

TREN TEMPERATUR DAN HUJAN EKSTRIM DI JUANDA SURABAYA TAHUN 1981-2013

THE EXTREME TEMPERATURE AND RAINFALL TREND IN JUANDA SURABAYA 1981-2013

Firda Amalia Maslakah

Stasiun Meteorologi Juanda Surabaya, Bandar Udara Juanda Surabaya Kode Pos 61253A

E-mail: amaliafirda01@gmail.com

Naskah masuk: 28 Oktober 2014; Naskah diperbaiki: 1 Desember 2015; Naskah diterima: 22 Desember 2015

ABSTRAK

Perubahan iklim akibat peningkatan konsentrasi gas rumah kaca telah menyebabkan perubahan pada kejadian iklim ekstrim. Pada penelitian ini dilakukan kajian mengenai tren indeks temperatur dan hujan ekstrim periode 1981-2013 di Juanda Surabaya. Data temperatur maksimum, temperatur minimum dan curah hujan harian diolah dengan Software RClimDex sehingga didapatkan data indeks temperatur dan hujan ekstrim. Indeks-indeks tersebut merupakan indeks iklim ekstrim yang ditetapkan oleh ETCCDMI yang terdiri atas TN10p, TN90p, TX10p, TX90p, TNn, TNx, TXn, TXx, DTR, RX1day, RX5day, PRCPTOT, CDD, CWD dan R95p. Hasil menunjukkan bahwa frekuensi kejadian baik temperatur dingin maupun panas di siang hari semakin meningkat seperti halnya yang terjadi pada kejadian temperatur panas di malam hari. Tren meningkat juga teramati pada jumlah hari hujan berturut-turut, jumlah hari tanpa hujan berturut-turut dan kejadian hujan lebat. Sebaliknya, kejadian temperatur dingin di malam hari, kisaran temperatur diurnal, dan jumlah curah hujan tahunan semakin berkurang. Peningkatan frekuensi kejadian cuaca/iklim ekstrim dapat menyebabkan semakin tingginya potensi bencana alam seperti banjir dan kekeringan.

Kata kunci: indeks iklim ekstrim, hujan ekstrim, temperatur ekstrim, Juanda

ABSTRACT

Climate change due to the increase of greenhouse gases concentration has caused changes in extreme climate events. Changes in indices of temperature and extreme precipitation for the period of 1981-2013 in Juanda Surabaya has been studied. Data on daily minimum temperature, maximum temperature and daily rainfall were processed with RClimDex software package to obtain extreme temperature and rain indices data. Those indices are extreme climate indices fixed by ETCCDMI which consist of TN10p, TN90p, TX10p, TX90p, TNn, TNx, TXn, TXx, DTR, RX1day, RX5day, PRCPTOT, CDD, CWD and R95p. The result shows that frequency of both cold and warm days rise as observed on warm nights. The number of consecutive wet days, number of consecutive dry days and heavy precipitation events also show upward trends. On the other hand, there are downward trends in the number of cold nights, diurnal temperature range and total annual precipitation. An increase in the frequency of extreme weather/climate can lead to higher probability of natural disaster such as flood and drought.

Keywords: extreme climate index, extreme precipitation, extreme temperature, Juanda

1. Pendahuluan

Sejak dimulainya revolusi industri tahun 1750, tercatat adanya peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer akibat aktivitas antropogenik. Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca menyebabkan radiasi matahari dalam bentuk radiasi gelombang panjang yang dipantulkan oleh permukaan bumi terperangkap oleh gas-gas tersebut dan menyebabkan peningkatan temperatur permukaan bumi yang disebut dengan pemanasan global (global warming). Pemanasan

global mendorong terjadinya perubahan pada sistem iklim[1].

Perubahan iklim adalah sebuah perubahan pada kondisi iklim yang ditunjukkan dengan perubahan rata-rata atau variabilitas parameter-parameter iklim yang berlangsung pada periode jangka panjang. Perubahan yang terjadi pada sistem iklim mendorong perubahan pada frekuensi, intensitas, cakupan area, durasi dan waktu terjadinya kejadian cuaca dan iklim ekstrim. Kejadian ekstrim dari cuaca atau iklim

merupakan sebuah sisi dari variabilitas sistem iklim baik dalam kondisi stabil ataupun terjadi perubahan iklim. Kejadian tersebut didefinisikan sebagai suatu nilai dari variabel cuaca atau iklim yang berada di atas atau di bawah nilai ambang batas kisaran nilai variabel yang diamati [1].

Terdapat bermacam-macam kejadian yang dikategorikan ekstrim, antara lain presipitasi yang ekstrim, baik turun dalam bentuk hujan, hujan es dan salju. Tidak adanya hujan yang disertai tingginya penguapan dari tanah akibat temperatur yang tinggi merupakan contoh kejadian iklim ekstrim yang menimbulkan terjadinya kekeringan. Angin permukaan yang ekstrim diasosiasikan dengan sirkulasi badai. Tiap jenis badai (*storm*), termasuk siklon tropis, siklon ekstratropis dan *thunderstorm* memiliki ukuran, kecepatan dan intensitas masing-masing. Sebuah *storm* yang intens dapat menyebabkan terjadinya angin ekstrim dan hujan ekstrim [2].

Dewasa ini telah diamati adanya perubahan secara global pada variabel iklim ekstrim. Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca akibat aktivitas antropogenik mendorong terjadinya perubahan frekuensi kejadian ekstrim tersebut. Di beberapa wilayah, kejadian temperatur dan hujan ekstrim meningkat dibandingkan dengan nilai rata-ratanya. Kejadian iklim ekstrim, seperti gelombang panas (*heat waves*), banjir dan kekeringan, dapat memberikan dampak yang kuat pada masyarakat dan ekosistem [1].

