

Keterkaitan Antara *El Nino-Southern Oscillation* (ENSO) Dengan Variabilitas Curah Hujan Bojonegoro

Heri Mulyanti*

Program Studi Ilmu Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro

Jl. Lettu Suyitno No. 2, Desa Kalirejo, Bojonegoro 62119

*e-mail : izzatafirdausa@gmail.com

ABSTRACT

Indonesian climate, especially Java Island have been associated with El Niño-Southern Oscillation (ENSO). The research using rainfall station at Bojonegoro District from 1979 – 2009 to detect rainfall variability and its linkages with ENSO phenomenon. ENSO's indexes then used to predict rainfall in Bojonegoro. Rainfall station was clustered using cluster analysis and then Mann-Kendall test used to predict rainfall trend of each cluster. There are 16 rainfall station that passed the rainfall test that can be conduct in the rainfall anomaly analysis. All stations have experienced both dry and wet anomalies during observation. Positive ENSO years have associated with more stations experienced dry anomalies; in other hand wet anomalies occurred more when negative ENSO. The stronger ENSO caused more extrem anomalies. There are obtained 5 clusters rainfall area over Bojonegoro District used HCA Ward method. Largest rainfall variations was experienced by cluster 5, Gondang and Jatiblimbing. Trend in rainfall only experienced by cluster 2 (Sumberejo and Mekuris) for December – January but another clusters didn't experience such significant rainfall pattern change. October and November have been the most influenced month caused by ENSO; and positive ENSO anomaly caused prolonged dry season up to November. October and November's rainfall can be predicted using SSTA Nino 3.4 index 3 months before.

Keywords: ENSO, rainfall variability, Bojonegoro, cluster

ABSTRAK

Iklim Indonesia, terutama Pulau Jawa berasosiasi dengan kejadian *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO). Penelitian dilakukan untuk stasiun hujan di Bojonegoro mulai tahun 1979 – 2009 untuk mengetahui variabilitas curah hujan serta kaitannya dengan kejadian ENSO. Indeks ENSO selanjutnya digunakan untuk memprediksi curah hujan Bojonegoro. Stasiun hujan dikelompokkan menggunakan analisis kluster kemudian dilihat tren hujan kluster menggunakan metode Mann-Kendall. Sebanyak 16 stasiun yang lolos uji digunakan dalam analisis anomali curah hujan. Semua stasiun pernah mengalami anomali kering maupun basah selama tahun pengamatan. Tahun ENSO positif berasosiasi dengan lebih banyak stasiun mengalami anomali kering; adapun anomali basah terjadi paling banyak saat ENSO negatif. Semakin kuat kejadian ENSO, anomali akan semakin ekstrem. Diperoleh 5 kluster wilayah hujan Bojonegoro menggunakan metode HCA Ward. Variasi hujan terbesar terdapat pada kluster 5, yaitu Gondang dan Jatiblimbing. Tren hujan dialami kluster 2 (Sumberejo dan Mekuris) untuk bulan Desember – Januari, tetapi kluster lain tidak mengalami perubahan pola hujan yang signifikan. Bulan Oktober dan November merupakan bulan paling terpengaruh oleh kejadian ENSO sehingga adanya anomali ENSO positif dapat berakibat pada musim kering yang lebih lama hingga November. Prediksi hujan bulan Oktober dan November dapat menggunakan indeks SSTA Nino 3.4 pada 3 bulan sebelumnya.

Kata Kunci: ENSO, variabilitas hujan, Bojonegoro, kluster

PENDAHULUAN

Bencana iklim—sebagai akibat dari perubahan iklim yang signifikan—dapat menjadi sumber bencana bagi kehidupan manusia. *Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC (2007) melaporkan bahwa dalam empat dekade terakhir intensitasnya semakin meningkat untuk negara tertentu. Indonesia merupakan salah satu negara yang rentan terhadap gangguan iklim. Beberapa gangguan iklim yang sering terjadi di Indonesia adalah kekeringan, banjir dan tanah longsor. Sebagian besar kondisi ekstrem Indonesia berupa kekeringan dan banjir berhubungan erat dengan kejadian *El Nino-Southern Oscillation* (ENSO) (Aldrian *et al.*, 2003). ENSO terjadi ketika suhu muka laut di perairan Samudera Pasifik timur mengalami anomali pemanasan sehingga awan konvektif bergeser ke timur. Akibatnya, curah hujan wilayah Amerika Selatan meningkat, sedangkan wilayah sekitar perairan Samudera Pasifik Barat akan mengalami penurunan curah hujan, bahkan kekeringan. Fase tersebut dikenal dengan *El Niño* (anomali hangat). Berdasarkan data kekeringan tahun 1984 – 1998, hanya 6 dari 43 kejadian yang tidak berasosiasi dengan kejadian *El Nino* (Kementerian Lingkungan RI 2007).

Curah hujan di Indonesia terpengaruh oleh aktivitas ENSO karena terletak pada *Inter-Tropical Convergence Zone* (ITCZ) sebagai zona pemanasan aktif. Meskipun demikian, pengaruh ENSO berbeda untuk setiap wilayah bergantung pada lokasi dan topografi (Qian *et al.* 2010). Wilayah beriklim monsun di Indonesia merupakan wilayah yang terkena dampak ENSO terbesar karena terkait dengan sirkulasi angin di belahan bumi Utara (Asia) dan angin dari belahan bumi Selatan (Australia). Beberapa wilayah yang termasuk dalam iklim monsun adalah Pulau Jawa, Bali, Nusa Tenggara dan Pulau Sumatera bagian Selatan. Sektor paling rentan terhadap fenomena ini adalah sektor pertanian.

ENSO fase positif diprediksi merupakan penyebab kekeringan parah tahun 1997/1998 di Indonesia yang mengakibatkan penurunan produksi padi secara signifikan di Pulau Jawa (Suryana & Nurmalina 2000; Naylor *et al.* 2002, 2007). Kekeringan untuk Pulau Jawa semakin mengkhawatirkan karena diprediksi curah hujan musiman Pulau Jawa akan mengalami penurunan signifikan pada 2020 – 2080 (Boer & Faqih 2003) serta peningkatan intensitas, cakupan, dan tingkat keparahan kekeringan (WMO 2013). Gangguan ENSO di Pulau Jawa merupakan yang terbesar di antara pulau-pulau Indonesia karena Pulau

Jawa merupakan pusat wilayah monsun Asia-Australia (Qian *et al.* 2010). Penelitian yang dilakukan oleh Qian *et al.* (2010) menyebutkan bahwa dampak *El Nino* juga dipengaruhi oleh faktor lokal, seperti orografis dan jarak dengan laut. Wilayah Jawa bagian timur lebih terpengaruh oleh ENSO karena sedikitnya faktor lokal (misal, jajaran gunungapi yang sedikit).

