

ESTIMASI TINGKAT PRODUKSI PADI SULAWESI TENGAH MELALUI PEMANFAATAN CURAH HUJAN DENGAN PENDEKATAN *GENERALIZED ADDITIVE MODEL* UNTUK Mendukung KETAHANAN PANGAN NASIONAL

Lilies Handayani^{1)*} ; Rezi Amelia²⁾ ; Fachruddin Hari Anggara Putera³⁾

¹Program Studi Statistika Jurusan Matematika FMIPA Universitas Tadulako

Jalan Soekarno-Hatta Km. 09 Tondo, Palu 94118, Indonesia.

¹ lilies.stath@gmail.com

ABSTRACT

Climate models that are able to simulate rainfall in Indonesia so far have not been found. The highly complex topography and interaction of the sea, land and atmosphere adds to the complexity of simulations and predictions of rainfall in Indonesia, particularly in Central Sulawesi. This research focuses on utilizing the results of prediction or forecast rainfall. Rainfall forecasting results obtained are then modeled with data on the level of rice production, so we can predict the future supply of rice (rice). This study examines statistical downscaling modeling with a generalized additive model approach to describe the rainfall events that occur within a certain time period. The data used is rainfall data in Central Sulawesi Province, because this region is a supplier of rice in Sulawesi.

Keywords : Rainfall, Generalized Additive Model, National Food Fulfillment, Rice Production Forecast, Statistical Downscaling

ABSTRAK

Model iklim yang mampu mensimulasi curah hujan di Indonesia dengan baik hingga saat ini belum banyak ditemukan. Topografi dan interaksi laut, darat, dan atmosfer yang sangat kompleks menambah kerumitan simulasi dan prediksi curah hujan di wilayah Indonesia, khususnya Sulawesi Tengah. Dalam penelitian ini difokuskan pada pemanfaatan hasil prediksi atau ramalan curah hujan. Hasil peramalan curah hujan yang diperoleh selanjutnya dimodelkan dengan data tingkat produksi padi, sehingga kita dapat memprediksi persediaan padi (beras) di masa mendatang. Penelitian ini mengkaji pemodelan *statistical downscaling* dengan pendekatan *generalized additive model* untuk menggambarkan kejadian curah hujan yang terjadi dalam jangka waktu tertentu. Data yang digunakan adalah data curah hujan di Provinsi Sulawesi Tengah, karena wilayah ini merupakan penyuplai beras di Sulawesi.

Kata Kunci : Curah Hujan, *Generalized Additive Model*, Ketahanan Pangan Nasional, Ramalan Produksi Padi, *Statistical Downscaling*

I. PENDAHULUAN

Iklim berperan besar terhadap kehidupan manusia seperti dalam bidang pertanian, transportasi, telekomunikasi, dan pariwisata. Curah hujan merupakan unsur iklim yang paling tinggi keragaman dan fluktuasinya, serta paling dominan mencirikan iklim di Indonesia saat ini (Prang, 2006).

Model iklim yang mampu mensimulasi curah hujan di Indonesia dengan baik hingga saat ini belum banyak ditemukan. Topografi dan interaksi laut, darat, dan atmosfer yang sangat kompleks menambah kerumitan simulasi dan prediksi curah hujan di wilayah Indonesia sehingga diperlukan model peramalan curah hujan pada skala lokal dengan mempertimbangkan informasi tentang sirkulasi atmosfer global yang dapat diperoleh dari data *global circulation model* (GCM). GCM dipandang sebagai data yang paling berpotensi dalam hal menyimulasikan iklim masa lampau, sekarang, dan memprediksi perubahan-perubahan iklim yang mungkin terjadi di masa mendatang (Wilby *et al.*, 2009).

Skala spasial yang digunakan dalam GCM masih bersifat global. Data ini tentu saja tidak dapat menjelaskan variabilitas dalam skala lokal yang lebih detail. Teknik transformasi data dari unit skala besar menjadi data pada unit skala yang lebih kecil menggunakan *statistical downscaling* (SD) yang memanfaatkan model statistika untuk menentukan hubungan antara suatu data yang berskala global dengan data yang berskala lokal. Perbedaan skala antara peubah penjelas dan respon dapat diatasi menggunakan teknik SD dengan peubah responnya adalah curah hujan skala lokal sedangkan curah hujan skala global sebagai peubah penjelasnya direpresentasikan oleh data GCM (Handayani, 2014).

