

Kecenderungan Hujan Ekstrem di Unit Pelaksana Teknis Pengelolaan Sumberdaya Air di Pasuruan, Jawa Timur

The Trend of Extreme Rainfall in the Water Management Unit of Pasuruan, East Java

Muh. Dian Nurul Hidayat^{1*}, Indarto Indarto^{*1}, Askin Askin¹, Idah Andriyani¹, Tasliman Tasliman¹

^{*1}Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember, Jember 68121, Jawa Timur

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 28 Juli 2018

Direview: 25 September 2018

Disetujui: 26 Februari 2019

Kata kunci:

Hujan ekstrem
Banjir bandang
Mann-Kendall
Rank-Sum
Median Crossing

Keywords:

Extreme Rainfall
Flash flood
Mann-Kendall
Rank-Sum
Median Crossing

Direview oleh:

Woro Estiningtyas, Nani Heryani

Abstrak. Peningkatan curah hujan ekstrem dengan durasi lebih lama dapat meningkatkan frekuensi dan besar bencana hidro-meteorologi yang terjadi pada suatu wilayah. Hujan ekstrem dengan durasi lebih lama dan merata pada suatu wilayah telah menyebabkan kejadian banjir bandang pada beberapa kota di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis kecenderungan dan perubahan hujan ekstrem (2-harian) dan menggambarkan sebaran spasial kecenderungan hujan ekstrem ke dalam peta tematik. Data hujan dari 64 stasiun di wilayah Unit Pelaksana Teknis Pengelolaan Sumberdaya Air (UPT-PSDA) di Kabupaten Pasuruan (periode rekaman data dari 1980 – 2015), digunakan sebagai input utama. Data hujan 2-harian diolah dari data hujan harian. Analisis kecenderungan menggunakan Uji *Mann-Kendall*, *Rank-Sum*, dan *Median Crossing* test. Hasil uji *Mann-Kendall* menunjukkan kecenderungan signifikan hujan 2-harian terjadi pada 12 stasiun. Hasil uji *Rank-Sum* menunjukkan delapan stasiun hujan mengalami perubahan hujan 2-harian signifikan. Berdasarkan uji tersebut secara keseluruhan wilayah UPT PSDA Pasuruan tidak mengalami kecenderungan perubahan hujan ekstrim pada periode 1980 sampai dengan 2015.

Abstract. Increased extreme rainfall duration can increase the frequency and magnitude of hydro-meteorological related disaster events. The extreme rainfall events with more prolonged duration have caused flash flood events in several areas in Indonesia. The aims of the study were to analyze the trends and shifts of 2-days extreme rainfall and to describe the spatial distribution of rainfall trend into thematic map layers. Rainfall data from 64 stations in the area of Water Management Unit (UPT PSDA) at Pasuruan (recorded from 1980-2015), were used as the main input. The 2-days extreme rainfall data was processed from daily rainfall data. The trend analysis used Mann-Kendall, Rank-Sum, and Median Crossing Tests. The Mann-Kendall test resulted in a significant trend of 2-days extreme-rainfall occurred in 12 rainfall stations. The Rank-Sum test showed that eight rain gauge experienced a shift. Based on these tests, we conclude that the overall area of UPT PSDA Pasuruan has not experienced the changes in extreme rainfall events from 1980 to 2015.

Pendahuluan

Perubahan iklim/cuaca yang ekstrem menjadi salah satu tantangan terbesar di abad ini, karena keberlangsungan pembangunan ekonomi dan kondisi kehidupan bergantung pada kemampuan manusia dalam mengelola risiko terkait peristiwa ekstrem (Tank *et al.* 2009). Curah hujan yang tinggi dan tergolong ekstrem dalam suatu wilayah dapat menyebabkan bencana seperti banjir dan tanah longsor. Curah hujan ekstrem terjadi ketika intensitas hujan lebat atau $\geq 50\text{mm hari}^{-1}$ (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika 2010).

Hujan ekstrem dalam suatu wilayah tidak hanya dilihat dari intensitas hujan yang tinggi saja, namun juga berdasarkan lama durasi hujan (Hanna *et al.* 2008). Nugroho (2002) mengemukakan bencana banjir yang terjadi di Jakarta pada tanggal 27 Januari hingga 1 Februari 2002 disebabkan adanya intensitas hujan yang

besar dengan durasi yang lama. Semakin tinggi intensitas hujan, dan disertai dengan durasi yang lama pada suatu wilayah, maka kerentanan terhadap terjadinya bencana banjir juga semakin besar. Kejadian bencana banjir dan longsor yang melanda beberapa kota seperti : Manado, Bandung, Pacitan, Trenggalek, Makassar, Pekalongan dan wilayah lain di Indonesia disebabkan oleh intensitas dan durasi hujan yang ekstrem.

Hujan merupakan komponen siklus hidrologi yang selalu berubah dalam skala waktu (*time series*). Agar lebih mudah dalam mendeteksi perubahan, maka data hidrologi disajikan dalam skala waktu diskrit (*discrete time series*) (Salas 1980). Perubahan naik atau turun-nya data hidrologi terhadap skala waktu tertentu disebut dengan kecenderungan atau *trend* (Soemarto 1997). Deteksi kecenderungan unsur iklim seperti hujan ekstrem sangat penting dilakukan untuk memproyeksikan kecenderungan nilai variable iklim pada periode mendatang. Analisis

* Corresponding author: indarto.ftp@unej.ac.id

kecenderungan dilakukan untuk mengetahui kecenderungan hujan ekstrem di suatu wilayah. Ada banyak metode telah digunakan untuk analisis perubahan dan kecenderungan variabel hidrologi dan iklim. Publikasi buku teks dan laporan dari Zbigniew. (2000), Helsel dan Hirsch (2002), Härdle *et al.* (2015) merangkumkan prinsip-prinsip metode statistik yang dapat digunakan untuk analisis perubahan dan kecenderungan iklim.

Ada banyak penelitian di berbagai negara terkait perubahan dan kecenderungan iklim. Penelitian tentang kecenderungan hujan dan perubahan pola hujan ekstrem menggunakan berbagai durasi hujan, misalnya dijumpai di India (Kumar *et al.* 2010; Mondal *et al.* 2015), di British Columbia (Burn *et al.* 2011), di Australia (Hajani *et al.* 2014), di Malaysia (Faizah *et al.* 2016; Othman *et al.* 2016), di Uganda ((Nsubuga *et al.* 2014)), di wilayah Italia dan alpen Swiis (Anghileri *et al.* 2014) di Sri langka (Wickramagamage 2016), dan di Cina Wei *et al.* (2017).

Hasil penelitian pada beberapa negara tersebut secara umum menunjukkan kecenderungan hujan ekstrem meningkat pada wilayah tropis dan kecenderungan hujan ekstrem menurun terjadi pada wilayah sub tropis.

Di Indonesia, misalnya Subarna (2014) telah melakukan uji kecenderungan terhadap empat unsur iklim (curah hujan, temperatur, evaporasi dan hari hujan) selama periode 1998-2007 menggunakan metode *Mann Kendall* di stasiun klimatologi Bandung.

Analisis kecenderungan juga dilakukan dengan berbagai metode dan tingkat signifikansi yang berbeda-beda. Muharsyah (2012) melakukan deteksi kecenderungan perubahan suhu di sejumlah wilayah di Papua menggunakan uji regresi dan uji Mann Kendall. Berdasarkan kedua uji tersebut diperoleh hasil relatif sama, namun metode uji Mann Kendall lebih akurat pada tingkat kepercayaan 99%.

