

## PROYEKSI DAERAH POTENSI BANJIR TAHUN 2031-2040 BERDASARKAN SKENARIO IKLIM REPRESENTATIVE CONCENTRATION PATHWAYS 4.5

\*Presli Panusunan Simanjuntak<sup>1</sup>, Dian Paolo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika - Stasiun Klimatologi Bangka Belitung  
Komplek Perkantoran Terpadu Bangka Tengah, Kep. Bangka Belitung, Indonesia

<sup>2</sup>Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika - Stasiun Pemantau Atmosfer Global Palu  
Jl. Sapta Marga, Birobuli Utara, Kec. Palu Sel., Kota Palu, Sulawesi Tengah, Indonesia

e-mail : [presli.simanjuntak@bmgk.go.id](mailto:presli.simanjuntak@bmgk.go.id)<sup>1</sup>, [dian.paolo@bmgk.go.id](mailto:dian.paolo@bmgk.go.id)<sup>2</sup>

(Received: Agu-2022; Reviewed: Sept-2022; Accepted: Okt-2022;  
Available online: Okt-2022; Published: Okt-2022)

### Abstrak

Perubahan iklim mempunyai dampak yang cukup luas. Salah satunya adalah meningkatkan potensi banjir. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil proyeksi curah hujan di masa mendatang yang berkaitan dengan potensi banjir di Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur berdasarkan skenario Representative Concentration Pathways (RCP) 4.5. Data yang digunakan adalah curah hujan observasi wilayah Kabupaten Bojonegoro periode 1991-2010. Data proyeksi yang digunakan adalah RCP 4.5 dengan format netCDF (.nc) dari model CORDEX dengan resolusi 10 km x10 km periode 2006-2040. Data tersebut dibagi menjadi 2 yaitu 2006-2015 untuk mengoreksi data model dan data proyeksi 2031-2040. Penelitian ini juga menggunakan beberapa data untuk membuat peta rawan banjir yaitu data kerapatan aliran, tutupan lahan, kemiringan lereng dan tekstur tanah. Parameter-parameter tersebut digabungkan menggunakan teknik overlay berbobot untuk menghasilkan sebaran potensi banjir. Hasil penelitian menunjukkan pada periode 1991-2010 tingkat kerawanan banjir Kabupaten Bojonegoro kategori aman seluas 2.056 ha, kategori rendah seluas 51.026 ha, kategori sedang seluas 82.879 ha dan kategori tinggi seluas 95.392 ha. Dibandingkan dengan peta rawan, maka potensi banjir kategori tinggi pada periode proyeksi 2031-2040 mengalami peningkatan luas sebesar 4.626 ha (2.0%).

**Kata kunci:** potensi; banjir; RCP 4.5; overlay

### Abstract

Climate change has many impacts. One of them is the possibility of increased flood potential areas. This study aims to determine the results of future rainfall projections related to potential flooding in Bojonegoro District, East Java Province based on Representative Concentration Pathways (RCP) 4.5. The data used are rainfall of the demographic period 1991-2010. Data projection processing uses the Pathways Concentration (RCP4.5) Representative scenario model for rainfall with the netCDF (.nc) format of the GCM CORDEX model (Model for Climate Interdisciplinary Research) with a resolution of up to 10 x 10 km in the period 2006-2040 These data are divided into 2006-2015 for data correction and 2031-2040 data. This study uses several parameters to create a potential flood map such as flow density, land cover, slope and soil texture. These parameters are combined using a weighted overlay technique to produce a potential flood distribution. The results showed that in the 1991-2010 period the level of flood hazard in Bojonegoro Regency was in the safe category of 2,056 ha, the low category was 51,026 ha, the medium category was 82,879 ha and the high category was 95,392 ha. Compared to the hazard map, the high flood potential category in the 2031-2040 increased the area increase by 4.626 ha (2.0%).

**Keywords:** potential; flood; RCP 4.5; overlay

## PENDAHULUAN

Laporan pertemuan ke 5 *The Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) menyebutkan bahwa rata-rata suhu global naik sebesar 0,85 °C selama 133 tahun terakhir (1880–2012) karena pemanasan global (IPCC,2014). Pada dekade 2006-2015, aktivitas manusia telah meningkatkan suhu bumi sebesar 1 °C dibandingkan masa pra-industri (1850-1990). Berdasarkan skenario *Representative Concentration Pathways* (RCP) pemanasan global yang disebabkan manusia akan mengalami peningkatan hingga 1,5 °C pada tahun 2040 dan meningkatkan curah hujan (IPCC, 2018). Skenario RCP pernah digunakan di Semenanjung Korea untuk memprakirakan peningkatan keparahan banjir di masa depan dengan mempertimbangkan peningkatan curah hujan sesuai dengan skenario *Representative Concentration Pathways* (Kim, 2019)

Skenario *Representative Concentration Pathways* merupakan skenario yang berdasarkan *radiative forcing* yang ditimbulkan oleh konsentrasi gas rumah kaca. *Radiative forcing* didefinisikan sebagai perbedaan antara energi radiasi yang diterima oleh bumi dengan yang dipantulkan kembali ke luar bumi. Semakin besar *radiative forcing*, maka semakin besar energi yang masuk ke bumi sehingga memanaskan sistem, sedangkan semakin kecil *radiative forcing*, maka semakin banyak energi yang keluar sehingga mendinginkan bumi. Peningkatan nilai *radiative forcing* dapat menyebabkan pemanasan yang menyebabkan terjadinya peningkatan suhu rata-rata global (Pasadaran dkk., 2017).

Skenario RCP terdiri dari empat skenario yaitu RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 dan RCP 8.5 (Moss dkk., 2010). Skenario RCP4.5 dicapai melalui pemanfaatan teknologi dan penerapan strategi dalam menurunkan emisi gas rumah kaca. Skenario ini lebih masuk akal dengan peningkatan *radiative forcing* dan emisi CO<sub>2</sub> lebih lambat karena penggunaan teknologi terbarukan seperti nuklir dan berkurangnya konsumsi minyak bumi (Febriyanti, 2018). Skenario RCP dapat digunakan untuk simulasi kerentanan ancaman bahaya banjir disuatu wilayah dimasa mendatang (Wijayanti, 2017). Skenario RCP juga dapat memproyeksikan banyaknya daerah yang mengalami peningkatan indeks ancaman bencana banjir dan frekuensi terjadinya banjir (Maghsood.,dkk.,2019).

Kabupaten Bojonegoro merupakan daerah rawan bencana terutama bencana banjir. Penyebab banjir Kabupaten Bojonegoro banyak disebabkan oleh curah hujan tinggi, pendangkalan Sungai Bengawan Solo, dan luapan air di 15 anak sungai yang berada disekitarnya (Faradiba, 2020). Upaya mengatasi masalah banjir di Indonesia telah dilakukan sejak tahun 1920-an baik oleh masyarakat yang terkena bencana maupun pemerintah. Banjir sendiri tidak menjadi masalah selama tidak mempengaruhi aktivitas atau keuntungan manusia, terjadi setelah manusia melakukan aktivitas di dataran banjir (Arfan et al., 2020; Badwi et al., 2020). Pengelolaan bencana banjir yang efektif dan efisien memerlukan pengetahuan tentang bahaya dan risiko yang ada di daerah aliran sungai seperti Sungai Bengawan Solo. Informasi bahaya dan risiko banjir yang dibutuhkan antara lain tipe banjir, kemungkinan kejadian banjir, luas genangan banjir, kedalaman dan kecepatan banjir, serta tingkat kerusakan (kehidupan, properti dan aktivitas ekonomi) (Sulaeman, 2016).

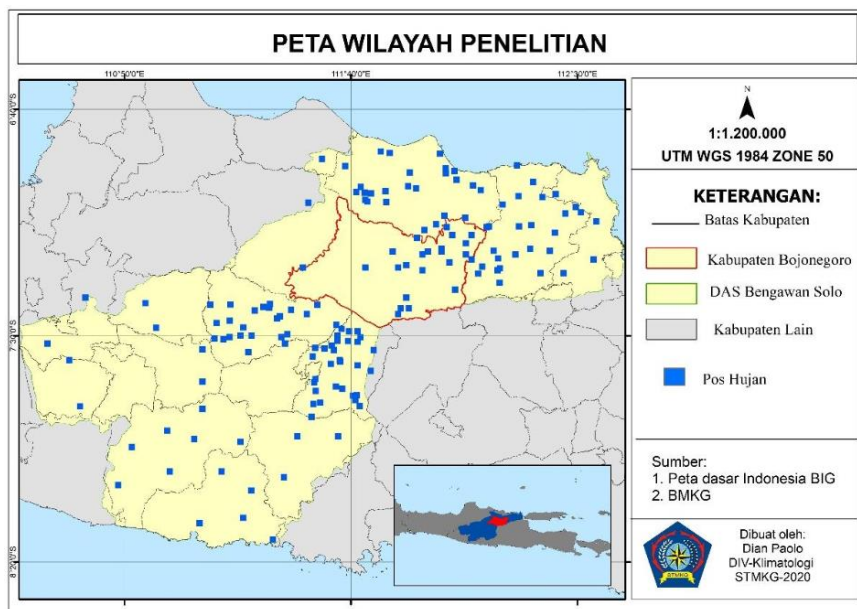
*Representative Concentration Pathways* (RCP) merupakan skenario iklim untuk mendapatkan proyeksi kondisi iklim di masa depan. Penggunaan skenario bukan bertujuan memprediksi masa depan melainkan untuk memahami lebih baik tentang ketidakpastian dan alternatif masa depan (IPCC, 2013). Penelitian terkait perubahan iklim sudah banyak dilakukan, namun penelitian mengenai proyeksi menggunakan RCP yang berdampak pada bencana banjir masih sangat sedikit. Melalui pembuatan peta proyeksi daerah potensi banjir menggunakan RCP4.5 diharapkan dapat mendukung mitigasi bencana serta bagian dari perencanaan pembangunan di daerah Kabupaten Bojonegoro.

