

# Analisis Hubungan Curah Hujan dan Indikator *El-Nino Southern Oscillation* di Sentra Produksi Padi Jawa Timur dengan Pendekatan Copula

Kartika Nur Anisa<sup>1</sup> dan Sutikno

Jurusan Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,

Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail : sutikno@statistika.its.ac.id

**Abstrak**— Analisis korelasi digunakan untuk mengidentifikasi pola hubungan antar variabel dengan asumsi data normal. Asumsi normal sering terlanggar jika terdapat amatan ekstrim dan salah satunya sering dijumpai pada data iklim, seperti curah hujan. Informasi curah hujan digunakan pada sektor pertanian sebagai informasi penentuan awal tanam dan selanjutnya sebagai peringatan dini kegagalan panen khususnya di wilayah irigasi non teknis (tadah hujan). Keragaman curah hujan di Indonesia seringkali dipengaruhi fenomena di Lautan Pasifik, yaitu El-Nino Southern Oscillation (ENSO). Oleh karena itu dilakukan identifikasi hubungan antara curah hujan dan indikator ENSO di sentra produksi padi di Jawa Timur, yaitu: Banyuwangi, Jember, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi. Metode yang digunakan adalah dengan pendekatan Copula, karena pola hubungan curah hujan dan ENSO di lima kabupaten tidak mengikuti distribusi normal. Selain itu, analisis korelasi klasik tidak dapat mengidentifikasi pola hubungan keduanya. Hasil penelitian menunjukkan struktur dependensi antara curah hujan dan Anomali SST Nino 3 di lima kabupaten sebagian besar mengikuti Copula Frank. Sementara itu, struktur dependensi antara curah hujan dan Anomali SST Nino 4 serta SST Nino 3.4 mengikuti Copula Clayton, sedangkan dengan Anomali SST Nino 1+2 tidak mengikuti Copula apapun. Kesimpulan lain diperoleh bahwa kejadian ENSO pada bulan tertentu berpengaruh terhadap curah hujan di lima kabupaten Jawa Timur setelah satu bulan berikutnya.

**Kata Kunci**— Anomali SST, Copula, ENSO, Iklim Ekstrim

## I. PENDAHULUAN

JAWA Timur merupakan salah satu provinsi yang turut memberikan kontribusi besar dalam produksi padi nasional dengan produktivitas sebesar 59,15 Kw/Ha. Lima daerah pemasok padi terbesar (sentra produksi padi) di Jawa Timur yaitu: Jember, Banyuwangi, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi. Produktivitas padi cenderung di atas rata-rata tingkat produktivitas padi di Jawa Timur, kecuali Lamongan (58,40 Kw/Ha) dan Bojonegoro (56,28 Kw/Ha), sedangkan yang lain di atas produktivitas Jawa Timur yaitu Jember (59,28 Kw/Ha), Banyuwangi (62,81 Kw/Ha), dan Ngawi (63,60 Kw/Ha) [1]. Namun tidak jarang terjadi kegagalan panen yang mengakibatkan kegagalan produksi pangan. [1] menyebutkan pada tahun 2013 produktivitas padi di Jawa Timur mengalami penurunan sebesar 4,20 persen dari tahun sebelumnya. Salah satu faktor penyebab terjadinya kegagalan panen, khususnya tanaman padi adalah faktor iklim, yang sering terjadi kondisi iklim ekstrim. Suatu saat terjadi penurunan curah hujan, sehingga mengalami kekeringan dan saat yang lain terjadi peningkatan curah hujan, sehingga terjadi banjir. Oleh karena itu, upaya mempelajari karakteristik curah hujan perlu dilakukan untuk

antisipasi kegagalan panen. Curah hujan adalah salah satu unsur iklim yang paling mencirikan iklim di Indonesia, karena memiliki keragaman dan fluktuatif yang tinggi di Indonesia. Setiap daerah di Indonesia memiliki karakteristik curah hujan yang berbeda. Keragaman curah hujan di Indonesia dipengaruhi oleh fenomena di Lautan Pasifik, yaitu ENSO (*El Nino-Southern Oscillation*). Ketika fase panas dikenal sebagai El Nino dan fase dingin dikenal sebagai La Nina. ENSO mengukur perubahan yang terjadi pada suhu permukaan laut di timur Pasifik [2]. ENSO diklasifikasikan dalam empat anomali *Sea Surface Temperature* (SST), yaitu SST Nino 1+2, SST Nino 3, SST Nino 4 dan SST Nino 3.4. Penelitian mengenai keterkaitan curah hujan dan ENSO yang dilakukan [3] menyimpulkan adanya hubungan antara ENSO dan variasi curah hujan di Indonesia. Penelitian lain menyebutkan curah hujan dipengaruhi oleh perubahan suhu samudera Pasifik [4]. ENSO tidak selalu memberikan pengaruh langsung, yaitu pada waktu yang sama terhadap perubahan curah hujan di Indonesia, karena keduanya mempunyai jarak yang cukup jauh dan kemungkinan adanya beberapa faktor lain yang mempengaruhi hal tersebut. Penelitian yang telah dilakukan menyebutkan *time lag* data Suhu Muka Laut (SML) dapat digunakan sebagai prediktor dalam memprediksi hujan bulanan di Kabupaten Indramayu [5]. SML memerlukan waktu untuk mempengaruhi curah hujan di Kabupaten Indramayu dikarenakan beberapa faktor yang perlu diperhatikan, seperti jarak dan perubahan angin.

