

Kajian perubahan iklim di DKI Jakarta berdasarkan data curah hujan

Miftahul Jannah^{1,*}, Joko Sujono², dan Adam Pamudji Rahardjo³

^{1,2,3} Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

Article Info

Article history:

Received: March, 21 2023

Revised: May 31, 2023

Accepted: May, 31 2023

Available online:

May 31, 2023

Keywords:

Rainfall characteristics
Climate change
downscaling

Corresponding Author:

Miftahul Jannah
miftaajnh@mail.ugm.ac.id

Abstract

A common annual problem that often occurs in DKI Jakarta is flooding. Extreme rainfall is one of the most dominant factors that trigger flooding in DKI Jakarta. Global warming causes climate change and rainfall characteristics. This study aims to understand the characteristics of the climate rainfall in DKI Jakarta at this time and the potential for changes in the future. In this study, the characteristics of rainfall which is analyzed were rainfall variabilities such as annual rainfall, maximum rainfall, and the number of rainy days as indicated by analysis of rainfall trends or the tendency of changes in rainfall characteristics over time. Rainfall prediction simulation is carried out using the Statistical Downscaling method. The climate model used is CanESM5 (The Canadian Earth System Model version 5), which is one of the climate models in the Assessment Report (AR6) issued by the IPCC in 2022. The future rainfall at each station is projected for the future period (FP), namely FP-1 (2025-2049), FP-2 (2050-2074), and FP-3 (2075-2100) with the climate scenario Shared Socio-economic Pathways (SSP) 3-7,0. Predictive rain analysis will result in information that the characteristics of rain in the DKI Jakarta area generally experience an increase in each future period when compared to the historical period. The average annual rainfall increased from 5.80-33.14%, the average maximum rainfall increased from 2.51-16.89% and the number of rainy days increased from 2.45-15.80%.

Copyright © 2023 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Latar belakang

Fenomena banjir di DKI Jakarta sudah menjadi permasalahan tahunan ketika musim hujan tiba. Banjir di Jakarta memiliki karakteristik yang berbeda dengan banjir yang terjadi pada sungai lainnya. Perbedaan karakteristik banjir di wilayah DKI Jakarta dapat disebabkan karena perbedaan karakteristik fisik DAS maupun karakteristik hujan. Pada tanggal 1 Januari tahun 2020, DKI Jakarta mengalami curah hujan terbesar dalam sejarah pencatatan rekor hujan dalam 150 tahun terakhir, yaitu mencapai 377 mm/hari sehingga menyebabkan banjir di berbagai wilayah. Menurut Badan

Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (2020), curah hujan ekstrem menjadi salah satu faktor pemicu banjir paling dominan di DKI Jakarta.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) tahun 2022 melaporkan perubahan iklim dapat menimbulkan dampak yang semakin parah karena terjadi peningkatan suhu bumi sebesar 1,1°C dan dalam dua dekade kedepan, diperkirakan peningkatan suhu bumi bisa mencapai 1,5°C. Dampak pemanasan global akibat perubahan iklim dapat menyebabkan bahaya hidrometeorologi seperti peningkatan frekuensi kejadian ekstrem beserta tingkat keparahannya dalam jangka waktu yang lama (Rahayu dkk., 2020). Kenaikan suhu pada air laut yang menjadi

lebih hangat dapat meningkatkan jumlah penguapan air ke udara. Ketika lebih banyak udara yang mengandung uap air bergerak di atas daratan atau bergabung menjadi sistem badai, hal tersebut dapat meningkatkan frekuensi maupun intensitas kejadian cuaca ekstrem seperti hujan lebat dan badai. (U.S. *Global Change Research Program*, 2017).

Hujan merupakan unsur variabel cuaca dan iklim yang peranannya sangat penting di berbagai sektor kehidupan manusia namun termasuk paling sulit untuk diprediksi (Dasanto dkk., 2014). Pada daerah tropis, curah hujan ekstrem memiliki tingkat sensitivitas yang lebih tinggi terhadap pemanasan iklim dibandingkan dengan wilayah lainnya (O’Gorman, 2015), sehingga variabilitas hujan yang besar akan membuat peramalan kondisi iklim di daerah tropis menjadi lebih sulit dibandingkan dengan wilayah lintang tinggi.

Permasalahan utama mengenai keterbatasan kajian perubahan iklim di Indonesia, terutama dalam ruang lingkup secara lokal, adalah teknik *downscaling* atau teknik menterjemahkan informasi-informasi dari *Global Circulation Model* (GCM) ke resolusi spasial yang lebih tinggi (Ekstrom dkk., 2015). Mengingat kondisi Indonesia sebagai wilayah khatulistiwa dengan tingkat non-linearitas tinggi dan resolusi spasial pada keluaran GCM yang cukup kasar (Pepler dkk., 2016), maka keluaran GCM perlu dilakukan teknik *downscaling* untuk memperkecil menjadi skala lokal.

Penelitian ini bertujuan untuk memahami kondisi karakteristik hujan iklim di area DKI Jakarta pada masa ini maupun potensi perubahannya di masa depan berdasarkan data hujan yang didapat dari Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika (BMKG) dan model iklim global (GCM) yang dikeluarkan oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). Hasil studi ini dapat dijadikan sebagai referensi dalam penentuan kebijakan mitigasi pengendalian banjir dan pengelolaan sumber daya air kedepannya, khususnya pada wilayah DKI Jakarta.