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis perubahan wilayah rawan banjir saat ini menggunakan indikator normal curah hujan (1991-2010) dengan wilayah rawan banjir

dimasa mendatang (2030-2040) dengan indikator curah hujan hasil proyeksi RCP 4.5 (2030-2040). Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai langkah adaptasi perubahan iklim di masa depan.

### METODE

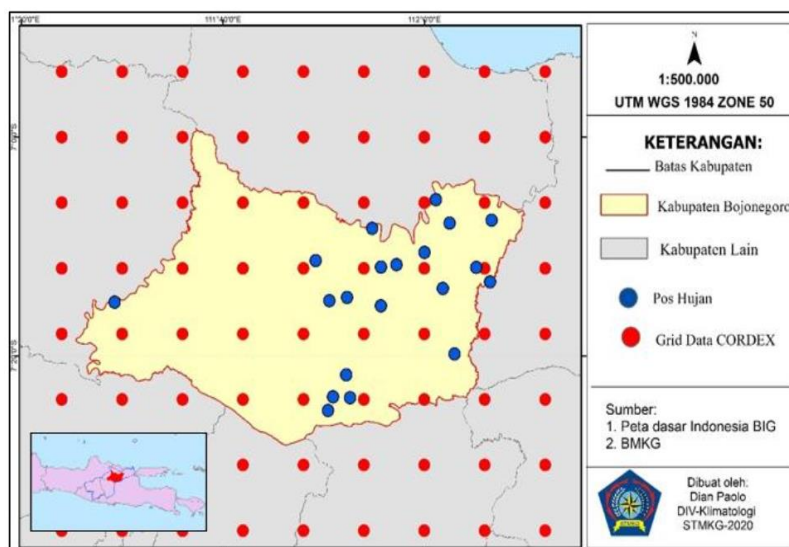
Metode penelitian yang digunakan adalah metode kualitatif di wilayah Kabupaten Bojonegoro merupakan salah satu Kabupaten di Jawa Timur. Secara astronomis Kabupaten Bojonegoro terletak pada posisi 112° 09' Bujur Timur dan 6° 25' - 7° 37' Lintang Selatan



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

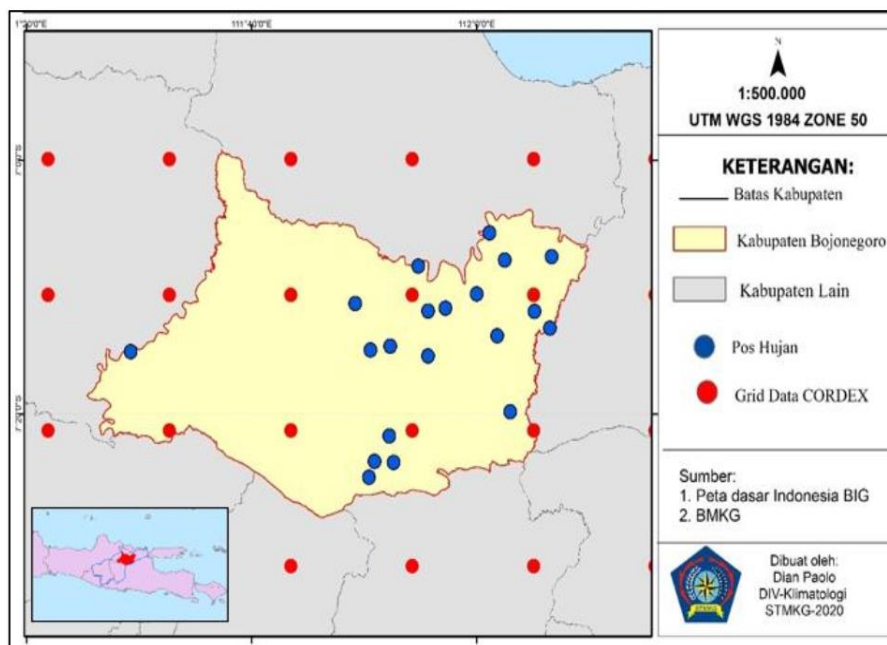
### Data Penelitian

Data curah hujan observasi yang digunakan dibagi menjadi 2 yaitu 78 pos hujan untuk menganalisis curah hujan DAS Bengawan Solo secara umum dan 20 pos hujan yang ada di Kabupaten Bojonegoro. Periode yang akan digunakan adalah 1991-2010 dan 2006-2015 untuk mengoreksi data model. Data curah hujan model skenario yang akan digunakan adalah model Miroc5 dan Cordex dengan format netCDF (.nc) yang memiliki resolusi 18,7 km x 18.7 km untuk model Miroc5, sedangkan CORDEX resolusinya adalah 10km x 10km



Gambar 2. Grid data CORDEX

*Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment (CORDEX)* digunakan untuk memberikan informasi proyek perubahan iklim yang mempunyai resolusi spasial tingkat tinggi untuk sektor hidrologis dan pertanian khususnya di wilayah Asia tenggara (Yang, 2016). Parameter iklim yang dihasilkan dari proyek ini adalah curah hujan, suhu maksimum dan minimum dengan periode waktu baseline (1950-2005) dan proyeksinya (2006-2099) dengan skenario RCP 4.5 dan RCP 8.5. CORDEX didapatkan dengan menggunakan teknik *dynamical downscaling*.



**Gambar 3.** Grid data MICRO5

*Model for Interdisciplinary Research on Climate version 5 (MIROC5)* merupakan salah satu model *Atmosphere Ocean Global Climate Models (AOGCMs)* yang tergabung dalam *Coupled Model Intercomparison Project* fase ke-lima (CMIP5). MIROC5 menunjukkan hasil paling realistis kedua setelah *Norwegian Earth System Model, version 1 intermediate resolution (Nor-ESM1-M)* dalam mensimulasikan periode iklim saat ini, periode baseline (Siew, 2013).

- Data kemiringan lereng diunduh dari website *Earth Explorer USGS* dengan alamat website [earthexplorer.usgs.gov/](http://earthexplorer.usgs.gov/). Hasil yang diunduh merupakan data *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* dengan *1 arcsecond for global coverage (~30meter)*.
- Data tutupan lahan diperoleh dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) yang dapat diunduh melalui website <http://tanahair.indonesia.go.id>. Periode tutupan lahan yang akan digunakan adalah tahun 2017.
- Data tekstur tanah diperoleh dari *Harmonized World Soil Database (HWSD)* dengan alamat website [webarchive.iiasa.ac.at](http://webarchive.iiasa.ac.at). Periode data tekstur tanah yang paling baru adalah tahun 2012 yang berupa raster dan database dengan resolusi 0,05x0,05 derajat.
- Data kerapatan aliran merupakan indeks yang menunjukkan banyaknya anak sungai dalam suatu DAS melalui perhitungan panjang sungai dan luas DAS. Data kerapatan aliran dapat diolah menggunakan data *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*.
- Data kejadian banjir tahun 2016 di Kabupaten Bojonegara didapat dari Badan Penanggulangan Bencana Provinsi Jawa Timur.



