

Impact-Based Forecasting (IBF) untuk Mendukung Manajemen Risiko Banjir di Kawasan Jabodetabek

Muhammad Afif Shofiyudh Dhuha¹, Agung Hari Saputra^{1*}, Aries Kristianto¹, dan Aditya Mulya¹

¹Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika; e-mail: agung.hs@stmkg.ac.id

ABSTRAK

Bencana Banjir menimbulkan dampak dan kerugian yang cukup besar pada berbagai sektor di Jabodetabek. Pengembangan informasi cuaca diperlukan untuk mengurangi dampak dan kerugian tersebut. *Impact-based Forecasting* (IBF) menjadi salah satu sistem yang bertujuan untuk meningkatkan informasi cuaca yang terintegrasi dengan prakiraan potensi dampak yang dapat terjadi. Penelitian ini menerapkan teknik *Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk memetakan tingkat risiko banjir di Jabodetabek dengan mempertimbangkan parameter curah hujan, kepadatan penduduk, jarak kerapatan jalan, jarak ke sungai, tata guna lahan, geologi, jenis tanah, rata-rata banjir tahunan, kemiringan, dan *drainage density*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh parameter mempunyai pengaruh terhadap bencana banjir, dimana curah hujan menjadi parameter yang paling berpengaruh sebesar 25%. Jarak kerapatan jalan menjadi parameter dengan pengaruh paling kecil, yakni hanya sebesar 2%. Nilai *Consistency Ratio* (CR) yang dihasilkan sebesar 0,04 sehingga menunjukkan hasil pemetaan risiko banjir yang relevan. Data model curah hujan *Global Ensemble Forecast System* (GEFS) diimplementasikan ke dalam pemetaan risiko banjir untuk menghasilkan sistem *Impact-based Forecasting* (IBF), yang memberikan kemungkinan terjadinya curah hujan. Berdasarkan verifikasi yang dilakukan, prakiraan dampak yang diberikan memberikan hasil yang selaras dengan kejadian sebenarnya. Hasil ini menunjukkan bahwa informasi prakiraan potensi dan dampak banjir yang diberikan memberikan hasil yang baik dan representatif.

Kata kunci: Dampak, Banjir, *Impact-based Forecasting* (IBF), *Analytical Hierarchy Process* (AHP), Sistem Informasi Geografis (SIG)

ABSTRACT

Flood disasters have had significant impacts and losses in various sectors in Greater Jakarta. The development of weather information is necessary to reduce these impacts and losses. *Impact-based Forecasting* (IBF) is one system aimed at improving integrated weather information with forecasts of the potential impacts that may occur. This study applies the *Analytical Hierarchy Process* (AHP) technique to map the flood risk levels, considering parameters such as rainfall, population density, distance to roads, distance to rivers, land use, geology, soil types, average flood occurrences, slope, and *drainage density*. The results indicate that all parameters have an influence on flooding, with rainfall being the most influential at 25%. Distance to roads is the parameter with the smallest influence, scoring only 2%. The calculated *Consistency Ratio* (CR) value is 0.04, indicating relevant flood risk mapping results. The data from the *Global Ensemble Forecast System* (GEFS) rainfall model is implemented into the flood risk mapping to generate the *Impact-based Forecasting* (IBF) system, which provides the probability of rainfall occurrence. Based on the verification conducted, the impact forecasts provided align well with the actual occurrences. These results demonstrate that the provided flood potential and impact forecasts are considered good and representative.

Keywords: Impact, Flood, *Impact-based Forecasting* (IBF), *Analytical Hierarchy Process* (AHP), Geographic Information Systems (GIS)

Citation: Dhuha, MAS., Saputra, AH., Kristianto, A., Mulya, A. (2024). *Impact-Based Forecasting* (IBF) untuk Mendukung Manajemen Risiko Banjir di Kawasan Jabodetabek. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(5), 1159-1173, doi:10.14710/jil.22.5.1159-1173