Bojonegoro merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Jawa Timur dengan aktivitas pertanian yang tinggi. Padi dan tembakau adalah komoditas utama daerah ini. Berbeda dengan padi yang membutuhkan air dalam masa pertumbuhannya, tanaman tembakau tidak boleh terkena hujan selama masa pertumbuhan. Keadaan iklim yang mudah berubah meresahkan petani karena pola tanam dapat terganggu. Stigter (2012) mengungkap bahwa perubahan iklim dapat memicu perkembangan hama pengganggu. Curah hujan berubah-ubah dapat disebabkan karena faktor intern maupun eksternal. Faktor internal dapat berupa kecenderungan hujan yang memang berubah, tetapi kadang faktor tersebut juga dipengaruhi intensitas faktor ekstern yang ikut memengaruhi. Salah satu faktor ekstern tersebut adalah gangguan iklim global. Sedikitnya faktor lokal yang berpengaruh terhadap hujan, Bojonegoro kemungkinan rentan terhadap pengaruh gangguan iklim seperti ENSO. Oleh karena itu, pemahaman tepat akan gangguan musim dapat menjadi upaya preventif mengatasi gagal panen. Analisis pengaruh fenomena ENSO terhadap curah hujan secara temporal memungkinkan para pengambil kebijakan untuk memberikan instruksi terkait pola tanam. Tujuan penelitian adalah untuk mengidentifikasi pola curah hujan internal (tanpa adanya gangguan) serta pola curah hujan ketika terjadi pengaruh ENSO. Indeks ENSO selanjutnya digunakan untuk memprediksi curah hujan di Kabupaten Bojonegoro.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan Waktu: Penelitian dilakukan untuk wilayah Kabupaten Bojonegoro menggunakan data tahun 1979 hingga 2009.

Sumber Data: Data yang digunakan adalah curah hujan bulanan 26 stasiun hujan yang didokumentasikan oleh UPT PSDA (Pengelolaan Sumber Daya Air) Kabupaten Bojonegoro selama 31 tahun yaitu antara 1979-2009. Data kosong diisi menggunakan metode aritmatik disebabkan sebagian besar stasiun berada pada kondisi topografi hampir sama. Pengujian konsistensi data hujan dilakukan menggunakan metode kurva massa ganda. Uji korelasi digunakan untuk memastikan masing-masing data bersifat independen. Stasiun hujan yang memenuhi standar pengujian dapat digunakan untuk penelitian lebih lanjut. Data hujan bentuk mm/bulan selanjutnya diubah dalam bentuk nilai normal (standar baku z) untuk penyetaraan nilai antar stasiun. Indeks ENSO yang digunakan adalah *Sea Surface Temperature Anomaly* (SSTA Nino 3.4) yang diperoleh dari NOAA (2016) mulai tahun 1979 sampai 2016.

Metode Pengolahan Data

Identifikasi Tahun ENSO: ENSO terdiri atas dua fase, fase positif dan fase negatif (*El Niño* dan *La Niña*). ENSO terjadi ketika rerata berjalan (*moving average*) 5 bulan memiliki anomali $\geq 0,5^{\circ}\text{C}$ selama minimal 6 bulan berturut-turut (anomali positif bagi ENSO positif dan anomali negatif untuk ENSO negatif) (Trenberth 1997). ENSO lemah didefinisikan sebagai anomali temperatur muka laut $0,5^{\circ}\text{C}$ sampai $0,9^{\circ}\text{C}$; moderat ketika anomali dari $1,0^{\circ}\text{C}$ sampai $1,4^{\circ}\text{C}$ (kategori lemah dan sedang dijadikan dalam satu kriteria lemah-sedang); dan kuat saat anomali $\geq 1,4^{\circ}\text{C}$.

Anomali Hujan Stasiun: Hujan suatu tahun dikategorikan sebagai anomali jika nilainya lebih dari persentil 90 (anomali basah) atau kurang dari persentil 10

(anomali kering).

Analisis Klaster: Curah hujan tahunan dari masing-masing stasiun diklasterkan menggunakan metode *Hierarchical Cluster Analysis* (HCA) metode Ward. Metode Ward banyak digunakan dalam analisis klimatologi karena perbedaan klaster berdasarkan ANAVA. Pengolahan klaster menggunakan Software SPSS 16. Data hujan masing-masing klaster selanjutnya dicari rerata, yaitu rerata tahunan dan bulanan mulai bulan Agustus sampai Januari.

Tren Curah Hujan: Rerata hujan tahunan dan bulanan dicari trennya menggunakan tes Mann-Kendall. Tes ini merupakan tipe tes non paramterik yang banyak digunakan dalam analisis data iklim seperti hujan, debit, dan suhu.

Hubungan ENSO dengan Curah Hujan: Keterkaitan ENSO dengan curah hujan dihitung menggunakan korelasi Pearson. Derajat signifikansi digunakan adalah 95% ($\alpha = 0,05$). Korelasi dilakukan untuk curah hujan tahunan per klaster serta bulan Agustus - Januari.

Prediksi Curah Hujan Menggunakan Indeks ENSO: Curah hujan bulan Agustus-September dan Desember-Januari diprediksi menggunakan indeks SSTA Nino 3.4 untuk lag 0, lag-1, lag-2, hingga lag-6. Lag-1 artinya curah hujan Agustus diprediksi menggunakan data SSTA Nino 3.4 bulan Juli. Metode yang digunakan adalah korelasi dengan signifikansi minimal 95% ($\alpha = 0,05$).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hujan Bojonegoro

Stasiun hujan Kabupaten Bojonegoro berada pada ketinggian hampir sama, antara 9 – 115 meter dpal. Topografi yang relatif datar memungkinkan metode pengisian data hilang dapat menggunakan metode aritmatik. Uji persistensi dan uji konsistensi data hujan menunjukkan hanya 64% stasiun dapat digunakan dalam penelitian lebih lanjut. Beberapa data tidak digunakan karena panjang data kurang dari 20 tahun. Tabel 4.1 menunjukkan data stasiun hujan dan hasil uji curah hujan.

