasi heterogen relatif besar
 - c. Rata-rata korelasi relatif besar dan rata-rata RMSEP relatif kecil antara data prediksi dengan observasi curah hujan pada langkah ke-3.

Dalam suatu pemodelan nilai RMSEP diharapkan kecil. RMSEP merupakan salah satu ukuran keakuratan suatu model. Nilai RMSEP dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$RMSEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{duga,i} - y_{observasi,i})^2}{n}} \quad (12)$$

Hubungan linear antara dua peubah kuantitatif dapat dilihat dengan menggunakan analisis korelasi Pearson. Koefisien korelasi Pearson ini mengukur keeratan antara dua peubah yang bernilai -1 sampai dengan 1, yang diduga dengan koefisien korelasi contoh r , yaitu:

$$r_{xy} = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx}} \sqrt{S_{yy}}} \quad (13)$$

dengan,

r_{xy} = koefisien korelasi antara peubah X dan peubah Y

S_{xy} = koragam peubah X dan peubah Y

S_{xx} = ragam peubah X

S_{yy} = ragam peubah Y

Jika koefisien korelasi mendekati ± 1 maka hubungan linier kedua peubah sangat erat, sedangkan koefisien korelasi yang mendekati nol artinya hubungan linier kedua peubah sangat lemah.

- Menghitung konsistensi prediktor yang terpilih menggunakan tahun pemodelan pada Lampiran 3.
- Interpretasi terhadap stasiun dan grid yang berkontribusi besar terhadap *expansion coefficient* pertama berdasarkan nilai kolom pertama matriks V (V1) dan kolom pertama matriks U (U1) untuk prediktor yang terpilih pada langkah ke-4.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Penentuan Prediktor Terbaik

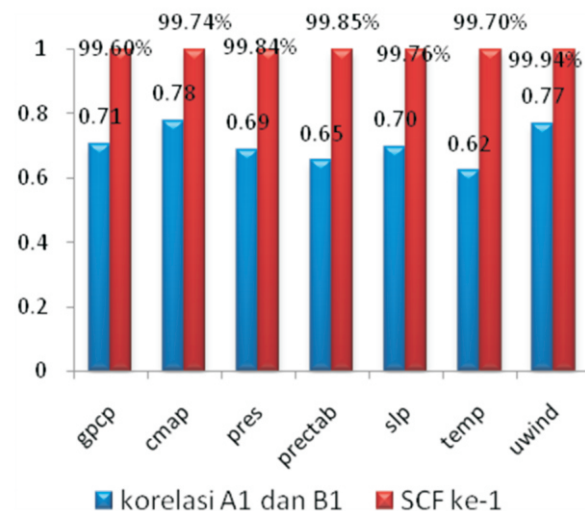
Grid GCM sebagai domain prediktor berlokasi di atas stasiun Indramayu¹³⁾. Prediktor yang digunakan serta keterangannya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Prediktor yang digunakan

Prediktor	Keterangan Prediktor
GFCP	Pesipitasi luaran GPCP
CMAF	Pesipitasi luaran CMAF
pres	Tekanan udara luaran NCEP
prectab	Precipitable water luaran NCEP
slp	Tekanan udara permukaan laut luaran NCEP
temp	Suhu luaran NCEP
uwind	Angin zonal luaran NCEP

Secara simultan, rata-rata curah hujan bulanan di stasiun memiliki hubungan yang kuat dengan GCM pada domain atas. Hal ini ditunjukkan oleh korelasi yang cukup besar antara pasangan *expansion coefficient* (Gambar 4). Dua GCM dengan korelasi *expansion coefficient* terbesar pertama ditunjukkan oleh pesipitasi luaran CMAF (0,78) dan angin zonal luaran NCEP (0,77).

Besarnya SCF pertama menunjukkan bahwa pasangan *expansion coefficient* pertama mampu menjelaskan keragaman data rata-rata curah hujan bulanan stasiun cuaca dan GCM secara baik. Setiap prediktor menghasilkan nilai SCF pertama lebih dari 99%, artinya sebesar 99% keragaman data GCM dan stasiun cuaca telah dijelaskan dengan baik oleh pasangan *expansion coefficient* pertama.



Gambar 4. Korelasi pasangan *expansion coefficient* pertama dan nilai SCF pertama pada setiap prediktor

Prediksi rata-rata curah hujan bulanan tahun 2008 diperoleh menggunakan model SD dengan Regresi Linier Peubah Ganda. Ukuran kebaikan prediktor dalam memprediksi curah hujan dapat dilihat pula melalui koefisien korelasi dan RMSEP antara data prediksi dan data observasi berdasarkan data validasi tahun 2008.