1. PENDAHULUAN

Jabodetabek merupakan kawasan yang penataan ruangnya diprioritaskan karena memiliki pengaruh penting secara nasional (PP No. 60 Tahun 2020). Banjir merupakan salah satu bencana hidrometeorologi yang dapat memberikan dampak terhadap keberlangsungan hidup dan aktivitas

manusia (Setiawan dkk., 2020). Kejadian banjir yang terjadi di Jabodetabek tidak hanya disebabkan oleh parameter meteorologi seperti curah hujan saja, melainkan juga disebabkan oleh parameter lain seperti jenis tanah dan kemiringan (Ariyora dkk., 2015), *drainage density* dan tata guna lahan

(Aldimasqie dkk., 2022), geologi (Harsoyo, 2013), dan parameter lainnya.

Berdasarkan laporan Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), sepanjang tahun 2021 terjadi sebanyak 1794 kejadian bencana banjir, dimana 236 diantaranya terjadi di Jabodetabek. Ginting (2020) menyatakan bahwa salah satu kejadian banjir di Jabodetabek pada awal tahun 2020 telah menimbulkan kerugian lebih dari 10 triliun rupiah. Dengan besarnya dampak yang ditimbulkan, dan tingginya kejadian bencana banjir yang terjadi di Jabodetabek, maka diperlukan suatu upaya mitigasi yang diprioritaskan untuk meminimalisir dampak dari bencana yang ditimbulkan baik dari segi meteorologi dan non meteorologi (Septian dkk., 2020; Singhal dkk., 2022).

Impact-based Forecasting (IBF) menjadi salah satu upaya *World Meteorological Organization* (WMO) yang dikembangkan melalui pengembangan sistem peringatan dini untuk memperkirakan potensi dan dampak yang dapat ditimbulkan dari suatu bencana (Boult dkk., 2022; Kox dkk., 2018; Taylor dkk., 2019). Sistem prakiraan ini merupakan penggabungan dari komponen bahaya, keterpaparan, dan kerentanan untuk mengidentifikasi risiko (ESCAP, 2021; WMO, 2015), yang digunakan untuk memprediksi waktu, lokasi, dan besarnya kejadian yang berpotensi merusak dan memberikan dampak (Merz dkk., 2020; Weyrich dkk., 2018). Dalam pengembangannya, sistem ini membutuhkan pemahaman berkelanjutan mengenai bahaya hidrometeorologi yang dikombinasi dengan pemetaan daerah rawan banjir yang mencakup informasi lokal tentang keadaan wilayahnya (Rözer dkk., 2021).

Saat ini, Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) dan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) menjadi dua instansi yang bertanggung jawab terhadap sistem *Impact-based Forecasting* (IBF) di wilayah Indonesia (Ali dkk., 2021). Jika meninjau modul teknis penyusunan ajain risiko bencana banjir yang dikelola oleh BNPB pada tahun 2019, penyusunan peta risiko banjir belum meliputi beberapa parameter yang memiliki pengaruh terhadap bencana banjir seperti curah hujan tahunan (Hasanuzzaman dkk., 2022), kepadatan penduduk (Swain dkk., 2020), jarak ke sungai dan jarak kerapatan jalan (Rahman dkk., 2021), rata-rata banjir tahunan (Ramadhani dkk., 2021; Tempa, 2022), jenis dan kemiringan tanah (Aldimasqie dkk., 2022), *drainage density* (Hammami dkk., 2019), tata guna lahan (Hamdani dkk., 2014), serta informasi geologi (Saranya & Saravanan, 2020). Disisi lain, adanya pembaharuan data komponen dalam IBF juga diperlukan untuk meningkatkan kualitas prakiraan risiko dan dampak yang dapat ditimbulkan (UKMO, 2020). Maka dari itu, diperlukan optimasi dan pengembangan berbasis eksperimen terhadap prakiraan cuaca berbasis dampak (IBF) dengan menyempurnakan komponen tersebut, terutama komponen keterpaparan dan kerentanan.

