

**PENGGUNAAN METODE STATISTIK *DOWNSCALING* DALAM MENGANALISIS
VARIASI CURAH HUJAN BERBASIS *GLOBAL CIRCULATION MODEL* (GCM)**

Sinta Berliana Sipayung¹⁾, Sutikno²⁾, Eddy Hermawan¹⁾

¹⁾ Peneliti Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer - LAPAN

²⁾ Institut Teknologi Sepuluh November (ITS), Surabaya

E-mail: s_berlianasipayung@yahoo.com

ABSTRAK

Telah digunakan metode *Statistical Downscaling* (SD) dalam menganalisis variasi curah hujan hasil luaran *Global Circulation Model* (GCM) yaitu GCM CSIRO (Mk 3.0) dan CGCM3.1 (T47). Wilayah kajian di Aceh, (tipe hujan monsun), Solok (tipe hujan ekuatorial) dan Ambon (tipe hujan lokal), pada periode 1900-2000. Berbagai metode SD digunakan dengan tujuan untuk mendapatkan luaran dengan akurasi tinggi, diantaranya regresi komponen utama (RKU/PCR), jaringan syaraf tiruan (JST/ANN), dan regresi splines adaptif berganda (RSAB/MARS). Berdasarkan hasil validasi model, metode RSAB mempunyai tingkat akurasi yang relatif stabil tinggi diberbagai wilayah kajian. Berdasarkan nilai RMSE (Root Mean Square Error) korelasi antara observasi dan hasil dugaan model bahwa metode RSAB dan PCR mempunyai performance yang lebih baik jika dibandingkan dengan jaringan syaraf tiruan (JST). Dengan menggunakan ketiga metode diatas untuk model CGCM maupun CSIRO diperoleh korelasi yang kecil (negatif) seperti Solok. Hasil ini menunjukkan bahwa curah hujan wilayah tersebut lebih didominasi faktor local forcing, seperti topografi dan variasi tataguna lahan. Demikian juga terdapat wilayah dimana ketiga metode mempunyai hasil yang relatif baik yaitu Ambon karena pengaruh lokal. Dapat disimpulkan bahwa metode PCR dan RSAB mempunyai performance hampir sama pada hasil dugaan terutama untuk wilayah dengan curah hujan tipe monsun dan lokasi wilayahnya datar seperti Aceh.

Kata kunci: Iklim, GCM, *Statistical downscaling*.

ABSTRACT

Statistical Downscaling methods have been applied in analyzing the rainfall variability taken from the Global Circulation Model (GCM) which CSIRO (MK 3, 0) and CGCM3.1 (T47). The study areas are Aceh representing monsoon rainfall pattern, Solok with equatorial rainfall type and Ambon with local rainfall condition in period 1900 until 2000. The main issue in the study with the global surface circulation model was too low resolution, which used Statistical Downscaling method (SD) to improve the information (high resolution). Various methods were used in order to obtain superficial with the high accuracy, including the Principle component Regression (PCR), Artificial Neural Networks (ANN), and a Multivariate Adaptive Regression Spline (MARS). Based on model validation, MARS method gives a better accuracy and stability for all study areas. Based on the Root Mean Square Error (RMSE) value between observation and predicted value it found that RSAB and PCR have better performance than ANN. However, the three methods have areas high RMSE such as Aceh and Solok, while the correlation is small. The results indicate that rainfall variability over those areas were more dominated by monsoon than local affect, such as topography, varied of land use, etc(While, for Ambon is mostly dominated by local effect). There are indications that the PCR and RSAB method have almost the same performance expectations on the results, especially for areas with monsoon rainfall type and for flat locations such as Aceh.