Peningkatan kejadian cuaca/iklim ekstrim telah mendorong dikembangkannya penelitian untuk melakukan analisa terhadap kejadian cuaca atau iklim ekstrim [3]. *Expert Team for Climate Change Detection Monitoring and Indices* (ETCCDMI) telah memfasilitasi penentuan indeks iklim ekstrim berdasarkan data harian temperatur dan hujan [4]. Terdapat 27 indeks iklim ekstrim yang ditetapkan oleh ETCCDMI. Salah satu perangkat lunak yang banyak digunakan untuk memantau perubahan kondisi ekstrim dengan pendekatan penghitungan indeks iklim ekstrim yang direkomendasikan oleh ETCCDMI adalah RClindex [5].

Beberapa kajian mengenai indeks iklim ekstrim telah dilakukan sebelumnya. Studi yang dilakukan terhadap indikator iklim ekstrim di kota New York tahun 1948-2008 menunjukkan adanya peningkatan pada jumlah curah hujan ≥ 1 mm dan jumlah intensitas hujan harian [6]. Sementara itu, investigasi terhadap dua indeks iklim ekstrim di Cina tahun 1961-2008 yaitu jumlah hari hujan berturut-turut (CWD) dan hari tanpa hujan berturut-turut (CDD) memberikan informasi bahwa indeks CWD cenderung meningkat, sedangkan CDD cenderung menurun [7]. Kajian lain mengenai iklim ekstrim dilakukan di kota Utah, USA pada periode

1930-2006. Dari kajian tersebut diperoleh hasil bahwa terjadi peningkatan nilai maksimum dari temperatur maksimum bulanan dan nilai minimum dari temperatur maksimum bulanan [8]. Analisa mengenai indeks temperatur dan hujan ekstrim secara global yang dilakukan oleh Donat *et al* [4] menunjukkan peningkatan temperatur di segala musim dan lebih banyak wilayah yang mengalami peningkatan jumlah, intensitas dan frekuensi hujan ekstrim.

Pada penelitian ini, dilakukan kajian mengenai tren kejadian temperatur dan hujan ekstrim di Juanda Surabaya untuk periode 1981-2013 berdasarkan indeks-indeks iklim ekstrim yang ditetapkan oleh ETCCDMI. Kajian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan-perubahan yang terjadi pada temperatur dan curah hujan di Juanda Surabaya dalam kaitannya dengan isu perubahan iklim. Untuk menentukan indeks-indeks tersebut digunakan *software* RClindex.

2. Metode Penelitian

Data yang digunakan adalah data harian temperatur maksimum, temperatur minimum, dan curah hujan periode 1981-2013 hasil pengamatan di Stasiun Meteorologi Juanda Surabaya. Periode yang digunakan sebagai *baseline* adalah periode 1981-1990. Kajian dilakukan di Stasiun Meteorologi Juanda Surabaya yang berlokasi di Bandar Udara Juanda Surabaya Provinsi Jawa Timur pada koordinat lokasi 07°23'03"70S dan 112°47'02"68E dengan ketinggian 2,8 m dpl. Puncak hujan di Juanda Surabaya terjadi pada bulan Januari dan Februari, sedangkan jumlah curah hujan terendah terjadi pada bulan Agustus dan September. Temperatur tertinggi terjadi pada bulan Oktober dan yang terendah terjadi pada bulan Juli/Agustus. Data diolah dengan menggunakan *software* RClindex untuk menentukan indeks kondisi ekstrim yang ditetapkan oleh ETCCDMI (*Expert Team for Climate Change Detection Monitoring and Indices*). RClindex adalah program yang dijalankan dengan *software* R untuk penghitungan indeks-indeks iklim ekstrim untuk pemantauan dan pendeteksian perubahan iklim. *Software* ini dapat menghitung 27 indeks-indeks inti yang direkomendasikan oleh CCI/CLIVAR Expert Team for Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI) serta indeks-indeks temperature dan presipitasi lainnya dengan batasan-batasan nilai tertentu yang ditentukan oleh pengguna. Sebelum indeks-indeks iklim ekstrim ditentukan, data temperature dan curah hujan harian melalui proses *quality control* terlebih dahulu. Indeks-indeks yang ditentukan disajikan dalam tabel 1.

Tabel 1. Daftar Indeks temperatur dan hujan ekstrim

Indeks	Nama Indikator	Definisi	Satuan
TN10p	Cool nights	Persentase jumlah hari dengan temperatur minimum < persentil ke - 10	%
TN90p	Warm nights	Persentase jumlah hari dengan temperatur minimum > persentil ke - 90	%
TX10p	Cool days	Persentase jumlah hari dengan temperatur maksimum < persentil ke - 10	%
TX90p	Warm days	Persentase jumlah hari dengan temperatur maksimum > persentil ke - 90	%
TNn	Min Tmin	Nilai minimum bulanan dari temperatur minimum	°C
TNx	Max Tmin	Nilai maksimum bulanan dari temperatur minimum	°C
TXn	Min Tmax	Nilai minimum bulanan dari temperatur maksimum	°C
TXx	Max Tmax	Nilai maksimum bulanan dari temperatur maksimum	°C
DTR	Diurnal Temperatur Range	Rata-rata bulanan selisih temperatur maksimum dan minimum	°C
RX1day	Max-1 day precipitation amount	Jumlah curah hujan harian tertinggi dalam satu bulan	mm
RX5 day	Max-5 day precipitation amount	Jumlah curah hujan terbanyak selama 5 hari berturut-turut	mm
PRCPTOT	Annual total wet day precipitation	Jumlah curah hujan tahunan pada saat curah hujan \geq 1 mm	mm
CDD	Consecutive dry days	Jumlah hari terbanyak ketika curah hujan < 1mm	hari
CWD	Consecutive wet days	Jumlah hari terbanyak ketika curah hujan \geq 1mm	hari
R95p	Very wet days	Total jumlah curah hujan tahunan ketika curah hujan > persentil ke-95	mm