Metode penelitian

Lokasi dan data penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data curah hujan yang diperoleh dari stasiun Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) serta data keluaran model iklim untuk gambaran iklim masa depan. Tabel 1 menunjukkan lokasi pengambilan data dari lima stasiun pencatat hujan yaitu Stasiun Halim Perdana Kusuma Jakarta, Stasiun Klimatologi Tangerang Selatan, Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Priok, Stasiun Meteorologi Kemayoran, dan Stasiun Meteorologi Soekarno Hatta. Data yang dikumpulkan adalah data curah hujan harian sepanjang tahun 1998-2022.

Tabel 1. Lokasi Stasiun Hujan

Stasiun Hujan	Lintang	Bujur
Halim	-6,270	106,889
Tanjung Priok	-6,108	106,881
Soekarno Hatta	-6,120	106,650
Tangerang Selatan	-6,262	106,751
Kemayoran	-6,156	106,840

Pada pemodelan iklim berskala besar menggunakan dataset model sirkulasi atmosfer *re-analysis* II dari *National Center for Environmental Prediction* (NCEP) periode tahun 1979-2014. Dalam GCM ini tersedia dua periode data iklim yaitu periode historis dan periode proyeksi (masa depan). Periode historis dalam kajian ini adalah tahun 1998-2014, sedangkan periode proyeksi adalah tahun 2015-2100.

Analisis trend

Analisis *trend* hujan dilakukan guna mengetahui berbagai macam tipe perubahan data rentang waktu. Metode yang digunakan dalam analisis *trend* hujan adalah Uji Mann-Kendall. Uji statistik Mann Kendall banyak digunakan dalam analisis data hidrometeorologi (Silva dkk., 2015). Uji Mann-Kendall yang merupakan uji non-parametrik dan tidak memerlukan asumsi distribusi normal dengan menggunakan data yang bersifat independen dan menoleransi *outlier* (Silva dkk., 2015). Uji non-parametrik menunjukkan hasil yang lebih baik

dibandingkan dengan uji parametrik yang memerlukan asumsi data berdistribusi normal. Hal ini disebabkan karena kejadian di alam ini tidak terdistribusi normal secara sempurna. Pada uji hipotesis digunakan tingkat signifikansi $\alpha = 5\%$ dengan nilai Z_{cr} adalah 1,65.

Uji statistik kecenderungan (S) Mann-Kendall didefinisikan sebagai berikut:

$$S = P - M \quad (1)$$

dengan P adalah banyaknya kejadian dimana $y_i > y_j$ dan M adalah banyaknya kejadian $y_i < y_j$; dimana i urutan data ke 1 hingga n-1 dan j urutan data i + 1 hingga n.

Parameter statistik yang digunakan dalam metode Mann-Kendall adalah parameter Z. Parameter uji statistik Z dihitung dengan:

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{Var(s)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{Var(s)}} & S < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+1) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (3)$$

Dengan n panjang tahun data hujan; m jumlah pasangan data yang bernilai sama; t_i jumlah data dalam kumpulan data runtun ke- i ; dan $Var(S)$ varian dari S;

Dasar dari pengambilan keputusan *trend* untuk metode uji Mann-Kendall (Pratiwi, 2012) ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Dasar pengambilan keputusan *trend* dengan Metode Uji Mann-Kendall

Nilai S	Nilai Z_{uji} dan Z_{kritis}	Keimpulan
Positif	$Z_{uji} > Z_{kritis}$	<i>Trend</i> meningkat
Positif	$Z_{uji} \leq Z_{kritis}$	Tanpa <i>trend</i>
Negatif	$Z_{uji} > Z_{kritis}$	<i>Trend</i> menurun
Negatif	$Z_{uji} \leq Z_{kritis}$ $CV < 1$	<i>Trend</i> tetap
Negatif	$Z_{uji} \leq Z_{kritis}$ $CV \geq 1$	Tanpa <i>trend</i>

Model iklim

Beberapa penelitian mengenai dampak perubahan iklim menyatakan bahwa *Global Climate Model* (GCM) menjadi sarana utama yang digunakan dalam simulasi iklim global

dan regional (Reshmidevi dkk., 2018). Model iklim yang digunakan dalam penelitian ini adalah CanESM5 (*The Canadian Earth System Model version 5*), yang merupakan salah satu model iklim pada *Assesmen Report* (AR6) yang dikeluarkan IPCC tahun 2022. Model CanESM5 merupakan model global yang dikembangkan untuk mensimulasikan historis perubahan dan variabilitas iklim, membuat proyeksi iklim masa depan skala seratus tahun, serta untuk menghasilkan prediksi musiman dan dekade. Menurut Hausfather (2019), CanESM5 memiliki sensitivitas iklim keseimbangan yang lebih tinggi (5.6 K) dibandingkan dari beberapa model iklim lainnya yang tergabung dalam Couple Model Intercomparasion Project, Phase 6 (CMIP6).

Skenario yang digunakan dalam CMIP6 (2016-2021) dan IPCC *Sixth Assessment Report* (AR6) 2021 adalah *Shared Socio-economic Pathways* (SSPs). SSPs merupakan skenario proyeksi perubahan sosial ekonomi global hingga tahun 2100 yang digunakan untuk menurunkan skenario emisi gas rumah kaca dan skenario penggunaan lahan dengan kebijakan iklim yang berbeda (ONAD, 2022). Skenario iklim SSP yang digunakan dalam kajian adalah SSP 3-7,0 atau disebut juga sebagai skenario *Regional Rivalry*. Skenario SSP 3-7,0 menunjukkan peningkatan emisi CO₂ dan suhu sekitar dua kali lipat pada tahun 2100. Pada kondisi skenario iklim ini, suhu rata-rata akhir abad telah meningkat sebesar 3,6°C.