## Teknik Pengolahan Data

### Curah Hujan Rata-rata

Data skenario RCP4.5 dengan format netCDF (.nc) diekstrak menggunakan software GrADS (*The Grid Analysis and Display System*). Kemudian dikoreksi dengan curah hujan observasi. Kedua data tersebut harus dalam periode yang sama. Perhitungan koreksi berdasarkan perbedaan antara data pengamatan dan data model. Curah hujan terkoreksi dapat dihitung menggunakan persamaan (Lenderink, 2007) berikut :

$$CH_{model\_kor} = CH_{mod} \times \frac{*CH_{mod}}{CH_{obs}} \quad (1)$$

dimana :

$CH_{model\_kor}$	: curah hujan bulanan model yang telah dikoreksi
$CH_{mod}$	: curah hujan model sebelum dikoreksi
$CH_{obs}$	: rata-rata curah hujan periode baseline data pengamatan
$*CH_{mod}$	: rata-rata curah hujan periode baseline data model

### Validasi Model

Data model kemudian divalidasi untuk mengetahui seberapa besar bias (error) antara data belum dikoreksi dan data model terkoreksi dengan observasinya menggunakan periode tahun yang sama, salah satunya caranya dengan menghitung *Root Mean Square Error* (RMSE). Semakin kecil nilai RMSE maka semakin baik data tersebut untuk digunakan lebih lanjut dalam hal ini digunakan untuk pembuatan peta rawan banjir.

Formula untuk menghitung nilai RMSE (Chai, 2014) adalah sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |e_i|^2}{n}} \quad (2)$$

$e_i$	: bias/ error
$n$	: jumlah data

Data curah hujan dibagi menjadi 2 yaitu jenis yaitu curah hujan observasi dan model yang sudah dikoreksi. Kemudian dilakukan perhitungan curah hujan tahunan terhadap masing-masing jenis data dengan periode yang sudah ditentukan. Perhitungan curah hujan (Abramowitz, 1964) adalah sebagai berikut:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n Xi \quad (3)$$

$\bar{X}$	: rata-rata hitung
$n$	: banyak data
$Xi$	: data ke $i$ ; $i = 1, 2, 3, \dots$

### Interpolasi

Data curah hujan tahunan yang telah didapat, diinterpolasi untuk mendapatkan sebaran spasial faktor curah hujan. Metode yang digunakan adalah IDW yaitu metode interpolasi konvensional yang memperhitungkan jarak sebagai bobot. Jarak yang dimaksud disini adalah jarak (datar) dari titik data (sampel) terhadap blok yang akan diestimasi. Jadi semakin dekat jarak antara titik sampel dan blok yang akan diestimasi maka semakin besar bobotnya, begitu juga sebaliknya. Persamaannya (Wong, 2016) ditulis sebagai berikut :

$$Z_o = \frac{\sum_i^S z_i \frac{1}{d_i^k}}{\sum_i^S \frac{1}{d_i^k}} \quad (4)$$

- $Z_o$  : perkiraan nilai pada titik 0  
 $Z_i$  : apakah nilai z pada titik kontrol i  
 $d_1$  : jarak antara titik I dan titik 0  
 $k$  : semakin besar k, semakin besar pengaruh poin tetangga.  
 $S$  : jumlah titik S yang digunakan

### Data Banjir

Pembahasan Data banjir dibagi menjadi 2 bagian yaitu kecamatan yang pernah mengalami banjir dan yang tidak pernah mengalami banjir. Data tersebut akan digunakan dalam proses validasi peta rawan banjir.

### Teknik Analisis Zonasi Daerah Rawan Banjir

#### Pembobotan (Scoring)

Pemetaan rawan banjir dibuat dengan metode pembobotan. Setiap kelas di parameter yaitu tutupan lahan, tekstur tanah, curah hujan dan kemiringan lereng diberi skor berdasarkan seberapa besar pengaruhnya terhadap banjir. Semakin tinggi pengaruhnya terhadap banjir, skor yang diberikan semakin tinggi.

**Tabel 1.** Skor Kelas Curah Hujan

Curah Hujan (mm/tahun)	Kelas	Skor
<1500	Sangat kering	1
1501 -2000	Kering	3
2001 -2500	Sedang/lembab	5
2501 -3000	Basah	7
>3000	Sangat Basah	9

Sumber : Primayuda (2006)

**Tabel 2.** Skor Kelas Kemiringan Lahan

Kemiringan lahan (%)	Kelas	Skor
0-8	Datar	5
8-15	Landai	4
15-30	Agak Curam	3
30-45	Curam	2
>45	Sangat Curam	1

Sumber : Primayuda (2006)

**Tabel 3.** Skor Kerapatan Aliran Sungai

Kemiringan lahan (%)	Kelas	Skor
>3,1	Rapat	1
2,28-3,10	Agak Rapat	2
1,45-2,27	Sedang	3
0,62-1,44	Agak Jarang	4
<0,62	Jarang	5

Sumber : Sari (2013)

**Tabel 4.** Skor Tekstur Tanah

Tekstur tanah	Kriteria	Skor
Liat, liat berdebu, liat berpasir	Halus	5
Lempung berliat, lempung liat berdebu, lempung liat berpasir	Agak Halus	4
Lempung berdebu, debu, lempung berpasir sangat halus	Sedang	3
Lempung berpasir halus, lempung berpasir	Agak Kasar	2
Pasir Berlempung, pasir	Kasar	1

Sumber : Fajri (2018)

### Overlay

Pemetaan rawan banjir dibuat dengan metode pembobotan. Setiap kelas di parameter yaitu tutupan lahan, tekstur tanah, curah hujan dan kemiringan lereng diberi skor berdasarkan seberapa besar pengaruhnya terhadap banjir. Semakin tinggi pengaruhnya terhadap banjir, skor yang diberikan semakin tinggi. Peta kawasan rawan banjir dapat dibuat secara cepat melalui Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan menggunakan metode tumpang susun/overlay terhadap peta dasar (peta administrasi, peta tekstur tanah, peta kemiringan lereng, peta penggunaan lahan, dan peta curah hujan. Faktor pembobot paling tinggi diberikan kepada kemiringan lereng dengan alasan parameter fisik lahan ini mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap kerawanan banjir. Semakin curam kemiringan lereng tidak akan menyebabkan banjir walaupun dalam keadaan hujan yang lebat karena aliran permukaannya akan selalu mengalir untuk mencari permukaan yang rendah hingga ditemukan tempat yang datar (Tampubolon,2018).

Menurut Kurniawati (2018) parameter kemiringan lereng memberikan kontribusi yang cukup besar pada tingkat kerawanan banjir diamana wilayah penelitiannya adalah Sub DAS Mungkung (bagian tengah DAS Bengawan Solo). Sementara itu parameter yang terkecil memberikan dampak kepada tingkat kerawanan adalah curah hujan, artinya curah hujan mempunyai peran yang tidak begitu besar terhadap kerawanan banjir genangan pada daerah penelitina. Hal ini karena banjir genangan sifatnya berasal dari kiriman daerah hulu. Apabila di daerah tengah tidak hujan tetapi di daerah hulu hujan deras dan hulu tidak dapat lagi menampung air, maka banjir akan mengalir kedaerah tengah.

**Tabel 5.** Pembobotan Parameter

Parameter	Bobot
Kemiringan Lahan	5
Tekstur tanah	3
Curah hujan	2
Tutupan lahan	2
Kerapatan aliran	3

Aji (2014)

Selanjutnya dilakukan penjumlahan nilai skor dari masing masing unsur tersebut. Berikut adalah formula untuk mendapatkan tingkat rawan banjir:

$$K = \sum_{i=1}^n (W_i \cdot X_i) \quad (5)$$

$K$  : nilai kerentanan  
 $W_i$  : bobot untuk parameter ke-i  
 $X_i$  : skor kelas parameter ke-i

$$\text{Skor Akhir} = 5F1 + 5F2 + 2F3 + 2F4 + 3F5 \quad (6)$$

$F1$  : kemiringan lahan

F2	: tekstur tanah
F3	: curah hujan
F4	: tutupan lahan
F5	: kerapatan aliran sungai

Pembuatan jumlah kelas yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 4 kelas agar memudahkan dalam melihat sebaran tingkat kerawanan banjir. Tingkat kerawanan banjir sangatrawan diperoleh jika nilai kerawanan banjir tinggi, dimana skor ini merupakan hasil penjumlahan nilai tertinggi dari tiap parameter. Semakin kecil nilai skor kerawanan banjir yang dihasilkan dari penjumlahan tiap parameter maka tingkat kerawanan banjir akan semakin rendah. Rumus yang digunakan untuk menentukan kelas interval adalah:

$$\text{Kelas Interval} = \frac{\text{Skor Tertinggi} - \text{Terendah}}{\text{Jumlah Kelas}} \quad (7)$$

**Tabel 6.** Nilai Kerawanan Banjir

Tingkat Kerawanan Banjir	Total Nilai
Tinggi	>72
Sedang	60-71
Rendah	58-59
Aman	<47

Sumber : Hasil Pengolahan (2022)

#### Validasi

Validitas melibatkan bukti untuk mendukung interpretasi dan penggunaan yang akan diusulkan. Pada penelitian kali ini akan validasi menggunakan data kejadian banjir per kecamatan pada tahun 2016-2018 di Kabupaten Bojonegoro yang diperoleh dari BPBD Provinsi Jawa Timur. Validasi dilakukan dengan menghubungkan kejadian banjir dengan peta rawan sehingga dapat dilihat kesesuaian antara data model dan data sebenarnya.