Data GCM memiliki karakteristik, yaitu bersifat nonlinear, berdimensi tinggi, dan terdapat multikolinieritas sehingga pemodelan SD membutuhkan teknik analisis yang tepat agar model yang dihasilkan dapat digunakan untuk menggambarkan dengan baik fenomena yang terjadi. Penelitian menggunakan data GCM telah dilakukan oleh Haryoko (2004) yang mengkaji metode untuk mereduksi dimensi GCM dalam penyusunan model SD. Penelitian ini hanya fokus pada pra-pemrosesan SD dan menghasilkan kesimpulan bahwa analisis komponen utama dapat digunakan untuk menghilangkan multikolinieritas pada data GCM.

Analisis yang paling sering digunakan untuk memodelkan hubungan antar peubah penjelas dan respon yang juga dapat diterapkan pada SD adalah analisis regresi linear. Namun model regresi linear memiliki asumsi-asumsi yang kuat sehingga sering menyulitkan dan dapat mengurangi presisi kesimpulan karena karakteristik dari data GCM yang tidak memenuhi asumsi tersebut. Karakteristik data GCM yang bersifat nonlinear pun dapat bermacam-macam dan akan bertambah sulit dalam analisis jika peubah penjelasnya semakin banyak. Permasalahan ini dapat diatasi dengan suatu metode alternatif yang lebih fleksibel terhadap asumsi yang disebut metode nonparametrik (Busuioic *et al.*, 2001).

Penelitian tentang pemodelan SD dengan pendekatan nonparametrik, antara lain dengan menggunakan metode regresi *projection pursuit* untuk peramalan curah hujan bulanan (Wigena, 2006), regresi *splines* adaptif berganda untuk peramalan produksi padi (Sutikno, 2008), dan *Artificial Neural Network* (Wilby *et al.*, 2009), namun ketiga penelitian ini belum mengkaji kejadian ekstrim dalam pemodelannya. Mondiana (2012) telah mengkaji pemodelan curah hujan ekstrim secara parametrik tanpa mengakomodasi pengaruh nonlinear pada data GCM.

Metode nonparametrik yang berpotensi untuk pendugaan model SD dalam kajian ekstrim adalah *generalized additive model* (GAM). GAM pertama kali dikembangkan oleh Hastie dan Tibshirani pada tahun 1986. Metode ini dapat mengakomodasi dengan baik adanya pengaruh nonlinear tanpa harus mengetahui bentuk pengaruh tersebut secara eksplisit. Selain itu metode ini juga kekar (*robust*) terhadap pencilan. GAM merupakan perluasan dari model aditif yang didasarkan pada model regresi linear dengan memodelkan curah hujan lokal (y) sebagai kombinasi aditif dari hubungan fungsional peubah penjelas yang tidak memerlukan adanya asumsi mengenai sebaran sisaan. Setiap hubungan fungsional peubah penjelas diduga secara nonparametrik dengan metode pemulusan (Beck & Jackman, 1997).

Dalam penelitian ini difokuskan pada pemanfaatan hasil prediksi atau ramalan curah hujan Provinsi Sulawesi Tengah. Metode peramalan merupakan cara memperkirakan secara kuantitatif dan kualitatif apa yang akan terjadi pada masa depan berdasarkan data yang relevan pada masa lalu. Metode peramalan curah hujan dapat memberikan manfaat yang sangat besar apabila dikaitkan dengan keadaan informasi atau data yang dipunyai. Hasil peramalan curah hujan yang diperoleh selanjutnya dimodelkan dengan data tingkat produksi padi, sehingga kita dapat memprediksi persediaan padi (beras) di masa mendatang. Hal ini tentu saja berguna untuk perencanaan maupun pengambilan keputusan karena akan membantu dalam mengadakan pendekatan analisa terhadap perilaku atau pola dari data yang lalu sehingga dapat memberikan cara pemikiran pengerjaan, dan pemecahan yang sistematis, serta memberikan tingkat kepercayaan yang lebih besar atas ketepatan hasil ramalan yang dibuat atau yang disusun. Salah satu metode peramalan yang dapat digunakan adalah metode *smoothing*. Metode ini merupakan suatu metode peramalan dengan mengadakan penghalusan terhadap masa lalu, yaitu dengan mengambil rata-rata dari nilai beberapa tahun untuk menaksir nilai pada beberapa tahun ke depan.