Penelitian ini akan melakukan penggabungan beberapa parameter yang berpengaruh terhadap bencana banjir dengan menggunakan teknik AHP, sehingga akan dihasilkan peta tingkat risiko banjir yang kemudian diterapkan pada sistem IBF. Data model nilai probabilitas curah hujan, akan digunakan sebagai data komponen bahaya pada sistem tersebut. Dengan demikian, akan diperoleh prakiraan potensi wilayah yang akan terjadi bencana banjir berbasis dampak yang terdistribusi secara spasial. Tujuan Penelitian berbasis eksperimen perubahan dan pengembangan sistem ini, diharapkan dapat memberikan informasi dan peringatan dini bencana banjir yang dapat ditinjau dan direspon lebih lanjut untuk meminimalisir dampak dan potensi kerugian yang ditimbulkan.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi

Penelitian ini dilakukan di kawasan Jabodetabek. Wilayah penelitian terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Wilayah Penelitian

2.2. Alat dan Data

Penelitian ini menggunakan alat berupa ArcGIS Pro versi 3.1 untuk mengolah data pemetaan dan visualisasi sistem *Impact-based Forecasting* (IBF), Sistem pembobotan *Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk menentukan penilaian pembobotan dan skoring pada setiap parameter, serta *spreadsheets* untuk mengolah data dan konvolusi penilaian skenario dampak. Selanjutnya penelitian ini menggunakan data sebagai berikut:

1. Rata-rata curah hujan tahunan periode 2012-2021 yang disediakan oleh PERSIANN_Cloud Classification System (PERSIANN-CCS) dengan resolusi spasial $0.4^\circ \times 0.4^\circ$. data tersebut dapat diunduh dengan format .tif pada laman CHRS. (<https://chrdata.eng.uci.edu/>)
2. Data rekapitulasi banjir tahunan pada seluruh kawasan Jabodetabek pada periode tahun 2018-2021 yang dapat diakses pada website resmi BPS. (<https://www.bps.go.id/publication.html>) Adapun data rata-rata tahunan didapatkan dari pengolahan rekapitulasi banjir tersebut.

3. Data Digital Elevasi Model (DEM) yang bersumber dari IFSAR dan TERRASAR-X dengan resolusi 5m yang bersumber dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Data ini bisa digunakan sebagai data kemiringan, dan *drainage density*. Data dengan format raster ini diunduh melalui laman resmi BIG. (<https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/#/demnas>)
4. Data jenis tanah dengan skala spasial 1:5.000.000 yang bersumber dari *Food and Agriculture Organization (FAO)* dan dikelola oleh UNESCO. Data dengan format .shp tersebut dapat diunduh pada website resmi FAO_UNSECO. (<https://data.apps.fao.org/map/catalog/srv>)
5. Data dengan format .shp yang dapat diakses pada laman resmi Rupa Bumi Indonesia (RBI), dimana laman ini memuat data tata guna lahan, geologi, sungai, jalan, dan data kependudukan dengan resolusi skala 1:25.000. (<https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/>)
6. Data model prakiraan curah hujan GEFS dengan resolusi 0.25×0.25 dengan format .nc yang didapatkan melalui Pusat Meteorologi Publik BMKG dengan surat permohonan data.
7. Data Akumulasi Curah hujan pada tanggal 5 November 2022 dan 24 Februari 2023 pada 121 Stasiun pengamat curah hujan yang tersebar di kawasan Jabodetabek. Tanggal tersebut dipilih berdasarkan adanya laporan bencana banjir yang kemudian akan digunakan sebagai data verifikasi. Data ini diperoleh dari Pusat Database BMKG dengan surat permohonan data.

2.3. Pegolahan Data

Prosedur dan teknik pengolahan data dilakukan sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data yang digunakan dalam penelitian yang kemudian diolah menggunakan ArcGIS, sistem pembobotan AHP, dan *Spreadsheets*.
2. Data banjir pada periode tahun 2018-2021 direkapitulasi dan diolah menjadi data rata-rata kejadian bencana banjir dengan menggunakan *spreadsheets*.
3. Untuk visualisasi dan pembobotan dalam AHP, setiap parameter dilakukan klasifikasi berdasarkan penelitian sebelumnya. Tabel 1 menunjukkan klasifikasi dan bobot setiap klasifikasi yang digunakan dalam penelitian ini.
4. Setiap parameter yang digunakan akan dibandingkan sesuai dengan tingkat kepentingannya untuk menghitung bobot dan nilai sebagai perhitungan dalam AHP. Penentuan nilai skala kepentingan pada parameter-parameter yang digunakan adalah dengan meninjau penelitiann yang sudah dilakukan sebelumnya. Penilaian yang digunakan berdasarkan skala Saaty

(2008), yang memiliki 9 tingkat kepentingan. Tingkat kepentingan tercantum dalam Tabel 2.