Metode identifikasi pola hubungan antara curah hujan dan ENSO seringkali masih menggunakan korelasi Pearson. Beberapa penelitian yang sudah dilakukan dengan metode tersebut antara lain penelitian [6] memetakan potensi bahaya daerah pantai terhadap perubahan iklim dengan salah satu parameternya adalah ENSO. [3] melakukan penelitian yang menyatakan ENSO mempengaruhi variasi curah hujan di Indonesia. Penelitian tersebut masih menggunakan analisis korelasi Pearson untuk mengetahui hubungan antar variabelnya. Analisis korelasi Pearson dapat digunakan dengan tepat jika memenuhi asumsi data berdistribusi normal. Asumsi kenormalan seringkali terlanggar jika terdapat data amatan ekstrim, sehingga pola hubungan akan sulit terdeteksi. Oleh karena itu diperlukan metode untuk analisis hubungan tanpa terikat oleh asumsi distribusi.

Copula merupakan salah satu metode yang dapat menggambarkan hubungan antar variabel tanpa asumsi distribusi serta dapat menunjukkan hubungan dependensi pada titik-titik ekstrim dengan jelas. Metode ini mempunyai kemampuan mendeskripsikan struktur dependensi antar variabel dengan marginal yang berbeda dan memodelkan dependensi *tail*-nya. Copula adalah suatu fungsi dari dua

hubungan distribusi yang masing-masing mempunyai fungsi marginal distribusi [7]. Beberapa penelitian mengenai Copula telah dilakukan, antara lain penelitian oleh [8] mengenai penggunaan Copula pada kasus kesehatan, [9] menerapkan Copula untuk memodelkan asuransi, serta [10] menggunakan Copula pada bidang klimatologi. Penelitian menunjukkan pendekatan dengan Copula memberikan hasil yang tepat untuk data pengamatan ekstrim dan untuk kondisi dengan asumsi-asumsi kenormalan terlangar.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Konsep Dasar Copula

Apabila terdapat vektor random  $(X_1, X_2, \dots, X_m)$  memiliki fungsi distribusi kumulatif marginal  $F_{X_1}, F_{X_2}, \dots, F_{X_m}$  dengan domain  $\mathbf{R}$  yang tidak turun, yaitu  $F_{X_i}(-\infty) = 0$  dan  $F_{X_i}(\infty) = 1$ , maka distribusi bersamanya seperti persamaan (1).

$$F_{(X_1, X_2, \dots, X_m)}(x_1, x_2, \dots, x_m) = C_{(X_1, X_2, \dots, X_m)}(F_{X_1}(x_1), F_{X_2}(x_2), \dots, F_{X_m}(x_m)) \tag{1}$$

$C_{(X_1, X_2, \dots, X_m)}$  adalah Copula dengan  $C_x : [0, 1]^m \rightarrow [0, 1]$ .

Jika fungsi distribusimarginal  $F_{X_i}(X_i)$  kontinu,

$C_{(X_1, X_2, \dots, X_m)}$  adalah unik [7] dan dapat ditunjukkan pada persamaan (2).

$$C_{(X_1, X_2, \dots, X_m)}(u_1, u_2, \dots, u_m) = \int_0^{u_1} \dots \int_0^{u_m} c_{(X_1, X_2, \dots, X_m)}(u_1, u_2, \dots, u_m) du_1 du_2 \dots du_m \tag{2}$$

$C$  adalah Copula dan  $c$  adalah persamaan densitas Copula. Pada kasus distribusi kontinu, struktur dependensi multivariat dan distribusi marginal dapat dipisahkan dan Copula dapat dianggap *independent margin*.

B. Transformasi Copula ke Domain Uniform[0,1]

Distribusi marginal dari masing-masing variabel random  $X_i$  ditunjukkan pada persamaan (3) berikut.

$$F_{X_i}(x_i) = \frac{1}{n+1} \sum_{j=1}^n \mathbf{1}(X_i^{(j)} \leq x); x_i \in R \tag{3}$$

Transformasi ke domain Uniform[0,1] dengan pembuatan *scatterplot* [0,1], membuat rank plot  $X_i$ .

$$\left( \left( \frac{R_1^{(j)}}{n+1} \right), \left( \frac{R_2^{(j)}}{n+1} \right), \dots, \left( \frac{R_m^{(j)}}{n+1} \right) \right), 1 \leq j \leq n \tag{4}$$

dengan  $R_1^{(j)}, R_2^{(j)}, \dots, R_m^{(j)}$  adalah rank dari  $X_1, X_2, \dots, X_m$  yang sebelumnya sudah diubah menjadi bentuk matriks. Sesuai transformasi persamaan (4) persamaan Copula diberikan pada persamaan (5) berikut [11].

$$C(u_1, \dots, u_m) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \mathbf{1} \left( \frac{R_1^{(j)}}{n+1} \leq u_1, \dots, \frac{R_m^{(j)}}{n+1} \leq u_m \right) \tag{5}$$

$u_1, \dots, u_m \in (0, 1)$

dengan  $\mathbf{1}(\cdot)$  pada persamaan (3) dan (5) merupakan fungsi indikator jika masing-masing  $X^{(j)} \leq x$  dan

$$\frac{R_i^{(j)}}{n+1} \leq u_i, i = 1, 2, \dots, m \tag{12}$$

C. Keluarga Copula

Copula Gaussian atau Copula Normal merupakan salah satu keluarga Copula Elips. Copula Archimedean terdiri atas Copula Clayton, Gumbel, dan Frank. Copula Gaussian diperoleh dari transformasi variabel random ke distribusi normal standar. Fungsi Copula Gaussian diberikan pada persamaan (6) berikut.

$$C_{(X_1, X_2, \dots, X_m)}(u_1, u_2, \dots, u_m) = F_{N(0, \Sigma)}(F_{N(0,1)}^{-1}(u_1), F_{N(0,1)}^{-1}(u_2), \dots, F_{N(0,1)}^{-1}(u_m)) \tag{6}$$

Jika Copula Normal digunakan pada distribusi normal multivariat, maka diasumsikan hubungannya linear [13].