Keywords : *Climmate, GCM, Statistical Downscaling.*

Data GCM di ekstrak menjadi wilayah Indonesia (90°E – 149.06°E dan 9.76°N – 15.34°S) dengan metode *downscaling* dengan menggunakan *Principle Component Regression (PCR)*, *jarangan syaraf tiruan (JST)* atau *Artificial Neural Networks (ANN)*, dan *Multivariate Adaptive Regression Spline (MARS/RSAB)*, seperti yang tercantum pada diagram dibawah ini

Reduksi dimensi :

Reformat data GCM : $\dots X_{LXB} \dots \dots \dots X_{1x(1kB)}$

Penomoran Grid

1	11	.	.	.	211
2	12	.	.	.	212
3	13	.	.	.	213
.
10	20	.	.	.	220

Informasi iklim regional atau lokal dapat diperoleh/diturunkan dengan langkah awal menentukan suatu model statistik yang menghubungkan peubah-peubah iklim skala-besar (prediktor) dengan peubah-peubah regional dan lokal (prediktan) dan model regresinya adalah :

Model Regresi Komponen Utama: $y = f(Z) = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + \dots + b_k Z_k \dots \dots \dots (2)$

dimana: y = perubah iklim local (curah hujan)

Z = skor komponen utama

Reduksi Dimensi PCA (Principal Component Analysis):

Waktu	CH	GCM			
	Y	X ₁	X ₂	...	X _p
1	y ₁	X ₁₁	X ₂₁	...	X _{p1}
2	y ₂	X ₁₂	X ₂₂	...	X _{p2}
3	y ₃	X ₁₃	X ₂₃	...	X _{p3}
:	:	:	X_(tsp)		:
:	:	:	:	...	:
T	y _t	X _{1t}	X _{2t}	...	X _{pt}

Komponen Utama (sebanyak k < p)

Waktu	CH	Komponen Utama			
	Y	Z ₁	Z ₂	.....	Z _k
1	y ₁	Z ₁₁	Z ₂₁	.....	Z _{k1}
2	y ₂	Z ₁₂	Z ₂₂	.....	Z _{k2}
3	y ₃	Z ₁₃	Z ₂₃	.....	Z _{k3}
:	:	:	Z_(tks) = XA		:
t	y _t	Z _{1t}	Z _{2t}	.....	Z _{kt}

di negara-negara dengan lintang tinggi, sedangkan untuk negara-negara dengan lintang rendah, tropis (seperti Indonesia) masih sangat sedikit. Dalam tulisan ini akan dikaji metode SD dengan menggunakan analisis regresi. Beberapa permasalahan yang muncul dalam SD adalah: (1) menentukan domain (grid) dan reduksi dimensi, (2) mendapatkan peubah penjelas yang mampu menjelaskan keragaman peubah lokal, dan (3) mendapatkan metode statistik yang sesuai dengan karakteristik data, sehingga bisa menggambarkan hubungan antara peubah prediktan dan peubah penjelas, serta dapat mengakomodasi kejadian ekstrim.

DATA DAN METODE

Data pengamatan permukaan yang digunakan adalah data curah hujan bulanan wilayah Solok (1974-1999), yang mewakili pola hujan ekuatorial sedangkan Aceh (1900-1941), mewakili pola hujan monsunal dan Ambon (1900-1940) mewakili pola hujan lokal, yang diperoleh dari BMG. Berdasarkan data yang tersedia dan untuk keperluan pemodelan, periode data dibagi menjadi dua bagian yaitu untuk pembangunan model (verifikasi model) dan pengujian model (validasi model) (1).

Tabel 1. Periodesasi data untuk verifikasi dan validasi model.

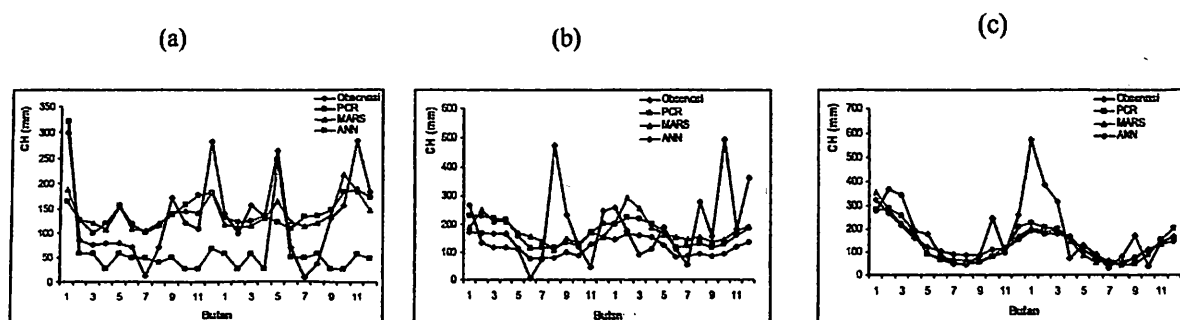
Lokasi/wilayah	Periode verifikasi model	Periode validasi model
Aceh	1900-1939	1940-1941
Solok	1974-1997	1998-1999
Ambon	1900-1938	1939-1940