II. METODE PENELITIAN

2.1. Eksplorasi data

Eksplorasi dilakukan pada data curah hujan (mm) Kabupaten/Kota di Sulawesi Tengah dan data tingkat produksi padi (kw/ha) Kabupaten/Kota di Sulawesi Tengah menggunakan metode statistika deskriptif sebagai informasi awal untuk melihat keragaman dari data amatan.

2.2. Peramalan Curah Hujan

Peramalan curah hujan Sulawesi Tengah dilakukan dengan menggunakan metode *double exponential smoothing* dengan dua tahapan, yaitu tahapan *level* dan *trend*. Dimana, nilai *smoothing* data ke- t :

$$S_t = L_t + T_t$$

$$T_t = \gamma(L_t - L_{t-1}) + (1-\gamma)T_{t-1}$$

$$L_t = \alpha X_t + (1-\alpha)(L_{t-1} + T_{t-1})$$

Jika $X_t = b_0 + b_1 * t + e$, maka $L_0 = b_0$ dan $T_0 = b_1$. Sedangkan, nilai *forecasting* (ramalan) diperoleh dengan formula : $F_{t,h} = L_t + T_t * h$. (Makridakis & Wheelwright, 1999)

2.3. Pemodelan

Pemodelan dilakukan untuk melihat pengaruh antara curah hujan (mm) dan tingkat produksi padi (kw/ha) di Sulawesi Tengah dengan menggunakan model regresi sederhana dan model *statistical downscaling* (SD) berbasis *generalized additive model* dengan langkah-langkah :

a. Membuat plot peubah curah hujan ekstrim dengan data tingkat produksi padi untuk melihat indikasi awal adanya pengaruh nonlinear pada data

b. Menentukan derajat pemulus dan banyaknya knot pemulus pada peubah penjelas yang mempunyai hubungan nonlinear

c. Menduga fungsi f_j pada model
$$\eta = f_0 + \sum_{j=1}^p f_j(x_{ij})$$
, untuk $i = 1, 2, \dots, n$

menggunakan algoritma *backfitting*, dengan langkah-langkah berikut:

- Nilai awal: $f_0 = E(\mathbf{y})$, $f_1^{(0)} = f_2^{(0)} = \dots = f_p^{(0)} = 0$, $m = 0$

- Iterasi:

$$m = m + 1$$

untuk $j = 1$ sampai p :

$$\mathbf{R}_j = \mathbf{y} - f_0 - \sum_{k \neq j} f_k^{(m)}(\mathbf{X}_k), \quad f_j^{(m)} = E(\mathbf{R}_j | \mathbf{X}_j)$$

$$JKG = \left[\mathbf{y} - f_0 - \sum_{k=1}^p f_k^{(m)}(\mathbf{X}_k) \right]^2$$

- Ulangi tahap iterasi sampai tidak turun

d. Membuat plot hubungan fungsional dari model yang dibentuk untuk melihat bentuk ketergantungan peubah curah hujan ekstrim dengan data curah hujan. (Hastie & Tibshirani, 1990)

2.4. Estimasi Tingkat Produksi Padi

1. Menentukan model terbaik berdasarkan nilai koefisien determinasi dan korelasi terbesar
2. Melakukan peramalan tingkat produksi padi berdasarkan curah hujan di setiap periode waktu menggunakan model terpilih

2.5. Validasi dan Uji Konsistensi Model

1. Menghitung nilai *root mean square error of prediction* (RMSEP) menggunakan formula

$$\text{RMSEP} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} . \text{ Semakin kecil nilai RMSEP, maka semakin kecil}$$

perbedaan antara nilai dugaan dengan nilai aktual, yang berarti model yang dibentuk semakin akurat dalam menghasilkan nilai dugaan (Brockwell & Davis, 2002)

2. Menghitung nilai korelasi antara curah hujan ekstrim dengan nilai dugaan

$$\text{menggunakan formula } r = \frac{n \sum_{i=1}^n y_i \hat{y}_i - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right) \left(\sum_{i=1}^n \hat{y}_i \right)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n \hat{y}_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n \hat{y}_i \right)^2 \right]}} \text{ untuk}$$

menunjukkan keeratan hubungan antara nilai dugaan dengan nilai aktualnya. Semakin besar (dan positif) nilai korelasi maka semakin kuat hubungan antara nilai dugaan dan nilai aktualnya, yang berarti pola nilai dugaan semakin mendekati pola data aktualnya (Draper & Smith, 1981)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Eksplorasi Data Curah Hujan