Copula Clayton memiliki *tail* dependensi bagian bawah, Copula Frank tidak memiliki *tail* dependensi, sedangkan Copula Gumbel memiliki *tail* dependensi bagian atas [13].

Tabel 1.

| Keluarga Copula Archimedean |  |   |
|-----------------------------|--|---|
| Copula                      | Generator $\phi(u)$  | Copula Bivariat $C(u_1, u_2)$   |
| Clayton                     | $\frac{u^{-\theta} - 1}{\theta}, \theta \in (0, \infty)$                               | $(u_1^{-\theta} + u_2^{-\theta} - 1)^{-\frac{1}{\theta}}$   |
| Gumbel                      | $(-\log(u))^\theta, \theta \in [1, \infty)$  | $\exp\left\{-\left[(-\log(u_1))^\theta + (-\log(u_2))^\theta\right]^{\frac{1}{\theta}}\right\}$         |
| Frank                       | $\log\left(\frac{e^{\theta u} - 1}{e^\theta - 1}\right), \theta \in R \setminus \{0\}$ | $\frac{1}{\theta} \log\left(1 + \frac{(e^{\theta u_1} - 1)(e^{\theta u_2} - 1)}{(e^\theta - 1)}\right)$ |

D. Estimasi Parameter Copula dengan MLE

Fungsi densitas  $f$  ditulis dalam bentuk Copula pada persamaan (7).

$$f(x_1, \dots, x_m) = c\{F_{X_1}(x_1), \dots, F_{X_m}(x_m)\} f_{X_1}(x_1) \times \dots \times f_{X_m}(x_m); x \in R \tag{7}$$

dengan MLE, fungsi likelihood  $L$  dan log likelihood dituliskan pada persamaan (8).

$$L = \prod_{j=1}^n f(x_1^{(j)}, \dots, x_m^{(j)})$$

$$\ln L = \sum_{j=1}^n \ln c\{F_{X_1}(x_1^{(j)}), \dots, F_{X_m}(x_m^{(j)})\} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \ln(f_{X_i}(x_i^{(j)})) \tag{8}$$

Estimasi parameter Copula Archimedean dengan pendekatan Tau Kendall [14] diberikan pada persamaan (9) adalah estimasi  $\hat{\theta}$  dari  $\theta$ .

$$\hat{\tau}_c = 1 + 4 \int_0^1 \frac{\phi(u)}{\phi'(u)} du \tag{9}$$

Tabel 2.  
Estimasi Parameter Copula Archimedean

| Copula  | Estimasi $\hat{\theta}$  |
|---------|--|
| Clayton | $\hat{\tau} = \frac{\theta_c}{\theta_c + 2}$ maka $\hat{\theta}_c = \frac{2\tau}{1-\tau}$  |
| Gumbel  | $\hat{\tau} = 1 - \frac{1}{\theta_G}$ maka $\hat{\theta}_G = \frac{1}{1-\tau}$   |
| Frank   | $\hat{\tau} = 1 - 4(1 - D_1(\theta_F)) / \theta_F$<br>dimana $D_k(x) =$ Fungsi Debye<br>$D_k(x) = \frac{k}{x^k} \int_0^x \frac{u^k}{e^u - 1} du$ |

E. Pengujian Estimasi Parameter Copula

Pengujian estimasi parameter Copula untuk mengetahui parameter yang signifikan. [15] mendefinisikan di bawah hipotesis nol variabel random mengikuti beberapa model Copula dengan distribusi menjadi  $\sqrt{n}Z_n \rightarrow N(0,1)$  adalah distribusi normal standar. Hipotesis dapat didefinisikan sebagai berikut.

$$H_0 : \theta = \theta_0$$

$$H_1 : \theta \neq \theta_0$$

Statistik uji:

$$z = \frac{\hat{\theta} - \theta_0}{SE(\hat{\theta})} \tag{10}$$

Daerah penolakan: Tolak  $H_0$  jika  $|z| > z_{\alpha/2}$  atau  $p\text{-value} < \alpha$ .

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Sumber Data

Data yang digunakan adalah data sekunder dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dan NOAA *National Weather Service* yang dapat diakses melalui <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>.

B. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3, adalah sebagai berikut.

1. Data bulanan curah hujan dari BMKG periode tahun 1982-2013 di lima kabupaten Jawa Timur.
2. Data bulanan ENSO (*El Nino-Southern Oscillation*) anomali *Sea Surface Temperature* (SST) Nino 1+2, SST Nino 3, SST Nino 4, dan SST Nino 3.4 dari NOAA periode tahun 1982-2013.

Tabel 3.  
Variabel Penelitian

| No. | Nama Variabel                      |
|-----|------------------------------------|
| 1   | CH.Bny = Curah Hujan di Banyuwangi |
| 2   | CH.Jmb = Curah Hujan di Jember     |
| 3   | CH.Bjo = Curah Hujan di Bojonegoro |
| 4   | CH.Lam = Curah Hujan di Lamongan   |
| 5   | CH.Ngw = Curah Hujan di Ngawi      |
| 6   | ANOM 1+2 = SST Nino 1+2            |
| 7   | ANOM 3 = SST Nino 3                |
| 8   | ANOM 4 = SST Nino 4                |
| 9   | ANOM 3.4 = SST Nino 3.4            |

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data lag 0, lag 1, dan lag 2 pada data curah hujan dan indikator ENSO. Data lag 0 berarti data yang digunakan keduanya terjadi pada bulan yang sama. Data lag 1 artinya data curah hujan dan indikator ENSO memiliki selisih satu bulan, dengan ENSO lebih dulu terjadi. Sementara data lag 2 adalah data curah hujan dan ENSO mempunyai selisih dua bulan, data curah hujan dimulai setelah dua bulan dari terjadinya ENSO. Struktur data ditunjukkan pada Tabel 4, tanda panah untuk data (a) lag 0, (b) lag 1, dan (c) lag 2.