#### Teknik Analisis Proyeksi Zonasi Daerah Potensi Banjir di Kabupaten Bojonegoro

Proyeksi zonasi daerah potensi banjir menggunakan data curah hujan tahunan rata-rata dari data model RCP4.5. Berdasarkan tampilan peta serta grafik dan curah hujan periode historis dan proyeksi masa depan, akan terlihat ada atau tidak adanya perubahan potensi banjir di Kabupaten Bojonegoro. Parameter yang digunakan dalam pemetaan proyeksi zonasi daerah potensi banjir sama dengan rawan banjir hanya curah yang digunakan adalah curah hujan proyeksi yang sudah diesktrak. Dengan menggunakan metode yang sama yaitu pembobotan dan overlay akan dihasilkan pemetaan proyeksi zonasi potensi banjir di Kabupaten Bojonegoro periode 2031-2040.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil

#### Penentuan Data Model RCP 4.5 Terbaik

Pada penelitian ini menggunakan nilai RMSE untuk menentukan model yang akan digunakan dalam pembuatan peta potensi banjir. Dimana model yang akan dipilih adalah model dengan nilai RMSE lebih kecil karena semakin kecil nilai RMSE maka semakin baik performa dan akurasi model tersebut.



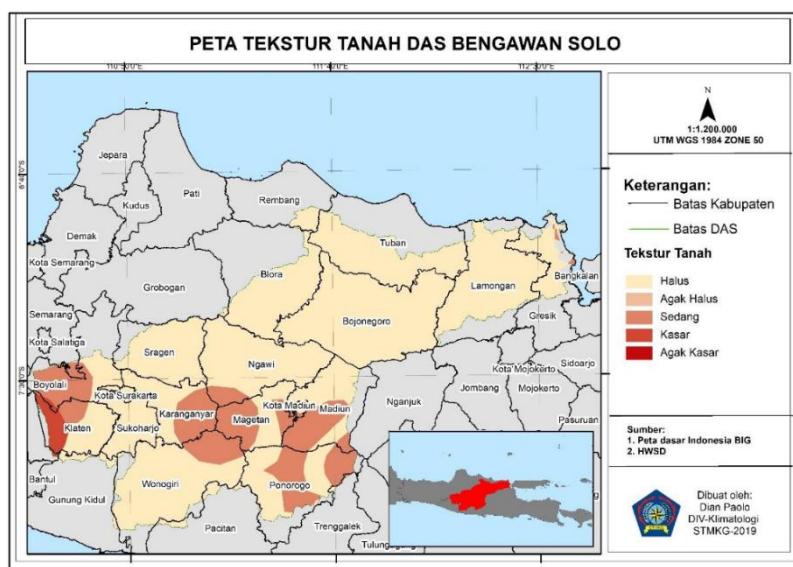
**Tabel 7.** Perbandingan Nilai RMSE Data Model Curah Hujan

Stasiun	CORDEX		MIROC5	
	RMSE Sebelum Koreksi	RMSE Setelah Koreksi	RMSE Sebelum Koreksi	RMSE Setelah Koreksi
Balen	130.5	88.6	125.6	113.3
Jatiblimbing	124.2	89.9	124.1	110.0
Dander	121.4	102.7	132.6	119.5
Baureno	146.0	104.0	145.4	111.2
Bojonegoro	144.0	81.7	118.1	96.6
Sukun	161.1	50.6	159.0	60.6
Gondang	161.9	49.7	157.4	63.3
Leran	136.6	71.0	122.4	88.6
Kanor	149.1	81.8	141.5	99.7
Kapas	136.8	87.9	122.8	108.0
Kedungadem	120.5	93.0	141.5	121.7
Cawak	147.8	100.7	153.1	118.1
Tlogorejo	158.0	73.1	165.3	89.3
Medalem	159.5	99.7	153.1	118.1
Kerjo	157.0	76.6	148.1	78.5
Klepek	119.2	91.4	139.7	124.0
Sumberejo	144.1	91.7	140.1	105.4
Mekuris	129.2	80.7	134.0	99.3
Sugihan	162.3	156.7	179.4	173.3
Tretes	115.5	77.4	130.7	100.3

Sumber : Hasil Pengolahan (2022)

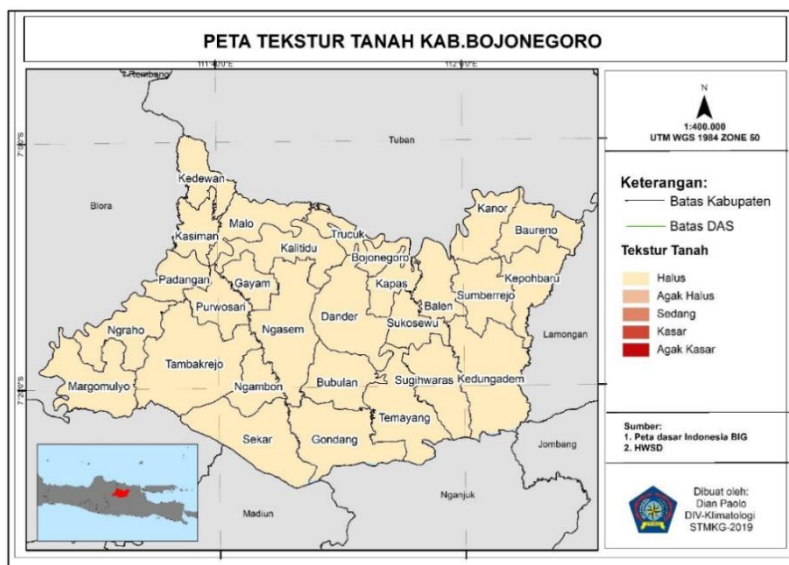
**Karakteristik DAS Begawan Solo dan Kabupaten Bojonegoro**

Sebaran wilayah banjir di Bojonegoro tidak lepas dari pengaruh DAS Bengawan Solo. Oleh karena itu faktor penyebab banjir yaitu tekstur tanah, kerapatan aliran, kemiringan lahan, tutupan lahan dan curah hujan tahunan dibuat berdasarkan wilayah DAS Bengawan Solo.



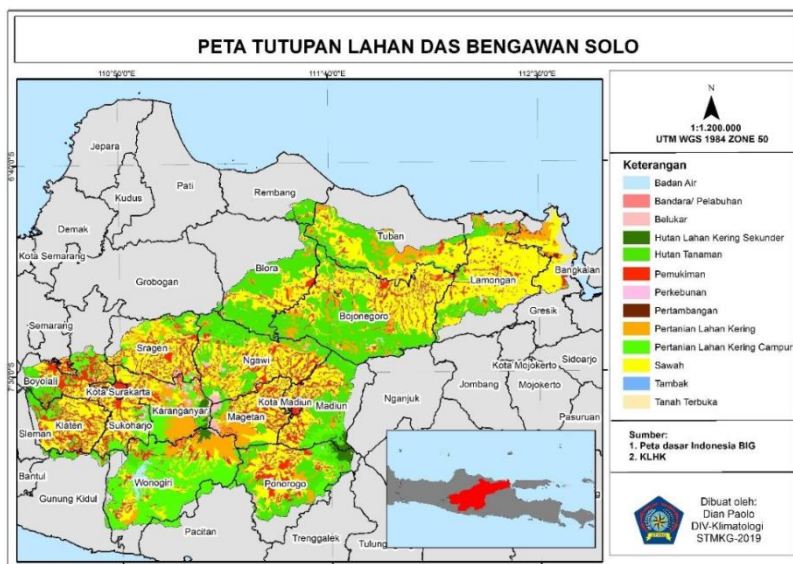
**Gambar 4.** Tekstur Tanah DAS Bengawan Solo

Tekstur tanah wilayah DAS Bengawan Solo didominasi tekstur halus, sementara wilayah lainnya tekstur tanahnya sedang yakni di sekitar daerah Gunung Merbabu dan Gunung Lawu.



