

Prediksi Awal Musim Hujan Berdasarkan Indeks Variabilitas Iklim di Pulau Jawa

Monsoon Onset Prediction based on Climate Variability Indices over Java Island

Fithriya Yuliasih Rohmawati*, Rizaldi Boer, Akhmad Faqih

Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas MIPA, Institut Pertanian Bogor, Jl. Meranti, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 10 September 2013

Disetujui: 15 April 2014

Kata kunci:

Awal musim hujan

ENSO

MJO

ROC

Jawa

Keywords:

AMH

ENSO

MJO

ROC

Java

Abstrak. Informasi terkait awal musim hujan (AMH) memiliki peranan penting dalam penyusunan strategi tanam guna meningkatkan hasil pertanian yang optimum. Penelitian ini bertujuan menyusun model prediksi AMH di Jawa sebagai daerah sentra pangan di Indonesia menggunakan indeks variabilitas iklim seperti *El Nino Southern Oscillation* (ENSO), *El Nino Modoki*, *Indian Ocean Dipole* (IOD) dan *Sea Surface Temperature* (SST) serta *Madden Julian Oscillation* (MJO). Model persamaan AMH disusun menggunakan model regresi linier dan *skill model* prediksi dievaluasi menggunakan *Relative Operating Characteristics* (ROC). Hasil penelitian menunjukkan bahwa ENSO (indeks anomali SST Nino 3.4) menjelaskan sebagian besar variabilitas AMH di Jawa. Oleh karena itu, ENSO bulan Juli dan Agustus digunakan sebagai prediktor AMH. Model persamaan yang disusun berdasarkan indeks tersebut mempunyai *skill* baik. Rata-rata *skill model* prediksi mencapai 84% (ENSO bulan Juli) dan 76% (ENSO bulan Agustus) untuk AMH maju dari normal dan 83% (ENSO bulan Juli) dan 86% (ENSO bulan Agustus) untuk AMH mundur dari normal. Dengan hasil tersebut, maka model persamaan dalam penelitian ini cukup dapat memberikan solusi terhadap masalah keakuratan informasi AMH terutama untuk AMH mundur dari normal yang berdampak pada kegagalan panen.

Abstract. Monsoon onset information plays an important role in setting up planting strategy for achieving optimum yield. This study aimed to develop forecasting model for the monsoon onset in main rice growing areas of Java, Indonesia using climate variability indices, namely the El Niño Southern Oscillation (ENSO), El Niño Modoki, Indian Ocean Dipole (IOD), and Sea Surface Temperature (SST) and Madden Julian Oscillation (MJO). The forecasting models of the monsoon onset were developed using a linear regression model and that skill of the prediction models were evaluated using Relative Operating Characteristics (ROC). It was found that ENSO (anomaly SST Nino 3.4) explained most of the variability of monsoon onset across Java. Therefore, the SST Nino 3.4 index (in July and August) can be used as one of predictors for predicting the onset. The models developed using this index have a better skill. The average skill of the models for forecasting advanced monsoon onset reached 84% (July's ENSO) and 76% (August's ENSO), then for the delayed monsoon onset reached 83% (July's ENSO) and 86% (August's ENSO). According to this result, the equation's model can provide a sufficient solution for the accuracy of monsoon onset information particularly if there is a delay in monsoon onset that can lead to the crop failure.

Pendahuluan

Prediksi awal musim hujan (AMH) merupakan informasi yang sangat penting bagi negara agraris seperti Indonesia. Informasi AMH diperlukan oleh petani untuk menentukan pola dan strategi tanam (Boer *et al.* 2007). Jika AMH mundur dari normal maka musim tanam (padi) pertama akan mundur. Jika musim tanam pertama mundur maka musim tanam kedua akan mundur, yang mempunyai risiko kekeringan lebih besar karena sudah masuk musim kemarau. Jika prediksi AMH akurat maka risiko kekeringan dapat diminimalisir. Namun untuk menentukan prediksi AMH yang akurat tidaklah mudah, karena hujan di Indonesia mempunyai keragaman yang tinggi terhadap ruang dan waktu (Boer *et al.* 2010).

Keragaman hujan di Indonesia dikuantifikasi dengan indeks variabilitas iklim. Indeks variabilitas iklim adalah indikator global yang memengaruhi keragaman iklim

(terutama hujan) di Indonesia seperti monsoon (Aldrian dan Susanto 2003), *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) (Hendon 2003, Tjasyono *et al.* 2008), *Madden-Julian Oscillation* (MJO) (Hermawan 2010), *Indian Dipole Mode* (IOD) (Tjasyono *et al.* 2008), ENSO Modoki (Windari 2012), suhu permukaan laut/*sea surface temperature* (SST) sekitar Indonesia dan fenomena lain seperti *Pacific Decadal Oscillation* (PDO) serta *Quasi-Biennial Oscillation* (QBO). Selain itu, faktor lokal seperti topografi dan sistem golakan lokal juga berpengaruh terhadap keragaman hujan di Indonesia (Boer 2003).