Downscaling

Downscaling adalah sebuah teknik peramalan iklim yang mampu memperhitungkan dari perubahan dan perkembangan suatu daerah berdasarkan data iklim global. *Statistical downscaling* dikembangkan dengan asumsi bahwa kondisi iklim regional dipengaruhi oleh iklim lokal sebagaimana pengaruhnya dari iklim atmosfer secara luas/global. Berdasarkan asumsi ini maka dapat dikatakan bahwa iklim lokal memiliki variabel-variabel statistik yang sama dengan iklim global. Persamaan variabel tersebut kemudian digunakan untuk mencari hubungan

parameter iklim skala global (*predictor*) dengan variabel iklim lokal (*predictand*) sehingga didapatkan nilai proyeksi simulasi perubahan atau proses *downscaling* GCM pada iklim historis maupun masa depan yang berskala lokal.

Statistical downscaling model (SDSM)

SDSM adalah perangkat lunak yang dikembangkan untuk menghasilkan skenario perubahan iklim beresolusi tinggi (Wilby dkk., 2004). SDSM digunakan untuk membantu proses *downscaling* dengan

mengembangkan sebuah model regresi linier berganda antara beberapa variabel *predictor* yang dipilih dengan *predictant* seperti suhu dan curah hujan (Khan dkk., 2006). SDSM merupakan kombinasi dari model fungsi transfer dan pendekatan *stochastic weather generator* dengan menggunakan dua jenis data yaitu data prediktan lokal (hujan observasi) dan data prediktor skala besar (NCEP *reanalysis*) dari area studi (Hashmi dkk., 2011). Berikut adalah kumpulan 26 variabel prediktor NCEP untuk periode 1979-2014 yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Variabel prediktor

No	<i>Predictor</i>	Nama variabel
1	mslp	Mean sea level pressure
2	p1_f	1000 hPa Wind speed
3	p1_u	1000 hPa Zonal wind component
4	p1_v	1000 hPa Meridional wind component
5	p1_z	1000 hPa Relative vorticity of true wind
6	p1th	1000 hPa Wind direction
7	p1zh	1000 hPa Divergence of true wind
8	p500	500 hPa Geopotential
9	p5_f	500 hPa Wind speed
10	p5_u	500 hPa Zonal wind component
11	p5_v	500 hPa Meridional wind component
12	p5_z	500 hPa Relative vorticity of true wind
13	p5th	500 hPa Wind direction
14	p5zh	500 hPa Divergence of true wind
15	p850	850 hPa Geopotential
16	p8_f	850 hPa Wind speed
17	p8_u	850 hPa Zonal wind component
18	p8_v	850 hPa Meridional wind component
19	p8_z	850 hPa Relative vorticity of true wind
20	p8th	850 hPa Wind direction
21	p8zh	850 hPa Divergence of true wind
22	pcrp	Total precipitation
23	s500	500 hPa Spesific humidity
24	s850	850 hPa Spesific humidity
25	shum	1000 hPa Spesific humidity
26	temp	Air temperature 2 m

Hasil Pembahasan

Analisis Trend Hujan Historis

Berdasarkan Tabel 3 sampai Tabel 5, hasil uji kecenderungan (*trend*) data hujan dengan metode Man-Kendall terlihat bahwa sebagian besar kejadian hujan, baik curah hujan tahunan, hujan maksimum, maupun jumlah hari hujan tidak mengalami *trend* yang signifikan atau tetap. *Trend* positif atau peningkatan curah hujan yang signifikan hanya tampak pada satu stasiun hujan yaitu pada stasiun hujan Halim Perdana Kusuma Jakarta. Tidak adanya suatu *trend* yang signifikan dapat disebabkan karena minimnya data yang tersedia dan besarnya presentase data yang hilang.

Curah hujan di lima stasiun lokasi penelitian sepanjang tahun 1998-2022 menunjukkan nilai yang beragam. Stasiun Tangerang Selatan dan Stasiun Kemayoran mencatat rata-rata hujan tahunan diatas 2000 mm. Sedangkan stasiun lainnya yaitu stasiun Halim, Tanjung Priok, dan Soekarno hatta menunjukkan rata-rata dibawah angka 2000 mm. Rata-rata hujan tahunan dan jumlah hari hujan terendah terlihat pada stasiun Halim, hal ini dikarenakan minimnya kelengkapan data hujan di stasiun Halim pada tahun 1998-2009. Tabel 4,5, dan 6 menunjukkan hasil uji Mann-Kendall untuk karakteristik hujan pada periode historis.