Data GCM yang digunakan adalah CSIRO-Mk3.0 dan CGCM3.1 (T47) untuk periode 1900 hingga 2000 yang di-download melalui website: <http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/>, dengan eksperimen "20th century in coupled models" (20C3M). Peubah/parameter yang digunakan adalah *precipitable water* (kg m^{-2}) dalam bulanan. Selanjutnya data tersebut dikonversi dari format NetCDF ke ASCII kemudian transformasi satuan untuk parameter *precipitable water* (prw/ kg m^{-2}) ke dalam satuan mm.

Tabel 2. Resolusi GCM, periodesasi data dan negara pembuat menurut nama GCM dan resolusinya.

Nama GCM	Resolusi (bujur /lintang)	Periode data	Negara Pembuat
CSIRO-Mk3.0	$1.875^0 \times 1.850^0$	1871-2000	Australia
CGCM3.1 (T47)	$3.75^0 \times 3.71^0$	1850-2000	Canada

Dari hasil reduksi spasial grid (domain) GCM CGCM3 dan GCM CSIRO-Mk3 untuk ketiga lokasi dengan menggunakan analisis komponen utama diperoleh masing-masing 6-8 komponen utama untuk GCM CGCM3 dan CSIRO-Mk3 dengan total keragaman data masing-masing di atas 90% table 3. Keragaman data yang bisa dijelaskan oleh komponen utama pertama setiap wilayah masing-masing di atas 65%. Hasil ini menunjukkan bahwa antar grid terdapat keterkaitan yang cukup erat dan saling berinteraksi, karena hanya 6-8 komponen utama mampu menjelaskan.



Gambar 2. Plot antara nilai observasi dan hasil dugaan menurut metode dan menurut wilayah curah hujan (GCM CGCM3); Aceh (a), Solok (b) dan Ambon (c).

Tabel 3. Keragaman yang dapat diterangkan setiap komponen utama dan total menurut wilayah.

Wilayah	Keragaman yang diterangkan								Total keragaman
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	
CGCM3									
Aceh	0.656	0.141	0.032	0.028	0.022	0.020	0.012	0.010	0.921
Solok	0.660	0.146	0.037	0.023	0.021	0.017			0.904
Ambon	0.657	0.140	0.032	0.028	0.022	0.020	0.013	0.010	0.921
CSIRO-Mk3									
Aceh	0.676	0.141	0.047	0.030	0.020	0.014			0.929
Solok	0.669	0.135	0.052	0.033	0.024	0.018			0.930
Ambon	0.676	0.142	0.047	0.030	0.020	0.014			0.930

Berdasarkan nilai read mean square error (RMSE) dan korelasi antara observasi dan hasil dugaan model pada tahap validasi model, dengan metode RSAB/MARS dan RKU/PCR mempunyai performance yang lebih baik jika dibandingkan dengan jaringan syaraf tiruan JST/ANN (Tabel 4). Nilai RMSE metode RSAB dan PCR relatif lebih kecil untuk berbagai wilayah. Demikian juga nilai korelasi, metode RSAB dan PCR mempunyai nilai korelasi yang relatif besar untuk berbagai wilayah penelitian. Namun demikian terdapat wilayah yang ketiga metode mempunyai RMSE besar seperti Aceh dan korelasi kecil (negatif) seperti Solok.