Pulau Jawa, sebagai salah satu wilayah sentra agraris di Indonesia sangat memerlukan informasi prediksi AMH yang akurat. Pertanian di pulau Jawa didominasi oleh pertanian padi dengan jenis sawah irigasi. Menurut Wahyunto (2009) pada tahun 2009 sawah irigasi di pulau Jawa sebesar 2.464.752 ha (76,2% dari total luas sawah) dan sawah tadah hujan 763.632 ha (23,6% dari total luas sawah). Petani dapat menanam padi dua sampai tiga kali

* Corresponding author: fithr4103@gmail.com

dalam setahun. Untuk musim tanam padi pertama kemungkinan tidak mengalami risiko kekeringan karena biasanya dilakukan saat awal musim hujan. Sementara itu, musim tanam padi kedua dan ketiga mempunyai risiko kekeringan yang lebih besar karena ketersediaan air di waduk irigasi akan menurun seiring dengan menurunnya hujan saat memasuki musim kemarau. Saat AMH mundur dari normal maka petani akan memundurkan musim tanam padi pertama. Sementara itu, musim tanam kedua atau ketiga juga akan mundur sehingga mempunyai risiko kekeringan yang lebih besar. Oleh karena itu, pertanian (khususnya padi) di wilayah tersebut sangat terpengaruh oleh AMH.

Penelitian terkait prediksi AMH sudah banyak dilakukan (Moron *et al.* 2009; Suryantoro *et al.* 2010, Swarinoto dan Makmur 2010, Marjuki 2011). Moron *et al.* (2009) melakukan analisis AMH di wilayah Indonesia menggunakan metode analisis korelasi kanonik validasi silang dengan suhu per mukaan laut Samudera Pasifik Tropis dan Samudera Hindia (20°S-20°N dan 80°E-180°E) sebagai prediktornya. Hasil penelitian menunjukkan anomali korelasi 0,8 untuk rata-rata data stasiun penakar hujan dan 0,7 untuk data curah hujan *grid* lima harian. Suryantoro *et al.* (2010) melakukan penentuan onset (AMH) di Banten, Jawa Barat dan DKI Jakarta dengan menggunakan satelit *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM). Hasilnya menunjukkan paling awal musim hujan terjadi pada Oktober dasarian kedua. Swarinoto dan Makmur (2010) melakukan simulasi prediksi AMH dan panjang musim hujan di zona musim (ZOM) 126 Denpasar berdasarkan anomali suhu permukaan laut di Indonesia, Nino 3.4 dan IOD. Hasil yang diperoleh adalah anomali suhu permukaan laut Indonesia sangat memengaruhi maju dan mundurnya AMH dan panjang musim hujan sementara anomali suhu permukaan laut Nino 3.4 dan IOD sebagai penguat/pelemah. Marjuki (2011) menyusun model prediksi AMH di Pulau Jawa menggunakan suhu permukaan laut bulan Juni, Juli, dan Agustus di wilayah 15°S-15°N dan 80°E-100°W. Hasil penelitian Marjuki (2011) menunjukkan bahwa 60% model prediksi mendekati observasi dengan deviasi sebesar satu dasarian (10 hari) sedangkan 40% lainnya mempunyai deviasi 1-2 dasarian. Penelitian-penelitian hanya memasukkan maksimal dua indeks variabilitas iklim dan belum memasukkan MJO sebagai prediktornya. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) sebagai lembaga yang berwenang dalam bidang iklim juga telah membuat prediksi AMH berdasarkan model statistik seperti ARIMA, ANFIS dan wavelet transform, namun belum memasukkan ENSO, IOD dan MJO sebagai prediktor (Kadarsah 2010; Setyadipratikto *et al.* 2010).

Penelitian ini dilakukan dengan memasukkan beberapa indeks variabilitas iklim seperti ENSO, ENSO Modoki,

IOD, MJO, dan SST sekitar Jawa. Indeks variabilitas iklim tersebut terbukti memberi dampak yang cukup besar terhadap kawasan Indonesia (Boer 2003, Donald *et al.* 2006, Harijono 2008, Hermawan 2010). Diharapkan dengan memasukkan beberapa indeks variabilitas iklim sebagai prediktor AMH akan meningkatkan keakuratan model prediksi AMH.

Hambatan utama memprediksi AMH ialah kesulitan untuk mendapatkan data observasi iklim/curah hujan yang lengkap dan menyeluruh. Padahal semakin banyak/lengkap stasiun yang digunakan dalam mengolah data iklim, kesalahan analisis/bias yang terjadi akan semakin kecil (Swarinoto *et al.* 2009). Salah satu solusi mengatasi masalah keterbatasan data adalah menggunakan data dari *Regional Climate Model* versi 3.1 (selanjutnya ditulis RegCM3).

Bahan dan Metode

Tempat penelitian di Laboratorium Klimatologi Departemen Geofisika dan Meteorologi, Institut Pertanian Bogor. Wilayah kajian adalah pulau Jawa dengan posisi geografis 4°50'-9°0' LS dan 105°1'11''-116°30' BT.