Penggunaan uji parametrik seperti *Linier regression* memiliki kelemahan karena akan sulit mendeteksi kecenderungan apabila data random (acak) dan memiliki periode pengamatan pendek (Robson *et al.* 2000).

Umumnya, metode statistik untuk analisis perubahan dan kecenderungan variabel iklim, juga telah dirangkum dalam TOOL tertentu. Salah satu contoh aplikasi perangkat lunak adalah TREND Detection (Chiew and Siriwardena 2005). TREND Detection dapat digunakan untuk menganalisis perubahan yang mungkin terjadi dalam suatu data rentang waktu (*time series*) terkait variabel iklim dan/hidrologi. Perubahan dapat berupa kecenderungan (*trend*), lompatan (*jump*), pergeseran (*shift*) dan pola musiman (*seasonality*). Perangkat lunak TREND dapat mendeteksi kecenderungan, perubahan dan keacakan dari data hidrologi menggunakan 12 uji statistik (Chiew dan Siriwardena 2005). Durrant dan Byleveld (2009) melakukan analisis kecenderungan hujan di

wilayah Australia barat menggunakan perangkat lunak tersebut yang dimuat dalam laporan *Surface water hydrology HY32*. Di wilayah Sudan, Kenya dan Tanzania juga telah dilakukan analisis perubahan dan kecenderungan menggunakan TREND (WCRP Informal 2011).

Penelitian pendahuluan tentang analisis kecenderungan dan perubahan hujan di beberapa wilayah Jawa Timur juga sudah dilakukan. Gunawan. (2018) menganalisis perubahan, kecenderungan dan homogenitas hujan tahunan di wilayah UPT PSDA Pasuruan menggunakan Median-Crossing, Mann-Kendal dan Rank-Sum test.

Penelitian Gunawan (2018) menggunakan data hujan tahunan, menunjukkan beberapa stasiun hujan mengalami kecenderungan hujan meningkat signifikan. Penelitian ini menggunakan metode yang sama dengan penelitian tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kecenderungan hujan ekstrem 2-harian di wilayah UPT PSDA di Pasuruan. Hujan 2-harian didefinisikan sebagai hujan yang jatuh selama 2 hari berturut-turut, setelah itu ada jeda. Kejadian hujan (*rainfall event*) yang dimaksud adalah 2 hari (48 jam). Selanjutnya, dipilih untuk tiap stasiun pada tiap tahunnya, data hujan 2-harian yang paling maksimal. Jadi setiap tahun ada 1 data atau dengan kata lain diambil nilai maksimal tahunan untuk hujan selama 2 hari (nilai ekstrem). Kemudian, setiap stasiun dianalisa sepanjang periode rekaman yang tersedia, seperti dilakukan oleh Dingens dan Steyaert (1970), Patel dan Shete (2008), dan Vivekanan dan Mathew (2010).

Hujan ekstrem 2-harian dapat menjadi salah satu penyebab kejadian banjir. Jika lapisan tanah dalam kondisi basah, karena kejadian hujan sebelumnya, kemudian disusul dengan adanya hujan ekstrem (intensitas tinggi) dan durasi yang lama (misalnya selama 2 hari tanpa henti), maka dapat menyebabkan terjadi-nya bencana hidro-meteorologi (banjir bandang, tanah longsor). Besarnya hujan 2-harian sepanjang tahun 1980 sampai dengan 2015 juga kemungkinan mengalami kecenderungan naik atau turun.

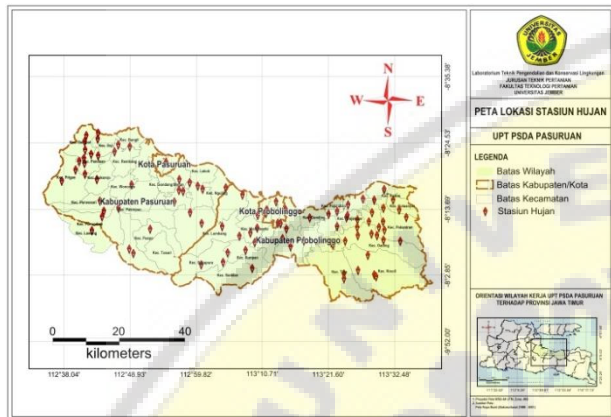
Selanjutnya, hasil analisis kecenderungan hujan ekstrem digambarkan ke dalam peta tematik GIS. Analisis kecenderungan hujan ekstrem sangat penting dilakukan sebagai faktor penunjang dalam upaya perencanaan sumber daya air dan adaptasi terhadap risiko terjadinya bencana.

Bahan dan Metode

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di wilayah kerja UPT PSDA di Pasuruan (Gambar 1). Wilayah kerja UPT mencakup:

Kota Pasuruan, Kota Probolinggo, Kabupaten Pasuruan, Kabupaten Probolinggo, dan Kecamatan Lawang. Penelitian dilakukan mulai April sampai Juli 2018. Pengolahan dan analisis dilakukan di Laboratorium Teknik engendalian dan Konservasi Lingkungan (Lab. TPKL) – Fak. Teknologi Pertanian – Universitas Jember. Data diperoleh dari kantor UPT PSDA di Pasuruan melalui beberapa skema kerjasama (magang dan penelitian mahasiswa, Hibah Tim Pasca Sarjana).



Gambar 1. Peta Stasiun Hujan Wilayah UPT PSDA di Pasuruan

Figure 1. Location of Raingauge in the working area of UPT PSDA Pasuruan.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan merupakan data hujan harian yang diperoleh dari 93 stasiun hujan yang tersebar di wilayah UPT PSDA di Pasuruan. Periode rekaman data dari tahun 1980 sampai tahun 2015. Pada penelitian ini hanya digunakan stasiun yang memiliki rekaman data minimal 20 tahun secara kontinyu. Sedangkan peralatan yang dipergunakan adalah PC/Laptop, perangkat lunak *TREND (Trend Detection Software)* (Chiew dan Siriwardena 2005). Pembuatan peta tematik menggunakan perangkat lunak GIS.

Tahap Penelitian

A. Inventarisasi Data

Data yang dipergunakan dalam penelitian ini yaitu data curah hujan harian pada 93 stasiun hujan di wilayah UPT PSDA di Pasuruan yang meliputi Kota Pasuruan, Kota Probolinggo, Kabupaten Pasuruan dan Kabupaten Probolinggo yang memiliki rekaman data hujan minimal 20 tahun secara kontinyu. Sejumlah 64 stasiun hujan dipilih untuk analisis ini (Tabel 1).

Tabel 1. Daftar stasiun hujan yang digunakan.