Tabel 4. Hasil Uji Mann-Kendall curah hujan tahunan historis

Nama stasiun	S	Z _{uji}	Cv	Kesimpulan
Halim	138	4,137	0,539	<i>Trend</i> Meningkat
Tanjung Priok	58	1,331	0,221	Tidak Ada <i>Trend</i>
Soekarno Hatta	38	0,864	0,257	Tidak Ada <i>Trend</i>
Tangerang Selatan	10	0,210	0,219	Tidak Ada <i>Trend</i>
Kemayoran	54	1,240	0,146	Tidak Ada <i>Trend</i>

Tabel 5. Hasil Uji Mann-Kendall curah hujan maximum historis

Nama stasiun	S	Z _{uji}	Cv	Kesimpulan
Halim	93	2,779	0,539	<i>Trend</i> Meningkat
Tanjung Priok	36	0,817	0,398	Tidak Ada <i>Trend</i>
Soekarno Hatta	18	0,397	0,587	Tidak Ada <i>Trend</i>
Tangerang Selatan	-16	-0,397	0,478	Tidak Ada <i>Trend</i>
Kemayoran	15	0,327	0,389	Tidak Ada <i>Trend</i>

Tabel 6. Hasil Uji Mann-Kendall jumlah hari hujan historis

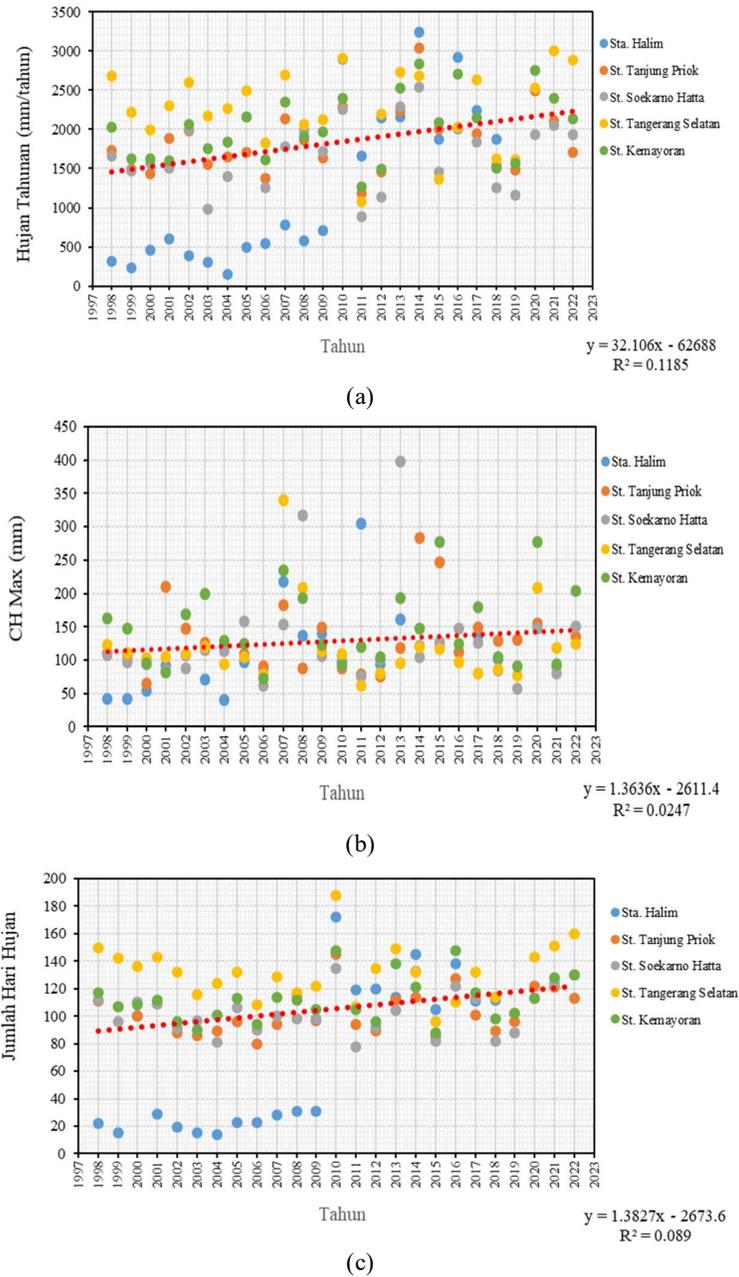
Nama stasiun	S	Z _{uji}	Cv	Kesimpulan
Halim	111	3,326	0,761	<i>Trend</i> Meningkat
Tanjung Priok	51	1,170	0,151	Tidak Ada <i>Trend</i>
Soekarno Hatta	35	0,795	0,161	Tidak Ada <i>Trend</i>
Tangerang Selatan	-25	-0,609	0,157	Tidak Ada <i>Trend</i>
Kemayoran	54	1,240	0,146	Tidak Ada <i>Trend</i>

Apabila pengambilan keputusan uji Mann kendall hanya mengacu pada nilai *Z_{uji}* dengan

tingkat signifikansinya diabaikan, dimana *Z_{uji}* bernilai positif berarti peningkatan dan *Z_{uji}*

bernilai negatif berarti penurunan, maka hasil penelitian menunjukkan bahwa kejadian hujan cenderung mengalami peningkatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1

meskipun hasil uji Mann kendall pada umumnya tidak menunjukkan *trend* yang signifikan.



Gambar 1. (a) Hujan tahunan rerata kondisi historis; (b) Curah hujan maksimum kondisi; (c) Jumlah hari hujan kondisi

Proyeksi curah hujan masa depan

Proyeksi curah hujan untuk *future period* (FP) yaitu FP-1 (2025-2049), FP-2 (2050-2074) dan FP-3 (2075-2100) menggunakan metode *downscaling* khususnya *statistical downscaling* dengan bantuan perangkat lunak

Statistical Downscaling Model (SDSM). Tabel 7 menyajikan tiga prediktor yang terpilih untuk masing-masing stasiun hujan. Menurut Mahmood & Babel (2013), satu hingga tiga *predictor* dianggap sudah cukup untuk menjelaskan *predictand*.