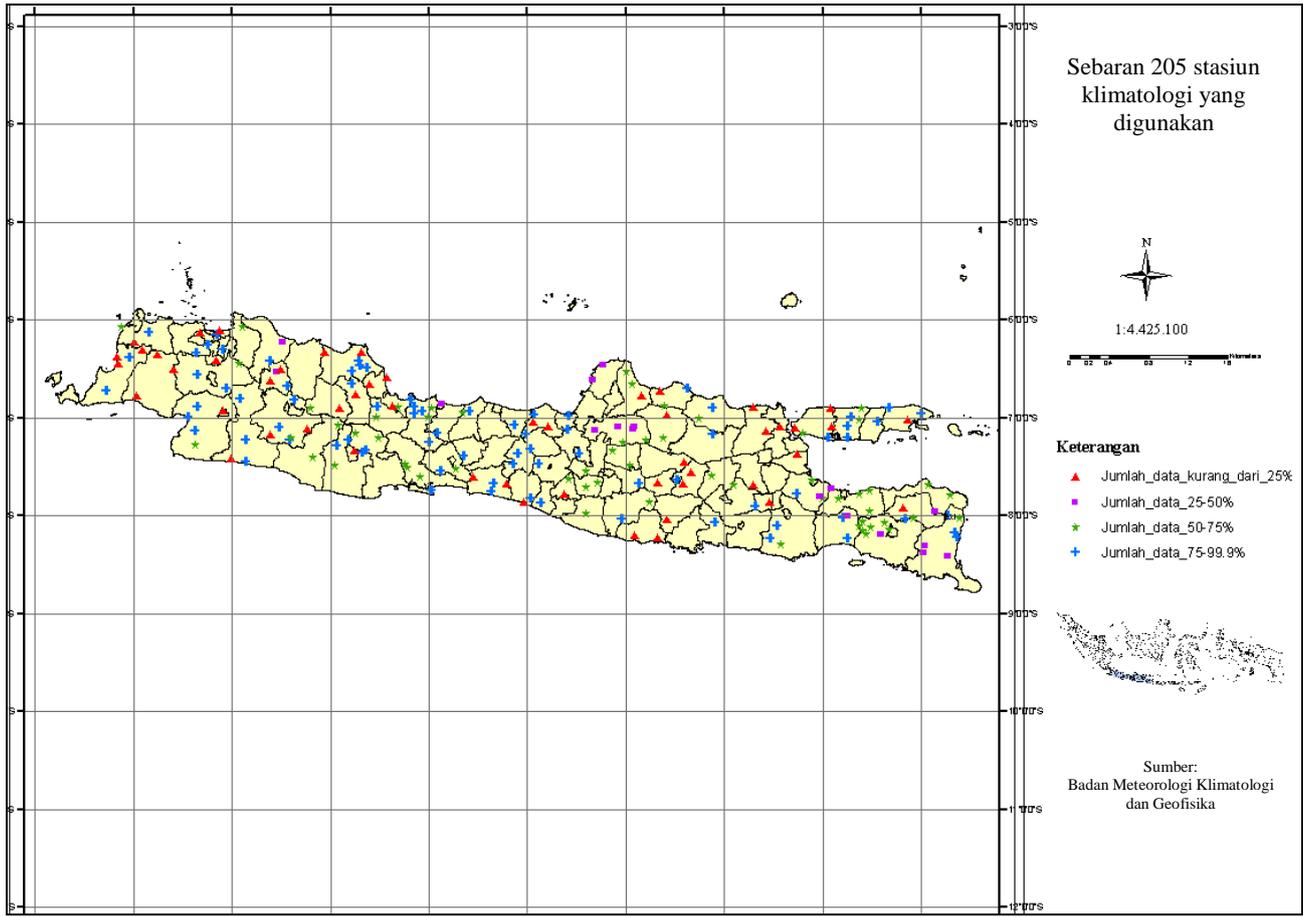
Data curah hujan yang digunakan adalah data dasarian observasi BMKG 205 stasiun tahun 1962 sampai 2001 (Gambar 1) dan data harian RegCM3 tahun 1962 sampai 2001 (resolusi spasial sekitar 10 x 10 km). Selain itu, data yang digunakan data: (a) anomali SST Nino 3, Nino 4, Nino 3.4; (b) SOI (sumber data website: www.longpaddock.qld.gov.au dan *Bureau of Meteorology* (BOM)) bulan Mei, Juni, Juli, dan Agustus; (c) indeks IOD bulan Mei, Juni, Juli, dan Agustus; (d) *El Nino Modoki Index* bulan Mei, Juni, Juli, dan Agustus; (e) *Real-Time Multivariate MJO Index* seri 1 dan 2 (RMM1 dan RMM2) bulan Mei, Juni, Juli, dan Agustus; serta (f) suhu permukaan laut sekitar Jawa bulan Mei, Juni, Juli, dan Agustus (sumber data IRI ERSSTV3B).

Perangkat lunak yang digunakan adalah Surfer, ArcGIS, Microsoft Excell dengan aplikasi Crystall Ball, Ferret, Notepad, dan Matlab.

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahap sebagai berikut:

Pengolahan awal data RegCM3

Data awal RegCM3 masih dalam format Network Common Data Form (NetCDF) sehingga harus diubah dalam bentuk Excell (format .xls) dengan menggunakan software Ferret. Data RegCM3 diubah menjadi data curah hujan dasarian (CHdasarian) menggunakan rumus sebagai berikut:



Gambar 1. Sebaran 205 stasiun klimatologi di Jawa
 Figure 1. Distribution of 205 climatological stations in Java

$$CH_{\text{dasarian}} = \sum_1^n CH_{\text{harian}}$$

dimana:

CH_{dasarian} = Curah hujan dasarian
 CH_{harian} = Curah hujan harian

i, n = hari ke- i sampai ke- n (untuk dasarian pertama tiap bulan: i adalah hari ke-1 dan n adalah hari ke-10, dasarian kedua tiap bulan: i adalah hari ke-11 dan n adalah hari ke-20, dasarian ketiga tiap bulan: i adalah hari ke-21 dan n adalah hari terakhir bulan yang bersangkutan).