Tabel 2. Koefisien korelasi dan RMSEP validasi tahun 2008

Stasiun	Prediktor													
	gpcp		cmap		pres		prectab		slp		temp		uwind	
	r	RMSEP	r	RMSEP	r	RMSEP	r	RMSEP	r	RMSEP	r	RMSEP	r	RMSEP
Bangkir	0.68	150.85	0.70	142.41	0.84	121.07	0.70	152.10	0.85	119.37	0.72	151.20	0.90	99.44
Bulak	0.67	141.87	0.70	134.43	0.86	115.25	0.69	141.86	0.86	114.69	0.73	145.34	0.94	92.33
Cidempet	0.67	153.15	0.70	145.82	0.89	117.73	0.71	149.51	0.89	116.92	0.73	154.38	0.95	97.60
Cikedung	0.81	82.56	0.78	83.98	0.89	71.49	0.83	89.35	0.88	70.92	0.73	98.71	0.88	66.35
Losarang	0.71	120.93	0.75	112.51	0.89	93.07	0.74	121.20	0.89	92.54	0.69	129.86	0.96	69.38
Sukadana	0.70	89.81	0.74	85.31	0.87	72.55	0.74	94.85	0.87	71.19	0.76	85.01	0.92	55.03
Sumurwatu	0.84	114.56	0.81	109.79	0.92	90.40	0.87	109.47	0.92	90.58	0.78	128.30	0.90	90.56
Tugu	0.76	104.36	0.79	96.84	0.90	78.11	0.79	105.31	0.90	77.49	0.80	108.95	0.94	65.41
Ujunggaris	0.64	93.63	0.68	90.22	0.88	66.48	0.68	95.50	0.88	64.78	0.82	77.47	0.94	46.37
Lohbener	0.55	124.36	0.55	125.42	0.79	106.45	0.58	132.09	0.79	104.44	0.75	107.75	0.85	89.11
Sudimampir	0.69	136.04	0.73	128.33	0.83	113.32	0.71	133.19	0.84	112.65	0.73	141.09	0.91	98.52
Juntinyuat	0.72	138.41	0.76	127.71	0.88	106.84	0.73	132.78	0.88	106.26	0.77	139.58	0.94	95.67
Kedokan Bunder	0.80	91.40	0.87	77.27	0.86	74.31	0.83	85.23	0.86	74.47	0.65	110.18	0.92	61.54
Krangkeng	0.85	58.64	0.90	47.33	0.92	45.01	0.87	61.16	0.92	44.56	0.77	70.61	0.93	38.57
Bondan	0.57	129.75	0.59	128.79	0.76	112.49	0.61	134.87	0.76	110.93	0.74	109.77	0.80	100.26

Berdasarkan keeratan hubungan prediktor dan stasiun, angin zonal luaran NCEP-NCAR reanalisis merupakan prediktor terbaik untuk memprediksi curah hujan di 15 pos pengamatan di Indramayu14). Hal ini terlihat dari korelasi *expansion coefficient* yang relatif besar, korelasi antara grid-grid dengan B1 yang relatif besar, serta hasil validasi tahun 2008 yang lebih baik daripada prediktor lainnya. Dari hasil di atas dapat dilihat bahwa prediktor terbaik untuk memprediksi curah

hujan bulanan adalah dengan menggunakan angin zonal (u-wind) luaran NCEP/NCAR reanalisis.

4.2. Perbandingan Menggunakan Data Input Skala Global dan Skala Regional

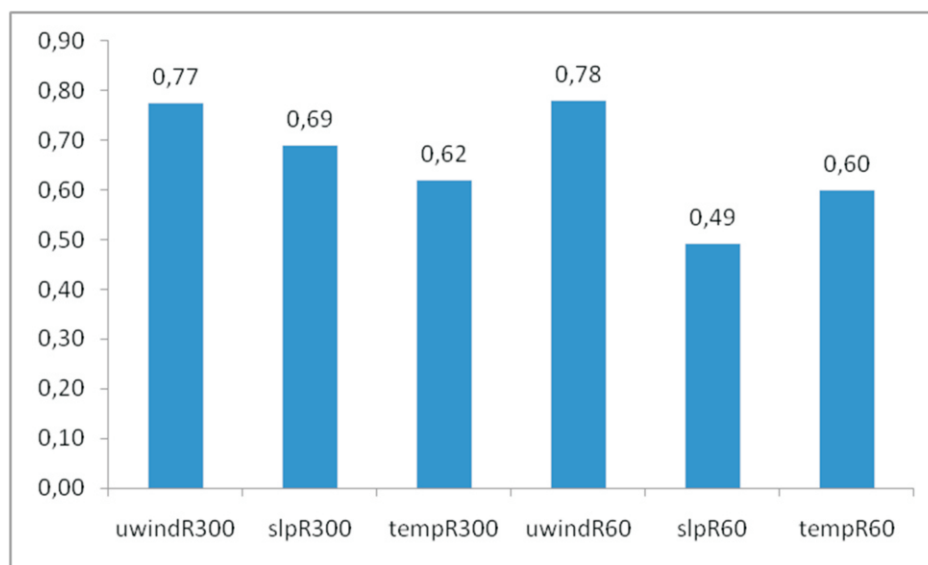
Selanjutnya, data-data luaran NCEP/NCAR reanalisis skala global (~300 km) di-*downscale* menggunakan CCAM hingga skala regional (~60 km). Prediktor-prediktor yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah.