Panjang data merupakan kriteria pertama dalam seleksi stasiun hujan, yaitu minimal 20 tahun. Data kurang dari 20 tahun kurang dapat merepresentasikan kondisi iklim suatu wilayah. Beberapa stasiun yang memiliki panjang data kurang dari 20 tahun antara lain: Gangseng, Kendung, Nglambangan, Simorejo, dan Stren. Uji persistensi data hujan dilakukan untuk mengetahui dependensi data hujan suatu stasiun. Data dependen tidak dapat digunakan dalam analisis lebih lanjut karena berarti antar data terdapat korelasi berarti sehingga dikhawatirkan mengacaukan analisis. Beberapa stasiun dengan data bersifat dependen antara lain Leran dan Karangnongko. Dua stasiun tersebut tidak digunakan dalam analisis karena selain data dependen juga tidak lolos uji t dan atau uji F .

Uji konsistensi menggunakan grafik massa ganda dengan memerhatikan terjadinya perubahan data yang signifikan atau disebut dengan *break*. Data sebelum *break* dengan setelah *break* dianalisis menggunakan uji beda yaitu t -test dan F -test. Jika stasiun tidak lolos 2 dari 3 uji, maka stasiun tersebut tidak dapat digunakan untuk penelitian lebih lanjut. Selain Leran dan Karangnongko, stasiun Sukun juga tidak digunakan dalam analisis lebih lanjut. Total stasiun digunakan dalam penelitian adalah 16.

Tabel 4.1 Hasil Uji Stasiun Hujan di Kabupaten Bojonegoro

No	Nama Stasiun	Lokasi			Tahun Data	Uji data				Kesimpulan
		LS	BT	Elevasi (m)		Panjang data	Uji Konsistensi			
							r	t-test	F-test	
1	Padangan	07° 15' 952"	111° 37' 162"	30	1994-2004	√	√	√	√	digunakan
2	Balen	7° 19,450'	111° 95,404'	13	1979-2009	√	√	√	X	digunakan
3	Baureno	7° 12,661'	112° 11,159'	14	1979-2009	√	√	√	X	digunakan
4	Bojonegoro	7° 8,353'	111° 54,836'	16	1979-2009	√	√	√	√	digunakan
5	Cawak	7° 22,57'	111° 10,918'	23	1979-2009	√	√	√	√	digunakan
6	Dander	7° 24,960'	111° 84,307'	37	1979-2009	√	√	√	√	digunakan
7	Gangseng				2003-2009	X				tidak digunakan
8	Gondang	7° 23,782'	111° 50,948'		1979-2014	√	√	√		digunakan
9	Jatiblimbing	7° 24,462'	111° 87,251'	37	1982-2009	√	√	√	√	digunakan
10	Kanor	7° 19,858'	112° 3,12'	9	1979-2009	√	√	√	√	digunakan
11	Kapas	7° 19,815'	111° 92,849'	18	1983-2009	√	√	√	√	digunakan
12	Karangnongko	7° 25,191'	111° 48,760'	38	1979-2009	√	X	X	X	digunakan
13	Panjang			42	1979-2009	√	√	√	√	digunakan
14	Kendung	7° 17,517'	112° 5,161'		2003-2009	X				tidak digunakan
15	Kerjo	7° 19,885'	112° 8,596'	9	1982-2009	√	√	√	√	digunakan
16	Klepek	7° 25,725'	111° 92,865'	31	1979-2009	√	√	√	√	digunakan
17	Leran	7° 18,840'	111° 82,55'		1979-2009	√	X	X	√	tidak digunakan
18	Mekuris	7° 17,858'	112° 1,855'	14	1979-2009	√	√	√	X	digunakan
19	Nglambangan	7° 20,461'	111° 45,457'		2003-2009	X				tidak digunakan
20	Simorejo	7° 22,57'	111° 10,918'		1979-2001	X				tidak digunakan
21	Stren	7° 17,740'	111° 43,620'		1999-2009	X				tidak digunakan
22	Sugihan	7° 24,206'	111° 52,269'		1979-2009	√	√	√	X	digunakan
23	Sukun			47	1982-2009	√	√	X	X	tidak digunakan
24	Sumberejo	7° 17,601'	112° 0,60'	14	1979-2009	√	√	√	X	digunakan
25	Tretes	7° 21,750'	111° 52,241'	115	1979-2009	√	√	√	√	digunakan

Sumber: UPT PSDA Bojonegoro 1979 - 2009

Curah hujan Bojonegoro bervariasi dengan rerata antara 1400 – 2000 mm/tahun (Tabel 4.2). Hujan tahunan paling rendah berada pada Stasiun Kerjo (1428,72 mm/tahun), adapun hujan paling tinggi yaitu di Stasiun Tretes (2038,01 mm/tahun). Tingginya curah hujan tahunan di Tretes dipengaruhi oleh efek topografi berupa dataran tinggi yang lebih mudah terbentuk awan kondensasi. Ketinggian stasiun Tretes adalah 115 m dpl dan merupakan stasiun dengan posisi paling tinggi. Daerah yang berada pada dataran rendah memiliki curah hujan pada kisaran 1400 – 1800 mm/tahun. Secara keseluruhan rerata curah hujan Bojonegoro adalah 1756 mm/tahun.

Apabila dilihat dari curah hujan maksimal, stasiun Tretes juga menempati urutan pertama dengan curah hujan paling tinggi kemudian disusul stasiun Sugihan. Akan tetapi, stasiun Sugihan menunjukkan suatu anomali karena curah hujan minimal dalam rentang 30 tahun hanya sebesar 190 mm/tahun. Kemungkinan terdapat kesalahan pencatatan oleh pihak berwenang sehingga curah hujan menjadi ekstrem rendah. Angka yang terlalu menyimpang sebenarnya dapat memengaruhi analisis perencanaan bangunan hidrologis. Oleh karena itu, perlu ketelitian dan kecermatan agar data semacam ini tidak terulang lagi.

Koefisien variasi merupakan perbandingan antara standar deviasi dengan rerata curah hujan. Stasiun Gondang memiliki koefisien variasi sebesar 37,02 yang berarti 67% dari tahun-tahun di Gondang akan memiliki varian sebesar +/- 37,02 % dari rerata curah hujan tahunan. Berbeda dengan Gondang, stasiun Panjang mempunyai koefisien sebesar 18,28 yang berarti sebesar 67% kejadian hujan akan bervariasi sebesar +/- 18,28% dari rerata tahunan. Hal ini menunjukkan bahwa stasiun Gondang memiliki variabilitas hujan antar tahun lebih besar dibandingkan stasiun lain di Bojonegoro, atau dengan kata lain memiliki peluang kejadian hujan ekstrem kering dan ekstrem basah lebih tinggi.