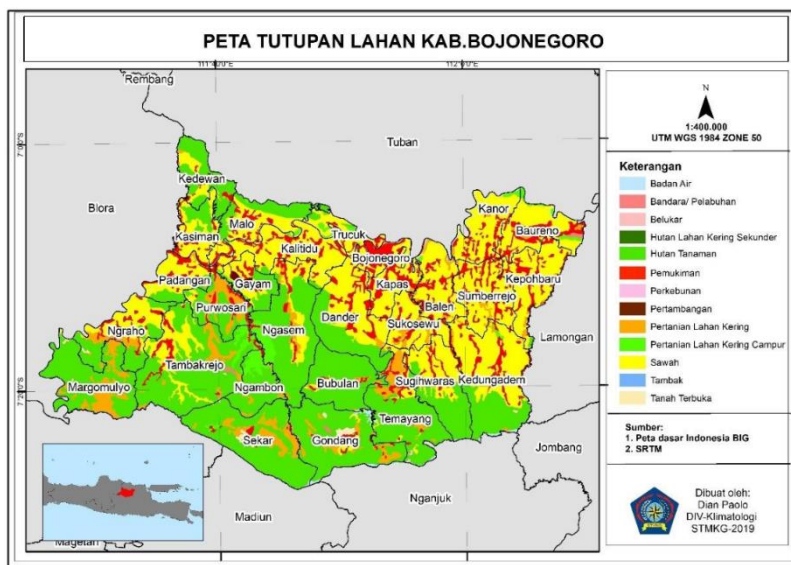
Gambar 5. Tekstur Tanah Kabupaten Bojonegoro

Tekstur tanah di wilayah Kabupaten Bojonegoro memiliki tekstur tanah yang halus 100%. Tanah dengan tekstur halus adalah tanah yang memiliki setidaknya kandungan liat sebesar 37,5 persen di dalam tanah. Tanah liat yang ada di dalam tanah akan membuat pori-pori di dalamnya menjadi lebih mengecil dan tanah akan terasa lebih padat dan berat.



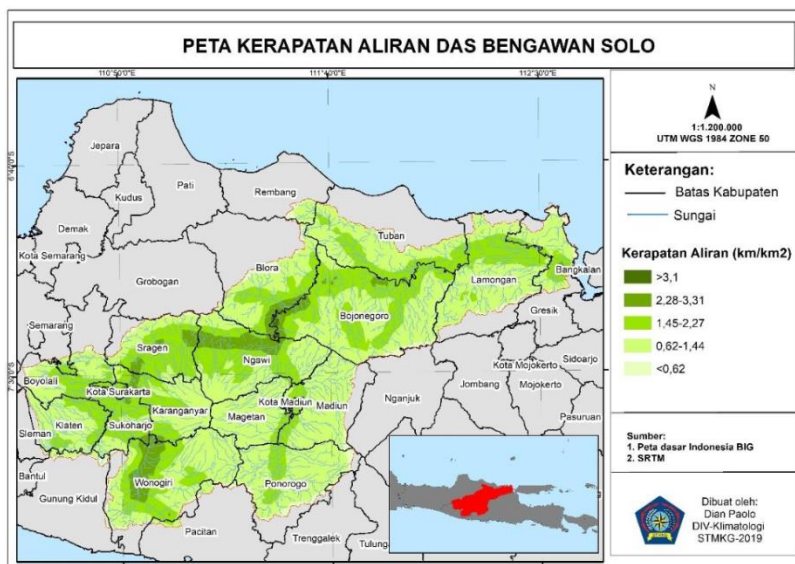
Gambar 6. Tutupan Lahan DAS Begawan Solo

Tutupan lahan wilayah DAS bengawan solo didominasi hutan tanaman sebesar 24% dan sawah 37%. Sebagian besar wilayah yang didominasi hutan tanaman adalah Kab.Wonogoi, Bojonegoro dan Blora, sedangkan yang didominasi oleh sawah adalah Kab.Sragen, Lamongan, Kota Surakarta, Klaten dan Magetan.



Gambar 7. Tutupan Lahan Kabupaten Bojonegara

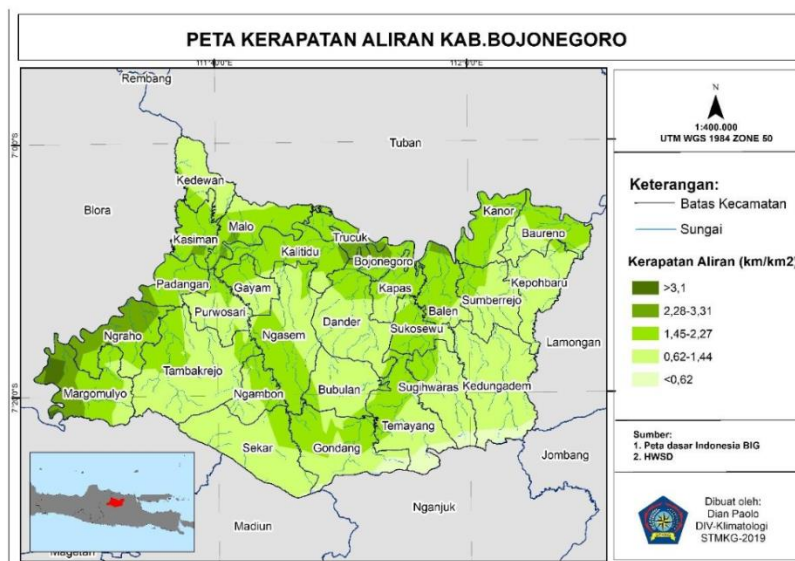
Kabupaten Bojonegara didominasi oleh hutan tanaman seluas 98.535ha (42%) dan sawah seluas 84.566ha (36%). Hutan tanaman banyak terdapat di daerah selatan Kabupaten Bojonegara yaitu Kecamatan Margumulyo, Kecamatan Tambakrejo, Kecamatan Purwosari, Kecamatan Ngasem, Kecamatan Ngambon, Kecamatan Sekar, Kecamatan Gondang, Kecamatan Bubulan, Kecamatan Temayang. Sedangkan utara Kabupaten Bojonegara didominasi oleh sawah dan permukiman antara lain Kecamatan Padangan, Kasiman, Malo, Kalitidu, Trucuk, Dander, Kapas, Balen, Sukosewu, Sumberejo, Keponbaru, Sugihwaras, Kedungadem.



Gambar 8. Kerapatan Aliran DAS Bengawan Solo

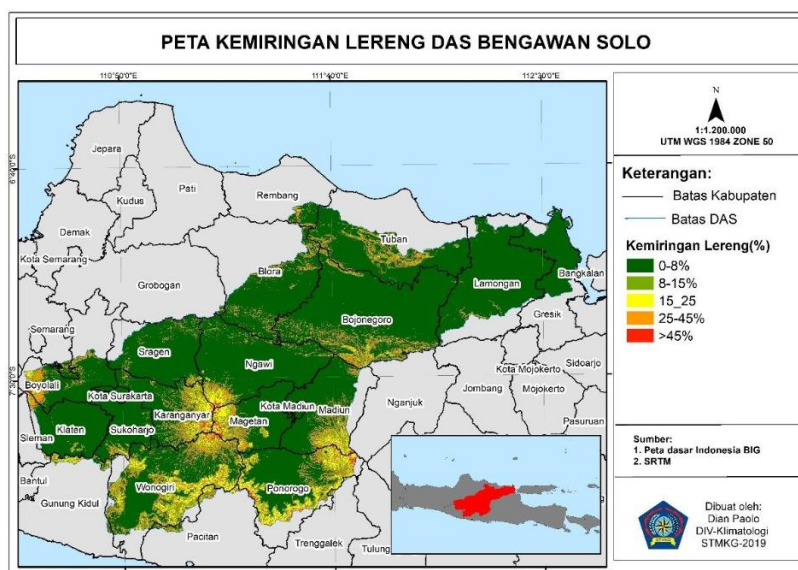
Kerapatan aliran DAS Bengawan Solo menunjukkan bahwa kerapatan aliran di sekitar sungai utama berkisar antara agak rapat hingga rapat. Kerapatan aliran sebagian wilayah DAS Bengawan Solo 0,62-1,44 km<sup>2</sup> sebanyak 59% wilayahnya masuk dalam kategori agak jarang.





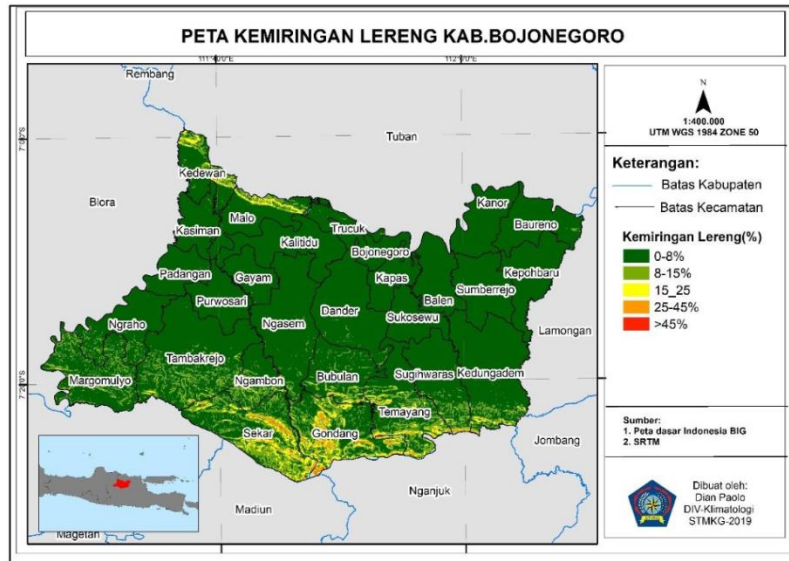
Gambar 9. Kerapatan Aliran Kabupaten Bojonegoro

Kerapatan aliran di Kabupaten Bojonegoro terbagi menjadi 5 kelas yang mendominasi adalah kelas sedang dan agak jarang pada rentang 0,62-2,27km/km. Kelas jarang dengan persentase 51% atau seluas 12.1043 ha. Sedangkan wilayah dengan rapat hingga agak rapat ada di sejumlah wilayah yaitu Kecamatan Margomulyo, Ngraho, Padangan, Kasiman, Trucuk, Bojonegoro, Kanor dan Balen.