Tabel 3. Prediktor yang digunakan

Prediktor	Keterangan Prediktor
slpR300	Tekanan udara permukaan laut luaran NCEP Resolusi 300x300 km
uwindR300	Angin zonal luaran NCEP Resolusi 300x300 km
tempR300	Suhu luaran NCEP Resolusi 300x300 km
slpR60	Tekanan udara permukaan laut luaran NCEP Resolusi 60x60 km
uwindR60	Angin zonal luaran NCEP Resolusi 60x60 km
tempR60	Suhu luaran NCEP Resolusi 60x60 km

Gambar 5 menunjukkan nilai korelasi A1 dan B1. Koefisien korelasi ini menunjukkan bahwa rata-rata curah hujan bulanan di pos pengamatan memiliki hubungan yang kuat dengan GCM pada domain atas. Hal ini ditunjukkan oleh korelasi yang cukup besar antara pasangan *expansion coefficient*

pertama. Dua GCM dengan korelasi *expansion coefficient* terbesar pertama ditunjukkan oleh angin zonal luaran NCEP/NCAR resolusi 60 km (0,78) dan angin zonal luaran NCEP/NCAR resolusi 300 km (0,77).



Gambar 5. Koefisien korelasi A1 dan B1

Prediksi rata-rata curah hujan bulanan tahun 2000 diperoleh menggunakan model SD dengan Regresi Linier Peubah Ganda. Ukuran kebaikan prediktor dalam memprediksi curah hujan dapat

dilihat pula melalui koefisien korelasi dan RMSEP antara data prediksi dan data observasi berdasarkan data validasi tahun 2000.

Tabel 4. Koefisien korelasi dan RMSEP validasi tahun 2008

Pos Pengamatan	uwindR300		slpR300		tempR300		uwindR60		slpR60		tempR60	
	r	RMSEP	r	RMSEP	r	RMSEP	r	RMSEP	r	RMSEP	r	RMSEP
Bangkir	0,46	164,32	0,52	181,66	0,54	137,44	0,63	121,21	0,66	146,18	0,51	134,12
Bulak	0,43	121,18	0,46	129,75	0,37	103,31	0,67	80,01	0,64	102,80	0,45	94,91
Cidempet	0,43	111,70	0,44	115,88	0,33	94,92	0,71	67,78	0,62	85,87	0,56	78,20
Cikedung	0,43	125,87	0,49	138,00	0,47	101,51	0,71	78,29	0,72	104,31	0,68	82,56
Losarang	0,62	123,44	0,60	147,47	0,65	108,20	0,70	92,76	0,72	122,38	0,52	107,22
Sukadana	0,78	73,90	0,85	69,42	0,67	91,41	0,76	87,03	0,73	92,23	0,78	91,99
Sumurwatu	0,56	97,87	0,62	111,52	0,54	85,21	0,79	59,75	0,80	87,24	0,69	71,19
Tugu	0,61	111,12	0,64	120,75	0,59	112,44	0,80	87,07	0,81	107,41	0,66	109,01
Ujungaris	0,64	107,47	0,64	125,32	0,67	98,63	0,73	83,53	0,77	109,00	0,60	99,17
Lohbener	0,39	124,45	0,46	130,67	0,61	89,15	0,55	92,26	0,64	100,17	0,58	88,07
Sudimampir	0,64	97,70	0,61	120,48	0,38	99,98	0,84	61,86	0,70	99,23	0,46	90,72
Juntinyuat	0,26	142,05	0,33	155,65	0,47	113,95	0,40	114,47	0,48	127,77	0,35	115,57
Kedokan Bunder	0,57	94,30	0,61	107,67	0,66	74,90	0,62	75,81	0,68	86,28	0,56	78,67
Krangkeng	0,54	118,40	0,49	145,53	0,33	115,52	0,73	84,18	0,59	123,81	0,40	104,74
Bondan	0,91	65,38	0,92	96,39	0,79	70,47	0,93	38,42	0,90	83,10	0,83	62,50
Rata-Rata	0,55	111,94	0,58	126,41	0,54	99,80	0,70	81,63	0,70	105,19	0,57	93,91