Tabel 4.  
Struktur Data Curah Hujan dan Indikator ENSO

| Tahun | Bulan ke- |      |
|-------|-----------|------|
|       | CH        | ENSO |
| 1982  | 1         | 1    |
|       | 2         | 2    |
|       | 3         | 3    |
|       | ⋮         | ⋮    |
|       | 11        | 11   |
|       | 12        | 12   |

C. Metode Analisis Data

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut.

1. Melakukan pra-pemrosesan data curah hujan.
  - i). Melakukan identifikasi *missing value* dan observasi data yang tidak sesuai dari data curah hujan.
  - ii). Melakukan inputasi data pada *missing value*.
  - iii). Menghapus pengamatan yang tidak sesuai.
2. Melakukan identifikasi hubungan curah hujan dan indikator ENSO
  - i). Membuat *scatterplot* dan histogram antara variabel  $Y$  (curah hujan) dan variabel  $X$  (ENSO).
  - ii). Mendapatkan nilai korelasi Pearson, Spearman, dan Tau Kendall.
  - iii). Menguji asumsi distribusi normal dengan uji *Kolmogorov-Smirnov* dan *Anderson-Darling*.
3. Melakukan identifikasi pola hubungan curah hujan dan indikator ENSO dengan pendekatan Copula.
  - i). Melakukan transformasi ke domain  $[0,1]$  sebelum dilakukan analisis dependensi dengan Copula.
  - ii). Membuat *scatterplot* hasil transformasi antara variabel  $X$  dan variabel  $Y$ .
  - iii). Mendapatkan estimasi parameter Copula dengan pendekatan Tau Kendall.
  - iv). *Fitting* Copula dan memilih Copula terbaik dengan *Maximum Likelihood Ratio*.
4. Pemilihan pola hubungan paling erat berdasarkan perbedaan *time lag*, yaitu: lag 0, lag 1, dan lag 2.
  - i). Metode analisis dari tahap (2) dan (3) dilakukan pada data lag 1 dan lag 2 kedua variabel, dengan struktur data ditunjukkan pada Tabel 4.
  - ii). Perbandingan berdasarkan estimasi parameter Copula dan *log likelihood* hasil analisis *time lag*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pra-Pemrosesan Data Curah Hujan

Pencatatan data curah hujan kadang terjadi perpindahan alat pengukur curah hujan, alat pengukur yang rusak, tidak tersedia tenaga pencatat, sehingga terdapat data *missing*, termasuk di stasiun pengamatan curah hujan dalam penelitian ini. Oleh karena itu diperlukan pra-pemrosesan

data sebelum dilakukan analisis, yaitu meliputi identifikasi *missing value* dan inputasi data.

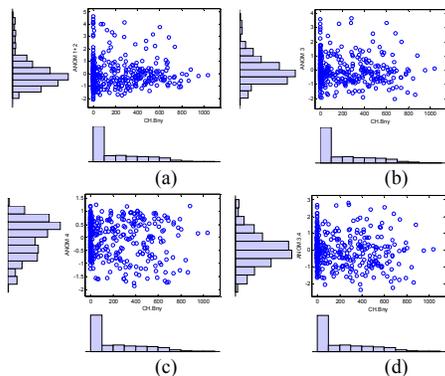
**Tabel 5.**  
Identifikasi Missing Value Data Curah Hujan

| Kabupaten                  | N tidak Sesuai | % missing |
|----------------------------|----------------|-----------|
| Banyuwangi (Pasewaran)     | 203            | 0,76      |
| Jember (Karang Kedawung)   | 203            | 0         |
| Bojonegoro (Cawak)         | 203            | 0,26      |
| Lamongan (Karang Binangun) | 203            | 0,49      |
| Ngawi (Ngale)              | 203            | 4,69      |

Tabel 5 menunjukkan bahwa ditemukan data *missing* di pos pengamatan lima kabupaten Jawa Timur. Pos Ngale di Kabupaten Ngawi memiliki data *missing* paling banyak yaitu 4,69%. Pengamatan di Karang Kedawung tidak ditemukan data *missing*, namun masih terdapat beberapa pengamatan yang tidak sesuai yaitu 203 pengamatan. Jumlah data *missing* juga ditemukan sama pada pos pengamatan lain. Pengamatan tidak sesuai yang dimaksud adalah pengamatan yang dicatat pada tanggal-tanggal yang tidak mungkin terjadi, seperti tanggal 31 pada Bulan Februari, April, Juni, September, November, dan tanggal 29 Februari pada tahun-tahun non-kabisat. Maka pengamatan pada tanggal-tanggal tidak sesuai dihapuskan, sedangkan untuk mengatasi *missing value* dilakukan proses inputasi data dengan mengganti data *missing* menggunakan rata-rata curah hujan pada tanggal dan bulan yang sama dengan tanggal dan bulan yang *missing* tersebut.

**B. Identifikasi Hubungan Lag 0 Curah Hujan dan Indikator ENSO di Jawa Timur**

Identifikasi pola hubungan menggunakan analisis *scatterplot* dan analisis korelasi Pearson, Spearman, dan Tau Kendall dilakukan pada lag 0, lag 1, dan lag 2. Pada pembahasan ini disajikan salah satu analisis secara detail, yaitu di Banyuwangi pada lag 0, dimana data curah hujan dan indikator ENSO yang digunakan adalah pada bulan yang sama.