Tabel 4.2 Statistik deskriptif stasiun hujan Bojonegoro

Stasiun	Mean	Max	Min	Stdev	Koef. variasi
Balen	1692,70	2452	840	389,56	23,01
Baureno	1666,39	2695	783	456,26	27,38
Bojonegoro	1541,46	2244	362	368,57	23,91
Cawak	1609,26	2299	712	408,97	25,41
Dander	1895,13	2930	1182	414,45	21,87
Gondang	1656,66	2910	649	613,25	37,02
Jatiblimbing	1973,54	3045	1244	455,23	23,07
Kanor	1612,47	2387	767	404,48	25,08
Kapas	1843,37	3079	1151	439,22	23,83
Panjang	2005,68	2769	1454	366,54	18,28
Kerjo	1428,72	2317	932	343,00	24,01
Klepek	1914,26	3019	1303	368,37	19,24
Mekuris	1652,97	2186	696	341,34	20,65
Sugihan	1792,52	3455	190	634,85	35,42
Sumberejo	1777,84	2772	1167	459,87	25,87
Tretes	2038,01	3850	1285	506,52	24,85

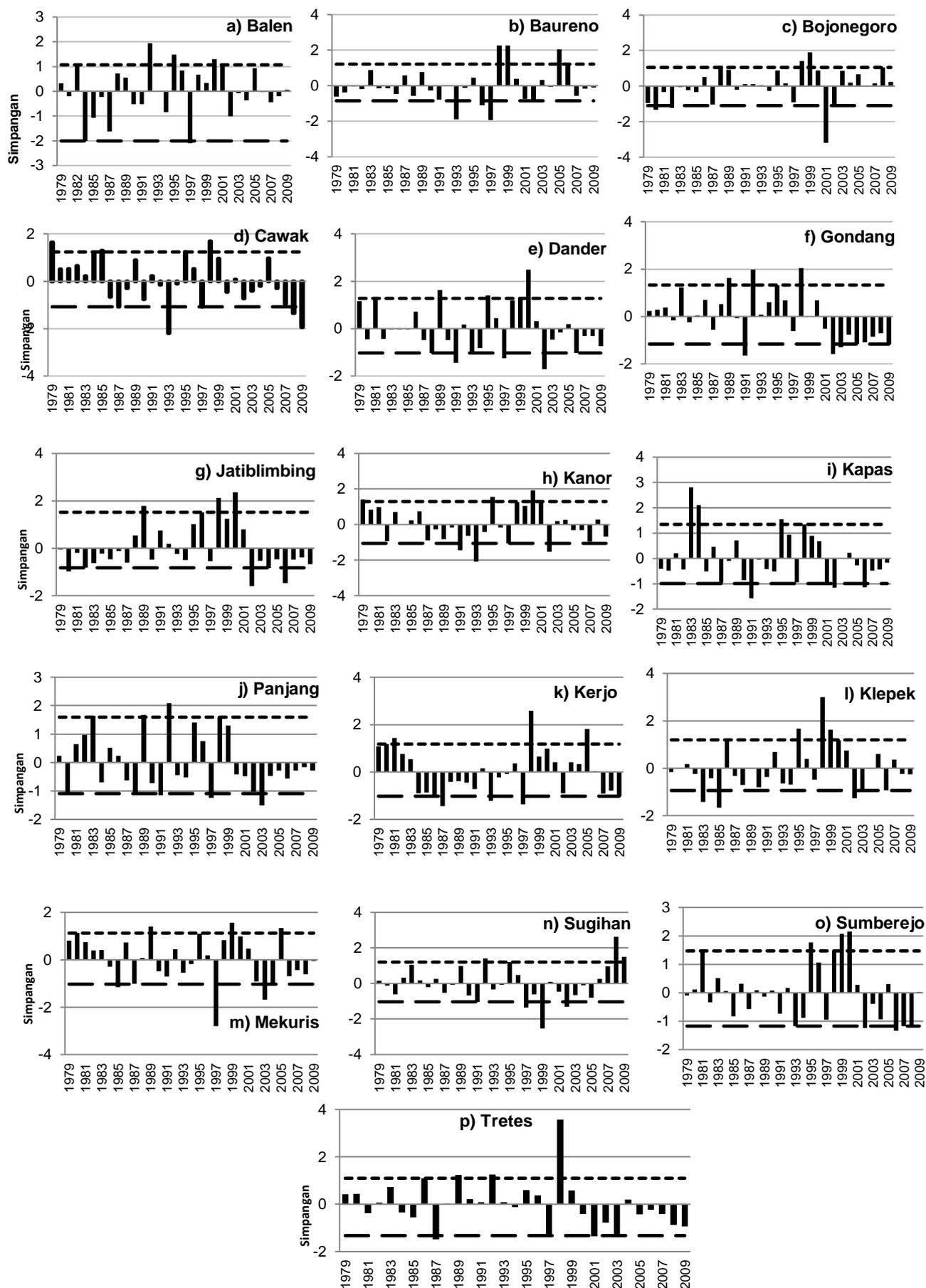
Nilai koefisien variasi (KV) juga dapat digunakan sebagai indikator risiko iklim suatu wilayah. Semakin tinggi nilai KV, maka fluktuasi hujan semakin tinggi. Para petani yang masih menggunakan sistem tadah hujan perlu waspada karena curah hujan tahunan atau bahkan bulanan sulit diprediksi. Daerah dengan curah hujan fluktuatif di antaranya Gondang dan Sugihan. Daerah dengan curah hujan relatif stabil ditunjukkan oleh Dander, Panjang, Klepek, dan Mekuris.

Anomali Curah Hujan

Curah hujan stasiun mengalami fluktuasi dari tahun ke tahun. Rerata curah hujan dalam satu periode analisis dapat digunakan untuk mengidentifikasi apakah fluktuasi dalam skala normal ataukah tidak normal (anomali). Ketidaknormalan curah hujan dapat berupa lebih tinggi dari standar atau lebih rendah. Batas yang digunakan adalah persentil. Persentil melebihi 90 menunjukkan curah hujan tahun tersebut jauh lebih tinggi dibandingkan dengan reratanya (ekstrem basah). Adapun persentil kurang dari 10 memperlihatkan adanya kecenderungan hujan jauh lebih rendah dibandingkan dengan rerata (ekstrem kering).