Table 1. List of Raingauge stations used

No	Nama stasiun	Koordinat		Data tersedia (tahun)
		mT	mU	
1	Adiboyo	760007,21	9138450,29	29
2	Arah Makam	774657,40	9132015,72	30
3	Asemjajar	781367,20	9139778,10	30
4	Bago	775218,42	9134508,79	30
5	Bantaran	737687,78	9129928,19	29
6	Banyu Anyar	752563,53	9130402,35	30
7	Batur	776600,18	9130656,33	30
8	Bayeman	733977,37	9144286,61	30
9	Bermi	774400,18	9119625,98	30
10	Besuk	773162,15	9138944,91	30
11	Boto Gerdu	733050,06	9131854,63	30
12	Condong	761348,79	9129202,74	29
13	Dringu	747013,77	9139841,95	29
14	Gending	754322,82	9137366,40	29
15	Glagah	776591,26	9140276,92	30
16	Gunggung Kidul	776896,30	9133673,30	30
17	Jabung	773819,12	9142769,72	30
18	Jati Ampuh	762609,70	9134812,02	29
19	Jorongan	745486,46	9135627,09	29
20	Jurangjero	765051,38	9130340,10	30
21	Kademangan	741066,09	9138721,37	29
22	Kalidandan	783517,79	9137515,32	30
23	Kandangjati	770419,34	9143078,26	30
24	Katimoho	765737,95	9138094,87	30
25	Kedung Sumur	781713,75	9130320,00	30
26	Kertosuko	768923,44	9121550,76	30
27	Klampok'an	772197,07	9136211,87	30
28	Kotaanyar	779535,30	9142768,05	30
29	Krasak	738441,67	9134293,08	30
30	Krejengan	765430,74	9137439,36	30
31	Krucil	773818,90	9120189,39	30
32	Leces	746100,26	9131122,10	29
33	Lumbang	727844,30	9134753,45	30
34	Malasan	748523,97	9128648,55	29
35	Muneng	738590,54	9138151,09	30
36	Paiton	776810,35	9145978,89	30
37	Pajajaran	762593,08	9139296,61	29
38	Pakis Taji	744686,44	9135814,96	30
39	Pakuniran	776504,19	9136205,26	30
40	Pandanlaras	771911,20	9126076,54	30
41	Patalan	736377,68	9132813,48	30
42	Pekalen	760807,77	9129910,61	29
43	Ronggotali	734920,16	9127571,61	29
44	Sbr. Bendo	768669,17	9134505,13	30
45	Sbr. Bulu	747262,09	9134040,00	29
46	Segaran	763081,77	9120133,54	29
47	Soka'an	768757,34	9136775,19	30
48	Triwung Kidul	741297,98	9139824,28	30
49	Wangkal	768863,41	9132036,47	30
50	Badong	699885,13	9158901,45	36
51	Bangil	696435,44	9159455,52	36
52	Banyulegi	690184,02	9161181,84	36
53	Bekacak	695301,07	9157323,32	36
54	Gempol	686753,90	9162254,87	36
55	Jawi	683511,22	9151848,10	36
56	Jembrung	686233,70	9160445,31	26
57	Kasri	686224,37	9153824,96	22
58	Kepulungan	686406,92	9157892,03	36
59	Pager	690874,56	9142495,33	36
60	Prigen	679314,72	9148497,68	23
61	Randupitu	688216,99	9156585,38	36
62	Telebuk	689950,85	9148953,73	36
63	Tutur	699728,97	9127963,45	36
64	Wilo	686349,55	9150588,36	36

B. Analisis Pendahuluan

Analisis pendahuluan dilakukan untuk menggambarkan distribusi hujan ekstrem (2-harian) pada wilayah kajian secara umum. Sejumlah 8 stasiun digunakan untuk menggambarkan bagaimana distribusi spasial perubahan (kecenderungan) hujan ekstrem tersebut. Distribusi hujan 2-harian disajikan dalam bentuk grafik dan histogram. Data terseleksi selanjutnya di format ke dalam format .csv agar dapat dibaca di perangkat lunak TREND.

C. Analisis Statistik

Uji statistik menggunakan tiga metode non-parametrik, yaitu : (1) *Mann-Kendall Test*, (2) *Rank-Sum Test* dan (3) *Median Crossing Test*. Penggunaan metode non-parametrik didasarkan pada asumsi bahwa kejadian hujan umumnya tidak terdistribusi Normal. Menurut Hirsch *et al.* (1993) penggunaan metode non-parametrik pada analisis data hidrologi lebih umum daripada metode parametrik, karena metode non-parametrik relatif tidak terpengaruh oleh distribusi data. Selanjutnya, Chiew dan Siriwardena (2005) menyatakan bahwa kebanyakan data rentang waktu hidrologi tidak terdistribusi normal oleh karena itu metode non-parametrik tersebut sangat tepat untuk diterapkan.

a. Mann-Kendall Test

Uji *Mann-Kendall* merupakan salah satu uji non parametrik yang direkomendasikan WMO untuk menguji kecenderungan data meteorologi (World Meteorological Organization, 1988). Tahap uji *Mann-Kendall Test* sebagai berikut.

1. Merumuskan hipotesis

$H_0 : Z =$ Tidak terdapat kecenderungan

$H_1 : Z =$ Terdapat kecenderungan

2. Menentukan tingkat signifikansi (α)

$\alpha = 0,05$ (1,96)

H_0 diterima apabila $Z_{\alpha/2} < Z < Z_{\alpha/2}$, nilai Z mengacu pada standar peluang distribusi normal.

3. Menghitung nilai Z

Data hujan ekstrem (2-harian) diberi rangking relatif berdasarkan urutan nilai curah hujan tahun ke-i. Rangking relatif curah hujan ekstrem dibandingkan rangking tiap waktu (R_i) dengan rangking waktu berikutnya (R_j) (dengan $i = 1$ hingga $n - 1$, dan $j = i + 1$ hingga n) untuk mencari nilai P dan M . P merupakan jumlah nilai $R_j > R_i$, sedangkan M merupakan jumlah nilai $R_j < R_i$ pada setiap tahun ke-i stasiun hujan ke-j. Nilai Z dihitung dengan

persamaan:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases}$$

di mana :

S = Nilai Statistik

$S = P - M$

$\text{Var}(S)$ = Varian nilai statistik

$\text{Var}(S) = n(n-1)(2n+5)/18$

n merupakan jumlah tahun pengamatan pada stasiun hujan ke-j.

4. Menguji hipotesis dan menarik kesimpulan.

b. Rank-Sum Test

Uji *Rank-Sum* merupakan uji statistik yang digunakan untuk mengetahui perubahan data antar periode berdasarkan jumlah rangking relatifnya (Helsel dan Hirsch 2002). Tahap Uji *Rank-Sum Test* sebagai berikut.

1. Merumuskan hipotesis

$H_0 : Z =$ Tidak terdapat perbedaan median diantara dua periode data

$H_1 : Z =$ Terdapat perbedaan median diantara dua periode data

2. Menentukan tingkat signifikansi (α)

$\alpha = 0,05$ (1,96)

H_0 diterima apabila $Z_{\alpha/2} < Z < Z_{\alpha/2}$, nilai Z mengacu pada standar peluang distribusi normal.