Penyiapan data GCM diawali dengan transformasi data dari format grad ke dalam format text dengan menggunakan piranti NetCDF. Kemudian dilakukan transformasi satuan peubah/parameter GCM dari kg m^{-2} ke satuan mm. Pereduksian dimensi/ grid/ peubah (domain) GCM secara spasial untuk wilayah Indonesia, yaitu $90^{\circ}\text{BT}-150^{\circ}\text{BT}$ dan $15,855^{\circ}\text{LU} - 15,855^{\circ}\text{LS}$ untuk GCM CSIRO-Mk3 dan $90^{\circ}\text{BT}-150^{\circ}\text{BT}$ dan $16,7^{\circ}\text{LU} - 16,7^{\circ}\text{LS}$ untuk CGCM3 $90^{\circ}\text{BT}-143,44^{\circ}\text{BT}$ dan pendekatan statistiknya adalah :

Regresi Spline Adaptif Berganda (RSAB):

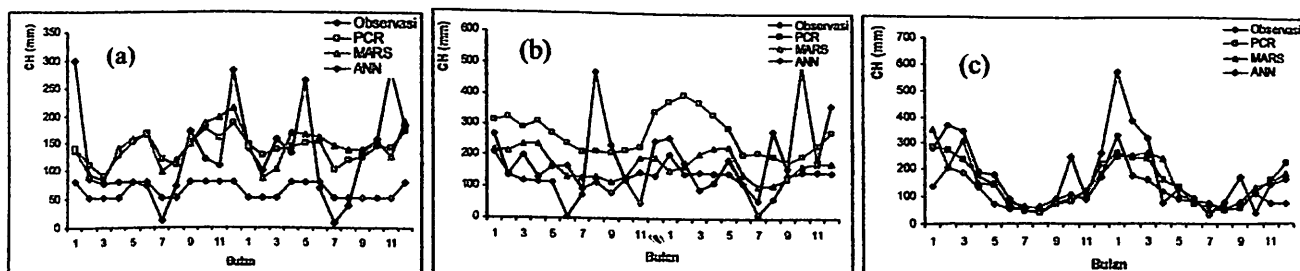
$$\hat{f}(X) = c_0 + \sum_{j=1}^S c_j \prod_{i=1}^{S_j} (S_{ij}(x_{k(i,j)} - x_{k(i,j)}^*)) + B_0 + B_1 * BF_1 + (B_2 * BF_2 + \dots + B_k * BF_k)$$

Y = peubah respon,

B_0 = konstanta, B_1, B_2, \dots, B_k merupakan koefisien basis fungsi spline ke-1, 2, ..., k dan BF_1, BF_2, \dots, BF_k merupakan basis fungsi ke-1, 2, ..., k. Metode yang digunakan adalah regresi komponen utama, regresi *splines* adaptif berganda dan jaringan syaraf tiruan. Untuk validasi model, hasil model dari kedua metode di atas, selanjutnya dilakukan validasi model. Data untuk validasi model merupakan data baru. Model terbaik akan ditentukan dengan kriteria nilai korelasi antara data amatan dan dugaan tinggi dan nilai *root means square error (RMSE)* rendah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil dugaan dan observasi rata-rata bulanan menurut ketiga metoda untuk model GCM CSIRO dapat di lihat bahwa baik tipe monson, ekuator maupun lokal terdapat pola yang sama akan tetapi jumlah curah hujan dalam mm yang berbeda baik di Aceh, Solok maupun Ambon (Gambar 1. a, b, dan c). Namun pada GCM CGCM, untuk lokasi Aceh terdapat pola yang bervariasi tetapi di lokasi Solok dan Ambon mengikuti pola yang sama hasil dugaan dengan observasi (Gambar 2. a, b, dan c).



Gambar 1. Plot antara nilai observasi dan hasil dugaan menurut metode dan menurut wilayah curah hujan (GCM CSIRO) (a), Aceh, Solok (b) dan Ambon (c).

model GCM CSIRO dapat kita lihat bahwa baik tipe monsoon, equator maupun lokal terdapat pola yang sama akan tetapi jumlah curah hujan dalam mm yang berbeda baik di Aceh, Solok maupun Ambon. Namun pada GCM CGCM, untuk lokasi Aceh terdapat pola yang bervariasi tetapi di lokasi Solok dan Ambon mengikuti pola yang sama hasil dugaan dengan observasi. Adanya perubahan curah hujan di setiap wilayah Aceh, Solok, dan Ambon berdasarkan beberapa model khususnya pada periode ke III yaitu pada tahun 1980 hingga tahun 2000.