Deskripsi data curah hujan Provinsi Sulawesi Tengah perlu dilakukan sebagai informasi awal untuk mengetahui karakteristik dan pola curah hujan yang digunakan untuk analisis berikutnya. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa Kabupaten/Kota di Provinsi Sulawesi Tengah memiliki rata-rata curah hujan yang fluktuatif (beragam) setiap tahunnya. Hal ini juga mempengaruhi kondisi curah hujan Provinsi Sulawesi Tengah secara umum. Terlihat bahwa rata-rata curah hujan Provinsi Sulawesi Tengah tertinggi terjadi pada tahun 2008, yaitu sebesar 175,5 mm dan rata-rata curah hujan terendah terjadi pada tahun 2014, sebanyak 99,92 mm. Dimana rata-rata curah hujan yang terjadi selama 12 tahun terakhir di Provinsi Sulawesi Tengah sebesar 133,8 mm. Sedangkan nilai simpangan baku yang digunakan untuk menyatakan keragaman curah hujan di Provinsi Sulawesi Tengah sebesar 21,4 mm.

3.2. Eksplorasi Data Tingkat Produksi Padi

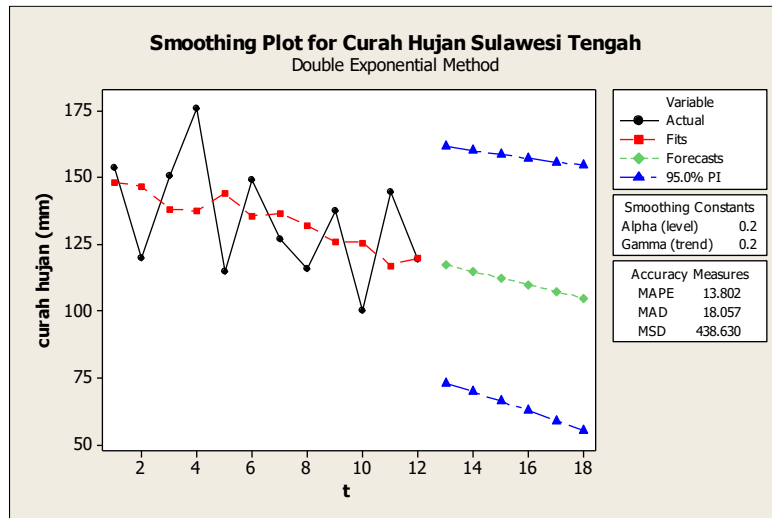
Ketahanan pangan merupakan salah satu faktor penentu stabilitas ekonomi sehingga upaya pemenuhan kecukupan pangan menjadi kerangka pembangunan yang mampu mendorong pembangunan sektor lainnya. Ketahanan pangan dibangun atas tiga pilar utama, yaitu ketersediaan pangan, akses pangan, dan pemanfaatan pangan. Tersedianya pangan secara fisik di daerah bisa diperoleh dari hasil produksi daerah sendiri, impor, maupun bantuan pangan. Analisis mengenai ketersediaan pangan dan akses pangan menjadi tahapan pembangunan yang strategis karena dibutuhkan untuk menelaah kinerja ketahanan pangan di Sulawesi Tengah. Kemandirian pangan akan mampu menjamin masyarakat memenuhi kebutuhan pangan yang cukup, mutu yang layak, aman dan tanpa ketergantungan dari pihak luar.

Sumber pangan lokal di Provinsi Sulawesi Tengah antara lain tanaman pangan dan hortikultura, peternakan, perkebunan, dan perikanan. Tanaman pangan merupakan salah satu subsektor pertanian yang dominan di Sulawesi Tengah. Produksi padi di Sulawesi Tengah mempunyai peran terbesar kedua di Pulau Sulawesi setelah Provinsi Sulawesi Selatan dengan kecenderungan semakin meningkat. Produksi padi di Provinsi Sulawesi Tengah tahun 2015 mengalami peningkatan sebesar 26.188 ton dari tahun sebelumnya yaitu mencapai hasil produksi 1.022.054 ton pada tahun 2014 menjadi 1.048.242 ton pada tahun 2015.