3. Hasil dan Pembahasan

Temperatur minimum

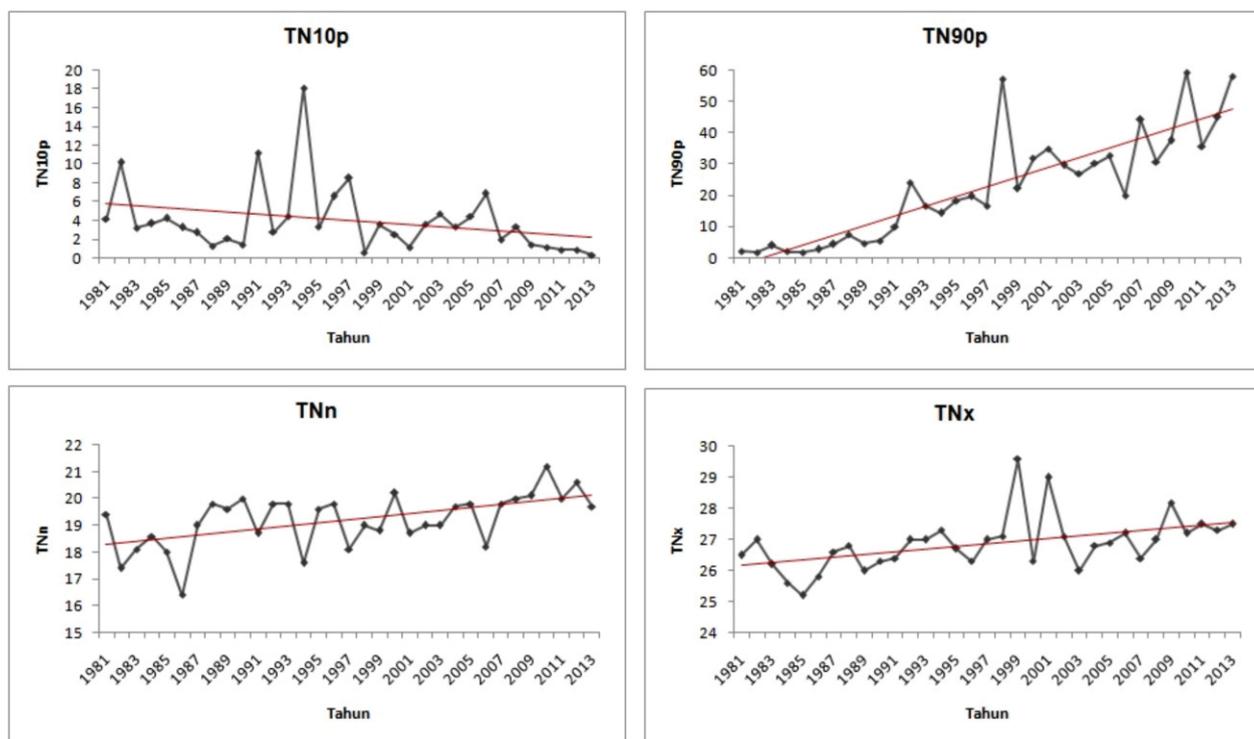
ETCCDMI mendefinisikan indeks TN10p sebagai *cool nights* atau malam hari yang dingin, yaitu persentase jumlah hari di mana nilai temperatur minimumnya lebih kecil dari persentil ke 10 dalam satu tahun. Grafik indeks TN10p disajikan dalam gambar 1.

Berdasarkan gambar 1 dapat diketahui bahwa TN10p cenderung mengalami penurunan selama periode 1981 hingga 2013 dengan nilai slope sebesar -0,11. Persentase jumlah hari paling kecil terjadi pada tahun 2013 sebesar 0,27% dan persentase paling besar tercatat pada tahun 1994 sebesar 18,08%.

Sementara indeks TN10p memiliki kecenderungan menurun, indeks TN90p cenderung meningkat selama periode 1981-2013 dengan nilai slope 1,564 (gambar

1). Indeks TN90p atau malam hari yang panas (*warm nights*) didefinisikan sebagai persentase jumlah hari yang memiliki temperatur minimum di atas persentil ke 90. Nilai terendah TN90p tercatat pada tahun 1985 sebesar 1,62 %, sedangkan nilai tertinggi sebesar 59,18% terjadi pada tahun 2010.

Pada gambar 1 juga ditampilkan grafik indeks nilai minimum dari temperatur minimum (TNn) dan nilai maksimum dari temperatur minimum (TNx). You *et al* [9] menyebut TNn dan TNx sebagai temperatur terdingin di malam hari (*coldest night*) dan temperatur terpanas di malam hari (*warmest night*). Grafik TNn dan TNx menunjukkan bahwa nilai minimum dan maksimum tahunan dari temperatur minimum memiliki tren meningkat dengan nilai slope 0,057 untuk TNn dan 0,044 untuk TNx. Temperatur minimum terendah tercatat pada tanggal 18 Agustus 1986 sebesar 16,4°C, sedangkan yang tertinggi terjadi pada tanggal 3 Februari 1999 sebesar 29,6°C.