5. Pengolahan penilaian kepentingan parameter menggunakan matriks *pairwise comparison* untuk merpresentasikan kepentingan dari setiap parameter terhadap bencana banjir.
6. Melakukan perhitungan bobot dengan menggunakan matriks prioritas (Saputra dkk., 2020) yang dilanjutkan dengan melakukan pengujian konsistensi dengan membandingkan dengan batas nilai *Consistency Ratio (CR)*, yakni tidak lebih dari 0.1 atau 10%.

$$CR = \frac{CI}{IR}$$

CI : *Consistency Index*

IR : *Index Random Consistency*

Nilai IR berdasarkan penelitian (Vojtek & Vojteková, 2019) dalam pemetaan banjir, adalah disesuaikan dengan seberapa banyak jumlah parameter yang digunakan. Penelitian ini akan menggunakan nilai IR 1,49 dengan 10 parameter.

Tabel 3. Nilai IR

N	IR
1	0.00
2	0.00
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45
10	1.49

Sumber: Saaty (2008)

7. Melakukan *scoring* dari setiap klasifikasi untuk masing-masing parameter, yang mana setiap parameter akan diberikan nilai untuk menentukan tingkat kemampuan pengaruh dari parameter (Vojtek & Vojteková, 2019). Penelitian ini menggunakan skor terendah 1 dan tertinggi 5 untuk masing-masing klasifikasi, dimana setiap bobot klasifikasi dapat dilihat pada Tabel 1.
8. Parameter yang telah dipetakan kemudian akan di*overlay* dengan metode *weighted overlay* ntuk menggabungkan seluruh input parameter dan menambahkan nilai bobot pada *tools %influence* pada data raster dari hasil pembobotan AHP, yang kemudian akan menghasilkan pemetaan tingkat risiko rawan banjir (Aldimasqie dkk., 2022). Hasil pemetaan ini akan divalidasi menggunakan data rekapitulasi histori banjir selama 2018-2021.
9. Hasil visualisasi peta risiko yang sudah divalidasi, akan di*overlay* kembali dengan data probabilitas prakiraan curah hujan model *Global Ensemble Forcast System (GEFS)*. Penerapan skenario konvolusi akan menjadi metode yang digunakan untuk *overlay* data probabilitas dan pemetaan tingkat risiko banjir untuk menghasilkan peta sistem prakiraan berbasis dampak (IBF).