Koreksi data RegCM3

Data CH RegCM3 dikoreksi dengan metode Piani *et al.* (2010) dan dibagi menjadi empat wilayah yaitu Jawa Barat Selatan, Jawa Barat Utara, Jawa Tengah-Yogyakarta, dan Jawa Timur. Data CH RegCM3 pada masing-masing wilayah tersebut dilakukan koreksi dengan langkah sebagai berikut:

1. Menentukan jenis distribusi serta parameter data CH observasi dan data CH RegCM3 (curah hujan biasanya mengikuti sebaran gamma).
2. Menghitung *cumulative distribution function* (CDF) kedua data di atas (Piani *et al.* 2010).

$$cdf(x) = \int_0^x \frac{e^{(-\frac{x'}{\theta})} x'^{(k-1)}}{\Gamma(k)\theta^k} dx' + cdf(0)$$

dimana :

x = Data CH observasi maupun RegCM3
 k, θ = Parameter distribusi (untuk sebaran gamma k, θ berarti *shape* dan *scale*)

$cdf(0)$ = Fraksi dasarian yang tidak ada hujan

3. Menghitung *inverse CDF* dari kedua data.
4. Membuat *plot inverse CDF* data CH RegCM3 (sumbu x) dengan data CH observasi (sumbu y).
5. Menentukan persamaan dari *plot* antara *inverse CDF* data RegCM3 dan data observasi.

6. Menghitung data RegCM3 terkoreksi menggunakan persamaan yang diperoleh di atas.

Uji likelihood ratio

Uji ini digunakan untuk mengetahui data RegCM3 terkoreksi berbeda atau sama dengan data observasi. Hasil yang diharapkan adalah data RegCM3 sama dengan data observasi sehingga data RegCM3 tersebut dapat digunakan untuk menduga AMH berdasarkan persamaan yang ada. Uji ini merupakan salah satu alternatif untuk menguji data yang tidak berdistribusi normal seperti data curah hujan yang biasanya berdistribusi gamma. Uji stastistika (Wilks 1995):

$$A = 2 \ln \left[\frac{l(H_1)}{l(H_0)} \right] = 2 [L(H_1) - L(H_2)]$$

dimana:

- l(H0) = fungsi *likelihood* H0
- l(H1) = fungsi *likelihood* H1
- L(H0) = logaritma dari *likelihood* H0
- L(H1) = logaritma dari *likelihood* H1

Hipotesis yang digunakan (dengan $\alpha = 0,05$):

- H0 = Parameter distribusi RegCM3 terkoreksi sama dengan parameter distribusi observasi.
- H1 = Parameter distribusi RegCM3 terkoreksi tidak sama dengan parameter distribusi observasi.

Penentuan awal musim hujan (AMH)

Penentuan AMH dilakukan dengan menggunakan kriteria BMKG dengan sedikit modifikasi dimana penentuan AMH menggunakan kriteria berjenjang:

1. AMH baru dihitung setelah dasarian ke-19 (bulan Juli).
2. Kriteria 1: awal hujan ditandai dengan jumlah curah hujan dasarian telah lebih dari 50 mm dan diikuti dua dasarian berikutnya, jika kriteria 1 tidak terpenuhi maka menggunakan kriteria 2.
3. Kriteria 2: awal hujan ditandai dengan jumlah curah hujan dasarian telah lebih dari 50 mm dan diikuti satu dasarian berikutnya, jika kriteria 2 tidak terpenuhi maka menggunakan kriteria 3
4. Kriteria 3: awal hujan ditandai dengan jumlah curah hujan dasarian telah lebih dari 50 mm.

Persamaan hubungan AMH dengan curah hujan September-Oktober-November (CH SON) observasi

Persamaan dibagi menjadi empat wilayah: Jawa Barat Selatan, Jawa Barat Utara, Jawa Tengah-Yogyakarta dan Jawa Timur. Pemilihan persamaan dilakukan dengan

membuat *plot* AMH dengan CH SON observasi dengan nilai koefisien determinasi tertinggi. Sebelum membuat persamaan, maka kedua data yang digunakan dipastikan memenuhi uji asumsi yaitu kedua data berdistribusi normal. Selanjutnya hasil persamaan digunakan untuk menduga AMH dengan menggunakan data RegCM3 terkoreksi.

Korelasi AMH dengan indeks variabilitas iklim

Korelasi yang digunakan adalah korelasi spearman atau korelasi rank. Korelasi ini tidak mensyaratkan data yang digunakan memenuhi uji asumsi statistika seperti data harus berdistribusi normal dan seterusnya. Korelasi ini bertujuan menentukan indeks ENSO yang paling berpengaruh terhadap AMH dan *time lag* indeks variabilitas iklim yang sebaiknya digunakan dalam menduga AMH. Nilai signifikansi yang digunakan adalah 0,264 (nilai kritis korelasi spearman dengan jumlah data 40 yaitu dari tahun 1962-2001). Rumus korelasi spearman (Wilks 1995):

$$r_{rank} = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n D_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

dimana:

- r_{rank} = Nilai korelasi spearman/rank
- n = Jumlah pasangan data (40 data)
- i = 1,2,...40
- D_i = Perbedaan dalam rangking nilai pasangan data ke-i

Penyusunan model persamaan AMH

Model persamaaan disusun berdasarkan satu indeks variabilitas iklim ataupun kombinasi dua, tiga, empat, dan lima indeks variabilitas iklim sehingga terdapat 31 model persamaan AMH. Model persamaan yang digunakan adalah model regresi linier sederhana dan regresi linier berganda (Wilks 1995).

$$\begin{aligned} AMH &= b_0 + b_1x_1 + e_i \\ AMH &= b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + e_i \\ AMH &= b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + e_i \\ AMH &= b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + e_i \\ AMH &= b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + e_i \end{aligned}$$

dimana:

- AMH = Awal musim hujan (dasarian)
- b_0 = Intersep/konstanta regresi
- b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 = Kemiringan indeks variabilitas iklim
- x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 = Nilai indeks variabilitas iklim
- e_i = Nilai error

Indeks MJO yang digunakan adalah data *Real-Time Multivariate MJO Index* seri 1 dan 2 (RMM 1 dan RMM2)

yang dikembangkan oleh Wheeler dan Hendon (2004). RMM ini digunakan untuk menentukan fase MJO. Berdasarkan Wheeler dan Hendon (2004) MJO di Indonesia terjadi ketika fase 4 dan 5, akan tetapi karena memperhitungkan *time lag* maka digunakan fase 3 dan 4. Indeks MJO didapatkan dengan cara menghitung jumlah fase 3 dan 4 di bulan Agustus kemudian memasukkan jumlah tersebut kedalam nilai koefisien untuk indeks MJO.