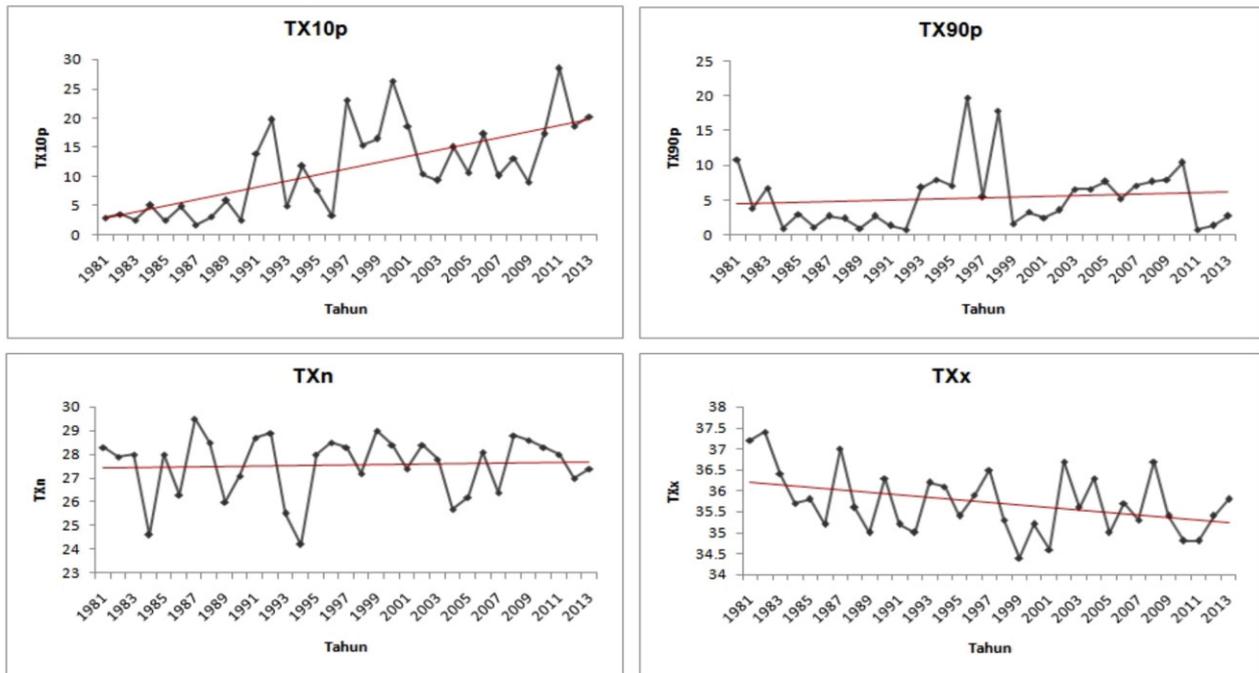
Gambar 1. Indeks temperatur ekstrim berdasarkan temperatur minimum

Temperatur maksimum. Persentase jumlah hari di mana temperatur maksimumnya lebih kecil dari persentil ke 10 dinyatakan dengan indeks TX10p atau siang hari yang dingin (*cool days*). Gambar 2 menunjukkan bahwa indeks TX10p memiliki kecenderungan mengalami peningkatan dalam kurun waktu 1981-2013 dengan nilai slope sebesar 0,529. Nilai TX10p tertinggi terjadi pada tahun 2011 sebesar 28,49%, sedangkan nilai terendahnya sebesar 1,7% pada tahun 1987.

Pada gambar 2 juga ditampilkan grafik indeks TX90p. Indeks TX90p adalah siang hari yang panas (*warm days*) yang didefinisikan sebagai persentase jumlah hari dalam satu tahun dengan nilai temperatur maksimum lebih besar dari nilai persentil ke 90. Berdasarkan gambar 2 dapat diketahui bahwa indeks TX90p cenderung mengalami peningkatan sejak tahun 1981 hingga 2013 dan didapatkan nilai slope sebesar 0,052. Nilai TX90p tertinggi terjadi pada tahun 1996

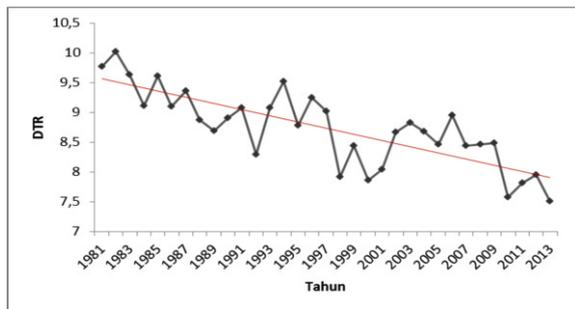
sebesar 19,73% dan terendah pada tahun 1992 dan 2011 sebesar 0,82%.

Indeks TXn adalah indeks yang mewakili nilai minimum dari temperatur maksimum, sedangkan TXx mewakili nilai maksimum dari temperatur maksimum. Menurut You *et al* [9], TXn disebut sebagai temperatur terdingin di siang hari (*coldest days*) dan TXx disebut sebagai temperatur terpanas di siang hari (*warmest days*). Grafik indeks TXn menunjukkan bahwa nilai minimum dari temperatur maksimum memiliki tren meningkat dengan nilai slope 0,008. Sementara itu besarnya nilai tertinggi dari temperatur maksimum yang dinyatakan dalam indeks TXx memiliki kecenderungan menurun dengan nilai slope -0,031 selama periode 1981-2013. Nilai tertinggi dari temperatur maksimum sebesar 37,4°C tercatat pada tanggal 10 November 1982, sedangkan nilai terendahnya sebesar 24,2°C tercatat pada tanggal 5 Januari 1994.