Tabel 7. Prekditor terpilih

Stasiun Hujan	Prediktor 1	Prediktor 2	Prediktor 3
Halim	npeps500gl	ncepp1thgl	ncepp5thgl
Tanjung Priok	ncepp8_ugl	ncepp5_vgl	ncepp8_zgl
Soekarno Hatta	ncepp8_ugl	ncepp5zhgl	ncepp1_zgl
Tangerang Selatan	ncepp5_vgl	ncepp8_ugl	ncepp5_zgl
Kemayoran	ncepp8_ugl	ncepp5_vgl	ncepp1_zgl

Berdasarkan hasil yang diperoleh, korelasi terbesar antara anomali curah hujan dengan data *predictor* dominan dipengaruhi oleh pergerakan angin. *Super predictor* (SP) untuk masing-masing stasiun yaitu ketinggian geopotensial pada 500 hPa (npeps500gl) untuk stasiun Halim, angin meridional 500 hPa (ncepp5_vgl) untuk stasiun Tangerang Selatan, serta angin zonal 850 hPa (ncepp8_ugl) untuk stasiun Tanjung Priok, stasiun Soekarno Hatta, dan stasiun Kemayoran. Hal ini juga sesuai dengan kajian yang dilakukan oleh Safril (2012) yang menyatakan bahwa variabel prediktor paling dominan dalam mempengaruhi curah hujan pada Pulau Jawa yang berada di wilayah benua maritim adalah angin zonal paras 850 milibar (U850) serta suhu pada paras 2 m (T2M).

Kalibrasi model dengan menggunakan data *re-analysis* II NCEP/NCAR dan GCM CanESM5 pada periode historis tahun 1998-2015. Sebanyak 100 *ensemble* diperoleh dalam proses ini dan nilai rerata tiap *ensemble* akan digunakan untuk mengevaluasi kinerja dari model tersebut. Berdasarkan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) dari kalibrasi model, perbedaan curah hujan harian data terukur dan data yang dimodelkan dengan NCEP/NCAR periode historis berkisar antara 0,01-0,36 mm/hari. Nilai RMSE berkisar antara 7,10-15,37.

Validasi model dilakukan pada periode historis tahun 2015-2022 menggunakan data NCEP/NCAR. Perbedaan nilai hujan terukur

dan simulasi tahap validasi berkisar antara 0,06-0,40 mm/hari dengan nilai hasil RMSE yang dihasilkan yaitu 9,91-16,31. Nilai RMSE pada tahap validasi menunjukkan nilai yang cenderung lebih besar dibandingkan dengan tahap kalibrasi. Hal ini dikarenakan periode data yang digunakan dalam tahap kalibrasi lebih panjang dari data periode validasi.

Keterbatasan data *predictand* dimana data hujan yang digunakan untuk kalibrasi terbatas dengan panjang kurang dari 30 tahun, menjadikan nilai RMSE hasil *downscaling* pada semua stasiun hujan cenderung tinggi. Menurut Karlina (2013), idealnya agar proses *downscaling* dapat maksimal, panjang data yang dibutuhkan minimal yaitu 30 tahun.

Analisis data hujan masa depan

Hujan masa depan pada setiap stasiun diproyeksi untuk *future period* (FP) yaitu FP-1 (2025-2049), FP-2 (2050-2074) dan FP-3 (2075-2100) dengan skenario SSP 3.70. Proyeksi hujan tersebut dibandingkan dengan periode historis dari masing-masing stasiun. Curah hujan tahunan rerata pada umumnya terjadi peningkatan di setiap periode masa depan bila dibandingkan dengan curah hujan rerata tahunan historis. Peningkatan terbesar pada FP-1 dan FP-3 terjadi pada stasiun Halim yaitu masing-masing sebesar 23,38% dan 33,14%. Sedangkan pada FP-2, peningkatan terbesar terjadi pada stasiun Kemayoran yaitu sebesar 21,69%.

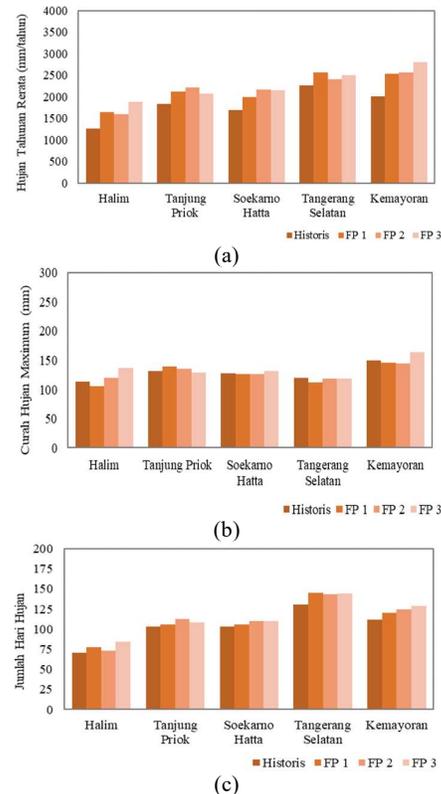
Hasil analisis curah hujan maksimum proyeksi masa depan, cenderung