Gambar 10. Kemiringan Lereng DAS Bengawan Solo

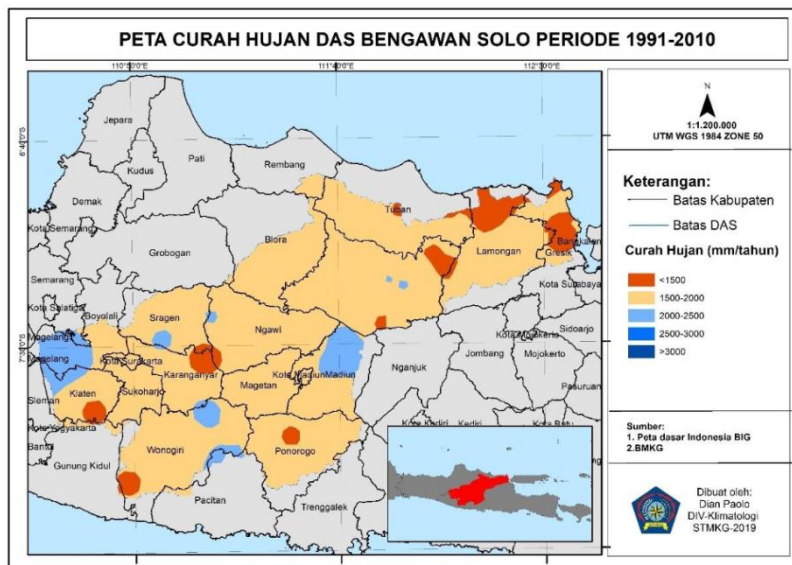
Kemiringan lereng DAS Bengawan Solo bervariasi dari landai hingga curam, namun paling didominasi kategori datar atau kemiringan 0%-8% terutama bagian wilayah utara DAS Bengawan Solo atau wilayah hilir DAS Bengawan Solo. Terdapat beberapa wilayah yang memiliki kemiringan agak curam hingga curam seperti Gunung Lawu yang terletak diantara 3 Kabupaten yaitu Kabupaten Karanganyar, Kabupaten Ngawi, Jawa Timur dan juga Gunung Merapi dan Merbabu dan Gunung Lawu yang ada di sebelah barat DAS Bengawan Solo. Sehingga DAS Bengawan Solo Hulu mengalirkan air dari lereng Gunung Merapi, Merbabu dan Lawu menuju Laut Jawa di utara Surabaya.



Gambar 11. Kemiringan Lereng Kabupaten Bojonegoro

Kemiringan lereng di Kabupaten Bojonegoro didominasi pada kelas 0-8% atau yang masuk dalam kelas datar sebanyak 86% namun beberapa wilayah di sebelah selatan Bojonegoro memilikir kemiringan lereng dari landai hingga agak curam sebesar 12% seperti Kecamatan Gondang, Sekar, Ngambon, Temayang, Margomulyo.

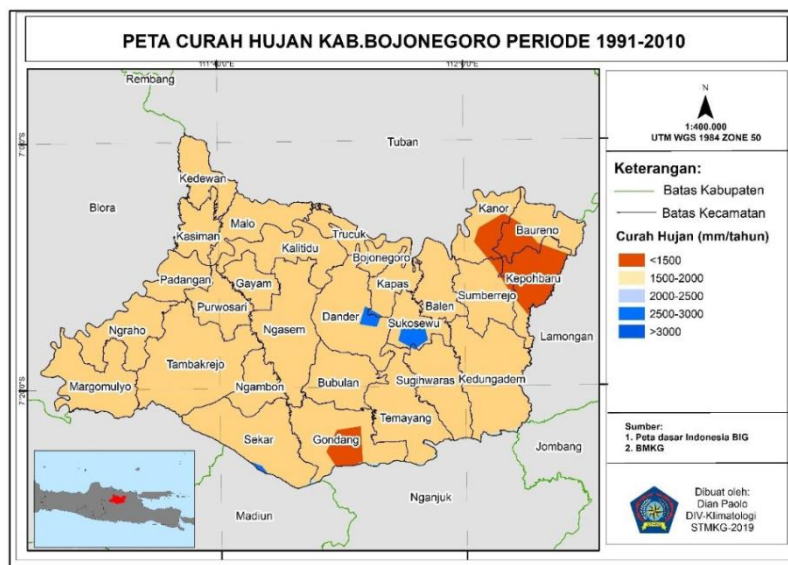
Curah Hujan Normal (1991-2010) dan Proyeksi Curah Hujan di Masa Depan (2031-2040)



Gambar 12. Curah Hujan Tahunan DAS Begawan Solo Periode 1991-2010

Peta curah hujan tahunan DAS Bengawan Solo merupakan hasil perhitungan akumulasi curah hujan tahunan yang diambil dari 78 pos hujan yang tersebar di daerah tersebut. Semakin tinggi curah hujannya maka semakin berpotensi terjadi banjir, begitu pula sebaliknya. Semakin rendah curah hujannya, maka semakin aman akan bencana banjir. Proyeksi curah hujan di masa depan (2031-3040) menggunakan proyeksi yang dikeluarkan oleh BMKG dimana model yang digunakan adalah RCP4.5 karena dianggap mendekati kondisi sekarang. Model proyeksi yang digunakan adalah CORDEX.

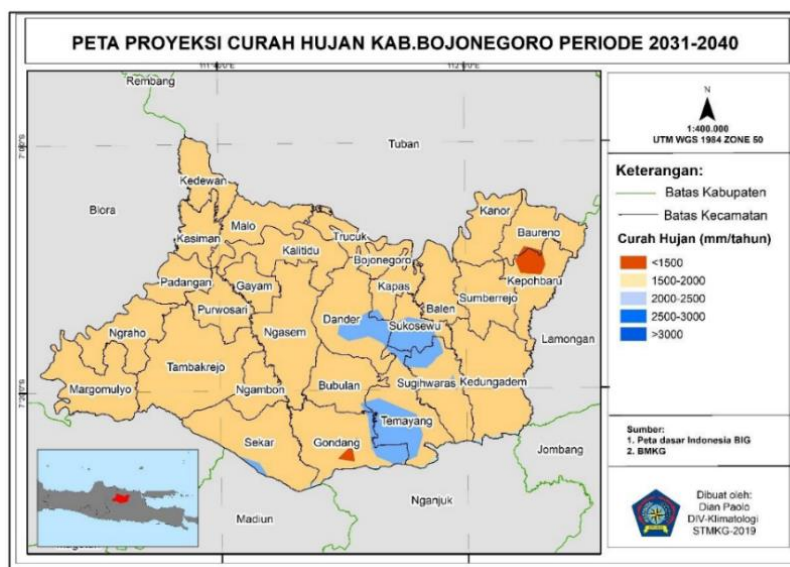




**Gambar 13.** Curah Hujan Tahunan Kabupaten Bojonegoro Periode 1991-2010

Peta Intensitas Curah Hujan DAS Bengawan Solo menunjukkan bahwa intensitas curah hujan yang mendominasi antara 1500 – 2000 mm/tahun sebanyak 86% dimana termasuk kategori kering. Sementara curah hujan anatar 2000-2500mm/tahun hanya 19%. Curah hujan tertinggi ada di wilayah Kecamatan Boyolali dimana berdekatan dengan pegunungan Merapi atau bagian hulu DAS Bengawan Solo.

Kabupaten Bojonegoro juga 93% wilayahnya memiliki curah hujan 1500- 2000 mm/tahun dan termasuk dalam kategori kering.