Tabel 1. Klasifikasi Parameter Banjir

Parameter	Klasifikasi	Bobot	Referensi
Jarak Kerapatan Jalan (meter)	o 0-500	5	Rahman dkk. (2021)
	o 500-1000	4	
	o 1000-1500	3	
	o 1500-2000	2	
	o >2000	1	
Populasi Penduduk (Jiwa/km ²)	o <2000	1	Swain dkk. (2020)
	o 2000-4000	2	
	o 4000-6000	3	
	o 6000-8000	4	
	o >8000	5	
Rata-rata Kejadian banjir Tahunan (kali/tahun)	o 0-1	1	Modifikasi Ramadhani dkk. (2021); (Tempa, 2022)
	o 2-3	2	
	o 4-5	3	
	o 6-7	4	
	o 8-10	5	
Jarak ke Sungai (meter)	o 0-500	5	Modifikasi Das (2018); (Rahman dkk., 2021; Vojtek & Vojteková, 2019)
	o 500-1000	4	
	o 1000-1500	3	
	o 1500-2000	2	
	o >2000	1	
Tata guna lahan	o Perkebunan, hutan	1	Modifikasi Aldimasqie dkk. (2022); (Hamdani dkk., 2014; Langkoke & Nur, 2022)
	o Tanah terbuka	3	
	o Sawah, Ladang, pertanian	4	
	o Badan air, danau, tambak	5	
	o Pertambangan	5	
	o Pemukiman, Gedung	5	
Jenis tanah	o Humic Andosols	2	Aziza dkk. (2021), Modifikasi Aldimasqie dkk. (2022); Ramadhani dkk. (2021)
	o Orthic Andosols	2	
	o Dystric Fluvisols	2	
	o Gyeylic Arcisols	2	
	o Orthic Archisols	2	
	o Dystric Nitosol	4	
	o Chormic Vertisols	5	
Geologi	o Batu Endapan	1	Modifikasi Aldimasqie dkk. (2022); (Hammami dkk., 2019; Kourgialas & Karatzas, 2013; Saranyan & Saravanan, 2020; Yassar dkk., 2020)
	o Badan Air, Rawa	1	
	o Batu Pasir	2	
	o Andesite	2	
	o Tuff	2	
	o Batuan Gunung Api	3	
	o Batu Lempung	3	
	o Formasi Miosen	3	
	o Formasi Pliosen	3	
	o Aliran Lava	3	
	o Breksi	4	
o Alluvium	5		
Drainage density (km/km ²)	o 0-0.5	1	Modifikasi Hammami dkk. (2019); Vojtek & Vojteková, 2019)
	o 0.5-0.93	2	
	o 0.93-1.18	3	
	o 1.18-1.43	4	
	o 1.43-2.01	5	
Kemiringan (%)	o 0-2	5	Aldimasqie dkk. (2022); Modifikasi Swain dkk. (2020)
	o 2-5	4	
	o 5-15	3	
	o 15-40	2	
	o >40	1	
Curah hujan tahunan (mm/tahun)	o 3000-3500	1	Modifikasi Hassan & Kamarudzaman (2023)
	o 3500-4000	2	
	o 4000-4500	3	
	o 4500-5000	4	
	o >5000	5	

Tabel 2. Tingkat Kepentingan

Tingkat Kepentingan	Definisi
1	Sama pentingnya
2	Sama hingga sedang pentingnya
3	Sedang pentingnya
4	Sedang hingga kuat pentingnya
5	Kuat pentingnya
6	Kuat hingga sangat kuat pentingnya
7	Sangat kuat pentingnya
8	Sangat hingga ekstrim pentingnya
9	Ekstrim pentingnya

Sumber: Saaty (2008)

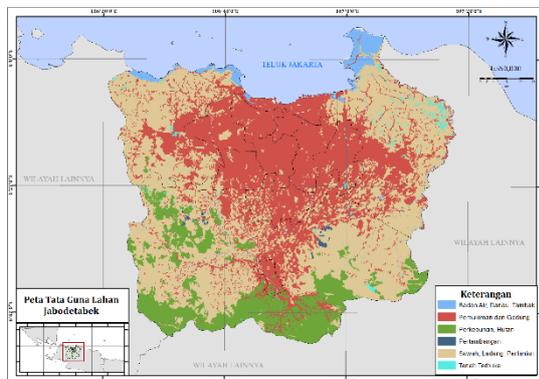
Wilayah pada kawasan Jabodetabek yang memiliki jarak ke sungai dengan klasifikasi 0-500 m menjadi wilayah yang paling tinggi terhadap risiko banjir, dimana kategori ini memiliki luas area 1267,96 km² atau sekitar 18,7% dari total luas kawasan Jabodetabek. Hal tersebut selaras dengan penelitian Das (2018) dan Rahman dkk. (2021) yang menyatakan bahwa jarak 0-500 m adalah kategori jarak yang memiliki risiko lebih tinggi terhadap bencana banjir. Selanjutnya, klasifikasi jarak ke sungai >2000 m menjadi kategori yang mendominasi kawasan Jabodetabek, dimana kategori ini memiliki luas 2669,28 km² atau sekitar 39% dari total luas kawasan Jabodetabek.