Gambar 4.1 a – p menunjukkan anomali curah hujan stasiun hujan Bojonegoro. Berdasarkan grafik, diketahui bahwa masing-masing stasiun dalam kurun waktu 30 tahunan mengalami ekstrem basah dan ekstrem kering masing-masing sebanyak tiga kali. Kejadian anomali basah lebih mendominasi dibandingkan dengan anomali kering selama kurun waktu 1979 – 2009. Tercatat tahun basah antara lain: 1989, 1992, 1995, 1998, 1999, dan tahun 2000. Tahun 1998 merupakan tahun yang mana sebanyak 8 stasiun mengalami anomali basah, di antaranya: Baureno, Bojonegoro, Cawak, Gondang, Jatiblimbing, Kerjo, Klepek, dan Tretes. Tahun tersebut tidak hanya terjadi anomali, tetapi juga kondisi ekstrem melampaui nilai persentil 90, misalnya stasiun Baureno, Gondang, Jatiblimbing, Klepek, Kerjo, dan Tretes. Bahkan, untuk stasiun Tretes simpangan dari persentil 90 mencapai 2 poin. Artinya adalah, kondisi yang benar-benar lebih basah dibandingkan dengan angka rerata curah hujan tahunan. Selain tahun ekstrem tersebut, terdapat 6 stasiun yang mengalami anomali basah tahun 1989 dan 1995.

Anomali kering paling banyak terjadi tahun 2002 dengan 8 stasiun menunjukkan nilai di bawah persentil 10. Stasiun tersebut antara lain: Dander, Gondang, Jatiblimbing, Kanor, Kapas, Klepek, Sugihan, Sumberejo. Disusul tahun 1997 yaitu Balen, Baureno, Dander, Panjang, Kerjo, Mekuris, Sugihan. Tidak ditemukan kejadian ekstrem untuk anomali kering tahun 1991, tetapi stasiun Jatiblimbing dan Dander menunjukkan kondisi ekstrem kering dengan simpangan tidak terlalu besar dari persentil 10. Stasiun Mekuris pada 1997 justru menunjukkan ekstrem kering dengan simpangan mencapai 1,5 poin dari persentil 10.



Gambar 4.1 a) – p) Simpangan curah hujan masing-masing stasiun terhadap rerata curah hujan dalam kurun waktu 30 tahunan. Garis putus-putus atas adalah batas persentil 90, sedangkan garis putus-putus bawah adalah batas persentil 10.

Hubungan Anomali Curah Hujan dengan Kejadian ENSO

Tahun-tahun disinyalir terjadi fenomena ENSO jika nilai rerata berjalan (*moving average*) dari SSTA Nino 3.4 (*Sea Surface Temperature Anomaly*) selama kurun waktu 5 bulan memiliki anomali > 0,5°C selama minimal 6 bulan berturut-turut. Anomali positif menunjukkan ENSO positif, sedangkan anomali negatif menunjukkan ENSO negatif (Trenberth, 1997). Pengelompokan lebih lanjut, ENSO lemah terjadi apabila anomali antara 0,5 – 0,9°C; moderat dengan nilai 1,0 – 1,4°C; dan kejadian kuat untuk anomali suhu ≥ 1,4°C. Berdasarkan definisi tersebut, maka tahun ENSO antara tahun 1979 hingga 2009 sebagaimana terdapat pada Tabel 4.3.

Tahun ENSO positif kuat maupun negatif kuat mengakibatkan efek signifikan dalam menurunkan maupun meningkatkan curah hujan. Penelitian Ropelewski dan Halpert (1987) menunjukkan bahwa Indonesia merupakan salah satu negara yang paling terdampak oleh ENSO karena berada pada zona konveksi laut intensif (Ashok *et al.*, 2001). ENSO positif atau yang lebih dikenal dengan *El Niño* berasosiasi dengan penurunan curah hujan di Pulau Jawa (Aldrian *et al.*, 2003) dengan pengaruh maksimal pada September – November.

Hasil penelitian yang ditunjukkan oleh gambar 4.1 memperlihatkan bahwa untuk tahun ENSO positif kuat (1982 dan 1997/1998), hanya tahun 1997 saja dengan efek signifikan. Tahun 1982 tidak terlihat adanya penurunan curah hujan secara signifikan. Adapun tahun ENSO negatif dengan efek peningkatan curah hujan, memang ditemukan sebanyak 6 stasiun mengalami anomali basah (Gambar 4.1 dan sebagaimana terdapat pada penjelasan sebelumnya). Bukan hanya ENSO kuat yang berasosiasi dengan curah hujan, kejadian ENSO moderat pun juga berkaitan dengan curah hujan. Tahun 2002, disinyalir terjadi ENSO positif moderat, yang mana untuk tahun yang sama sebanyak 8 stasiun mengalami anomali kering. Tahun ENSO negatif moderat berkaitan dengan anomali curah hujan tahunan Bojonegoro. Misalnya, tahun 1998 – 2000 merupakan tahun ENSO negatif moderat yang mana tahun tersebut lebih dari 5 stasiun mengalami anomali basah. Anomali paling luas pengaruhnya terjadi tahun 1998 yaitu sebanyak 8 stasiun mengalami anomali basah.

Karakteristik Wilayah Hujan Bojonegoro Analisis Kluster

Teknik HCA (*Hierarchical Cluster Analysis*) metode Ward digunakan untuk mengelompokkan stasiun hujan di Bojonegoro berdasarkan karakteristiknya. Metode Ward sering dimanfaatkan dalam analisis iklim karena menggunakan ANOVA dalam membagi kluster berdasarkan jumlah kuadrat (*sum of square*) paling kecil. Berdasarkan metode tersebut, diperoleh 5 kluster wilayah hujan (Tabel 4.4).