DAFTAR PUSTAKA

1. Boer, R., Kaimuddin., M.A. Ratag., dan A. Bey, 2002. Impact of doubling CO₂ on forest productivity. *Proceeding of the Second International Conference on Science and Technology for the Assessment of Global Climate Change and Its Impacts on Indonesian Maritime Continent*, 29 November-01 December 1999.
2. CRU. 1999. *Climate change scenarios for Indonesia*. Climatic Centre Research Unit, UEA, Norwich, UK.
3. Georgi, F., , *et.al.*, 2001. The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assesment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. University Press. Cambrige. UK.
4. Hewitson and Crane, 1996. Climate Downscaling : Techniques and Application, *Climate Research*, 7, 85-95.
5. Kaimuddin, 2000. *Dampak perubahan iklim dan tataguna lahan terhadap keseimbangan air wilayah Sulawesi Selatan: Studi kasus DAS Walanae Hulu dan DAS Saddang*. Disertasi Program Pasca Sarjana, IPB, Bogor.
6. McAvaney BJ., Covey C., Joussaume S., Kattsov V., Kitoh A., Ogana W., Pitman AJ., Weaver AJ., Wood RA., Zhao ZC, 2001. The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assesment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. University Press. Cambrige. UK.
7. Noguer, M. , *et.al.*, 2002. *Workbook on generating high resolution climate change scenarios using PRECIS*. Hadley Centre for Climate Prediction and Research, Met Office, Bracknell, UK 39pp.
8. Timbal B, Dufour A, McAvaney B. 2003. An estimate of future climate change for western France using a statistical downscaling technique. *Climate Dynamics*. 20:807-823.
9. Wilby RL, *et.al.* Guidelines foe use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods. http://www.ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/guidelines/dgm_no2_v1_09_2004.pdf [8 Desember 2004].

Tabel 4. Nilai RMSE, korelasi (r) validasi model menurut metode regresi komponen utama (PCR), RSAB, dan ANN dan wilayah.

Lokasi/ wilayah	CGCM3		CSIRO	
	Metoda PCR			
	RMSE	r	RMSE	r
Aceh	69.599	0.603	73.374	0.494
Solok	133.023	-0.055	166.640	-0.089
Ambon	219.342	0.529	226.275	0.455
	Metoda MARS (RSAB)			
Aceh	63.136	0.749	78.514	0.330
Solok	138.199	-0.206	134.424	-0.099
Ambon	195.891	0.647	203.090	0.644
	Metoda JST (ANN)			
Aceh	95.113	0.582	101.238	0.365
Solok	142.489	-0.047	136.355	0.069
Ambon	201.896	0.556	193.236	0.599

Hasil ini menunjukkan bahwa curah hujan wilayah tersebut lebih didominasi faktor forcing lokal, seperti topografi, variasi tataguna lahan dan sebagainya. Demikian juga terdapat wilayah dimana ketiga metode mempunyai hasil yang relatif baik yaitu Aceh dan Ambon. Terdapat indikasi bahwa metode PCR mempunyai performance hasil dugaan yang hampir sama dengan metode RSAB terutama untuk wilayah dengan curah tipe monsun dan lokasi wilayahnya datar seperti Aceh. Berbeda dengan metode ANN, metode ini mempunyai performance yang sangat baik pada tahap verifikasi model, namun pada tahap validasi data seringkali hasilnya kurang memuaskan.

KESIMPULAN

Metoda statistik downscaling adalah mereduksi grid model GCM dari global menjadi titik dengan menggunakan analisis komponen utama diantaranya regresi komponen utama (RKU/PCR), regresi splines adaptif berganda (RSAB/MARS) dan jaringan syaraf tiruan (JST/ANN), diperoleh masing-masing 6 dan 8 komponen utama untuk wilayah Aceh, Solok dan Ambon, dengan total keragaman data masing-masing di atas 90%. Dari nilai RMSE dan korelasi antara observasi dan hasil model dengan metode RSAB (MARS) mempunyai *performance* yang lebih baik jika dibandingkan dengan metode regresi komponen utama (PCR) dan jaringan syaraf tiruan (ANN). Nilai RMSE metode RSAB relatif lebih kecil untuk berbagai wilayah. Demikian juga nilai korelasi, metode RSAB mempunyai nilai korelasi yang relatif besar untuk berbagai wilayah kajian. Hasil ini menunjukkan bahwa curah hujan wilayah tersebut lebih didominasi faktor *forcing* lokal, seperti topografi, variasi tataguna lahan. Dari hasil dugaan dan observasi menurut ketiga metoda untuk