**Gambar 14.** Proyeksi Curah Hujan Kabupaten Bojonegoro 2031-2040

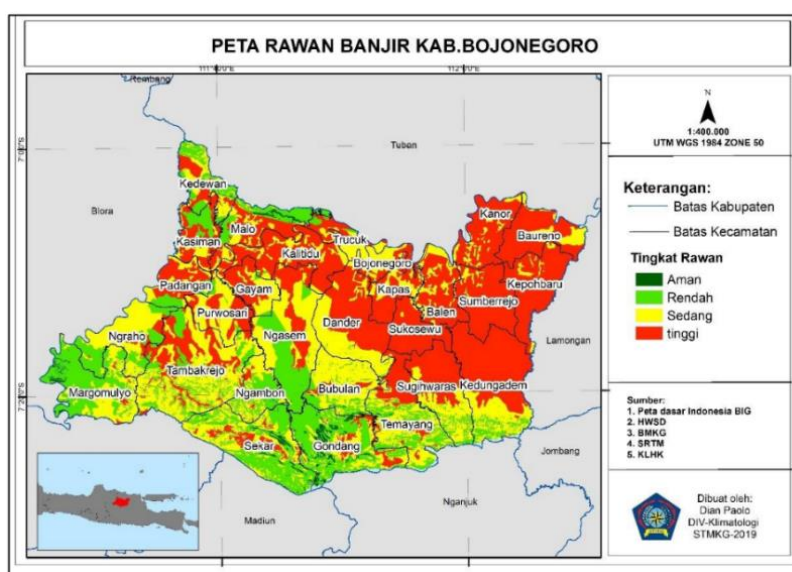
Selain itu daerah yang memiliki intensitas curah hujan tinggi yaitu lebih dari 2000 mm/tahun terdapat di sebagian kecil Kecamatan Sukosewu dan Dander. Sedangkan daerah yang memiliki intensitas curah hujan rendah yaitu kurang dari 1500 mm/tahun meliputi Kecamatan Kepohbaru, Gondang, Baureno dan Kanor.

Proyeksi curah hujan di masa mendatang menggunakan proyeksi yang dikeluarkan oleh BMKG dimana model yang digunakan adalah RCP4.5 karena dianggap mendekati kondisi sekarang. Model proyeksi yang digunakan adalah CORDEX.

Proyeksi curah hujan tahunan Kabupaten Bojonegoro berdasarkan RCP4.5 menunjukkan sebagian besar wilayah memiliki curah hujan pada rentang 1500-2000mm/tahun yang masuk dalam kategori kering. Beberapa kecamatan yang memiliki curah hujan <1500mm/tahun seperti Kecamatan Gondang dan Kepohbaru. Selain itu sebagian kecamatan Dander, Sukosewu dan Temayang memiliki curah hujan antara 2000-2500mm/tahun. Jika dibandingkan dengan curah hujan periode 1991-2010 terdapat peningkatan luas wilayah sebesar 5% untuk kategori 2000-2500mm/tahun.

### Rawan Banjir Kabupaten Bojonegoro Periode 1991-2010

Peta rawan banjir Kabupaten Bojonegoro didapatkan dengan teknik overlay pada parameter banjir yaitu curah hujan tahunan, kemiringan lereng, kerapatan aliran, tutupan lahan dan tekstur tanah. Dalam pengolahannya menggunakan curah hujan observasi periode 1991-2010. Kabupaten Bojonegoro didominasi kerawanan tingkat sedang hingga tinggi di bagian utara, sedangkan bagian selatan didominasi oleh kerawanan pada tingkat rendah.



**Gambar 15.** Peta Rawan Banjir Kabupaten Bojonegoro Periode 1991-2010

Hasil dari pengolahan menunjukkan bahwa tingkat kerawanan di tingkat yang tinggi seluas 95.329 ha (41%), pada tingkat sedang seluas 82.879 ha (35,7%), sedangkan tingkat rendah seluas 51.026 ha (22%). Hanya sebagian daerah yang ada pada tingkat aman. Sebagian besar wilayah yang memiliki tingkat rawan banjir yang tinggi yaitu bagian utara Kabupaten Bojonegoro seperti Kecamatan Balen, Baureno, Dander, Gayam, Kalitidu, Kasiman, Kedungadem, Kepohbaru, Malo, Padangan, Sugihwaras, Sumberejo dan Sukosewu. Sedangkan tingkat kerawanan banjir kategori aman hingga rendah terletak di Kecamatan Gondang, Margomulyo, Ngambon dan Sekar.

Selanjutnya dilakukan validasi untuk melihat kesesuaian antara peta rawan dengan kejadian banjir yang terjadi di Kabupaten Bojonegoro. Data yang digunakan berasal dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kab.Bojonegoro Periode 2016- 2018.

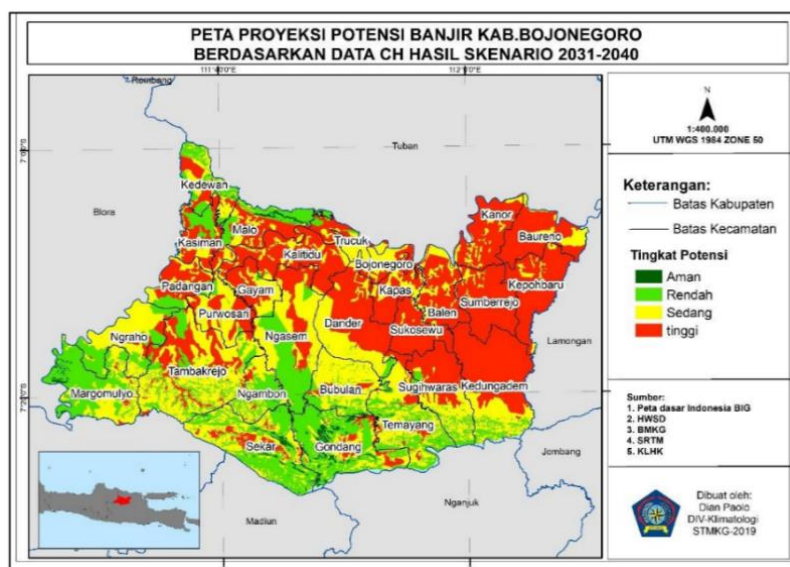
**Tabel 8.** Kesesuaian Peta Rawan Banjir dengan Kejadian Banjir Periode 2016-2018

Kecamatan	Rawan	Keterangan	Kecamatan	Rawan	Keterangan
Balen	Tinggi	Sesuai	Malo	Tinggi	Sesuai
Baureno	Tinggi	Sesuai	Margomulyo	Rendah	Sesuai
Bojonegoro	Sedang	Sesuai	Ngambon	Rendah	Sesuai
Bubulan	Sedang	Tidak sesuai	Ngasem	sedang	Sesuai
Dander	Tinggi	Sesuai	Ngraho	Sedang	Sesuai
Gayam	Tinggi	Tidak sesuai	Padangan	Tinggi	Sesuai
Gondang	Rendah	Sesuai	Purwosari	sedang	Tidak sesuai
Kalitidu	Tinggi	Sesuai	Sekar	Rendah	Sesuai
Kanor	Tinggi	Sesuai	Sugihwaras	Tinggi	Tidak sesuai
Kapas	Tinggi	Sesuai	Sukosewu	Tinggi	Tidak sesuai
Kasiman	Tinggi	Tidak sesuai	Sumberrejo	Tinggi	Tidak sesuai
Kedewan	Rendah	Sesuai	Tambakrejo	Sedang	Tidak sesuai
Kedungadem	Tinggi	Tidak sesuai	Temayang	Sedang	Sesuai
Kepohbaru	Tinggi	Tidak sesuai	Trucuk	Sedang	Sesuai

Sumber : Hasil Pengolahan (2022)

### Proyeksi Potensi Banjir Kabupaten Bojonegoro Berdasarkan Data Model RCP 4.5 Periode 2031-2040

Peta potensi banjir Kabupaten Bojonegoro periode 2031-2040 berdasarkan pengolahan data curah hujan model RCP 4.5 menunjukkan bahwa bagian utara Kabupaten Bojonegoro didominasi potensi banjir tingkat tinggi sedangkan bagian selatan lebih dominan pada tingkat rendah hingga sedang. Sebagian besar wilayah yang memiliki tingkat rawan banjir yang sedang hingga tinggi yaitu bagian utara Kabupaten Bojonegoro seperti Kecamatan Balen, Dander, Gayam, Kalitidu, Kasiman, Kedungadem, Kepohbaru, Malo, Margomulyo, Padangan, Sumberrejo dan Sukosewu. Potensi banjir kategori rendah sebagian besar adalah Kecamatan Gondang, Kedewan, Margomulyo, Ngambon dan Sekar.



**Gambar 16.** Proyeksi potensi banjir berdasarkan hasil Skenario RCP4.5 2031-2040

Hasil perhitungan luas dan persentase tingkat potensi banjir seperti pada tabel di atas menunjukkan wilayah paling luas ada pada tingkat tinggi seluas 99.955ha (43%), selanjutnya tingkat sedang 79.889ha (34,4%), tingkat rendah 49.973ha(21,5%) dan tingkat aman 2.481(1,1%).