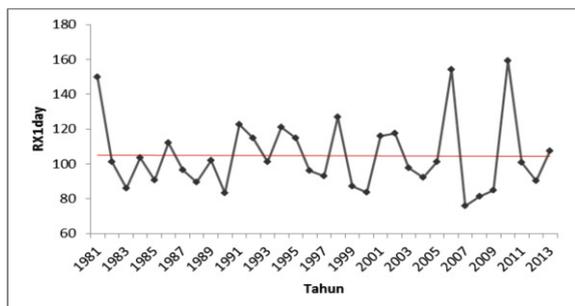


Gambar 2. Indeks temperatur ekstrim berdasarkan temperatur maksimum

Diurnal Temperatur Range (DTR). Diurnal Temperatur Range (DTR) merupakan rata-rata bulanan selisih antara temperatur maksimum dan temperatur minimum. DTR cenderung mengalami penurunan selama periode 1981-2013 (gambar 3) dengan slope sebesar $-0,052$. Pada tahun 1982, tercatat nilai rata-rata DTR tertinggi sebesar $10,02^{\circ}\text{C}$ dan pada tahun 2013, rata-rata DTR mencapai nilai terendah sebesar $7,51^{\circ}\text{C}$.



Gambar 3. Selisih temperatur maksimum dan temperatur minimum periode 1981-2013

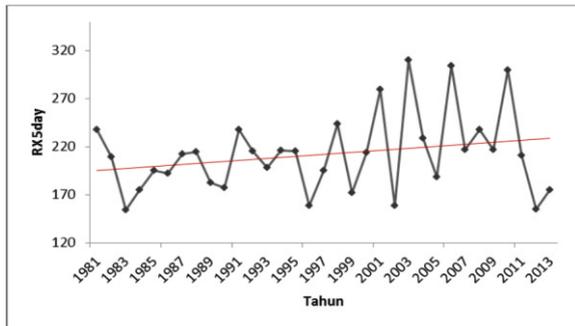


Gambar 4. Jumlah curah hujan maksimum dalam satu hari periode 1981-2013

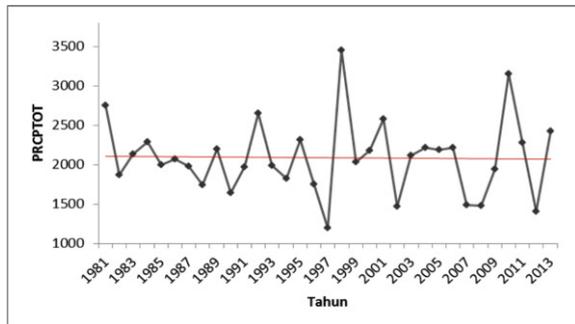
Curah Hujan. Jumlah curah hujan maksimal dalam satu hari dinyatakan dengan indeks RX1day seperti yang ditampilkan pada gambar 4.

Pada gambar 4 dapat dilihat bahwa dalam kurun waktu tahun 1981-2013, curah hujan terbesar dalam satu hari memiliki kecenderungan menurun dengan nilai slope yang relatif rendah sebesar $-0,035$. Curah hujan tertinggi tercatat pada tanggal 20 Januari 2010 dengan jumlah $159,3$ mm. Curah hujan tertinggi kedua terukur pada tanggal 6 Februari 2006 sebesar $154,2$ mm dan curah hujan tertinggi ketiga terjadi pada tanggal 26 Februari 1981 dengan jumlah curah hujan 150 mm.

Indeks RX5day (gambar 5) mewakili jumlah curah hujan tertinggi yang terukur dalam lima hari berturut-turut. Indeks ini memiliki kecenderungan meningkat selama periode 1980-2013 dengan slope $1,035$. Sejak tahun 2001, jumlah curah hujan maksimum lima hari ini tampak mengalami peningkatan secara tajam dengan jumlah curah hujan mencapai lebih dari 250 mm. Curah hujan tertinggi terukur sebesar $309,9$ mm yang terjadi pada tanggal 15 hingga 19 Februari 2003.



Gambar 5. Jumlah curah hujan maksimum dalam lima hari berturut-turut periode 1981-2013



Gambar 6. Jumlah curah hujan dalam satu tahun periode 1981-2013.

Pada gambar 6 ditampilkan jumlah curah hujan dalam satu tahun yang diwakili oleh indeks *Annual total wet day precipitation* (PRCPTOT). Jumlah curah hujan tahunan di Stasiun Meteorologi Juanda Surabaya selama tahun 1981 hingga 2013 cenderung menurun dengan slope $-1,048$. Jumlah curah hujan terendah tercatat pada tahun 1997 sebesar 1198,7 mm, sedangkan jumlah curah hujan tertinggi tercatat pada tahun 1998 sebesar 3455,4 mm. Jumlah curah hujan tertinggi berikutnya adalah 3148,2 mm pada tahun 2010.