3. Menghitung nilai Z

Data hujan ekstrem (2-harian) diberi rangking relatif mulai dari awal tahun pengamatan hingga ke N . Membagi data (N) pengamatan menjadi dua periode pengamatan (n dan m). $N = n + m$, dimana n adalah ukuran sampel dari group terkecil dan m adalah ukuran sampel dari group terbesar. Pada urutan data yang memiliki nilai sama pemberian rangking menggunakan rata-rata. Nilai Z dihitung dengan persamaan:

$$Z = \begin{cases} \frac{W-0,5-\mu}{\sigma} & \text{Jika } W > \mu \\ 0 & \text{Jika } W = \mu \\ \frac{W+0,5-\mu}{\sigma} & \text{Jika } W < \mu \end{cases}$$

di mana :

W = Jumlah rangking dalam data/group kecil

$$W = n$$

μ = mean

$$= \frac{n(N+1)}{2}$$

σ = varian

$$= \sqrt{\frac{nm(N+1)}{12}}$$

4. Menguji hipotesis dan menarik kesimpulan.

c. Median Crossing Test

Uji *Median Crossing* merupakan uji statistik non parametrik yang digunakan untuk mengetahui karakteristik data berasal dari proses acak atau tidak berdasarkan median-nya. Setiap n nilai rentang waktu diganti dengan 0 jika $x_i < x_{\text{median}}$ dan diganti dengan 1 jika $x_i > x_{\text{median}}$. Jika rentang waktu berasal dari proses acak, maka m (banyaknya nilai 0 diikuti oleh 1 atau 1 diikuti dengan 0) diperkirakan terdistribusi normal. (Chiew and Siriwardena 2005).

Tahap uji *Median Crossing* sebagai berikut.

1. Merumuskan hipotesis

H_0 : Z = Data berasal dari proses acak

H_1 : Z = Data tidak berasal dari proses acak

2. Menentukan tingkat signifikansi (α)

$$\alpha = 0,05 \text{ (1,96)}$$

H_0 diterima apabila $Z_{\alpha/2} < Z < Z_{\alpha/2}$, nilai Z mengacu pada standar peluang distribusi normal.

3. Menghitung nilai Z

Data hujan ekstrem (2-harian) dicari nilai mediannya. Mengganti nilai curah ekstrem 2-harian dengan Q (Q = 0 apabila $y_i < y_{\text{median}}$ dan Q = 1 apabila $y_i > y_{\text{median}}$, dengan y adalah maksimal (2 - harian)). Nilai Z dihitung dengan persamaan:

$$Z = \frac{|m - \mu|}{\sigma^{0.5}}$$

di mana :

n = banyak tahun data hujan

m = banyak nilai 0 diikuti dengan 1 dan sebaliknya.

μ = mean

$$= \frac{(n-1)}{2}$$

σ = varian

$$= \frac{(n-1)}{4}$$

4. Menguji hipotesis dan menarik kesimpulan.

D. Interpretasi Hasil

Hasil pengolahan data ditampilkan dalam bentuk grafik maupun tabel. Kemudian ditarik kesimpulan, apakah terjadi kecenderungan curah hujan maksimum berurutan atau tidak berdasarkan uji statistik tersebut. Hasil kesimpulan kemudian dijadikan dasar dalam pembuatan peta tematik kecenderungan hujan maksimum berurutan pada UPT PSDA di Pasuruan.

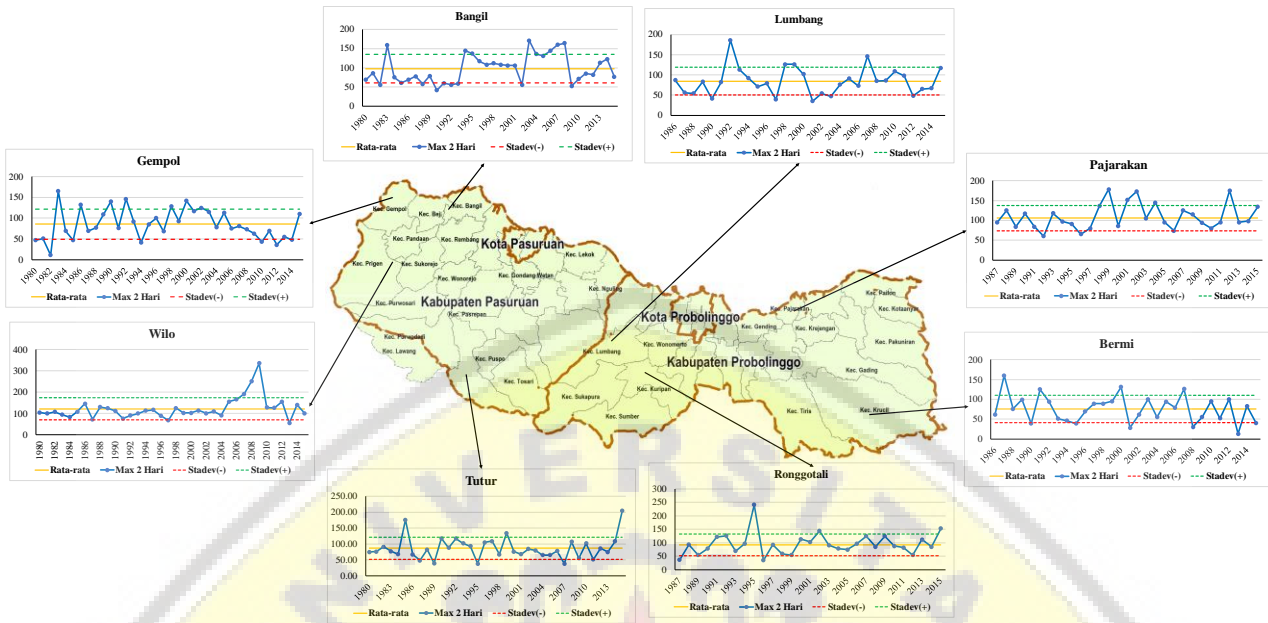
Hasil dan Pembahasan

Analisis Pendahuluan

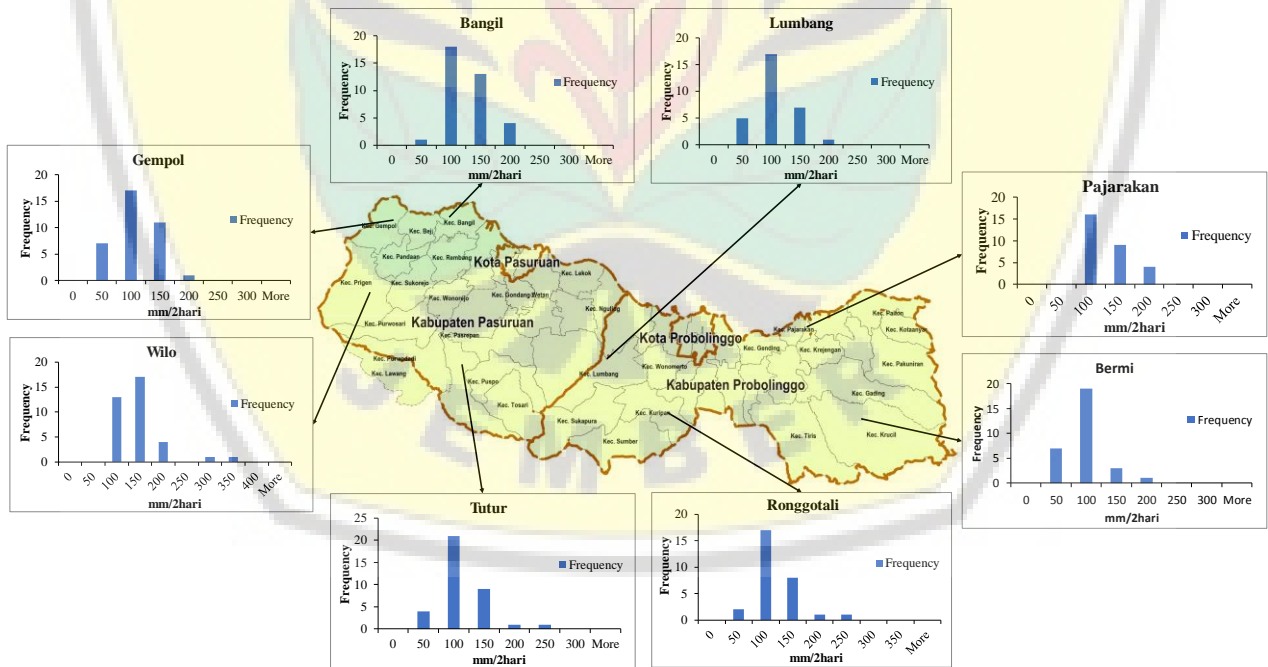
Gambar 2 menampilkan peta distribusi hujan 2-harian pada 8 stasiun hujan (dari 64 stasiun hujan) di wilayah UPT PSDA di Pasuruan. Nilai yang ditampilkan adalah nilai maksimum, minimum dan rerata tahunan. Hujan 2-harian ke delapan stasiun dipilih untuk menggambarkan secara kualitatif distribusi hujan 2-harian maksimal sepanjang periode yang ada, pada beberapa lokasi, sehingga secara kualitatif dapat menggambarkan sebaran spasial per sub-wilayah tanpa mengurangi kejelasan tampilan (grafik). Secara umum, hujan 2-harian rerata di wilayah tersebut (untuk periode 1980 sd 2015) besarnya antara 80-130 mm.