Tabel 4.3 Kejadian ENSO 1979 – 2009

Kejadian ENSO	Tahun
Positif Lemah	1994, 2004
Positif Moderat	1986/1987, 1991/1992, 2002, 2009/2010
Positif Kuat	1982, 1997/1998
Negatif Lemah	1981, 1984/1985, 1995
Negatif Moderat	1983, 1998/1999/2000, 2007
Negatif Kuat	1988/1989

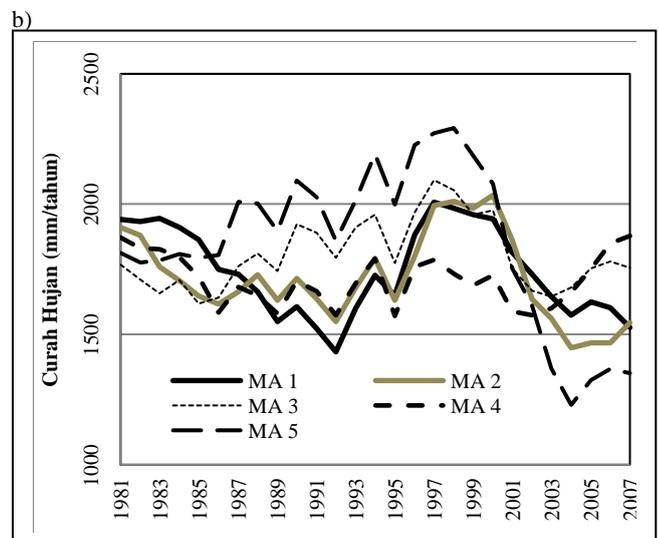
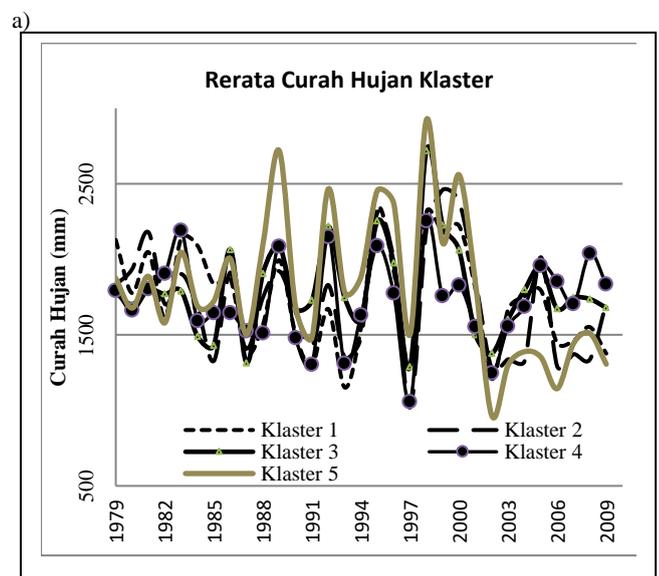
Tabel 4.4 Kluster Wilayah Hujan Bojonegoro

Kluster 1	Kluster 2	Kluster 3	Kluster 4	Kluster 5
Cawak	Mekuris	Balen	Baureno	Gondang
Kapas	Sumberejo	Tretes	Panjang	Jatiblimbing
Dander		Bojonegoro	Kerjo	
Kanor		Klepek	Sugihan	

Tabel 4.5 Statistik deskriptif kluster wilayah hujan Bojonegoro

Kluster	Mean (mm)	Max (mm)	Min (mm)	Stdev (mm)	Cv
Kluster 1	1740,06	2339	712	408,97	23,50
Kluster 2	1715,40	2461	1020	369,94	21,57
Kluster 3	1796,61	2720	1289	307,50	17,12
Kluster 4	1723,32	2253	1056	285,92	16,59
Kluster 5	1815,10	2924	964	474,65	26,15

Cv menunjukkan koefisien variasi



Gambar 4.2. a) Rerata curah hujan tahunan per kluster; b) Rerata berjalan (*Moving Average/ MA*) curah hujan tahunan kluster wilayah Bojonegoro

Rerata curah hujan paling tinggi dimiliki oleh klaster 5, dengan hujan tahunan lebih dari 1800 mm, demikian juga dengan nilai maksimal hujan tahunan (Tabel 4.5). Klaster 5 juga memiliki nilai koefisien variasi paling tinggi, sehingga kejadian ekstrem basah dan kering kemungkinan lebih sering terjadi dibandingkan klaster lain. Keseluruhan klaster mengalami puncak hujan maksimal pada 1995 serta 1998 dan puncak minimal pada 1997 dan 2002. Curah hujan tahunan klaster 3 dan 4 cenderung stabil, yaitu pada kisaran 17. Nilai MA (*Moving Average*) dapat digunakan untuk mengetahui kecenderungan hujan jangka pendek. Gambar 4.2b menunjukkan klaster 5 memiliki hujan paling tinggi dan juga paling rendah. Hujan pada hampir seluruh klaster mengalami peningkatan sejak tahun 1995 kemudian menurun mulai 1999 dan naik lagi pada 2005 – 2007. Curah hujan klaster 3 dan 4 termasuk dalam kategori stabil, tidak ada nilai ekstrem tinggi atau ekstrem rendah.

Tren Hujan

Kecenderungan hujan suatu wilayah menunjukkan adanya perubahan pola hujan secara menyeluruh. Perubahan pola tersebut dapat disebabkan oleh faktor lingkungan, misalnya pemanasan global atau dapat juga terjadi secara alami. Tren hujan diketahui menggunakan tes Mann-Kendall dan diperoleh hasil sebagaimana pada Tabel 4.6. Hasil uji tren hujan klaster wilayah hujan Bojonegoro, hanya curah hujan bulan Desember – Januari untuk klaster 2 saja yang mengalami penurunan secara signifikan pada derajat 95% ($\alpha = 0,05$). Klaster lain tidak menunjukkan adanya perubahan pola hujan. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa curah hujan di Bojonegoro secara umum berada pada kondisi normal tanpa ada perubahan berarti pada bulan kering (diwakili Agustus dan September) maupun bulan basah (diwakili Desember dan Januari).

Tabel 4. 6. Tren hujan per klaster

Waktu	K. I	K. II	K. III	K. IV	K. V
Tahunan	NT	NT	NT	NT	NT
Agus-Sept (AS)	NT	NT	NT	NT	NT
Des-Jan(DJ)	NT	DT**	NT	NT	NT
AS Dekade I	NT	NT	NT	NT	NT
AS Dekade II	NT	NT	NT	NT	NT
AS Dekade III	NT	NT	NT	NT	NT
DJ Dekade I	NT	NT	NT	NT	NT
DJ Dekade II	NT	NT	NT	NT	NT
DJ Dekade III	NT	NT	NT	NT	NT

NT = tidak ada tren, DT = tren penurunan

Meskipun demikian, tidak menutup kemungkinan terjadinya pola penurunan atau peningkatan untuk bulan lain yang tidak masuk dalam penelitian ini.