Jawaban:

1. Karena Solok menunjukkan curah hujan didominasi faktor *forcing* lokal, seperti topografi, variasi tataguna lahan sedangkan Aceh mempunyai curah tipe monsun dan lokasi wilayahnya datar.
2. Hasil prediksi adalah rata-rata bulanan yang mewakili data selama 100 tahun.
3. Karena untuk membandingkan mana yang lebih cocok berdasarkan RMSE nya, ternyata yang lebih baik adalah RSAB dan PCR bila dibandingkan dengan ANN karena mempunyai nilai RMSE dengan metode RSAB dan PCR relatif lebih kecil untuk berbagai wilayah.

Judul: Analisis Kopling Me dan Elektromagnetik Antara Defek Titik dan Pandu Gelombang Pada Kristal Fotonik 2D.

Nama: Candra Kurniawan, dkk.

Hal: 561 - 570

Pertanyaan:

1. Apa aplikasi riilnya untuk kehidupan sehari-hari? (Lukman, Puslit Fisika LIPI).
2. Mengapa menggunakan Tensor Green? (Ayu Yuswita, Puslit Fisika LIPI).

Jawaban:

1. Dikemudian hari diharapkan dapat berguna sebagai filter frekuensi pada suatu waveguide lain pengirim gelombang elektromagnetik seperti pada fiber optik.
2. Karena tensor green adalah salah satu metode penghitungan medan elektromagnetik akumulatif yang mudah. Karena simulasi yang dipakai tidak bergantung waktu, memudahkan untuk melakukan analisa melalui gambar simulasi yang dihasilkan.

Judul: Analisis Energi dan Fungsi Gelombang Fotensial Non Sentral *Coulombic Rosen Morse* Menggunakan *Polinomial Romanovski*.

Nama: Cecilia Yanuarief, dkk.

Hal: 571 - 578

Pertanyaan:

1. Faktor μ dan v itu berupa apa saja? Dan penyebab apa saja yang paling signifikan dari grafik fungsi gelombang polar dengan gaya?

Nama: Sartono Marpaung, dkk.

Hal: 535 - 542

Pertanyaan:

1. Perlu dilakukan verifikasi dengan data BMKG!.
2. Mengapa dengan metoda in ward ditemukan anomali deret waktu yang berbeda untuk daerah yang berpola hujan monsun dan daerah berpola lokal?.
3. Mengapa menggunakan ward? Kenapa dipilih 10? Kalau lebih kecil misal bagaimana polanya?.

Jawaban:

1. Untuk penelitian lanjutan akan dilakukan.
2. Karena rata-rata curah hujan pada monsun dan lokal memiliki nilai yang berbeda, jadi nilai anomali pasti akan mempunyai pola yang berbeda.
3. Karena metoda ward paling bagus hasilnya dibanding metode lain. Untuk satu cluster yang terbentuk, letaknya pada satu wilayah (tidak terpisah). Dalam metode analisis cluster hierarki, jumlah cluster ditentukan menggunakan Dendrogram.

Judul: Penggunaan Metode Statistik *Downscaling* dalam Menganalisis Variasi Curah Hujan Berbasis *Global Circulation Model (GCM)*.

Nama: Sinta Berliana Sipayung

Hal: 543 - 550

Pertanyaan:

1. Mengapa untuk daerah Solok dapat memberikan korelasi pola yang lebih baik dibandingkan dua daerah lainnya (Aceh dan Ambon) berdasarkan teknik *downscaling* yang digunakan dalam penelitian ini? "
2. Hasil yang ditunjukkan merupakan prediksi tahun berapa, karena ditunjukkan gambar selama 2 tahun? Apakah hasil menunjukkan rata-rata klimatologis?
3. Mengapa digunakan tiga teknik *downscaling*, mana yang terbaik teknik *downscaling*nya?