Gambar 2 juga menunjukkan perbandingan hujan rerata 2-harian dengan *standar deviasi-nya*. Semakin tinggi perbedaan atau simpangan antara curah hujan rerata dengan *standart deviasi* maka kemungkinan terdapat kecenderungan hujan ekstrem (2-harian) semakin besar.

Distribusi frekuensi hujan 2-harian pada ke 8 stasiun tersebut disajikan pada Gambar 3. Hujan ekstrem 2-harian yang paling sering terjadi besarnya antara 100 - 150 mm. Distribusi frekuensi pada ke 8 stasiun juga cenderung tidak mengikuti distribusi Normal (Gambar 3).



Gambar 2. Peta distribusi hujan 2-harian di wilayah UPT PSDA di Pasuruan Periode 1980-2015
 Figure 2. Two (2)-days rainfall distribution maps in the area of UPT PSDA Pasuruan in 1980-2015 period



Gambar 3. Peta distribusi frekuensi hujan 2-harian UPT PSDA Pasuruan tahun 1980-2015
 Figure 3. Map of frequency distribution of 2-day extreme rainfall in the area UPT PSDA Pasuruan 1980-2015

Uji Statistik

A. Uji Mann-Kendall

Hasil uji Mann-Kendall menunjukkan ada kecenderungan hujan ekstrem apabila nilai Z melebihi dari nilai kritis ($\alpha = 0,05$). Nilai Z di bawah nilai kritis menunjukkan tidak ada kecenderungan atau kecenderungan tidak signifikan. Tabel 2 menampilkan contoh hasil uji Mann-Kendall pada 10 stasiun hujan.

Nilai Z positif menunjukkan adanya kecenderungan naik, sedangkan nilai Z negatif menunjukkan kecenderungan turun. Stasiun Prigen dan Wilo mengalami kecenderungan hujan ekstrem naik (Tabel 1). Hasil penelitian dari 64 stasiun hujan di wilayah UPT PSDA di Pasuruan, menunjukkan 11 stasiun (17,19%) mengalami kecenderungan naik signifikan dan 1 stasiun (1,56%) mengalami kecenderungan turun. Stasiun lain-nya menunjukkan tidak ada kecenderungan hujan ekstrem 2-harian. Terdapat 28 stasiun (43,75%) naik tidak signifikan, 23 stasiun (35,94%) turun tidak signifikan dan 1 stasiun (1,56%) tidak terdapat kecenderungan (Nilai Z sama dengan 0).

Tabel 2. Hasil uji Mann-Kendall

Table 2. Mann-Kendall test result

No.	Nama Stasiun	Nilai Kritis	Hujan 2-Harian	
			Nilai Z	Hasil
1	Adiboyo	1,96	-0,60	Tidak ada
2	Bangil	1,96	1,78	Tidak ada
3	Bermi	1,96	-0,80	Tidak ada
4	Gempol	1,96	-0,67	Tidak ada
5	Lumbang	1,96	0,36	Tidak ada
6	Pajajaran	1,96	0,90	Tidak ada
7	Prigen	1,96	2,25	Ada
8	Ronggojati	1,96	0,92	Tidak ada
9	Tutur	1,96	0,05	Tidak ada
10	Wilo	1,96	2,22	Ada

Secara keseluruhan wilayah UPT PSDA di Pasuruan pada periode 1980-2015 tidak mengalami perubahan kecenderungan hujan 2-harian. Kondisi kecenderungan hujan ekstrem naik yang menyebabkan bencana banjir salah satunya dipengaruhi oleh fenomena global *La Nina* (Kementerian PPN/Bappenas 2014). Ismaini (2006) dalam penelitiannya menyatakan bahwa lokasi ketinggian juga memiliki pengaruh terhadap kecenderungan hujan. Pada daerah yang lebih tinggi kecenderungan lebih berbeda nyata (signifikan) dibandingkan dengan daerah dataran rendah. Hal ini dikarenakan adanya pengaruh orografik pada dataran tinggi.

B. Uji Rank-Sum

Tabel 3 menampilkan hasil uji *Rank-Sum* dari 10 stasiun hujan. Nilai Z positif pada uji *Rank-Sum* menunjukkan median dari periode sebelumnya (awal) lebih besar daripada median periode setelahnya (akhir) atau dapat dikatakan memiliki kecenderungan menurun dan sebaliknya.

Tabel 3. Hasil uji Rank-Sum

Table 3. Rank-Sum test result

No	Nama Stasiun	Nilai Kritis	Hujan 2 Hari	
			Nilai Z	Hasil
1	Adiboyo	1,96	0,68	Tidak beda
2	Bangil	1,96	-2,17	Ada beda
3	Bermi	1,96	0,87	Tidak beda
4	Gempol	1,96	-0,36	Tidak beda
5	Lumbang	1,96	0,62	Tidak beda
6	Pajajaran	1,96	-1,51	Tidak beda
7	Prigen	1,96	-2,74	Ada beda
8	Ronggojati	1,96	-1,16	Tidak beda
9	Tutur	1,96	0,52	Tidak beda
10	Wilo	1,96	-2,52	Ada beda

Stasiun hujan yang mengalami perubahan hujan ekstrem 2-harian adalah Bangil, Prigen dan Wilo (Tabel 3). Hasil uji *Rank-Sum* menunjukkan 8 stasiun (12,50%) mengalami perubahan hujan 2-harian meningkat signifikan antar periode. Sedangkan perubahan tidak signifikan terdapat pada 56 stasiun (87,49%), dengan rincian 29 stasiun mengalami perubahan kenaikan tidak signifikan dan 27 stasiun mengalami penurunan tidak signifikan.