**Tabel 9.** Proyeksi Luas Potensi Banjir Per Kecamatan Tahun 2031-2040

Kec	Luas (ha)				Kec	Luas (ha)			
	Aman	Rendah	Sedang	Tinggi		Aman	Rendah	Sedang	Tinggi
Balen			1796.1	4644.1	Malo	297.6	2262.1	1497.3	3205.6
Baureno			1604.0	5553.1	Margomulyo	292.7	6210.8	4353.2	238.8
Bojonegoro			1470.9	1014.4	Ngambon	36.4	2492.1	1996.7	280.0
Bubulan	95.8	1760.5	5253.9	737.0	Ngasem	10.4	5099.1	5457.8	3408.5
Dander	1.2	342.8	4607.0	7246.2	Ngraho		2940.8	4979.2	671.6
Gayam		145.2	1715.0	2294.3	Padangan		1078.0	1179.4	2724.7
Gondang	1062.1	6585.4	2977.9	1576.3	Purwosari		240.3	3199.2	2303.7
Kalitidu		64.2	1959.3	7023.2	Sekar	581.6	6200.1	4961.8	1641.1
Kanor			1031.1	5622.9	Sugihwaras		1230.8	2867.2	4719.2
Kapas			1313.6	3168.9	Sukosewu			306.1	4650.6
Kasiman		1195.2	953.3	2791.9	Sumberrejo			431.6	7264.8
Kedewan	41.9	2318.5	1941.4	1401.7	Tambakrejo	12.1	4246.3	10589.3	4741.1
Kedungadem		1128.9	3325.7	10815.3	Temayang	49.7	4120.5	5987.3	1481.6
Kepohbaru			528.7	7249.7	Trucuk	0.1	311.6	1597.2	1485.3

Sumber : Hasil Pengolahan (2022)

## SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dan analisis yang telah dilakukan dalam penelitian ini menunjukkan zonasi wilayah rawan banjir di Kabupaten Bojonegoro periode 1991-2010 menunjukkan tingkat kerawanan banjir sebagai berikut : kategori aman seluas 2.056 ha, kategori rendah seluas 51.026 ha, kategori sedang seluas 82.879 ha dan kategori tinggi seluas 95.392 ha. Untuk Zonasi wilayah potensi banjir di Kabupaten Bojonegoro berdasarkan hasil proyeksi skenario RCP 4.5 periode 2031-2040 menunjukkan tingkat kerawanan banjir sebagai berikut : kategori aman seluas 3.056 ha, kategori rendah seluas 51.026 ha, kategori sedang seluas 82.879 ha dan kategori tinggi seluas 95.329 ha. Jika dibandingkan dengan peta rawan banjir, potensi banjir berdasarkan skenario RCP4.5 periode 2031-2040 secara umum tidak terjadi perubahan yang signifikan. Saran untuk penelitian selanjutnya agar dapat melakukan pengecekan langsung ke lapangan untuk tingkat akurasi hasil penelitian yang lebih tinggi, selain itu diperlukan proyeksi parameter iklim lain selain curah hujan sebagai inputan proyeksi banjir masa depan.

## DAFTAR RUJUKAN

- Abramowitz, M., Stegun, I. A. (1964). Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables. New York: Dover.
- Asdak, C. (2004). Hidrologi Dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Gadjah Mada University Press.
- Aji N., M. D., Sudarsono, B., & Sasmito, B. (2014). Identifikasi Zona Rawan Banjir Menggunakan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus: Sub Das Dengkeng). Jurnal Geodesi Undip, 3(1).
- Arfan, A., Maru, R., & Side, S. (2020). Persepsi Masyarakat dalam Pengelolaan Kawasan Hutan Mangrove sebagai Wilayah Produksi di Kabupaten Luwu. LaGeografia, 18(2), 150-159. <https://doi.org/10.35580/lageografia.v18i2.12960>
- Badwi, N., Invanni, I., & Abbas, I. (2020). Pemetaan Tingkat Rawan Bencana Banjir di Daerah Aliran Sungai Maros Provinsi Sulawesi Selatan. LaGeografia, 18(3), 309-322. <https://doi.org/10.35580/lageografia.v18i3.13930>



- Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? - Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific Model Development*, 7(3), 1247-1250. <https://doi.org/10.5194/gmd-7-1247-2014>
- Fajri, A. S., & Widayanti, B. H. (2018). Analisis Kerentanan Daerah Rawan Banjir Berbasis Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus: Kecamatan Sekarbela - Kota Mataram). *Jurnal Planoeearth*, 3(1), 36. <https://doi.org/10.31764/jpe.v3i1.218>
- Faradiba, I. Y., Rachmawati, T. A., & Usman, F. (2020). Adaptasi Masyarakat Terhadap Bencana Banjir di Kecamatan Trucuk, Kabupaten Bojonegoro. *Planning for Urban Region and Environment Journal (PURE)*, 9(3), 51-58.
- Febriyanti, L. (2018). Analisis Spasial Kesesuaian Lahan Tanaman Kakao (*Theobroma cacao*) di Kabupaten Sikka. Tersedia dari Dissertations and Theses IPB Repository. (IPB No.95512)
- Hasan, M. F. (2015). Analisis Tingkat Kerawanan Banjir Di Kabupaten Lamongan. *Swara Bumi*, 3(3), 239-247.
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC: Geneva, Switzerland.
- IPCC. (2018). *Global Warming of 1.5 °C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5 °C Above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty*. IPCC: Geneva, Switzerland.
- Kim, N. W., Lee, J. Y., Park, D. H., & Kim, T. W. (2019). Evaluation of future flood risk according to rcp scenarios using a regional flood frequency analysis for ungauged watersheds. *Water (Switzerland)*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/w11050992>
- Kurniawati, A. (2015). Aplikasi Sistem Informasi Geografi Untuk Pemetaan Kerawanan Banjir Genangan Di Kabupaten Sragen Yang Masuk Das Bengawan. Tersedia dari Karya Akhir Universitas Gadjah Mada]. <http://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/83859>
- Lenderink, G., Buishand, A., & van Deursen, W. (2007). Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(3), 1145-1159. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1145-2007>
- Maghsood, F. F., Moradi, H., Massah Bavani, A. R., Panahi, M., Berndtsson, R., & Hashemi, H. (2019). Climate change impact on flood frequency and source area in northern Iran under CMIP5 scenarios. *Water*, 11(2), 273. <https://doi.org/10.3390/w11020273>
- Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., Van Vuuren, D. P., ... & Wilbanks, T. J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463(7282), 747-756. <https://doi.org/10.1038/nature08823>
- Pasandaran, E. H., Syakir, M., & Yufdy, M. P. (2017). *Memperkuat Kemampuan Wilayah Menghadapi Perubahan Iklim* (1st ed.). IAARD Press.
- Primayuda, A. (2006). Pemetaan Daerah Rawan dan Resiko Banjir Menggunakan Sistem Informasi Geografis. Tersedia dari Dissertations and Theses IPB Repository. (IPB No. 50538)
- Sari, D. E., & Murti, S. H. (2013). Aplikasi Penginderaan Jauh Dan Sistem Informasi Geografi Untuk Pemetaan Zona Rawan Banjir Di Sub Daerah Aliran Sungai Celeng Kecamatan Imogiri Kabupaten Bantul. *Simpodium Nasional Sains Geoinformasi - III*, September 2013, 365-374.
- Siew, J. H., Tangang, F. T., & Juneng, L. (2014). Evaluation of CMIP5 coupled atmosphere-ocean general circulation models and projection of the Southeast Asian winter monsoon in the 21st century. *International Journal of Climatology*, 34(9), 2872-2884. <https://doi.org/10.1002/joc.3880>
- Sulaeman, A., & Suhartanto, E. (2017). Bengawan Solo Untuk Mendukung Peta Risiko. *Jurnal Teknik Pengairan*, 8(2), 146-157. <https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2017.008.02.1>
- Tampubolon, K. (2018). Aplikasi Sistem Informasi Geografis (Sig) Sebagai Penentuan Kawasan Rawan Banjir Di Kota Medan. *Jurnal Pembangunan Perkotaan*, 6(2), 63-68.



- Yang, L., Feng, Q., Yin, Z., Wen, X., Si, J., Li, C., & Deo, R. C. (2017). Identifying separate impacts of climate and land use/cover change on hydrological processes in upper stream of Heihe River, Northwest China. *Hydrological Processes*, 31, 1100-1112. <https://doi.org/10.1002/hyp.11098>
- Wijayanti, S. (2017). *Proyeksi Dampak Perubahan Iklim Terhadap Ancaman Bahaya Banjir Das Batanghari*. Tersedia dari Dissertations and Theses IPB Repository.(IPB No. 89673)
- Wong, D. W. (2016). Interpolation: Inverse-Distance Weighting. *International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology: People, the Earth, Environment and Technology*, 1-7. <https://doi.org/10.1002/9781118786352.wbieg0066>