Gambar 5. Jarak ke Sungai Jabodetabek

5. Tata Guna Lahan

Penggunaan lahan merupakan salah satu parameter yang berperan pada tingginya limpasan air permukaan, sehingga berperan terhadap meningkatnya risiko bencana banjir (Darmawan dkk., 2017; Velastegui-Montoya dkk., 2022) Penggunaan lahan di kawasan Jabodetabek didominasi oleh permukiman dan gedung dengan luasan mencapai 2449,28 km² atau sekitar 36.2%. Selain itu, kawasan ini juga didominasi oleh sawah, ladang, dan pertanian yang tersebar seluas 3199,74 km². Penggunaan lahan lainnya berupa daerah perkebunan dan hutan dengan luas sekitar 858,56 km².



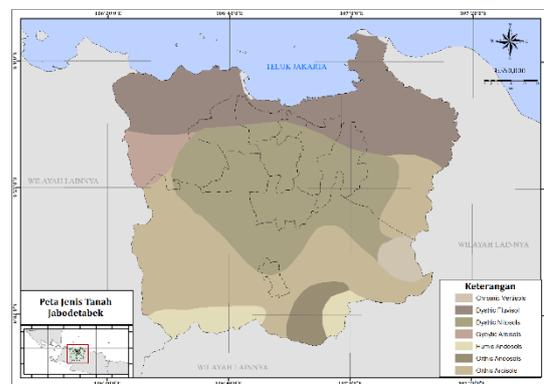
Gambar 6. Tata Guna Lahan Jabodetabek

Kawasan Jabodetabek cenderung memiliki risiko terhadap bencana banjir karena sebaran

penggunaan lahan yang kurang mampu dalam menahan limpasan air. Hal ini sesuai dengan penelitian Hasanuzzaman dkk. (2022) yang menyatakan bahwa penggunaan lahan yang kurang baik menjadi salah satu faktor yang memberikan dampak cukup besar terhadap risiko banjir. Selain itu, adanya tutupan lahan berupa permukiman dan gedung juga mengurangi kemampuan tanah dalam menyerap dan menahan laju air karena tanah memiliki beban yang cukup besar (Pandega & Hastuti, 2019; Tehrany dkk., 2015).

6. Jenis Tanah

Jenis tanah secara langsung berkaitan dengan kecepatan daya serap pada suatu daerah dan pengaruhnya terhadap bencana banjir (Aziza dkk., 2021).

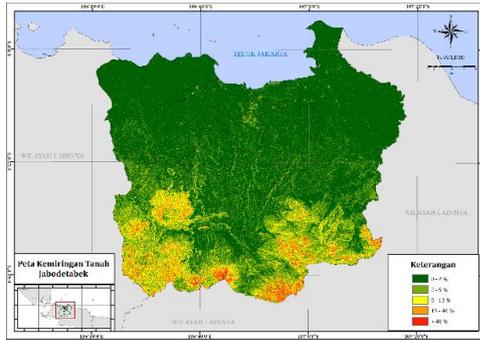


Gambar 7. Jenis Tanah Jabodetabek

Seluas 2144,17 km² kawasan Jabodetabek mengandung jenis tanah Nitosol yang juga menjadi sebaran paling dominan tersebar dibandingkan jenis tanah lainnya. Selain itu, terdapat jenis tanah Orthic Acrisols yang teridentifikasi seluas 1975,17 km². Disisi lain, kawasan Jabodetabek juga mengandung jenis tanah Fluvisol seluas 1754 km², Gyeyclic Acrisols seluas 220,57 km², Andosol seluas 201,29 km², Humic Andosols seluas 313,8 km², dan Chromic Vertisols seluas 134,59 km². Meninjau penelitian Putra & Karomah (2022) dan Ramadhani dkk. (2021), jenis tanah Humic Andosols, Orthic Andosols, Fluvisols, Gyeyclic Acrisols, Orthic Acrisols merupakan jenis tanah yang memiliki tingkat permeabilitas atau infiltrasi air yang baik hingga sedang. Berbeda halnya dengan jenis tanah Nitosol dan Chromic Vertisols yang sangat sulit dalam menyerap air (Aldimasqie dkk., 2022).