**Gambar 1.** *Scatterplot* dan Histogram antara Curah Hujan di Banyuwangi dan Anomali SST: (a) Nino 1+2 (b) Nino 3 (c) Nino 4 (d) Nino 3.4

Berdasarkan histogram pada Gambar 1, pola hubungan curah hujan di Banyuwangi dan indikator ENSO memiliki kemiringan (*skewness*), khususnya pada data curah hujan. Pola distribusi curah hujan *skewness* kanan menunjukkan bahwa di Bayuwangi tahun 1982-2013 sering terjadi hujan dengan intensitas rendah, dengan kata lain sering terjadi musim kering atau jarang terjadi hujan.

Sementara pola distribusi anomali SST Nino 1+2, SST Nino 3, dan SST Nino 3.4 memiliki *skewness* kiri, sedangkan anomali SST Nino 4 memiliki pola distribusi

*skewness* kanan. Pola hubungan anomali *skewness* kanan menunjukkan bahwa pada tahun 1982-2013 sering terjadi anomali tinggi, dengan kata lain sering terjadi El Nino, sedangkan pada anomali SST Nino 4 lebih sering terjadi La Nina karena data banyak anomali bernilai kecil.

Pola hubungan antara curah hujan di Banyuwangi dan indikator ENSO pada Gambar 1 tidak cukup jika hanya ditunjukkan menggunakan *scatterplot* dikarenakan tidak membentuk pola spesifik, sehingga sulit untuk menjelaskan hubungan keduanya. Koefisien korelasi pada analisis hubungan dengan korelasi Pearson, Spearman, dan Tau Kendall bernilai negatif. Hal ini menunjukkan kejadian ENSO berhubungan terbalik dengan curah hujan yang terjadi di lima kabupaten Jawa Timur, apabila di Lautan Pasifik terjadi El Nino maka di Jawa Timur terjadi penurunan curah hujan, dan sebaliknya. Namun analisis korelasi ini tidak dapat menjelaskan dengan baik hubungan keduanya pada Tabel 6. Setiap pengujian memberikan hasil yang berbeda dan memberikan kesimpulan bahwa sebagian besar curah hujan tidak memiliki hubungan erat dengan indikator ENSO. Sementara itu berdasarkan pembahasan dengan *scatterplot* menunjukkan adanya titik-titik yang berdekatan. Hal ini mengindikasikan adanya hubungan antara curah hujan dan indikator ENSO, sehingga dilakukan analisis dependensi lebih lanjut dengan Copula untuk melihat model dependensi secara khusus.

Tabel 6.

Koefisien Korelasi dan *P-value* antara Curah Hujan dan Indikator ENSO di Banyuwangi

| Variabel | Pearson            |                | Spearman           |                | Tau-Kendall        |                |
|----------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|
|          | koefisien korelasi | <i>p-value</i> | koefisien korelasi | <i>p-value</i> | koefisien korelasi | <i>p-value</i> |
| ANOM 1+2 | -0,018             | 0,718          | -0,016             | 0,756          | -0,009             | 0,792          |
| ANOM 3   | -0,091             | 0,076          | -0,147             | 0,004          | -0,104             | 0,004          |
| ANOM 4   | -0,130             | <b>0,011</b>   | -0,118             | <b>0,021</b>   | -0,087             | <b>0,015</b>   |
| ANOM 3.4 | -0,116             | <b>0,023</b>   | -0,161             | <b>0,002</b>   | -0,115             | <b>0,001</b>   |

Keterangan: Nilai yang di **Bold** menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,05$

Pengujian distribusi normal dengan histogram pada Gambar 1 menunjukkan data curah hujan dan indikator ENSO di Banyuwangi tidak membentuk pola simetris, memiliki kemiringan (*skewness*). Tabel 7 menunjukkan data curah hujan dan indikator ENSO di Jawa Timur semuanya tidak berdistribusi normal dengan  $\alpha = 0,05$ . Untuk Anomali SST Nino 3.4  $D < D_{0,05}$  sedangkan  $p-value < \alpha$ , oleh karena itu tidak dapat disimpulkan dengan uji Kolmogorov Smirnov. Namun uji Anderson Darling memberikan hasil yang berbeda,  $p-value < \alpha$  yaitu Anomali SST Nino 3.4 tidak mengikuti distribusi normal.

Tabel 7.

Uji Normalitas Curah Hujan dan Indikator ENSO di Jawa Timur dengan Kolmogorov Smirnov dan Anderson Darling

| No. | Variabel      | Nilai KS(D) | <i>p-value</i> | <i>p-value</i> AD |
|-----|---------------|-------------|----------------|-------------------|
| 1   | CH Banyuwangi | 0,201       | <0,010         | <0,005            |
| 2   | CH Jember     | 0,150       | <0,010         | <0,005            |
| 3   | CH Bojonegoro | 0,153       | <0,010         | <0,005            |
| 4   | CH Lamongan   | 0,139       | <0,010         | <0,005            |
| 5   | CH Ngawi      | 0,120       | <0,010         | <0,005            |
| 6   | ANOM 1+2      | 0,111       | <0,010         | <0,005            |
| 7   | ANOM 3        | 0,100       | <0,010         | <0,005            |
| 8   | ANOM 4        | 0,094       | <0,010         | <0,005            |
| 9   | ANOM 3.4      | 0,058       | <0,010         | 0,009             |

Identifikasi dengan pendekatan Copula dilakukan karena dengan analisis sebelumnya tidak dapat menjelaskan pola

hubungan antar variabel. Tahap awal analisis dengan Copula adalah melakukan transformasi variabel ke domain Uniform[0,1]. Analisis dilakukan dengan pendekatan Copula Archimedean. Namun untuk Anomali SST Nino 3.4 juga menggunakan pendekatan Copula Normal.