menunjukkan peningkatan hingga 3,29-23,04 mm bila dibandingkan dengan periode historis. Meskipun jumlah stasiun hujan yang mengalami penurunan lebih banyak dari stasiun yang mengalami peningkatan, namun rata-rata hujan maksimum dari kelima stasiun diperhitungkan mengalami kenaikan. Hal ini dikarenakan tingkat penurunan masih lebih kecil dari tingkat kenaikan yang terjadi. Pada FP-1 terdapat satu stasiun yang mengalami peningkatan yaitu stasiun Tanjung Priok. Sedangkan, empat stasiun yang lainnya mengalami penurunan. Penurunan terbesar terjadi pada stasiun Tangerang Selatan yaitu sebesar 6,58%. Pada FP-2 jumlah stasiun yang mengalami peningkatan bertambah menjadi dua stasiun, yaitu stasiun Halim dan Tanjung Priok yang masing-masing meningkat sebesar 5,20% dan 2,56%. Pada FP-3, peningkatan terjadi pada tiga stasiun dan penurunan terjadi pada dua stasiun. Tiga stasiun yang mengalami peningkatan yaitu stasiun Halim, stasiun Soekarno Hatta, dan stasiun Kemayoran, dengan masing-masing sebesar 16,89%, 2,51%, dan 9,04%. Sedangkan pada FP-2 penurunan curah hujan terjadi di stasiun Tanjung Priok dan stasiun Tangerang Selatan yaitu sebesar 1,88% dan 0,99%.

Analisis hari hujan hasil prediksi menggunakan skenario SSP 3-7,0 menunjukkan adanya peningkatan. Jumlah hari hujan mengalami kenaikan rata-rata 9 hari/tahun. Stasiun Halim mengalami peningkatan terbesar dari rata-rata hari hujan observasi pada periode FP-1 dan FP-3 yaitu berturut-turut sebesar 9,9% dan 15,80%. Sedangkan pada periode FP-2 peningkatan terjadi terbesar pada stasiun Kemayoran sebesar 10,14%.

Kenaikan curah hujan di wilayah Jakarta pada kajian ini serupa dengan hasil simulasi yang dilakukan oleh Suwarman dkk. (2022) dengan menggunakan 21 model iklim yang menunjukkan bahwa curah hujan ekstrem di Jakarta berpotensi mengalami peningkatan sebesar 15-26% untuk periode ulang 100 tahunan dari kondisi saat ini. Laporan penelitian yang serupa juga dapat dilihat pada hasil proyeksi iklim di daerah Jakarta yang dilakukan oleh Mishra dkk. (2018) yang

mengungkapkan bahwa terjadi peningkatan signifikan pada intensitas curah hujan untuk rentang durasi dan periode ulang.



Gambar 2. (a) Perbandingan hujan tahunan rerata setiap periode (b) Perbandingan curah hujan maksimum setiap periode (c) Perbandingan jumlah hari hujan setiap periode

Secara umum, perubahan iklim menunjukkan peningkatan pada intensitas hujan namun tidak mengakibatkan perubahan curah hujan pola musun, dimana pada awal Mei hingga September terjadi musim kering atau curah hujan rendah. Sedangkan pada November hingga Maret terjadi musim basah atau curah hujan tinggi. Namun demikian, menurut pembagian iklim Schmidt Ferguson, musim basah atau musim hujan akan datang lebih awal dan lebih lama dibandingkan dengan masa sekarang. Hasil kajian ini mendukung penelitian yang dilakukan oleh Damarlantu (2014) mengenai kajian dampak perubahan iklim global terhadap karakteristik hujan di wilayah Jabodetabek. Penelitian tersebut mengungkapkan bahwa wilayah di DKI Jakarta berpotensi mengalami pergeseran

musim berupa memanjangnya musim penghujan dan memendeknya musim kemarau di masa mendatang.

Tabel 8, 9, dan 10 menunjukkan presentase perubahan proyeksi karakteristik hujan

skenario SSP 3-7,0 untuk setiap periode dan Gambar 2 merupakan penjelasan secara visualnya. Sedangkan untuk hasil analisis kecenderungan dengan uji Man-Kendall pada proyeksi karakteristik hujan skenario SSP 3-7,0 dapat dilihat pada Tabel 11, 12 dan 13.

Tabel 8. Presentase perubahan curah hujan tahunan skenario SSP 3-7,0

No	Stasiun Hujan	Periode					
		FP-1	FP-2	FP-3			
1	Halim	Meningkat	23,38%	Meningkat	20,68%	Meningkat	33,14%
2	Tanjung Priok	Meningkat	13,61%	Meningkat	17,13%	Meningkat	11,35%
3	Soekarno Hatta	Meningkat	15,48%	Meningkat	21,94%	Meningkat	21,51%
4	Tangerang Selatan	Meningkat	11,46%	Meningkat	5,80%	Meningkat	9,57%
5	Kemayoran	Meningkat	20,55%	Meningkat	21,69%	Meningkat	28,37%

Tabel 9. Presentase perubahan curah hujan maksimum skenario SSP 3-7,0

No	Stasiun Hujan	Periode					
		FP-1	FP-2	FP-3			
1	Halim	Menurun	-6,58%	Meningkat	5,20%	Meningkat	16,89%
2	Tanjung Priok	Meningkat	5,65%	Meningkat	2,56%	Menurun	-1,88%
3	Soekarno Hatta	Menurun	-0,85%	Menurun	-1,54%	Meningkat	2,51%
4	Tangerang Selatan	Menurun	-6,74%	Menurun	-0,35%	Menurun	-0,99%
5	Kemayoran	Menurun	-2,21%	Menurun	-3,53%	Meningkat	9,04%