Rata-rata tingkat produksi padi sawah Provinsi Sulawesi Tengah tertinggi diperoleh pada tahun 2015, yaitu sebesar 49,13 kw/ha dan rata-rata tingkat produksi padi sawah terendah diperoleh pada tahun 2005, sebanyak 41,53 kw/ha. Dimana rata-rata tingkat produksi padi sawah yang dihasilkan selama 12 tahun terakhir di Provinsi Sulawesi Tengah sebesar 45,78 kw/ha. Sedangkan nilai simpangan baku yang digunakan untuk menyatakan keragaman tingkat produksi padi sawah di Provinsi Sulawesi Tengah sebesar 2,43 kw/ha.

3.3. Peramalan Curah Hujan

Dengan menggunakan nilai $\alpha = \gamma = 0,2$ diperoleh hasil peramalan curah hujan Provinsi Sulawesi Tengah dari tahun 2017-2022 berturut-turut, yaitu 117,3 mm ; 114,8 mm ; 112,3 mm ; 109,9 mm ; 107,4 mm ; dan 104,9 mm. Berikut disajikan plot hasil ramalan pada Gambar 1.



Gambar 1 : Plot Hasil Ramalan Curah Hujan

3.4. Pemodelan

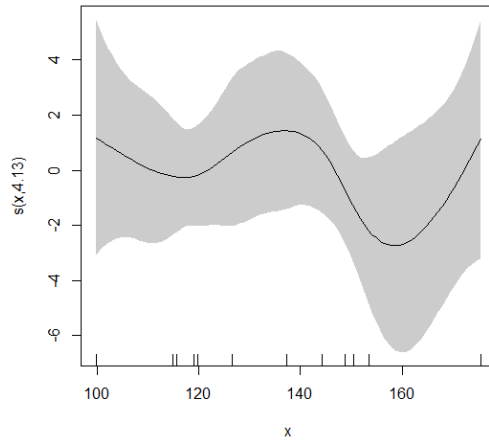
Plot data antara curah hujan dan tingkat produksi padi sawah di Provinsi Sulawesi Tengah memperlihatkan bahwa hubungan parsial antara peubah respon (tingkat produksi padi sawah) dengan peubah penjelas (curah hujan) tidak linear. Hal ini jelas terlihat dengan sebaran data yang menyebar mengikuti suatu sebaran nonlinear tertentu. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sudah selayaknya dalam penentuan model, pengaruh nonlinear diakomodasi karena jika ini tidak dilakukan, maka model yang dihasilkan tidak cukup baik.

Model aditif terampat (*GAM / generalized additive model*) merupakan model alternatif yang selanjutnya digunakan untuk mengakomodasi pengaruh nonlinear dari peubah penjelas melalui pendekatan regresi nonparametrik. Pemodelan regresi nonparametrik memiliki kelenturan terutama dalam penentuan bentuk kurva yang tidak perlu ditentukan secara a priori, tetapi kurva dibentuk sesuai dengan datanya (*data driven*). Analisis GAM dilakukan dengan memodelkan tingkat produksi padi sawah sebagai kombinasi aditif dari hubungan fungsional peubah curah hujan atau dapat dituliskan :

$$y = f(x)$$

dimana, y adalah tingkat produksi padi sawah dan x adalah curah hujan.

Selain itu, juga diperoleh plot hubungan fungsional peubah penjelas pada Gambar 2 berikut ini :



Gambar 2 : Plot Hubungan Fungsional Peubah Penjelas

3.5. Estimasi Tingkat Produksi Padi

Dengan menggunakan model yang telah diperoleh sebelumnya, dilakukan estimasi terhadap tingkat produksi padi Provinsi Sulawesi Tengah 6 tahun ke depan dan diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 1 : Hasil Estimasi Tingkat Produksi Padi

Tahun	Curah Hujan (mm)	Tingkat Produksi Padi Sawah (kw/ha)
2017	117.29	45.51
2018	114.81	45.57
2019	112.34	45.69
2020	109.86	45.88
2021	107.39	46.11
2022	104.91	46.37

3.6. Validasi Model

Validasi adalah tahapan untuk memperoleh gambaran tentang keakuratan estimasi model tersebut. Berikut hasil yang diperoleh :

Tabel 2 : Nilai RMSEP Model yang Diperoleh

Data Historis	Data Estimasi	RMSEP
9 th	3 th	41.213
8 th	4 th	79.502
7 th	5 th	83.421
6 th	6 th	164.909
5 th	7 th	167.523

Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa semakin panjang data yang akan diestimasi maka nilai RMSEP akan relatif semakin besar, sedangkan nilai korelasi relatif semakin kecil. Model GAM memberikan nilai RMSEP terkecil, yaitu pada estimasi tingkat produksi padi Provinsi Sulawesi Tengah 3 tahun ke depan.