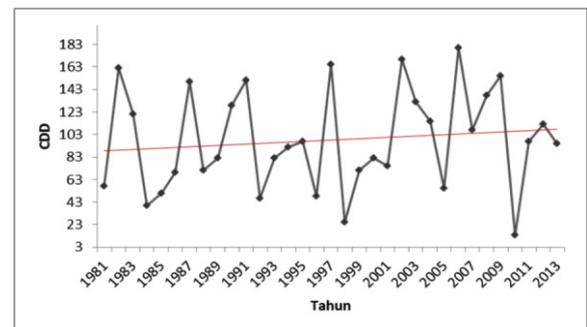
Consecutive Dry Days (CDD) adalah indeks jumlah hari terbanyak dalam satu tahun dengan jumlah curah hujan < 1 mm secara berturut-turut. CDD juga disebut sebagai hari tanpa hujan berturut-turut [10]. Berdasarkan gambar 7, dapat diketahui bahwa indeks CDD pada periode 1981-2013 di Juanda Surabaya memiliki tren meningkat dengan nilai slope $0,602$. Indeks CDD tertinggi terjadi pada tahun 2006 sebanyak 180 hari, sedangkan yang terendah terjadi pada tahun 2010 sebanyak 14 hari di mana indeks ini mengalami penurunan yang tajam dibandingkan dengan tahun sebelumnya.

Hari sangat basah (*very wet days*) atau jumlah curah hujan tahunan di mana curah hujan lebih besar daripada persentil ke 95 diwakili oleh indeks R95p (gambar 9).

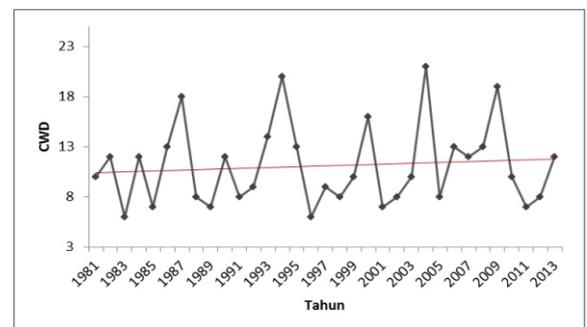
Jumlah hari maksimum dalam satu tahun dengan jumlah curah hujan ≥ 1 mm dinyatakan dengan indeks

Consecutive Wet Days (CWD) seperti yang ditampilkan pada gambar 8. Indeks CWD disebut juga sebagai hari hujan berturut-turut [10]. Sama halnya dengan indeks CDD, indeks CWD juga memiliki tren meningkat selama periode 1981-2013 di Juanda Surabaya dengan nilai slope sebesar $0,041$. Nilai CWD tertinggi terjadi pada tahun 2004 yaitu 21 hari dan yang terendah terjadi pada tahun 1983 dan 1996 sebanyak 6 hari.

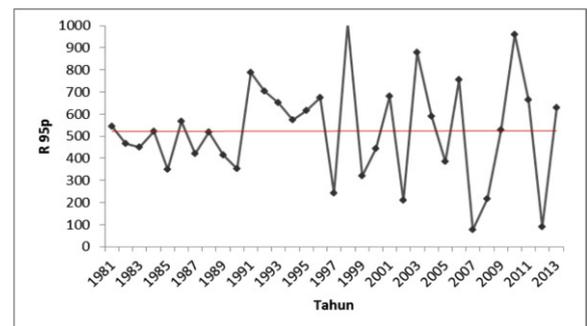
Indeks R95p tahun 1981-2013 memiliki kecenderungan mengalami peningkatan dengan slope $0,146$. Jumlah curah hujan tertinggi tercatat pada tahun 1998 sebesar 1008 mm, sedangkan yang terendah terjadi pada tahun 2006 sebesar 75,7 mm. Nilai indeks R95p memiliki fluktuasi yang semakin tajam sejak tahun 1997.



Gambar 7. Jumlah hari terbanyak dalam satu tahun dengan jumlah curah hujan < 1 mm secara berturut-turut.



Gambar 8. Jumlah hari terbanyak dalam satu tahun dengan jumlah curah hujan ≥ 1 mm secara berturut-turut.



Gambar 9. Jumlah curah hujan tahunan di mana curah hujan lebih besar daripada persentil ke 95

Analisis Perubahan Temperatur dan Hujan Ekstrim. Berdasarkan data beberapa indeks temperatur ekstrim yang meliputi TN10p, TN90p, TX10p dan TX90p, didapatkan gambaran bahwa telah terjadi perubahan pada temperatur ekstrem terkait temperatur minimum dan maksimum. Peningkatan frekuensi kejadian malam hari dengan temperatur yang lebih panas, cenderung berkurangnya frekuensi kejadian temperatur dingin di malam hari, serta semakin meningkatnya jumlah kejadian siang hari yang panas menandakan adanya peningkatan temperatur di permukaan bumi. Secara umum, peningkatan kejadian siang hari yang panas diikuti dengan penurunan kejadian siang hari yang dingin, namun hasil yang didapatkan di Juanda Surabaya menunjukkan bahwa kejadian siang hari yang dingin juga meningkat.

Peningkatan kejadian siang hari yang dingin dapat diasosiasikan dengan peningkatan kejadian hujan yang mana pada periode 1981 hingga 2013 jumlah hari hujan berturut-turut dan hari sangat basah cenderung meningkat. Peningkatan kejadian hujan mengindikasikan bahwa jumlah uap air dan perawanan cenderung meningkat. Uap air merupakan penyerap dan pemancar radiasi gelombang panjang yang baik. Uap air juga menyerap radiasi di bagian inframerah dekat pada radiasi matahari sehingga mengurangi jumlah energi radiasi yang sampai ke permukaan bumi pada siang hari. Dengan demikian, temperature maksimum lebih rendah pada kondisi lingkungan yang lembab. Kondisi perawanan juga dapat mempengaruhi nilai temperature maksimum karena awan-awan adalah pemantul radiasi matahari. Oleh karenanya, banyaknya jumlah awan menyebabkan temperatur dingin di siang hari dan temperatur hangat di malam hari (DTR yang rendah).