Tabel 8.

Estimasi Parameter Copula dengan Pendekatan Tau Kendall di Banyuwangi

| Variabel                   | Copula  | Parameter | p-value      |
|----------------------------|---------|-----------|--------------|
| CH Banyuwangi dan ANOM 1+2 | Frank   | -0,085    | 0,723        |
|                            | Clayton | -0,019    | 0,721        |
|                            | Gumbel  | -         | -            |
| CH Banyuwangi dan ANOM 3   | Frank   | -0,941    | <b>0,001</b> |
|                            | Clayton | -0,188    | <b>0,000</b> |
|                            | Gumbel  | -         | -            |
| CH Banyuwangi dan ANOM 4   | Frank   | -0,786    | <b>0,010</b> |
|                            | Clayton | -0,16     | <b>0,005</b> |
|                            | Gumbel  | -         | -            |
| CH Banyuwangi dan ANOM 3.4 | Frank   | -1,047    | <b>0,000</b> |
|                            | Clayton | -0,206    | <b>0,000</b> |
|                            | Gumbel  | -         | -            |
|                            | Normal  | -0,18     | <b>0,000</b> |

Keterangan : Nilai yang di **Bold** menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,05$

Tabel 8 menunjukkan hubungan antara curah hujan dan indikator ENSO di Banyuwangi mengikuti jenis Copula berdasarkan parameter yang signifikan, dengan pengujian  $p\text{-value} < \alpha$ . Copula Gumbel tidak dapat diestimasi karena nilai perhitungan parameter  $\theta < 1$ . Seharusnya pada Copula Gumbel  $\theta \in [1, \infty)$ . Nilai  $\theta < 1$  disebabkan korelasi Tau Kendall antara curah hujan dan indikator ENSO bernilai negatif (-). Struktur dependensi curah hujan dan indikator ENSO masing-masing memiliki hubungan yang mengikuti lebih dari satu jenis Copula, sehingga dilakukan *fitting* Copula untuk mendapatkan model terbaik yang disajikan pada Tabel 9.

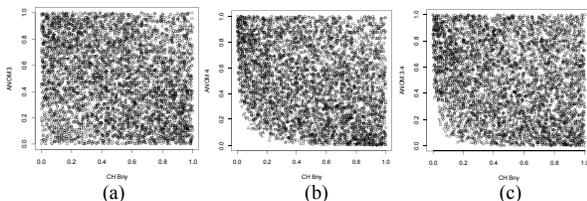
Tabel 9.

Hasil *Fitting* Copula dengan MLE

| Variabel                   | Copula  | Estimasi | Log-Likelihood |
|----------------------------|---------|----------|----------------|
| CH Banyuwangi dan ANOM 3   | Frank   | -0,915   | <b>4,183</b>   |
|                            | Clayton | -0,167   | <b>4,159</b>   |
| CH Banyuwangi dan ANOM 4   | Frank   | -0,747   | 2,739          |
|                            | Clayton | -0,299   | <b>14,769</b>  |
| CH Banyuwangi dan ANOM 3.4 | Frank   | -1,019   | 5,103          |
|                            | Clayton | -0,247   | <b>10,547</b>  |
|                            | Normal  | -0,181   | 4,942          |

Keterangan: Nilai yang di **Bold** menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,05$  dan *log-likelihood* terbesar

Model terbaik dipilih berdasarkan hasil *fitting* dengan nilai *log-likelihood* terbesar serta  $p\text{-value}$  signifikan pada Tabel 9. Secara visual model dependensi antara curah hujan dan indikator ENSO di Banyuwangi terpilih ditunjukkan melalui *scatterplot* rank Copula seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. *Scatterplot* Rank Copula Bangkitan Data (n=5000) antara Curah Hujan di Banyuwangi dengan: (a) Anomali SST Nino 3, (b) Anomali SST Nino 4, (c) Anomali SST Nino 3.4

Gambar 2 menunjukkan dependensi antara curah hujan dan indikator ENSO di Banyuwangi. Model dependensi antara curah hujan di Kabupaten Banyuwangi dan Anomali

SST Nino 3 mengikuti Copula Frank, dimana Copula ini tidak memiliki *tail* dependensi, sehingga dapat disimpulkan bahwa kejadian ekstrim terjadi ketika curah hujan dan indikator ENSO nilainya tinggi dan rendah. Saat curah hujan dan indikator ENSO bernilai tinggi dan rendah, hubungan keduanya semakin erat. Model dependensi antara curah hujan di Banyuwangi dan Anomali SST Nino 4, SST Nino 3.4 mengikuti Copula Clayton. Copula Clayton memiliki *tail* dependensi di bawah. Kejadian ekstrim terjadi ketika curah hujan di Banyuwangi dan Anomali SST Nino 4, SST Nino 3.4 nilainya rendah. Semakin rendah Anomali SST Nino 4, SST Nino 3.4, dan curah hujan maka hubungan semakin erat. Artinya, jika Anomali SST Nino 4 dan SST Nino 3.4 turun, maka curah hujan di Kabupaten Banyuwangi akan mengalami penurunan juga.

Melalui cara yang sama didapatkan struktur dependensi antara curah hujan dan indikator ENSO di empat kabupaten sentra produksi padi Jawa Timur lainnya. Begitupula untuk mendapatkan model dependensi pada lag 1 dan lag 2, yang ditunjukkan pada Tabel 10. Hasil identifikasi struktur dependensi antara curah hujan dan indikator ENSO, menunjukkan adanya hubungan di semua wilayah penelitian dengan sebagian besar mengikuti Copula Frank dan Clayton. Namun antara curah hujan dan Anomali SST Nino 1+2 di semua wilayah penelitian menunjukkan tidak adanya hubungan yang erat antara keduanya.