3.7. Uji Konsistensi Model

Konsistensi model GAM dapat diketahui dari hasil pendugaan yang konsisten pada berbagai waktu pendugaan.

Tabel 3 : Nilai Korelasi Data Aktual dan Estimasi yang Diperoleh

Data Historis	Data Dugaan	<i>r</i>
2005-2013	2014-2016	0.792
2005-2011	2012-2014	0.781
2005-2009	2010-2012	0.765
2005-2007	2008-2010	0.704

Berdasarkan hasil yang diperoleh nilai simpangan baku dari nilai korelasi pada setiap waktu pendugaan sangat kecil, yaitu sebesar 0.039 yang menunjukkan bahwa model yang dihasilkan dapat dikatakan cukup konsisten dalam menghasilkan nilai dugaan 3 tahun ke depan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa :

1. Pola fluktuasi data curah hujan dan tingkat produksi padi sawah di tiap Kabupaten/Kota Provinsi Sulawesi Tengah cenderung homogen yang menunjukkan bahwa karakteristik data curah hujan dan tingkat produksi padi sawah yang terjadi di Kabupaten/Kota Provinsi Sulawesi Tengah relatif sama sehingga data curah hujan dan tingkat produksi padi sawah Provinsi Sulawesi Tengah secara umum dapat digunakan secara representatif untuk menggambarkan kondisi seluruh Kabupaten/Kota di Provinsi Sulawesi Tengah.
2. Estimasi data tingkat produksi padi di Provinsi Sulawesi Tengah 3 tahun ke depan menggunakan metode *generalized additive model* memberikan hasil estimasi terbaik dari semua periode analisis yang digunakan. Hasil pendugaan yang diperoleh juga konsisten pada berbagai waktu pendugaan, sehingga dapat disimpulkan bahwa model ini relevan untuk digunakan di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Beck N, Jackman S, 1997, *Getting The Mean Right is a Good Thing: GAMs*, San Diego: University of California.
- [2] Brockwell, P.J. dan Davis, R.A, 2002, *Introduction to Time Series and Forecasting*, New York: Springer-Verlag.
- [3] Busuioc A, Chen D, Hellstrom C. 2001. *Performance of statistical downscaling models in GCM validation and regional climate change estimates (Application for Swedish precipitation)*. International Journal of Climate 21: 557-578.
- [4] Draper NR, Smith H. 1981. *Applied Regression Analysis, 2nd*. John Wiley and Sons, Inc.
- [5] Handayani, Lilies. 2014. *Statistical Downscaling dengan Model Aditif Terampat untuk Pendugaan Curah Hujan Ekstrim [Tesis]*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- [6] Haryoko U. 2004. *Pendekatan Reduksi Dimensi Luaran GCM untuk Penyusunan Model SD [Tesis]*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- [7] Hastie T, Tibshirani R. 1990. *Generalized Additive Models*. London: Chapman and Hall.
- [8] Makridakis, S. dan Wheelwright, S.C. 1999, *Metode dan Aplikasi Peramalan*. Jakarta: Erlangga.
- [9] Mondiana YQ. 2012. *Pemodelan Statistical Downscaling dengan Regresi Kuantil untuk Pendugaan Curah Hujan Ekstrim [Tesis]*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

- [10] Prang JD. 2006. *Sebaran Nilai Ekstrim Terampat dalam Fenomena Curah Hujan [Tesis]*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- [11] Sutikno. 2008. *Statistical Downscaling Luaran GCM dan Pemanfaatannya untuk Peramalan Produksi Padi [Disertasi]*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- [12] Wigena AH. 2006. *Pemodelan Statistical Downscaling dengan Regresi Projection Pursuit untuk Peramalan Curah Hujan Bulanan (Kasus Curah Hujan Bulanan di Indramayu) [Disertasi]*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- [13] Wilby RL, Charles SP, Zorita E, Timbal B, Whetton P, Mearns LO. 2009. *A Review Of Climate Risk Information For Adaptation And Development Planning. Journal of Climatology* 29: 1193-1215.