7. Kemiringan

Semakin landai kemiringan, maka semakin tinggi risiko terjadi banjir, begitu pula sebaliknya (Rincón dkk., 2018).

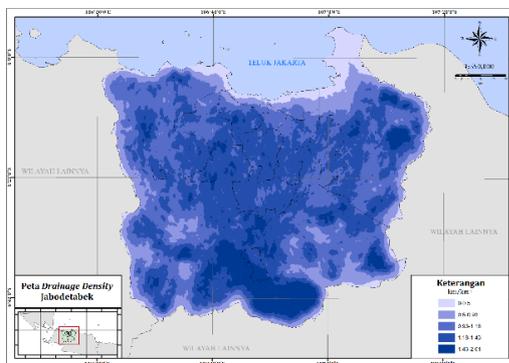


Gambar 8. Kemiringan Jabodetabek

Kawasan Jabodetabek memiliki kemiringan lereng 0-2% dengan luas 4538 km². Klasifikasi ini umumnya menyebar di wilayah bagian utara kawasan Jabodetabek. Selanjutnya, wilayah dengan kemiringan 2-5% mencakup 1334 km², klasifikasi 5-15% mencapai 567 km², klasifikasi 15-40% dan >40% yang memiliki luasan masing-masing sebesar 255 km² dan 57 km². Berdasarkan pemetaan terhadap parameter kemiringan, maka sebesar 67,2% kawasan tersebut memiliki risiko terhadap banjir.

8. Drainage Density

Drainage density merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi banjir, dimana semakin tinggi *drainage density* maka semakin tinggi limpasan pada permukaan (Sajedi-Hosseini dkk., 2018).

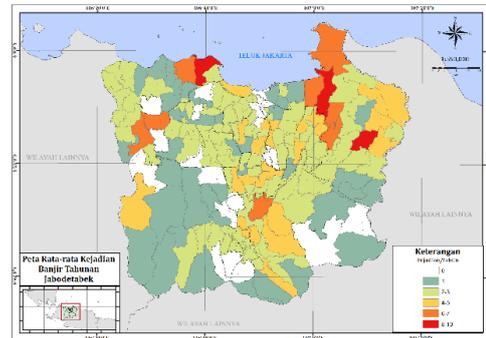


Gambar 9. Drainage Density Jabodetabek

Pada kawasan Jabodetabek, *drainage density* dengan klasifikasi 1.18-1.43 km/km² menjadi klasifikasi paling dominan yang tersebar secara merata di kawasan ini dengan luas kurang lebih 38.7% atau 2619 km². Berikutnya, *drainage density* dengan tingkat kategori sangat tinggi, yakni klasifikasi 1.43- 2.01 km/km², tersebar dengan luas 623 km². Hal ini mengisyaratkan bahwa wilayah yang memiliki klasifikasi tersebut cenderung memiliki tingkat risiko banjir yang lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah yang memiliki klasifikasi *drainage density* yang lebih rendah (Saranya & Saravanan, 2020).

9. Rata-rata Banjir Tahunan

Rata-rata kejadian banjir setiap tahunnya dapat menjadi acuan terhadap risiko bencana banjir (Ramadhani dkk., 2021).