Model persamaan AMH yang digunakan untuk proses selanjutnya adalah model persamaan AMH berdasarkan indeks variabilitas iklim yang dominan memengaruhi AMH di Pulau Jawa. Kriteria dominan adalah indeks yang mempunyai persentase terbesar dalam memengaruhi AMH di Jawa dengan *p-value* maksimal 0,1 dan tidak terjadi multikolinearitas.

Pengelompokkan (*clustering*) 374 grid di Pulau Jawa

Tahap ini dilakukan untuk menyederhanakan dan memudahkan analisis selanjutnya serta melihat *grid* yang mempunyai kesamaan besarnya indeks variabilitas iklim. Terdiri dari dua tahap yaitu mencari jumlah *cluster* yang mewakili dan menentukan metode paling tepat untuk menentukan *cluster* tersebut. Jumlah *cluster* ditentukan dengan melihat grafik hubungan antara langkah ke-(sumbu x) dengan jarak (sumbu y) di titik yang mulai curam ke atas. Jumlah *cluster* ini ditentukan dengan melihat jumlah *cluster* terbanyak dari beberapa metode yang digunakan: *average, centroid, complete, mcquitty, median, single, dan ward*. Tahap kedua adalah menentukan metode paling tepat dengan melihat nilai standar deviasi terkecil dari masing-masing konstanta dan parameter persamaan regresi (*bo* dan *b1*) dengan menggunakan beberapa metode di atas.

Penyusunan model AMH *cluster*

Tahap ini sama dengan tahap penyusunan model AMH, akan tetapi data yang digunakan merupakan data AMH *cluster*. AMH *cluster* diperoleh dari rata-rata AMH semua *grid* yang berada dalam *cluster* tersebut. Karena data yang digunakan adalah 40 tahun maka tiap *cluster* mempunyai 40 data AMH.

Evaluasi *skill model* menggunakan *relative operating characteristics (ROC)*

Relative operating characteristics merupakan metode yang direkomendasikan oleh *World Meteorological Organization (WMO)* yang dapat mengindikasikan kemampuan probabilistik prediksi cuaca dan iklim (Kadarsah 2010). Kurva ROC disusun berdasarkan nilai false alarm rate dan hit rate (Gambar 3). *Skill model* prediksi semakin baik jika kurva berada di atas garis non skill. Sebelum mendapat kurva ROC maka perlu

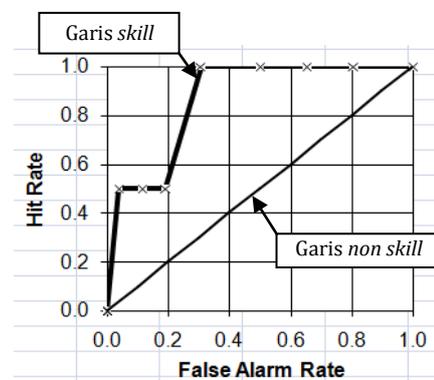
menyusun tabel kontingensi (Mason dan Graham 1999). Nilai *hit rate* dan *false alarm rate* dapat dicari dengan rumus (Wilks 1995) sebagai berikut:

$$Hit\ rate = \frac{hits}{hits + misses}$$

$$False\ alarm\ rate = \frac{false\ alarm}{false\ alarm + correct\ negative}$$

dimana:

- Hits* = Jika prediksi peristiwa terjadi dan observasi terjadi
- Misses* = Jika prediksi peristiwa tidak terjadi dan observasi terjadi
- False alarm* = Jika prediksi peristiwa terjadi dan observasi tidak terjadi
- Correct negative* = Jika prediksi peristiwa tidak terjadi dan observasi tidak terjadi.



Gambar 2. Contoh kurva ROC

Figure 2. Example of ROC curve

Hasil dan Pembahasan

Persamaan hubungan CH SON dengan AMH

Persamaan hubungan curah hujan September-Oktober-November (CH SON) dengan AMH digunakan untuk memprediksi AMH di suatu wilayah jika CH SON diketahui. Persamaan hubungan ini dapat berbentuk linier ataupun bentuk lainnya. Dalam penelitian ini, penentuan bentuk persamaan berdasarkan nilai koefisien determinasi (*R2*) tertinggi dari *plotting* CH SON dengan AMH. Dari hasil tersebut diketahui bahwa bentuk persamaan yang terbaik dalam merumuskan hubungan CH SON di Jawa dengan AMH adalah bentuk polinomial orde 2 atau bentuk kuadratik.

Hal ini menunjukkan bahwa curah hujan yang tinggi tidak terjadi di awal (September-Oktober) tetapi pada

bulan akhir (November) sehingga meskipun secara akumulasi CH SON tinggi tetapi tidak serta merta diikuti majunya AMH. Sebelum menentukan persamaan CH SON dengan AMH, terlebih dahulu melakukan pengecekan terhadap kenormalan data karena salah satu uji asumsi statistika yang harus dipenuhi adalah data berdistribusi normal.