C. Uji Median Crossing

Uji *Median Crossing* digunakan untuk melihat karakteristik data dengan membandingkan tiap data terhadap mediannya. Nilai Z melebihi dari nilai kritis ($\alpha = 0,05$) menunjukkan bahwa data hujan ekstrem tidak berasal dari proses acak. Data berasal dari proses acak dalam deret waktu hidrologis secara umum diartikan bahwa data berasal dari sebab-sebab alamiah dan tidak terkait dengan faktor lain atau data tersebut independen (Adeloye dan Montaseri 2003). Tabel 4 merupakan hasil uji *Median Crossing* dari 10 stasiun hujan di wilayah UPT PSDA di Pasuruan.

Hasil *Median Crossing* pada Tabel 4 menunjukkan data hujan ekstrem 2-harian stasiun hujan Adiboyo dan Bangil tidak berasal dari proses acak. Hasil keseluruhan dari 64 stasiun hujan yang dipergunakan, 4 stasiun (6,25%) memiliki data hujan ekstrem 2-harian berasal dari proses acak secara signifikan, 58 stasiun (90,63%) berasal dari proses acak, tetapi hasil test tidak signifikan dan hanya terdapat 2 stasiun (3,13%) berasal dari proses tidak

acak. Secara keseluruhan data curah hujan ekstrem 2-harian di wilayah UPT PSDA di Pasuruan berasal dari proses acak.

Tabel 4. Hasil uji Median Crossing.

Table 4. Median Crossing test result

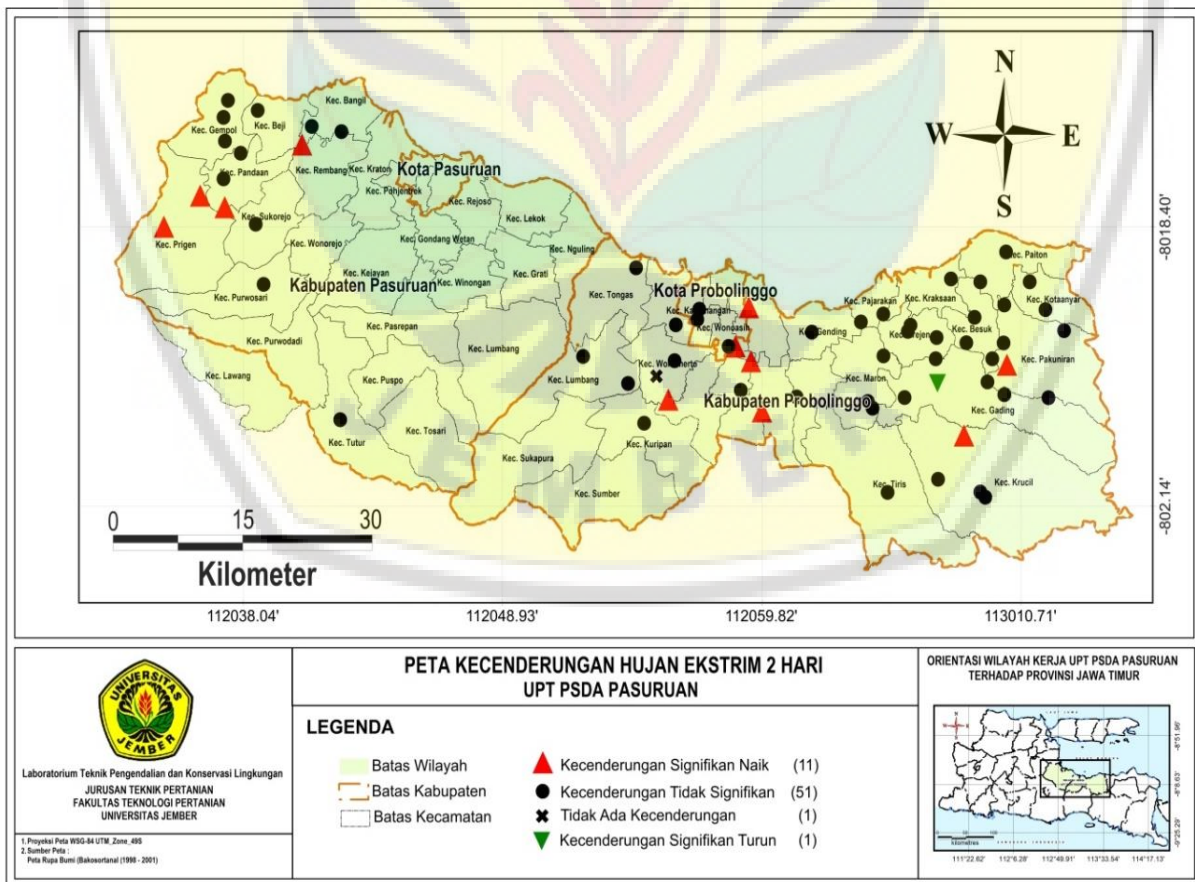
No.	Nama Stasiun	Nilai Kritis	Hujan 2 Hari	
			Nilai Z	Hasil
1	Adiboyo	1,96	3,40	Data tidak acak
2	Bangil	1,96	2,54	Data tidak acak
3	Bermi	1,96	1,30	Data acak
4	Gempol	1,96	0,85	Data acak
5	Lumbang	1,96	0,93	Data acak
6	Pajajaran	1,96	0,38	Data acak
7	Prigen	1,96	0,43	Data acak
8	Ronggojati	1,96	1,13	Data acak
9	Tutur	1,96	1,18	Data acak
10	Wilo	1,96	0,06	Data acak

Data hidrologi seperti curah hujan pada umumnya berasal dari proses acak karena data berkaitan dengan kondisi alam. Tinggi curah hujan tidak bertambah sebanding dengan penambahan waktu, sehingga hujan 2-

harian dalam satuan waktu dapat bertambah ataupun berkurang bahkan berhenti/tidak ada (Mori 1999). Jika data hujan yang ada menunjukkan data tidak berasal dari proses acak, maka kemungkinan distribusi miring positif dan kemungkinan tergantung pada tahun sebelumnya (Turner *et al.* 2012). Uji *Median Crossing* hanya digunakan untuk mengetahui karakteristik data berasal dari proses acak atau tidak.

Sebaran Spasial Kecenderungan Hujan Ekstrem

Gambar 4 menunjukkan sebaran spasial hujan ekstrem 2-harian hasil uji *Mann-Kendall*. Sebagian besar wilayah UPT PSDA di Pasuruan tidak mengalami kecenderungan hujan ekstrem. Hal ini ditunjukkan hanya ada 11 stasiun hujan mengalami kecenderungan hujan ekstrem naik 2-harian dan 1 stasiun hujan mengalami kecenderungan turun signifikan. Kecenderungan hujan naik ditunjukkan dengan simbol segitiga berwarna merah, kecenderungan hujan menurun ditunjukkan dengan simbol segitiga terbalik berwarna hijau sedangkan pada stasiun hujan yang tidak mengalami kecenderungan hujan ditunjukkan dengan simbol lingkaran dan x (Z sama dengan 0) berwarna hitam.