Tabel 10. Presentase perubahan jumlah hari hujan skenario SSP 3-7,0

No	Stasiun Hujan	Periode					
		FP-1	FP-2	FP-3			
1	Halim	Meningkat	9,99%	Meningkat	3,59%	Meningkat	15,80%
2	Tanjung Priok	Meningkat	2,46%	Meningkat	8,64%	Meningkat	4,51%
3	Soekarno Hatta	Meningkat	2,45%	Meningkat	5,87%	Meningkat	6,07%
4	Tangerang Selatan	Meningkat	8,72%	Meningkat	8,56%	Meningkat	9,12%
5	Kemayoran	Meningkat	7,04%	Meningkat	10,14%	Meningkat	12,84%

Tabel 11. Hasil Uji Mann-Kendall curah hujan tahunan masa depan

Nama stasiun	S	Z _{uji}	Cv	Kesimpulan
Halim	512	2,292	0,222	<i>Trend</i> Meningkat
Tanjung Priok	38	0,175	0,134	Tidak Ada <i>Trend</i>
Soekarno Hatta	532	2,381	0,131	<i>Trend</i> Meningkat
Tangerang Selatan	-222	-1,000	0,123	<i>Trend</i> Tetap
Kemayoran	514	2,301	0,142	<i>Trend</i> Meningkat

Tabel 12. Hasil Uji Mann-Kendall curah hujan maximum masa depan

Nama stasiun	S	Z _{uji}	Cv	Kesimpulan
Halim	668	2,991	0,289	<i>Trend</i> Meningkat
Tanjung Priok	264	1,188	0,248	Tidak Ada <i>Trend</i>
Soekarno Hatta	288	1,287	0,281	Tidak Ada <i>Trend</i>
Tangerang Selatan	78	0,345	0,266	Tidak Ada <i>Trend</i>
Kemayoran	312	1,395	0,277	Tidak Ada <i>Trend</i>

Tabel 13. Hasil Uji Mann-Kendall jumlah hari hujan masa depan

Nama stasiun	S	Zuji	Cv	Kesimpulan
Halim	388	1,737	0,167	<i>Trend</i> Meningkat
Tanjung Priok	159	0,709	0,098	<i>Tidak</i> Ada <i>Trend</i>
Soekarno Hatta	422	1,890	0,079	<i>Tidak</i> Ada <i>Trend</i>
Tangerang Selatan	-252	-1,136	0,074	<i>Trend</i> Tetap
Kemayoran	694	3,111	0,067	<i>Trend</i> Meningkat

Skenario SSP 3-7,0 menunjukkan adanya kenaikan *trend* curah hujan tahunan pada masa depan di tiga stasiun yaitu stasiun Halim, Soekarno Hatta, dan Kemayoran. Bila ditinjau pada hasil analisis *trend* curah hujan maksimum masa depan, hanya stasiun Halim yang menunjukkan peningkatan seperti halnya uji *trend* pada periode historis. Beberapa stasiun hujan lainnya cenderung tidak menunjukkan adanya *trend* yang signifikan pada periode masa depan. Sedangkan pada hasil analisis *trend* jumlah hari hujan menunjukkan bahwa *trend* meningkat hanya terjadi pada stasiun Halim dan stasiun Kemayoran.

Kesimpulan

Hasil uji kecenderungan (*trend*) periode historis dengan data hujan di Stasiun Halim Perdana Kusuma Jakarta, Stasiun Klimatologi Tangerang Selatan, Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Priok, Stasiun Meteorologi Kemayoran, dan Stasiun Meteorologi Soekarno Hatta dengan metode Man-Kendall menunjukkan bahwa sebagian besar kejadian hujan yang terjadi tidak mengalami *trend* atau perubahan yang signifikan. *Trend* positif atau peningkatan curah hujan yang signifikan hanya tampak pada satu stasiun hujan yaitu pada stasiun hujan Halim Perdana Kusuma Jakarta.

Prediksi hujan masa depan dilakukan dengan cara *downscaling* menggunakan data iklim global (GCM dan NCEP) sebagai *predictors*, dan data hujan wilayah Jakarta sebagai *predictands*. Periode hujan masa depan pada setiap stasiun diproyeksikan dalam tiga *future period* (FP) yaitu FP-1 (2025-2049), FP-2 (2050-2074) dan FP-3 (2075-2100) dengan skenario iklim SSP 3.70. Hasil analisis proyeksi hujan masa depan dengan skenario

SSP 3-7,0 dengan dibandingkan periode historis, menunjukkan curah hujan tahunan rata-rata meningkat berkisar antara 5,80-33,14%, curah hujan maksimum rata-rata meningkat berkisar antara 2,51-16,89% dan jumlah hari hujan meningkat berkisar antara 2,45-15,80%. Bila ditinjau dengan analisis *trend* periode masa depan, beberapa stasiun hujan menunjukkan peningkatan yang signifikan pada parameter curah hujan tahunan. Sedangkan pada parameter curah hujan maksimum dan jumlah hari hujan cenderung tidak ada *trend*.