Dari empat wilayah, terdapat dua wilayah dengan data yang tidak berdistribusi normal yaitu Jawa Barat Utara dan Jawa Tengah-Yogyakarta. Selanjutnya data kedua wilayah tadi ditransformasi agar memiliki distribusi normal. Persamaan hubungan CH SON dengan AMH dari keempat wilayah mempunyai koefisien determinasi terendah 69% dan tertinggi 84% (Tabel 1).

Tahap selanjutnya adalah melakukan koreksi terhadap data RegCM3. Data RegCM3 yang telah dikoreksi ini dipergunakan untuk menduga AMH sesuai persamaan hubungan yang telah didapatkan sebelumnya. *Plot* data observasi, RegCM3 awal, dan RegCM3 terkoreksi menunjukkan bahwa secara umum data RegCM3 terkoreksi lebih rendah dibandingkan data observasi (*underestimate*). Oleh karena itu, untuk menentukan data RegCM3 terkoreksi berbeda signifikan dengan data observasi maupun tidak, maka diperlukan pengujian. Uji yang digunakan adalah uji *likelihood ratio*. Hasil uji *likelihood ratio* menyatakan bahwa tidak ada alasan yang cukup untuk menolak parameter distribusi CH RegCM3 terkoreksi sama dengan CH observasi. Oleh karena itu, CH RegCM3 dapat digunakan dalam analisis lebih lanjut.

Korelasi indeks variabilitas iklim dengan AMH

Indeks variabilitas iklim yang menggambarkan kejadian ENSO antara lain: SOI dari data pemerintah Queensland (website www.longpaddock.qld.gov.au), SOI dari data *Bureau of Meteorology* (BOM), anomali SST Nino 3, anomali SST Nino 4, anomali SST Nino 3,4. Dari beberapa indeks tersebut terlihat pola umum yaitu korelasi makin kuat seiring dengan semakin dekatnya jarak antara AMH dengan indeks yang digunakan atau *time lag*-nya

semakin kecil (Gambar 3). Korelasi indeks bulan Juli dan Agustus dengan AMH lebih besar dibandingkan dengan korelasi indeks bulan Mei dan Juni. Hal ini terlihat dari semakin besarnya persentase *grid* yang signifikan pada bulan Juli dan Agustus dibandingkan bulan-bulan lainnya. Indeks ENSO terbaik dari seluruh prediktor yang digunakan adalah indeks Anomali SST Nino 3.4 bulan Juli dan Agustus. Oleh karena itu, untuk membuat model persamaan awal musim hujan hanya digunakan indeks cuaca bulan Juli dan Agustus dan untuk ENSO menggunakan anomali SST 3.4.

Model awal musim hujan (AMH)

Model AMH disusun berdasarkan indeks variabilitas iklim seperti ENSO, IOD, ENSO Modoki, MJO dan SST sekitar pulau Jawa. Persamaan model AMH terbaik diambil dari model persamaan yang mempunyai nilai koefisien determinansi (R²) tinggi, nilai *variance inflation factors* (VIF) kurang dari 5 (untuk menyatakan tidak terjadi multikolinearitas antar indeks) dan nilai *p value* tiap *predictor* < 0,1 (nilai α < 10 %).

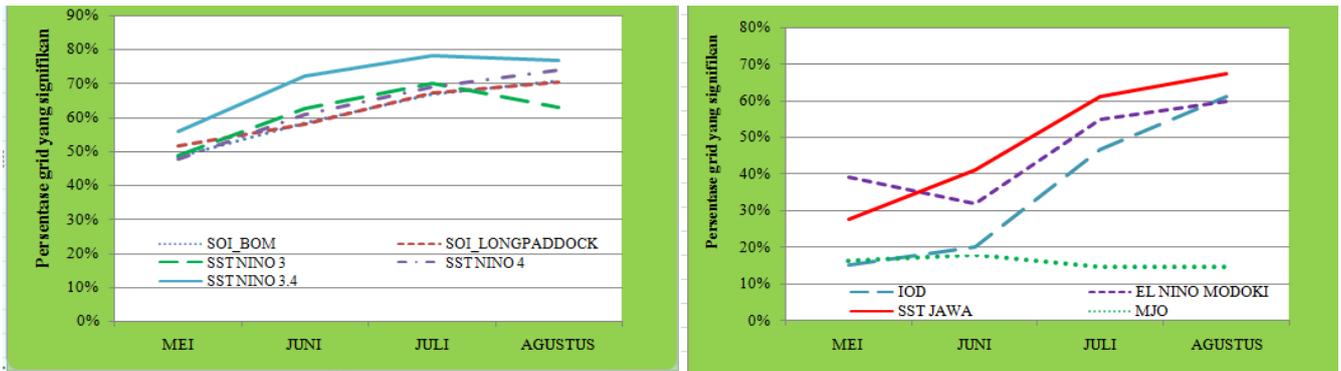
Hasil menunjukkan AMH di sebagian besar wilayah Pulau Jawa dipengaruhi oleh ENSO terutama yang diidentifikasi dengan menggunakan indeks anomali SST Nino 3.4. Hal ini memperkuat hasil penelitian Aldrian dan Susanto (2003) yang menyatakan bahwa selama bulan Juni-November daerah dengan pola hujan musiman signifikan dipengaruhi ENSO. Sementara itu, Jawa adalah wilayah yang mempunyai pola hujan musiman dan mempunyai AMH antara bulan-bulan tersebut. Oleh karena itu, untuk analisis selanjutnya indeks variabilitas iklim yang digunakan adalah ENSO.

Pengelompokkan *grid* berdasarkan kemiripan konstanta dan parameter persamaan AMH (ENSO) perlu dilakukan untuk menyederhanakan proses analisis selanjutnya. Hasil menunjukkan Jawa terbagi menjadi 3 (indeks bulan Juli) dan 6 kelompok (*cluster*) (indeks bulan Agustus) (Gambar 4).