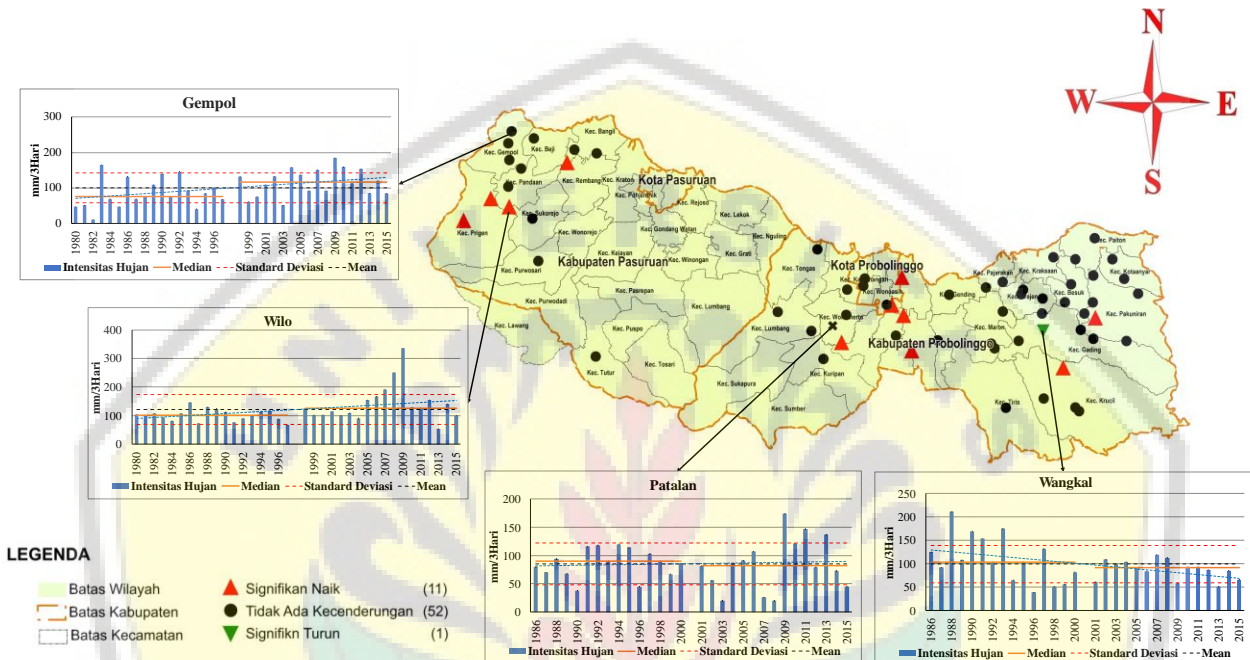


Gambar 4. Peta tematik kecenderungan hujan ekstrem 2-harian wilayah UPT PSDA di Pasuruan
Figure 4. Thematic map of the 2-day extreme rainfalls trend in the area of UPT PSDA Pasuruan

Wilayah yang mengalami kecenderungan hujan ekstrem 2-harian hampir merata di Kabupaten Probolinggo dan Kabupaten Pasuruan. Pada wilayah yang memiliki kecenderungan hujan ekstrem naik perlu dilakukan upaya adaptasi terhadap hujan ekstrem mungkin terjadi dan dapat menyebabkan bencana sehingga berdampak pula terhadap menurunnya produktivitas pertanian. Wilayah tersebut diantaranya Kecamatan Prigen dan Rembang (Kabupaten Pasuruan) dan di kecamatan Krucil, Pakuniran, Bantaran,

Tegal Siwalan dan Dringu (Kabupaten Probolinggo).

Plot rentang waktu kecenderungan hujan ekstrem menunjukkan kecenderungan dan perubahan hujan ekstrem 2-harian. Contoh plot rentang waktu kecenderungan hujan ekstrem dibagi menjadi 3 diantaranya stasiun hujan yang memiliki kecenderungan hujan signifikan naik/turun ($|Z| \geq |1,96|$), kecenderungan hujan tidak signifikan ($-1,96 < Z < 0$ atau $0 < Z < 1,96$), dan tidak ada kecenderungan ($Z = 0$).



Gambar 5. Rentang waktu kecenderungan hujan ektrim 2-harian wilayah UPT PSDA di Pasuruan

Figure 5. Time series of 2-day extreme rainfall trend in the area UPT PSDA Pauruan

Gambar 5 menunjukkan plot kecenderungan hujan ekstrem 2-harian. Contoh stasiun yang mengalami: (1) kecenderungan naik signifikan adalah stasiun Wilo, (2) tidak ada kecenderungan pada Stasiun Patalan, (3) kecenderungan tidak signifikan terjadi di stasiun Gempol dan (4) kecenderungan turun signifikan ada di stasiun hujan Wangkal. Plot kecenderungan hujan ekstrem 2-harian dapat memperlihatkan atau menggambarkan ada tidaknya kecenderungan (*trend*) dan perubahan (*shift*) pada setiap stasiun hujan. Stasiun hujan yang mengalami kecenderungan hujan ekstrem 2-harian dan mengalami perubahan ditunjukkan dengan perbedaan median (garis orange) yang signifikan naik. Hal ini berarti periode tahun 1980-1997 < periode tahun 1980-2015.

Gambar 4 dan Gambar 5 juga menunjukkan bahwa tidak semua stasiun hujan di wilayah kajian yang mengalami kecenderungan hujan tahunan (Gunawan 2018), juga mengalami kecenderungan hujan ekstrem 2-harian dan sebaliknya. Wilayah yang mengalami kecenderungan hujan ekstrem meningkat secara signifikan

perlu mendapatkan perhatian yang serius. Hal ini dikarenakan wilayah tersebut memiliki risiko terhadap bencana (seperti tanah longsor dan banjir) yang juga meningkat, bila dibandingkan dengan wilayah lainnya. Upaya mitigasi dan adaptasi pada wilayah dengan kecenderungan hujan ekstrem meningkat perlu dilakukan, dalam rangka pencegahan dini terhadap terjadinya bencana banjir dan tanah longsor.

Kesimpulan

Berdasarkan, hasil Uji *Mann-Kendall* dapat disimpulkan bahwa sebagian besar wilayah UPT PSDA di Pasuruan tidak mengalami kecenderungan hujan ekstrem 2-harian (81,25%) selama periode 1980-2015. Kecamatan yang mengalami kecenderungan hujan ekstrem naik diantaranya Kecamatan Prigen dan Rembang di wilayah Kabupaten Pasuruan. Pada wilayah Kabupaten Probolinggo kecenderungan naik berada di Kecamatan Krucil, Pakuniran, Bantaran, Tegal Siwalan dan Dringu.

Hasil uji *Rank-Sum* juga menunjukkan bahwa wilayah UPT PSDA di Pasuruan sebagian besar tidak mengalami perubahan hujan ekstrem 2-harian antara periode awal dengan akhir. Data hujan ekstrim 2-harian pada wilayah UPT PSDA di Pasuruan sebagian besar (lebih dari 93%) berasal dari proses acak berdasarkan hasil uji *Median Crossing*.