Tabel 4 di atas terlihat bahwa rata-rata nilai koefisien korelasi meningkat dan nilai RMSEP menurun saat menggunakan data prediktor resolusi regional (~60 km) dibandingkan dengan data prediktor resolusi global (~300 km). Nilai koefisien korelasi ini menggambarkan akurasi prediksi curah hujan bulanan di 15 pos pengamatan di Indramayu.

V. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Prediktor terbaik untuk memprediksi curah hujan di Indramayu adalah dengan menggunakan angin zonal (*u-wind*) luaran NCEP/NCAR reanalisis. Hal ini dibuktikan dengan nilai korelasi *expansion coefficient* yang relatif besar, korelasi antara grid-grid dengan B1 yang relatif besar, serta hasil validasi tahun 2008 yang lebih baik daripada prediktor lainnya.
2. Penggunaan kombinasi dua metode yaitu *dynamical* dan *statistical downscaling* dapat memberikan hasil prediksi yang lebih baik. Hal ini dibuktikan dengan meningkatnya rata-rata koefisien korelasi dan menurunnya nilai RMSEP di 15 pos pengamatan di Indramayu.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- ¹⁾ Benestad, R.E. (2004). Empirical-Statistical Downscaling in Climate Modeling. *Eos Trans. Am. Geophys. Union*, 85(42), 417.

- ²⁾ Zorita E. , & H von Storch. (1999). The Analog Method as a Simple Statistical Downscaling Tehcnique. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 12, 2474-2489.
- ³⁾ Bretherton SC, Smith C, & Wallace JM. (1992). An Intercomparison of Methods for Finding Coupled Pattern in Cimate Data. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 5, 541-560.
- ⁴⁾ McGregor, J.L., Gordon, H.B., Watterson, I.G., Dix, M.R., & Rotstain, L.D. (1993). The CSIRO 9-level atmospheric general circulation model, CSIRO Div. *Atmospheric Research Tech. Paper* 26, 89 pp.
- ⁵⁾ Cintia Bertacchi Uvo, Jonas Olson, Osamu Morita, Kenji Jinno, Akira Kawamura, Koji Nishiyama, Nobukazu Koreeda, et. al. (2001). Statistical Atmospheric Downscaling for Rainfall Estimation in Kyushu Island, Japan. *Hydrology and Earth System Sciences*, 5(2), 259-271.
- ⁶⁾ A. Henderson Sellers, & K. McGuffie, (1987). *A Climate Modelling Primer*. Chichester: John Wiley & Sons.
- ⁷⁾ Schwarzkopf, M.D. and Fels, S.B. (1991), The simplified exchange method revisited: An accurate, rapid method for computation of infrared cooling rates and fluxes. *J. Geophys. Res.*, 96, 9075-9096.
- ⁸⁾ Lacis, A., & Hansen, J. (1974). A parameterization of the absorption of solar

- radiation in the Earth's atmosphere. *J. Atmos. Sci.*, 31, 118-133.
- ⁹⁾ Kowalczyk, E., Garratt, J.R., and Krummel, P.B. (1994). *Implementation of a soil-canopy scheme into the CSIRO GCM - regional aspects of the model response*, (1994) CSIRO Div. Atmospheric Research Tech Paper No. 32, 59 pp.
- ¹⁰⁾ McGregor, J.L. (2003). *A new convection scheme using a simple closure. In "Current issues in the parameterization of convection"*, BMRC Research Report 93, 33-36.
- ¹¹⁾ Schmidt, F. (1977). Variable fine mesh in spectral global model. *Beitr. Phys. Atmos.*, 50, 211-217.
- ¹²⁾ Bjornsson H, & Venegas SA. (1997). *A Manual for EOF and SVD Analyses of Climatic Data*. Canada: McGill University.
- ¹³⁾ Wigena, A.H. (2006). *Pemodelan Statsitital Downscaling dengan Regresi Projection Pursuit untuk Peramalan Curah Hujan Bulanan: Kasus curah Hujan Bulanan di Indramayu*. Disertasi, Program Pascasarjana: Institut Pertanian Bogor.
- ¹⁴⁾ Sanjaya, Imam. (2010). *Penentuan Prediktor pada Statistical Downscaling dengan Singular Value Decomposition (Studi Kasus di Indramayu)*. Departemen Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.