Tabel 1. Persamaan hubungan CH SON dengan AMH

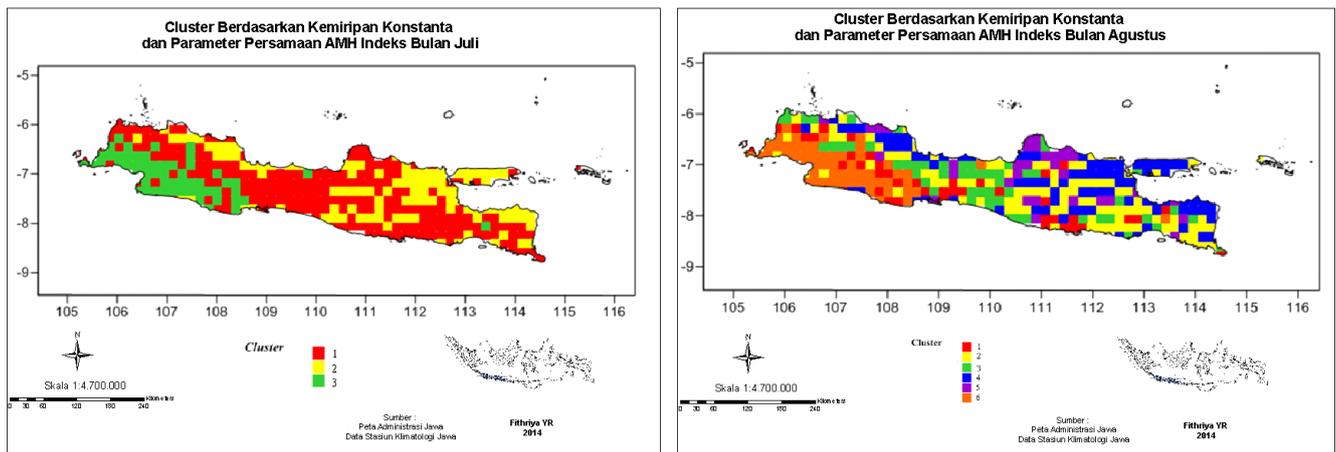
Table 1. Equation of the relationship between rainfalls of SON and monsoon onset

Wilayah	Persamaan CH SON dan AMH	R ²
		%
Jawa Barat Selatan	$AMH_{transform} = - 0,252800 + 0,005305 * CH - 0,000002 * CH^2$ $AMH = 33,600000 - (AMH_{transform})^2$	74
Jawa Barat Utara	$AMH_{transform} = - 0,199100 + 0,009048 * CH - 0,000008 * CH^2$ $AMH = 34,686000 - (AMH_{transform})^2$	69
Jawa Tengah-Yogyakarta	$AMH_{transform} = - 0,560900 + 0,009213 * CH - 0,000008 * CH^2$ $AMH = 34,109000 - (AMH_{transform})^2$	86
Jawa Timur	$AMH_{transform} = - 0,013900 + 0,006323 * CH - 0,000004 * CH^2$ $AMH = 34,286 - (AMH_{transform})^2$	80



Gambar 3. Persentase *grid* yang mempunyai korelasi nyata/signifikan antara AMH dengan indeks variabilitas iklim (kiri: ENSO, kanan: selain ENSO)

Figure 3. Percentage of grids that have a significant correlation between monsoon onset and climate variability indices (left: ENSO, right: non-ENSO)



Gambar 4. Cluster berdasarkan kemiripan konstanta dan parameter persamaan AMH indeks bulan Juli (atas) dan Agustus (bawah)

Figure 4. Cluster based on similarity constanta and parameter of monsoon onset equation in July (upper picture) and August index (lower picture)

Evaluasi Skill Model Menggunakan *Relative Operating Characteristics (ROC)*

Evaluasi dilakukan dengan membuat kurva ROC untuk tiap *cluster* AMH maju dari normal dan mundur dari normal. Hasil rata-rata kurva ROC untuk 3 dan 6 *cluster* menunjukkan *skill* AMH mundur dari normal sebesar 83% (indeks bulan Juli) dan 86% (indeks bulan Agustus) dan *skill* AMH maju dari normal sebesar 84% (indeks bulan Juli) dan 76% (indeks bulan Agustus). Selain itu, sebaran *skill* AMH mundur indeks bulan Juli antara 0,68 sampai 0,95 sedangkan indeks bulan Agustus antara 0,64 sampai 0,95 dan sebaran *skill* AMH maju indeks bulan Juli antara 0,80 sampai 0,87 sedangkan indeks bulan Agustus antara

0,52 sampai 0,92. Hal tersebut menunjukkan bahwa model prediksi mempunyai *skill* yang cukup baik untuk menggambarkan AMH mundur maupun AMH maju dari normal. Lebih lanjut dapat dikatakan persamaan AMH dalam penelitian ini dapat membantu *stakeholder* dengan *skill* yang baik saat terjadi AMH mundur dari normal akibat ENSO maupun AMH maju dari normal. Sementara itu, hasil penelitian Marjuki (2011) yang membuat model prediksi AMH di Jawa berdasarkan suhu permukaan laut memperoleh nilai rata-rata *skill* AMH mundur dari normal sebesar 68% dan *skill* AMH maju dari normal sebesar 71%. Dengan demikian, model prediksi AMH dalam penelitian ini mempunyai rata-rata *skill* AMH maju dan mundur lebih baik dibandingkan model prediksi dalam penelitian Marjuki (2011).