Hubungan Curah Hujan dengan Kejadian ENSO

Tahun-tahun ENSO berasosiasi dengan penurunan atau kenaikan curah hujan. Sebagaimana terdapat dalam poin 4.2 bahwa ketika ENSO positif maka kecenderungan banyak stasiun hujan mengalami penurunan curah hujan. Adapun ketika ENSO negatif beberapa stasiun hujan mengalami kenaikan curah hujan. Tabel 4.7 memperlihatkan korelasi antara indeks SSTA Nino 3.4 dengan curah hujan rerata masing-masing klaster. Data tahunan tidak memperlihatkan hubungan signifikan dengan indeks SSTA Nino 3.4. Hal ini berarti bahwa analisis data tahunan untuk masing-masing klaster tidak dapat menggunakan nilai indeks SSTA. Akan tetapi, bulan Agustus hanya klaster 1 yang tidak menunjukkan hubungan signifikan (mulai pada derajat kepercayaan 90%).

Semua korelasi bernilai negatif, artinya adalah ketika indeks bernilai positif maka curah hujan akan mengalami penurunan. Korelasi tertinggi bulan Agustus dialami oleh klaster 4, yaitu stasiun Baureno, Panjang, Kerjo, dan Sugihan.

Hubungan paling kuat antara indeks ENSO dengan curah hujan terjadi bulan Oktober dan November. Bulan Oktober dan November sendiri merupakan bulan transisi antara bulan kering dan bulan basah. Bulan-bulan ini terjadi perubahan arah monsun, yaitu dari monsun Australia yang membawa uap kering ke monsun Asia yang membawa uap basah. Bahkan, untuk bulan Oktober korelasi untuk keseluruhan klaster signifikan pada derajat 99%. bulan November tidak menunjukkan hubungan sekuat bulan Oktober. Seluruh korelasi bernilai negatif untuk bulan Oktober dan November. Nilai ini menunjukkan bahwa perubahan suhu muka laut di Samudera Pasifik berpengaruh untuk curah hujan Bojonegoro bulan Oktober dan November. Apabila terjadi ENSO positif pada bulan Oktober – November, maka kemungkinan hujan baru akan turun bulan Desember (musim hujan bergeser).

Tabel 4.7. Korelasi SSTA Nino 3.4 dengan curah hujan klaster

	Klaster 1	Klaster 2	Klaster 3	Klaster 4	Klaster 5
Tahunan	-0,169	-0,179	-0,143	-0,142	-0,106
Agustus	-0,194	-0,410**	-0,363*	0,568***	-0,361*
September	-0,286	-0,228	-0,293	-0,303	-0,266
Oktober	0,568***	0,568***	0,669***	0,652***	0,740***
November	0,537***	-0,420**	0,472***	0,484***	-0,221
Desember	-0,263	-0,151	-0,184	0,042	0,013
Januari	0,143	-0,058	0,149	0,095	0,111

*signifikan untuk $\alpha = 0,1$; **signifikan $\alpha = 0,05$; ***signifikan $\alpha = 0,01$

Tabel 4.8. Korelasi curah hujan bulan Oktober dan November dengan berbagai prediktor SSTA Nino 3.4

Bulan	Klasifikasi	Lag						
		lag 0	lag -1	lag -2	lag -3	lag -4	lag -5	lag -6
Oktober	K	-	-	-	-	-	-	-
	I	-0,568	0,555	0,502	-	-0,503	0,373	-0,106
	K	-	-	-	-	-	-	-
	II	-0,568	0,544	0,470	-0,417	-0,380	0,232	-0,032
	K	-	-	-	-	-	-	-
	III	-0,669	0,692	0,667	-0,614	-0,577	0,397	-0,153
November	K	-	-	-	-	-	-	-
	I	-	-	-	-	-	-	-
	V	-0,652	0,660	0,606	-0,578	-0,498	0,281	-0,162
	K	-	-	-	-	-	-	-
	V	-0,740	0,714	0,680	-0,681	-0,647	0,394	-0,176
	K	-	-	-	-	-	-	-
Desember	K	-	-	-	-	-	-	-
	I	-0,537	0,507	0,507	-0,474	-0,413	0,434	-0,420
	K	-	-	-	-	-	-	-
	II	-0,420	0,375	0,372	-0,348	-0,299	0,297	-0,302
	K	-	-	-	-	-	-	-
	III	-0,472	0,466	0,477	-0,423	-0,303	0,286	-0,255
Januari	K	-	-	-	-	-	-	-
	I	-	-	-	-	-	-	-
	V	-0,484	0,504	0,482	-0,419	-0,278	0,165	-0,086
	K	-	-	-	-	-	-	-
	V	-0,221	0,295	0,302	-0,234	-0,128	0,082	-0,091
	K	-	-	-	-	-	-	-

Cetak tebal berarti signifikan pada derajat 95% ($\alpha = 0,05$)

Efek negatif dari anomali SSTA selanjutnya akan diprediksi menggunakan korelasi berdasarkan data bulan sebelumnya (*lag-correlation*). Bulan paling terpengaruh adalah Oktober dan November, sehingga bulan tersebut diprediksi menggunakan lag 0, lag -1, lag -2 hingga lag -6. Metode prediksi ini telah lama digunakan untuk prediksi kasar curah hujan, misalnya oleh Chiew *et al.* (1998) yang menggunakannya untuk prediksi hujan musiman di Australia. Curah hujan bulan Oktober maupun November dapat diprediksi menggunakan data SSTA Nino 3.4 sampai lag -3, kecuali untuk klaster 5 yang hanya dapat digunakan pada bulan Oktober (Tabel 4.8). Artinya adalah nilai indeks ENSO 3 bulan sebelum bulan Oktober—bulan Juli. Prediktor SSTA lebih dapat digunakan untuk bulan Oktober dibandingkan dengan bulan November, terbukti sampai lag -5 sebanyak 3 klaster memiliki korelasi signifikan. Klaster 1 menunjukkan nilai konsisten baik untuk prediksi bulan Oktober maupun November, bahkan untuk bulan November sampai dapat diprediksi menggunakan lag -6. Hasil ini serupa dengan penelitian Aldrian *et al.* (2003) dan Qian *et al.* (2010) bahwa pengaruh ENSO kuat antara bulan September – November di Pulau Jawa.