Tabel 10.

Perbandingan Parameter Copula pada Lag 0, Lag 1, dan Lag 2

| Kabupaten  | ANOM 1+2 | ANOM 3              |                | ANOM 4              |                | ANOM 3.4            |                |
|------------|----------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|
|            |          | Estimasi            | Log-likelihood | Estimasi            | Log-likelihood | Estimasi            | Log-likelihood |
|            |          | Lag 0               |                |                     |                |                     |                |
| Banyuwangi | -        | -0,915 <sup>A</sup> | 4,183          | -0,299 <sup>B</sup> | 14,769         | -0,247 <sup>B</sup> | 10,547         |
| Jember     | -        | -0,176 <sup>B</sup> | 6,758          | -0,288 <sup>B</sup> | 14,609         | -0,245 <sup>B</sup> | 12,938         |
| Bojonegoro | -        | -0,902 <sup>A</sup> | 4,062          | -0,234 <sup>B</sup> | 8,356          | -0,195 <sup>B</sup> | 7,543          |
| Lamongan   | -        | -1,180 <sup>A</sup> | 7,200          | -0,215 <sup>B</sup> | 10,916         | -0,204 <sup>B</sup> | 10,279         |
| Ngawi      | -        | -0,784 <sup>A</sup> | 3,239          | -0,202 <sup>B</sup> | 6,528          | -0,179 <sup>B</sup> | 6,599          |
| Lag 1      |          |                     |                |                     |                |                     |                |
| Banyuwangi | -        | -0,170 <sup>B</sup> | 5,042          | -0,323 <sup>B</sup> | 17,556         | -0,276 <sup>B</sup> | 14,381         |
| Jember     | -        | -1,175 <sup>A</sup> | 6,928          | -0,294 <sup>B</sup> | 15,760         | -0,279 <sup>B</sup> | 17,545         |
| Bojonegoro | -        | -0,929 <sup>A</sup> | 4,298          | -                   | -              | -0,221 <sup>B</sup> | 10,254         |
| Lamongan   | -        | -1,166 <sup>A</sup> | 6,878          | -0,244 <sup>B</sup> | 12,008         | -0,231 <sup>B</sup> | 13,702         |
| Ngawi      | -        | -0,907 <sup>A</sup> | 4,248          | -                   | -              | -0,185 <sup>B</sup> | 7,467          |
| Lag 2      |          |                     |                |                     |                |                     |                |
| Banyuwangi | -        | -0,189 <sup>B</sup> | 6,297          | -                   | -              | -0,265 <sup>B</sup> | 13,425         |
| Jember     | -        | -0,194 <sup>B</sup> | 8,694          | -0,249 <sup>B</sup> | 10,387         | -0,285 <sup>B</sup> | 17,354         |
| Bojonegoro | -        | -0,149 <sup>B</sup> | 4,705          | -                   | -              | -0,211 <sup>B</sup> | 8,693          |
| Lamongan   | -        | -1,012 <sup>A</sup> | 5,157          | -                   | -              | -0,214 <sup>B</sup> | 11,436         |
| Ngawi      | -        | -0,796 <sup>A</sup> | 3,284          | -                   | -              | -0,191 <sup>B</sup> | 7,274          |

Keterangan: A = Mengikuti Copula Frank (Tidak Memiliki Tail Dependensi)

B = Mengikuti Copula Clayton (Tail Dependensi di Bawah)

- = Tidak Mengikuti Copula

Identifikasi pola hubungan curah hujan dengan perbedaan *time lag* menunjukkan adanya perbedaan parameter Copula dan nilai *log-likelihood* pada masing-masing kabupaten. Pemilihan hubungan keamatan curah hujan dan indikator ENSO dapat dilihat berdasarkan estimasi parameter Copula dan nilai *log-likelihood* yang ditunjukkan pada Tabel 10. Semakin besar nilai estimasi parameter yang dihasilkan, semakin erat hubungan keduanya. Serta semakin besar nilai *log-likelihood*, maka semakin besar keragaman yang dapat dijelaskan pada hubungan keduanya, dengan kata lain hubungan keduanya semakin jelas. Selain itu, dapat dilihat berdasarkan hasil visualisasi bentuk rank Copula terpilih. Semakin jelas bentuk rank Copula, semakin erat hubungan keduanya.

Hasil estimasi parameter pada lag 0, lag 1, dan lag 2 antara curah hujan dan indikator ENSO menghasilkan nilai parameter yang negatif. Hal ini menunjukkan hubungan keduanya adalah terbalik, dengan kata lain apabila terjadi El Nino di Lautan Pasifik maka curah hujan di lima kabupaten Jawa Timur akan mengalami penurunan bahkan dapat mengakibatkan terjadinya kekeringan, dan sebaliknya apabila terjadi La Nina maka curah hujan akan meningkat dan dapat mengakibatkan terjadinya banjir

Tabel 10 menunjukkan bahwa hubungan paling erat berdasarkan *time lag* adalah terjadi saat lag 1. Hal ini berarti bahwa kejadian ENSO di Lautan Pasifik akan mempengaruhi curah hujan satu bulan berikutnya, khususnya di lima kabupaten Jawa Timur. Selain itu rank Copula antara lag 1 curah hujan dan indikator ENSO lebih jelas bentuknya daripada rank Copula yang lain. Disamping itu, dapat disimpulkan Anomali SST Nino 3.4 adalah anomali yang paling tepat digunakan dalam mengidentifikasi hubungan curah hujan dan indikator ENSO, yaitu pada lag 1 karena memiliki nilai *log-likelihood* terbesar.