Kesimpulan

1. Awal musim hujan (AMH) di sebagian besar wilayah Pulau Jawa dipengaruhi oleh ENSO terutama yang diidentifikasi dengan menggunakan Anomali SST Nino 3.4. Oleh karena itu, ENSO bulan Juli dan Agustus digunakan sebagai prediktor AMH.
2. Hasil rata-rata kurva ROC untuk 3 dan 6 *cluster* menunjukkan *skill* AMH mundur dari normal sebesar 83% (indeks bulan Juli) dan 86% (indeks bulan Agustus) dan *skill* AMH maju dari normal sebesar 84% (indeks bulan Juli) dan 76% (indeks bulan Agustus). Hal ini berarti persamaan tersebut mempunyai *skill* yang baik dalam menggambarkan AMH mundur dari normal maupun maju dari normal.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi yang telah memberikan dana hibah I-MHERE B2C sehingga penulis dapat melakukan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Aldrian, E. and R.D. Susanto. 2003. Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *Int. J. Climatol.* 23: 1435-1452.
- Boer, R. 2003. Penyimpangan iklim di Indonesia. Seminar nasional ilmu tanah “menggagas strategi alternatif dalam menyiasati penyimpangan iklim serta implikasinya pada tataguna lahan dan ketahanan pangan nasional”. 24 Mei 2003, Yogyakarta-Indonesia.
- Boer, R., A. Buono, dan Suciantini. 2010. Pengembangan Kalender Tanaman Dinamik sebagai Alat dalam Menyesuaikan Pola Tanam dengan Prakiraan Iklim Musiman. Laporan Hasil Penelitian Hibah Penelitian I-MHERE B2C. Bogor (ID): IPB.
- Boer, R., I. Wahab, and M.H. Hariadi. 2007. Understanding farmers' need to climate information. *J. Meteorol. Geof.* 8(2):84-90.
- Donald, A., H. Meinke, B. Power, M.C. Wheeler, A.H.N. Maia, R.C. Stone, J. Ribbe, and N. White. 2006. Near-global impact of the madden julian oscillation on rainfall. *Geophys. Research Lett.* 33:1-4.
- Harijono, S.W.B. 2008. Analisis dinamika atmosfer di bagian utara ekuator Sumatera pada saat peristiwa El Nino dan *dipole mode* positif terjadi bersamaan. *J. Sains. Dirg.* 5:130-148.
- Hendon, H. 2003. Indonesian rainfall variability: impact of ENSO and local air-sea interaction. *J. Clim.* 16:1775-1790.
- Hermawan, E. 2010. Analisis struktur vertikal MJO terkait dengan aktivitas super cloud clusters (SCCs) di Kawasan Barat Indonesia. *J. Sains. Dirg.* 8:25-42.
- Kadarsah. 2010. Aplikasi ROC untuk uji kehandalan model HyBMG. *J. Meteorol. Geof.* 11(1):32-42.
- Marjuki. 2011. Model Prediksi Awal Musim Hujan di Pulau Jawa dengan Menggunakan Informasi Suhu Muka Laut di Kawasan Pasifik dan India. Tesis. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Mason, S.J. and N.E. Graham. 1999. Conditional probabilities, relative operating characteristics, and relative operating levels. *Am. Meteorol. Soc.* 14:713-725.
- Moron, V., A.W. Robertson, and R. Boer. 2009. Spatial coherence and seasonal predictability of monsoon onset over Indonesia. *J. Clim.* 22:840-850.
- Piani, C., J.O. Haerter, and E. Coppola. 2010. Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe. *Theor. Appl. Climatol.* 99:187-192.
- Setyadipratikto, A., F. Setyawan, and D. Sulistyorini. 2010. The HyBMG method for onset of seasonal prediction in Pacitan East Java Province-Indonesia. APEC Climate Symposium on Climate Prediction and Application, 2010 Jun 20-24; Busan, South Korea.
- Suryantoro, A., Krismianto, dan E. Yulihastin. 2010. Penentuan onset monsun di Jawa Barat, Banten, dan DKI Jakarta berbasis satelit TRMM. *Dalam* Prosiding Seminar Nasional Fisika, 2010.
- Swarinoto, Y.S. and E.E.S. Makmur. 2010. Simulasi prediksi probabilitas awal musim hujan dan panjang musim hujan di ZOM 126 Denpasar. *J. Meteorol. Geof.* 11:1-13.
- Swarinoto, Y.S., A.S. Pratikto, dan M. Widiastuti. 2009. Kecukupan jumlah optimum data penakar hujan untuk analisis hidrologi dalam daerah aliran sungai kasus daerah aliran sungai Brantas di Kabupaten Malang. *Bul. Meteorol. Klim. Geof.* 5(1):1-17.
- Tjasyono, B., A. Lubis, I. Juaeni, Ruminta, dan S.W.B. Harijono. 2008. Dampak variasi temperatur samudera Pasifik dan Hindia Ekuatorial terhadap curah hujan di Indonesia. *J. Sains Dirg.* 5:83-95.
- Wahyunto. 2009. Lahan sawah di Indonesia sebagai pendukung ketahanan pangan nasional. *Inform. Pertan.* 18(2):133-152.
- Wheeler, M.C. and H.H. Hendon. 2004. An all-season real-time multivariate MJO index: development of an index for monitoring and prediction. *Month. Weath. Rev.* 132:1917-1932.
- Wilks, D.S. 1995. *Statistical Methods in the Atmospheric Science An Introduction.* Academic Press, New York.
- Windari, E.H. 2012. El Nino Modoki dan Pengaruhnya Terhadap Perilaku Curah Hujan Monsunal di Indonesia. Skripsi. Institut Pertanian Bogor, Bogor.