Nilai ini dapat digunakan dalam prediksi awal penentuan masa tanam jika sistem pertanian yang dikembangkan adalah tadah hujan. Curah hujan bulan transisi, Oktober dan November, paling rentan untuk terjadi penyimpangan karena dipengaruhi oleh pergerakan angin yang melewati ekuator. Saat terjadi ENSO, siklus Walker—siklus angin daerah ekuator—terpengaruh oleh pergerakan angin di Samudera Pasifik ekuator. Akibatnya, ada pembalikan arah angin yang dapat menyebabkan musim penghujan tiba lebih lambat dari kebiasaan. Nilai negatif pada perhitungan korelasi merupakan simbol bahwa ketika terjadi anomali positif, maka curah hujan di Bojonegoro akan mengalami penurunan, terutama bulan Oktober dan November.

KESIMPULAN

Sebanyak 16 stasiun hujan di Kabupaten Bojonegoro digunakan untuk analisis variabilitas serta

kecenderungan curah hujan. Setiap stasiun pernah mengalami anomali basah maupun kering selama rentang waktu pengamatan. Akan tetapi, tahun-tahun tertentu lebih banyak ditemukan kejadian anomali. Tahun ditemukannya anomali basah untuk hampir 50% stasiun antara lain tahun 1989, 1995, 1998, dan 1999. Tahun tersebut bersamaan dengan fase ENSO negatif kuat maupun moderat. Adapun anomali kering ditemukan tahun 1991, 1997, dan 2002 yang bersamaan dengan ENSO positif kuat maupun moderat. Kejadian ENSO kuat menyebabkan anomali ekstrem, baik ekstrem basah pada ENSO negatif kuat maupun ekstrem kering pada ENSO positif kuat.

Stasiun hujan Bojonegoro dapat dibagi berdasarkan karakteristik curah hujan tahunan menjadi lima klaster yang secara umum memiliki karakteristik hampir sama. Klaster 5 (Stasiun Gondang dan Jatiblimbing) memperlihatkan karakteristik hujan paling ekstrem basah dan ekstrem kering. Klaster 2 (Stasiun Sumberejo dan Mekuris) mengalami tren penurunan hujan secara signifikan untuk bulan Desember-Januari, tetapi tidak terjadi untuk stasiun lain. Hubungan antara ENSO dengan curah hujan paling kuat pada Oktober untuk semua klaster, disusul bulan November. Bulan Oktober dan November merupakan bulan transisi antara musim kering dan musim basah. Adanya pengaruh kuat ENSO bulan tersebut menandakan bahwa fenomena ENSO memperlama musim kering hingga November. Prediksi curah hujan bulan Oktober dapat menggunakan nilai SSTA Nino 3.4 sejak bulan Juni. Adapun prediksi hujan bulan November dapat menggunakan SSTA bulan Agustus. Pengaruh kuat ENSO positif pada bulan transisi perlu diwaspadai karena kemungkinan bergesernya musim penghujan hingga Desember.

Kajian ini merupakan pendahuluan untuk analisis lebih lanjut, misalnya untuk banjir maupun kekeringan yang dapat berdampak pada sektor pertanian. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan untuk tahun setelah dimulainya industri minyak dan gas di Kabupaten Bojonegoro mulai 2010 hingga tahun terbaru sebagai pembandingan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, E., L.D. Gates, dan F.H. Widodo. 2003. Variability of Indonesian rainfall and the influence of ENSO and resolution in ECHAM4 simulations and in the reanalyses. *MPI Report 346*, May 2003.
- Ashok, K., Z. Guan, dan T. Yamagata. 2001. Impact on the Indian Ocean Dipole on the relationship between the Indian Monsoon Rainfall and ENSO. *Geophys. Res. Lett.* 28: 4499 – 4502.
- Boer, R. dan A. Faqih. 2003. Current and Future Rainfall Variability in Indonesia. In: *An integrated assessment of climate change impacts, adaptation and vulnerability in watershed areas and communities in Southeast Asia (AIACC AS21)*. Semi-Annual Report (July-December 2003). Institut Pertanian Bogor.
- Chiew, F.H.S., T.C. Piechota, J.A. Dracup, T.A. McMahon. 1998. *El Nino/Southern Oscillation dan Australian Rainfall, Streamflow, dan Drought: Links dan Potential for Forecasting*. *Journal of Hydrology* 204: 138 – 149. Diakses tanggal

11 Desember 2010 dari Springerlink.

- Inter-Government Panel on Climate Change (IPCC). 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Valencia.
- Naylor, R., W.P. Falcon, N. Wada, dan D. Rochberg. 2002. Using El Nino-Southern Oscillation climate data to improve food policy planning in Indonesia. *Bulletin of Indonesian Economic Studies* 38 (1): 75 – 91. (ISSN 0007-4918print/ISSN1472-7234online/02/010075-17).
- Naylor, R.L., D.S. Battisti, D.J. Vimont, W.P. Falcon. 2007. Assessing risks of climate variability and climate change for Indonesian rice agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 104(19): 7752-7757.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). *SSTA Nino3.4 HadISST*. http://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos_wgsp/Timeseries/Data/nino34.long.anom.data
Diakses tanggal 1 November 2016.
- Qian, J.H., A.W. Robertson, dan V. Moron. 2010. Interaction among ENSO, the Monsoon and Diurnal Cycle in Rainfall Variability Over Java, Indonesia. *Journal of the Atmospheric Sciences* 67: 3509 – 3524.
- Ropelewski, C.F. dan M.S. Halpert. 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Nino/Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*. 115: 1606 – 1626.
- Stigter, C.J. 2012. *Unusual Climate Conditions of 2010/11 & Pest/disease outbreaks*. Lecture on 'Work in Progress' Seminar at Faculty of Social and Political Science, Universitas Indonesia, Depok, Friday, February 3, 2013.
- Suryana, A. dan R. Nurmalina. 2000. Impact of climatic change and the economic crisis on food production in Indonesia. *Global Environ. Res.* 3 (2): 177 – 183.
- Trenberth, K. E. 1997. The definition of El Niño. *Bull. Ame. Met. Soc.* Vol 78 (12): 2771 – 2777.
- World Meteorological Organization (WMO). 2013. *The global climate 2001-2010: A decade of climate extremes summary report*. WMO. Switzerland.