#### V. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil analisis dan pembahasan pada penelitian ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Analisis hubungan curah hujan dan indikator ENSO di Jawa Timur pada *time lag* berbeda menggunakan *scatterplot*, korelasi Pearson, Spearman, dan Tau Kendall menunjukkan pola hubungan tidak jelas dan tidak dapat menunjukkan keeratn hubungan. Pengujian normal menunjukkan data tidak berdistribusi normal.
2. Pola hubungan curah hujan dan indikator ENSO di Jawa Timur pada *time lag* berbeda sebagian besar mengikuti Copula Clayton dan Frank. Hubungan curah hujan dan Anomali SST Nino 1+2 tidak mengikuti Copula apapun, yaitu antara curah hujan dan Anomali SST Nino 1+2 di lima kabupaten Jawa Timur tidak mempunyai hubungan yang erat.
3. Hubungan paling erat antara curah hujan dan indikator ENSO di lima kabupaten Jawa Timur terjadi saat lag 1, kejadian ENSO akan mempengaruhi curah hujan di lima kabupaten Jawa Timur satu bulan berikutnya. Hal ini terjadi karena kemungkinan adanya faktor lain yang mempengaruhi hubungan curah hujan di lima kabupaten Jawa Timur dan indikator ENSO. Anomali SST Nino 3.4 paling tepat digunakan dalam mengidentifikasi hubungan curah hujan dan indikator ENSO.

Saran yang dapat diberikan berdasarkan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pengaruh indikator ENSO terhadap curah hujan di Jawa Timur kemungkinan dipengaruhi juga oleh faktor lain. Penelitian selanjutnya disarankan agar memperhatikan faktor lain yang kemungkinan dapat mempengaruhi hubungan curah hujan dan indikator ENSO.
2. Hubungan curah hujan dan indikator ENSO masih dilakukan di lima kabupaten Jawa Timur, untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan di lokasi penelitian yang berbeda. Karena analisis yang dilakukan di lokasi yang berbeda kemungkinan akan memberikan hasil yang berbeda.
3. Indikator ENSO yang paling tepat digunakan dalam mengidentifikasi hubungan dengan curah hujan adalah

Anomali SST Nino 3.4, setelah itu Anomali SST Nino 3, dan Nino 4. Oleh karena itu untuk penelitian selanjutnya disarankan menggunakan Anomali SST Nino 3.4 dalam mengidentifikasi hubungan yang melibatkan indikator ENSO, dan disarankan untuk tidak menggunakan Anomali SST Nino 1+2.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis K.N.A. mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia yang telah memberikan dukungan finansial melalui Beasiswa Bidik Misi tahun 2011-2015.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] BPS. (2013). *Badan Pusat Statistik (BPS)*. Diakses 18 September 2014, dari <http://www.bps.go.id>
- [2] Lefkowitz, Y. (2013). *Climate and Commodity Prices: An Analysis of the Role of ENSO Forecasts in Agricultural Commodity Markets*. New York: New York University.
- [3] Mulyana, E. (2002). Hubungan Antara ENSO dengan Variasi Curah Hujan di Indonesia. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca, Vol. 3*, 1-4.
- [4] Kritman, B., & Vecchi, G. A. (2011). *Why Climate Modelers Should Worry About Atmospheric and Oceanic Weather*. USA: World Scientific Publishing Co.
- [5] Swarimoto, Y. S., Koesmaryono, Y., Aldrian, E., & Wigena, A. H. (2013). Pengaruh Time Lag SML sebagai Prediktor Dalam Model Sistem Prediksi Ensemble Pembobot Prakiraan Hujan Bulanan di Kabupaten Indramayu. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika Vol. 14 No.1*, 33-43.
- [6] Bachtiar, H., & Novico, F. (2012). Analisis Spasial Potensi Bahaya Daerah Pantai Terhadap Perubahan Iklim (Studi Kasus: Pulau Bali). *Kolokium Hasil penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air*.
- [7] Nelsen, R. B. (1998). *An Introduction to Copulas Second Edition*. USA: Springer.
- [8] Murteira, J. M., & Lourenço, Ó. D. (2007). Health Care Utilization and Self-Assessed Health: Specification of Bivariate Models Using Copulas. *Health, Econometrics and Data Group*.
- [9] Zhu, Y., Ghosh, S. K., & Goodwin, B. K. (2008). Modeling Dependence in the Design of Whole Insurance Contract -A Copula-Based Model Approach.
- [10] Syahrir, I. (2011). *Estimasi Parameter Copula dan Aplikasinya pada Klimatologi*. Surabaya: ITS.
- [11] Genest, C., & Nešlehová, J. (2010). *Copulas : Introduction to the Theory and Implementation in R with Applications in Finance and Insurance*. Universite Laval and McGill University.
- [12] Berg, D., & Bakken, H. (2006). *Copula Goodness-of-fit Tests: A comparative Study*. The Norwegian Computing.
- [13] Schörlzel, C., & Friederichs, P. (2008). Multivariate Non-Normally Distributed Random Variables In Climate Research – Introduction to The Copula Approach. *Nonlin.Processes Geophys*, 15, 761–772.
- [14] Genest, C., & Rivest, L. P. (1993). Statistical Inference Procedures for Bivariate Archimedean Copulas. *Journal of the American Statistics Association*, 1034-1043.
- [15] Wang, A. (2010). Goodness-Of-Fit Tests For Archimedean Copula Models. *Statistica Sinica*, 441-453.