Data indeks TNn, TNx, TXn dan TXx memberikan indikasi bahwa temperatur terendah di siang dan malam hari serta temperatur tertinggi di malam hari menunjukkan tren peningkatan. Sebaliknya, temperatur tertinggi di siang hari cenderung turun selama periode 1981-2013. Besarnya indeks-indeks tersebut menunjukkan bahwa peningkatan yang terjadi pada temperatur minimum lebih besar daripada yang terjadi pada temperatur maksimum [9]. Besarnya peningkatan pada temperatur minimum juga didukung oleh data kejadian suhu panas di malam hari yang semakin meningkat.

Perubahan yang terjadi pada temperatur minimum dan maksimum berpengaruh pada nilai *Diurnal Temperatur Range* (DTR) yang merupakan selisih antara temperatur maksimum di siang hari dan temperatur minimum di malam hari. Nilai DTR cenderung menurun selama periode 1981-2013. Penurunan nilai DTR ini terutama disebabkan oleh

peningkatan temperatur minimum atau meningkatnya frekuensi temperatur hangat di malam hari. Tren menurun pada DTR merupakan salah satu indikasi adanya perubahan iklim [10].

Index RX1day menunjukkan bahwa jumlah curah hujan tertinggi dalam 1 hari di Juanda Surabaya terjadi pada tahun 2010. Demikian juga halnya dengan jumlah curah hujan maksimum dalam lima hari berturut-turut yang dinyatakan dengan RX5day. Pada tahun yang sama, RX5day menunjukkan nilai tertinggi kedua setelah tahun 2004. Tingginya curah hujan di tahun 2010 diakibatkan oleh pengaruh La Nina di Indonesia. Saat terjadinya La Nina, wilayah Indonesia memiliki tekanan yang rendah sehingga massa udara yang mengandung uap air dari Pasifik mengalir ke Indonesia. Hal ini meningkatkan potensi terbentuknya awan-awan hujan di wilayah Indonesia. Selain jumlah curah hujan maksimum dalam satu hari dan lima hari, jumlah curah hujan total selama tahun 2010 juga terpengaruh oleh dampak La Nina sehingga jumlah curah hujan tahun 2010 nilainya tertinggi kedua setelah tahun 1998. Sementara itu, dampak El Nino pada kondisi curah hujan ekstrim di Juanda Surabaya dapat diamati pada tahun 1997 pada saat jumlah total tahunan curah hujan dan jumlah hari hujan berturut-turut mencapai nilai terendah. Pada tahun 1997 El Nino kuat telah menyebabkan terjadinya kekeringan di wilayah Indonesia. Dampak fenomena El Nino juga terjadi pada tahun 2002-2003 dan 2006-2007. Selain aktivitas ENSO (El Nino/La Nina), fenomena lain yang berpengaruh pada kejadian hujan ekstrim adalah *Indian Ocean Dipole* (IOD), *Madden Julian Oscillation* (MJO), siklon tropis dan fenomena lokal.

Grafik PRCPTOT menggambarkan bahwa jumlah curah hujan tahunan cenderung menurun. Penurunan jumlah curah hujan tahunan ini juga dialami oleh wilayah tropis lain yang memiliki tipe hujan monsoon. Penurunan jumlah curah hujan tahunan terkait dengan peningkatan jumlah hari tanpa hujan berturut-turut atau kejadian kekeringan. Kekeringan dapat diakibatkan oleh peningkatan suhu permukaan bumi yang meningkatkan penguapan. Fenomena El-Nino semakin meningkatkan kejadian kekeringan di Indonesia seperti yang terjadi pada tahun 1997, 2002-2003 dan 2006-2007. El-Nino adalah peristiwa meningkatnya suhu permukaan air laut di bagian tengah dan timur perairan Pasifik tropis. Pada kondisi normal, suhu permukaan laut sekitar Indonesia hangat sehingga awan-awan hujan mudah terbentuk. Pada kondisi El-Nino, perairan sekitar Indonesia mengalami penyimpangan suhu dan terjadi perubahan pergerakan massa udara yang menyebabkan angin yang menuju Indonesia hanya membawa sedikit uap air. Menurut Nugroho dkk [11], kecenderungan penurunan jumlah curah hujan di daerah tropis

disebabkan oleh terbentuknya daerah tropis baru, sementara jumlah uap air sebagai pembentuk curah hujan tetap. Penurunan jumlah curah hujan tahunan mungkin juga disebabkan oleh peningkatan jumlah aerosol di atmosfer [12].

Berdasarkan indeks CWD, CDD dan R95p yang memiliki kecenderungan meningkat walaupun dengan peningkatan yang kecil, dapat diketahui bahwa selama tahun 1981-2013 jumlah hari dengan hujan ≥ 1 mm berturut-turut semakin meningkat dan banyak terjadi hujan dengan intensitas tinggi. Namun demikian jumlah hari tanpa hujan berturut-turut juga semakin meningkat. Indeks CDD dan CWD kerap diasosiasikan dengan potensi kekeringan dan banjir. Tren meningkat pada kedua indeks tersebut memberikan gambaran bahwa potensi terjadinya kekeringan di musim kemarau maupun banjir di musim penghujan semakin meningkat. Menurut Aldrian dan Djamil [13], meningkatnya kejadian kekeringan dan cuaca ekstrem di musim penghujan disebabkan oleh penurunan dominansi monsoon yang mendorong perubahan pola tahunan.