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini merupakan bagian dari Penelitian Hibah Pasca Sarjana yang didanai oleh DRPM-Kementerian Ristek Dikti Tahun 2018. Data diperoleh dari Kantor UPT PSDA Pasuruan melalui berbagai skim kerjasama (Hibah penelitian, Magang dan penelitian mahasiswa). Penulis mengucapkan banyak terima kasih, kepada semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Adeloye, AJ, dan Montaseri M. 2003. "Preliminary Streamflow Data Analyses Prior to Water Resources Planning Study" 47 (October 2002): 679–92.
- Anghileri D, Pianosi F, Soncini-Sessa R. 2014. Trend Detection in Seasonal Data: From Hydrology to Water Resources. *Journal of Hydrology* 511. Elsevier B.V.: 171–79. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.01.022>.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2010. Prosedur Standar Operasi Pelaksanaan Peringatan Dini Pelaporan dan Diseminasi Informasi Cuaca Ekstrem. Kep. 009, issued 2010.
- Burn DH, Mansour R, Zhang K, Whitfield PH. 2011. Trends and Variability in Extreme Rainfall Events in British Columbia. *Canadian Water Resources Journal* 36 (1): 67–82. <https://doi.org/10.4296/cwrj3601067>.
- Chiew F, Siriwardena L. 2005. Trend User Guide. Australia: CRC for Catchment Hydrology.
- Durrant J, Byleveld S. 2009. Streamflow Trends in South-West Western Australia. Westerm Australia: Department of Water.
- Dingens P, and Steyaerth H. 1971. Distribution for k-Day rainfall totals. *International Association of Scientific Hydrology. Bulletin*, 16:3, 19-24, DOI: 10.1080/02626667109493771
- Faizah CR, Hiroyuki T, Lariyah MS, Basri H. 2016. Homogeneity and Trends in Long-Term Rainfall Data, Kelantan River Basin, Malaysia. *International Journal of River Basin Management* 14 (2): 151–63. <https://doi.org/10.1080/15715124.2015.1105233>.
- Gunawan GA. 2018. Analisis Kecenderungan dan Perubahan hujan di Wilayah UPT PSDA di Pasuruan: Aplikasi Metode Mann-Kendall Testt, Rank-Sum Test dan Median Crossing Test. Skripsi. Universitas Jember. Skripsi. Universitas Jember.
- Hajani E, Rahman A, Haddad K. 2014. Trend Analysis for Extreme Rainfall Events in New South Wales, Australia. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation* 8 (12): 754–59.
- Hanna E, Mayes J, Beswick M, Prior J, Wood L, Hill H. 2008. "An Analysis of the Extreme Rainfall in Yorkshire , June 2007 , and Its Rarity." *Royal Meteorological Society* 63 (June 2007): 253–60.
- Härdle WK, Sigbert K, and Bernd R. 2015. Introduction to Statistics. Switzerland: Springer International. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-17704-5>.
- Helsel DR, Hirsch RM. 2002. Statistical Methods in Water Resources. Chapter A3. Reston: U.S. Geological Survey. <http://water.usgs.gov/pubs/twri/twri4a3/>.
- Ismaini F. 2006. Pergeseran Atatistik Curah Hujan Ekstrem Di Daerah Aliran Sungai Brantas Jawa Timur. Institut Pertanian Bogor.
- Kementerian PPN/Bappenas. 2014. Rencana Aksi Nasional Adaptasi Perubahan Iklim (RAN-API). Edited by Ernan Rustiandi. Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (BAPPENAS). Jakarta: Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (BAPPENAS). http://perpustakaan.bappenas.go.id/lontar/file?file=digital/153661-%5B_Konten_%5D-Konten D492.pdf.
- Kumar V, Sharad KJ, Yatveer S. 2010. Analysis of Long-Term Rainfall Trends in India. *Hydrological Sciences Journal* 55 (4): 484–96. <https://doi.org/10.1080/02626667.2010.481373>.
- Mondal A, Khare D, Kundu S. 2015. Spatial and Temporal Analysis of Rainfall and Temperature Trend of India, 143–58. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1283-z>.
- Mori K. 1999. Hidrologi Untuk Pengairan. Edited by Suyono Sosrodarsono and Kensaku Takeda. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Muharsyah R. 2012. Deteksi Kecenderungan Perubahan Temperatur Menggunakan Metode Regresi Linier Dan Uji Mann-Kendall Di Sejumlah Wilayah Papua. *Megasains* 3 (2): 77–85.
- Nsubuga, FNW, Olwoch JM, Rautenbach CJ, Botai OJ. 2014. "Analysis of Mid-Twentieth Century Rainfall Trends and Variability Over Southwestern Uganda." *Theoretical and Applied Climatology* 115 (1–2): 53–71. <https://doi.org/10.1007/s00704-013-0864-6>.
- Nugroho SP. 2002. Evaluasi Dan Analisis Curah Hujan Sebagai Faktor Penyebab Bencana Banjir Jakarta. *Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca* 3 (2): 91–97.
- Othman MA, Zakaria NZ, Ghani AA, Chang CK, Chan NW. 2016. Analysis of Trends of Extreme Rainfall Events Using Mann Kendall Test : A Case Study in Pahang and Kelantan River Basins. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)* 4 (March): 63–69. <https://doi.org/10.11113/jt.v78.9696>.
- Patel NR, and Shete DT. 2008. Probability distributio analysis of consecutive days rainfall ata for SABARKANTHA DISTRICT OF NORTH GUJARAT REGION, INDIA, *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 14:3, 43-55, DOI: 10.1080/09715010.2008.10514921
- Robson A, Bardossy A, Jones D, Zbigniew WK. 2000. Statistical Methods for Testing for Change. Edited by Zbigniew W Kundzewicz and Alice Robson. Genewa: World Meteorological Organisation.
- Salas. 1980. Applied Modeling of Hydrologic Time Series. Water Resources Publication.
- Soemarto. 1997. Hidrologi Teknik. Surabaya: Usaha Nasional.

- Subarna D. 2014. "Uji Kecenderungan Unsur-Unsur Iklim Di Cekungan Bandung Dengan Metode Mann-Kendall." *Berita Dirgantara* 15 (1): 1–6.
- Tank AMGK, Zwiers FW, Zhang X. 2009. *Guidelines on Analysis of Extremes in a Changing Climate in Support of Informed Decisions for Adaptation*. World Meteorological Organization. Switzerland: World Meteorological Organization. File Attachment.
- Turner M, Bari M, Amirthanathan G, Ahmad Z. 2012. Australian Network of Hydrologic Reference Stations—Advances in Design, Development and Implementation. 34th Hydrology and Water Resources Symposium, 1555–64. http://www.researchgate.net/profile/Mohammed_Bari2/publication/255823104_Australian_Network_of_Hydrologic_Reference_Stations_Advances_In_Design_Development_and_Implementation/links/00463520c428186b0e000000.pdf.
- Vivekanandan N, and Mathew, FT. 2010. Probabilistic modelling of annual d-day maximum rainfall. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 16:sup1, 122-133, DOI: 10.1080/09715010.2010.10515021
- WCRP Informal. 2011. Climate Observations and Regional Modeling in Support of Climate Risk Management And Sustainable Development. *World Meteorological Organization* 20: 1–32.
- Wei W, Shi Z, Yang X, Wei Z, Liu Y, Zhang Z, Genbatu G, Zhang X, Guo H, Zhang K, Wang B. 2017. Recent Trends of Extreme Precipitation and Their Teleconnection with Atmospheric Circulation in the Beijing-Tianjin Sand Source Region, China, 1960-2014. *Atmosphere* 8(83):1–18. <https://doi.org/10.3390/atmos8050083>.
- Wickramagamage P. 2016. Spatial and Temporal Variation of Rainfall Trends of Sri Lanka. *Theoretical and Applied Climatology*. Theoretical and Applied Climatology, 427–38. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1492-0>.
- World Meteorological Organization. 1988. "Analyzing Long Time Series of Hydrological Data with Respect to Climate Variability," no. 224.
- Zbigniew WK, Robson A. (Editors). 2000. WCDMP-45. World Climate Programme – Water, Detecting Trend and Other Changes in Hydrological Data