Secara umum, perubahan iklim menunjukkan peningkatan pada intensitas hujan tetapi tidak mengakibatkan perubahan pola curah hujan monsun. Namun, pemanasan global berpotensi meningkatkan curah hujan di masa depan dan mempercepat dimulainya musim hujan

Daftar Pustaka

- Darmalantu, Kumara. (2014). Kajian Dampak Perubahan Iklim Global Terhadap Karakteristik Hujan Di Wilayah Jabodetabek. Skripsi S1. Program Studi Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Dasanto, B. D., R. Boer, B. Pramudya, and Y. Suharnoto. (2014). Evaluasi Curah Hujan TRMM Menggunakan Pendekatan Koreksi Bias Statistik. *J. Tanah dan Iklim*, Vol. 38(1), 15–24.
- Ekstrom, M., Grose, M.R. and Whetton, P.H. (2015). An appraisal of downscaling methods used in climate change research. *Climatic Change*, Vol. 6, 301–319. doi: 10.1002/wcc.339
- Hashmi, M.Z., A.Y. Shamseldin, and B.W. Melville. (2011). Comparison of SDSM

- and LARS-WG for Simulation and Downscaling of Extreme Precipitation Events in a Watershed. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 25(4), 475–84.
- Hausfather, Zeke. (2019). CMIP6: the next generation of climate models explained. Carbon Brief. <https://www.carbonbrief.org/cmip6-the-next-generation-of-climate-models-explained/> diakses pada tanggal 14 Juli 2022.
- IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.). Cambridge University Press. In Press.
- IPCC. (2022). Summary for Policymakers, In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.). Cambridge University Press. In Press.
- Karlina. (2013). Analisis Kekeringan Meteorologis di Wilayah Kabupaten Wonogiri. Tesis, Program Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
- Khan, M. S., Coulibaly, P., and Dibike, Y. (2006). Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. *Journal of Hydrology*, Vol. 319(1-4), 357-382.
- Mahmood, R., and Babel, M. S. (2013). Evaluation of SDSM developed by annual and monthly sub-models for downscaling temperature and precipitation in the Jhelum basin, Pakistan and India. *Theoretical and Applied Climatology*, 113(1–2), 27–44.
- Mishra, B.K., Rafiei Emam, A., Massago, Y., Kumar, P., Regmi, R.K., and Fukushi, K. (2018). Assesment of future flood inundations under climate and land use change scenario in the Ciliwung River Basin, Jakarta. *Journal of Flood Risk Management Vol. 11*, S555-S1136. DOI: 10.1111/jfr3.12311
- M. Arnani dan I. Wedhaswary, Penjelasan Lengkap Penyebab Banjir Jakarta, 03 Januari (2020) [Online]. <https://www.kompas.com/tren/read/2020/01/03/092500065/penjelasan-lengkap-penyebab-banjir-jakarta-curah-hujan-terekstrem-hingga?page=all>. diakses pada tanggal 24 Oktober 2022.
- O’Gorman, P.A., (2015). Precipitation Extremes Under Climate Change. *Current Climate Change Reports Vol.1*, 49-59. <https://doi.org/10.1007/s40641-015-0009-3>
- ONAD, Bhenjamin Jordan, Srivatsan V Raghavan, Senfeng Liu, and Ngoc Son Nguyen. (2022). Evaluation of future rainfall over Southeast Asia using the CMIP6 multi-model ensemble. Research Square.
- Pepler, A. S, L. V. Alexander, J. P. Evans, and S. C. Sherwood. (2016). Zonal winds and southeast Australian rainfall in global and regional climatemodels, *Climate Dynamics*, Vol. 46 (1-2), 123–133.
- Pratiwi, E.P.A., Sujono, J., and Jayadi, R. (2012). Kajian Variabilitas Curah Hujan di Wilayah Lereng Gunung Merapi dengan Uji Mann-Kendall. *Info Teknik*, 13(1), 1-10.
- Rahayu, H.P., Haigh, R., Amaratunga, D., Kombaitan, B., Khoirunnisa, D. and Pradana, V. (2020). A micro scale study of climate change adaptation and disaster risk reduction in coastal urban strategic planning for the Jakarta. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, Vol. 11, 119–133. doi: 10.1108/IJDRBE-10-2019-0073

- Reshmidevi, T. V., Kumar, D. N., Mehrotra, R., and Sharma, A. (2018). Estimation of the climate change impact on a catchment water balance using an ensemble of GCMs. *Journal of Hydrology*, Vol. 556, 1192-1204.
- Silva, R.M., Celso A. G. Santos, Madalena Moreira, João Corte-Real, Valeriano C. L. Silva and Isabella C. Medeiros. (2015). Rainfall and river flow trends using Mann–Kendall and Sen’s slope estimator statistical tests in the Cobres River basin. *Natural Hazards Vol. 77*, 1205–1221.
- Safiril, A., Ulfiana A., (2012). Prediksi Curah Hujan Bulanan Menggunakan Metode Statistical Downscaling di Pulau Jawa Dengan Pemilihan Prediktor Berdasarkan Transpor Uap Air. *Jurnal Geografi Vol 11(1) (19-33)*.
- Suwarman, Rusmawan, Edi R., Yogi S.M.S, Dasapta E.I. (2022). Kajian Perubahan Iklim di Pesisir Jakarta Berdasarkan Data Curah Hujan dan Temperatur. *Buletin Oseanografi Marina Februari 2022 Vol 11 (1)*, 99–110. DOI:10.14710/buloma.v11i1.42749
- USGCRP (U.S. Global Change Research Program). (2017). Climate science special report: Fourth National Climate Assessment, volume I. Wuebbles, D.J., D.W. Fahey, K.A. Hibbard, D.J. Dokken, B.C. Stewart, and T.K. Maycock, eds. doi:10.7930/J0J964J6.
- Wilby, R. L., Charles, S. P., Zorita, E., Timbal, B., Whetton, P., and Mearns, L. O. (2004). Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Statistical Downscaling Methods Analysis. 27(August), 1–27.