Sebagian radiasi matahari yang menuju ke bumi dalam bentuk radiasi gelombang pendek akan dipantulkan kembali oleh permukaan bumi ke atmosfer. Jumlah radiasi matahari yang kembali ke atmosfer dipengaruhi oleh komposisi kimia atmosfer, terutama gas rumah kaca yang bersifat menyerap radiasi sinar inframerah. Dengan semakin meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca akibat aktivitas antropogenik, maka semakin banyak radiasi matahari yang terperangkap di atmosfer dan menyebabkan temperatur di permukaan bumi semakin meningkat. Peningkatan temperatur permukaan bumi menjadi pemicu kejadian ekstrem seperti temperatur tinggi ekstrem dan berkurangnya frekuensi kejadian temperatur dingin ekstrem [9].

Perubahan pola presipitasi merupakan dampak lain yang ditimbulkan oleh pemanasan global. Dengan semakin meningkatnya temperatur permukaan bumi, tingkat penguapan semakin tinggi dan dengan demikian peluang terjadinya kekeringan permukaan semakin tinggi. Semakin meningkatnya temperatur udara juga meningkatkan jumlah uap air di udara. Tingginya jumlah uap air atau kelembaban udara menyebabkan semakin besarnya peluang kejadian hujan dengan intensitas tinggi walaupun pada kondisi di mana jumlah total curah hujan dalam satu tahun berkurang. Faktor-faktor tersebut terkait erat dengan ketersediaan uap air di udara yang jumlahnya dipengaruhi oleh sirkulasi atmosfer baik dalam skala global maupun regional. Sirkulasi atmosfer dipengaruhi oleh pemanasan global yang terjadi akibat peningkatan konsentrasi gas rumah kaca sejak abad ke-19.

4. Kesimpulan

Tren temperatur ekstrim menandakan terjadinya peningkatan temperatur di Juanda Surabaya terutama temperatur minimum.

Pola presipitasi mengalami perubahan di mana jumlah curah hujan tahunan semakin berkurang, namun frekuensi kejadian hujan lebat semakin meningkat selama periode 1981-2013 di Juanda Surabaya.

Peningkatan frekuensi kejadian cuaca/iklim ekstrim dapat menyebabkan semakin tingginya potensi bencana alam seperti banjir dan kekeringan yang perlu diwaspadai.

Saran. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh pemanasan global terhadap kejadian iklim ekstrim.

Daftar Pustaka

- [1] IPCC, *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [CB. Field, V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp, 2012.
- [2] K.E. Trenberth, "Changes in precipitation with climate change," *Clim Res.*, Vol. 47, 123-138, 2011.
- [3] P. Naveau, M. Nogaj, C. Ammann, P. Yiou, D. Cooley, V. Jomelli, "Statistical methods for the analysis of climate extremes," *C.R. Geoscience*, 337, 1013-1022, 2005.
- [4] M.G. Donat, L.V. Alexander, H. Yang, I. Durre, R. Vose, R.J.H. Dunn, K.M. Willet, E. Aguilar, M. Brunet, J. Caesar, B. Hewitson, C. Jack, A.M.G. Klein Tank, A.C. Kruger, J. Marengo, T.C. Peterson, M. Renom, C.O. Rojas, M. Rusticucci, J. Salinger, A.S. Elrayah, S.S. Sekele, A.K. Srivastava, B. Trewin, C. Villaroel, L.A. Vincent, P. Zhai, X. Zhang, and S. Kitching, "Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset." *J. Geophys. Res. Atmos.*, v.118:1-16, 2013.
- [5] A.M.G. Klein Tank, and F.W. Zwiers, *Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation*, WMO, 2009.
- [6] T.Z. Insaf, S. Lin, S.C. Sheridan, "Climate trends in

- indices for temperatur and precipitation across New York State, 1948-2008.” *Air Quality, Atmosphere and Health*, Vol.1 No. 1, 2011.
- [7] Y. Zhang, F. Jiang, W. Wei, M. Liu, W. Wang, L. Bai, X. Li, and S. Wang, “Changes in annual maximum number of consecutive dry and wet days during 1961-2008 in Xinjiang, China,” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12,1353-1365, 2012.
- [8] C.A.C.D. Santos, “Trends in Indices for extremes in daily air temperatur over Utah,” *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.26, n.1, 19-28, 2011.
- [9] Q. You, S. Kang, E. Aguilar, N. Pepin, W.A. Flugel, Y. Yan, Y. Xu, Y. Zhang, and J. Huang, “Changes in daily climate extremes in China and their connection to the large scale atmospheric circulation during 1961-2003.” *Clim Dyn*, 2010.
- [10] M. Qu, J. Wan, and X. Hao, “Analysis of diurnal air temperatur range change in the continental United States,” *Weather and Climate Extremes*, 4, 86-95, 2014.
- [11] S. Nugroho, H. Tarigan, E. Sasmita, “Tren Curah Hujan Ekstrim di Kota Padang 1970-2008.” *Megasains*, Vol.4 : 25-38, 2009.
- [12] G.C. Hegerl, F.W. Zwiers, P. Braconnot, N.P. Gillett, Y. Luo, J.A. Marengo Orsini, N. Nicholls, J.E. Penner, and P.A. Stott, *Understanding and Attributing Climate Change*. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.
- [13] E. Aldrian and Y.S. Djamil, “Spatio-temporal climatic change of rainfall in East Java Indonesia.” *Int. J. Climatol*, 28: 435-448, . 2008.