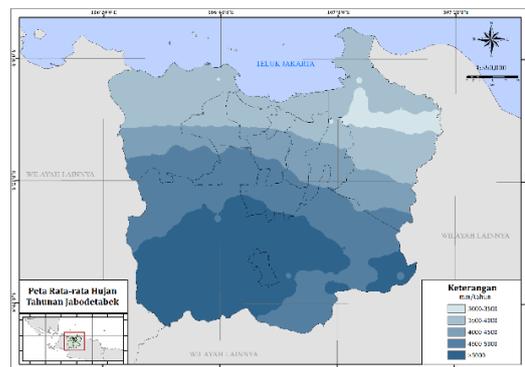


Gambar 10. Rata-Rata Banjir Tahunan Jabodetabek

Tiga dari 182 kecamatan yang tersebar pada kawasan Jabodetabek merupakan wilayah dengan frekuensi kejadian yang lebih tinggi untuk kejadian banjir dibandingkan wilayah lain setiap tahunnya, yaitu Kecamatan Babelan, Cikarang Utara, dan Kecamatan Teluknaga dengan rata-rata banjir delapan sampai sepuluh kejadian pertahunnya. Kecamatan yang memiliki rata-rata kejadian banjir yang tinggi cenderung memiliki tingkat risiko banjir yang lebih tinggi dibandingkan dengan kecamatan yang memiliki rata-rata kejadian banjir tahunan yang rendah. Wilayah dengan rata-rata kejadian banjir tahunan yang tinggi juga menunjukkan kurangnya kapasitas terhadap bencana banjir sehingga menghasilkan nilai keterpaparan yang tinggi (Tempa, 2022).

10. Curah Hujan Tahunan

Curah hujan berhubungan signifikan dengan debit sungai dan secara langsung dapat mempengaruhi bencana banjir (Das, 2018).



Gambar 11. Rerata Curah Hujan Tahunan Jabodetabek

Berdasarkan hasil interpolasi dengan metode IDW (*Inverse Distance Weighted*), kawasan Jabodetabek memiliki kecenderungan nilai intensitas rata-rata curah hujan tahunan yang lebih tinggi pada wilayah selatan dan lebih rendah pada wilayah utara. Dengan hal ini maka risiko

terhadap bencana banjir lebih tinggi di wilayah selatan karena nilai curah hujan tahunannya yang cenderung tinggi. Identifikasi ini didukung dengan penelitian Aldimasqie dkk. (2022) yang menunjukkan wilayah selatan memiliki risiko banjir yang lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah utara.

3.2. Analytical Hierarchy Process (AHP)

Proses *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dilakukan untuk menentukan penilaian bobot setiap parameter yang akan digunakan untuk peta risiko banjir dalam komponen keterpaparan (*exposure*) dan kerentanan (*vulnerability*) pada sistem *Impact-based Forecasting* (IBF). Dengan menggunakan AHP, akan dapat memperoleh parameter-parameter yang relevan dan berpengaruh terhadap risiko bencana banjir (Seejata dkk., 2018). Penerapan teknik AHP dilakukan berdasarkan dua tahap, yaitu tahap pertama mengenai penentuan nilai atau skor kepentingan, perhitungan matriks *pairwise comparison* untuk mendapatkan nilai prioritas vektor, dan bobot dari tiap parameter. Selanjutnya tahap kedua adalah melakukan perhitungan nilai consistency ratio (CR) untuk menguji konsistensi setiap nilai bobot yang dihasilkan dari setiap parameter

1. Matrikis *Paiwise Comparison*

Penentuan yang digunakan untuk menentukan nilai bobot pada masing-masing parameter

didasari oleh penelitian yang telah sebelumnya yang mengacu pada nilai tingkat kepentingan oleh Saaty (2008) (pada *Tabel 2*). Berikutnya, hasil penentuan skala tingkat kepentingan dari tiap parameter terhadap parameter lainnya dapat diubah ke dalam bilangan desimal. Untuk mendapatkan bobot dari setiap parameter, dilakukan normalisasi untuk masing-masing tingkat kepentingan. Hasil normalisasi akan dideterminasi sehingga menghasilkan bobot dari setiap parameter (Desalegn & Mulu, 2021). Hasil dari normalisasi dari masing-masing akan dijumlahkan dan dibagi dengan banyaknya parameter yang sehingga akan menghasilkan seberapa besar bobot atau pengaruh dari masing-masing parameter terhadap banjir, dimana semakin besar bobot yang dihasilkan, maka semakin tinggi tingkat pengaruhnya terhadap risiko bencana banjir. Berikut disajikan *Tabel 5*, *6*, dan *7* dalam perhitungan *Analytical Hierarchy Process* (AHP) tahap pertama.

Tabel 5 merupakan langkah utama dalam AHP, dimana perhitungan ini melambangkan pentingnya suatu faktor terhadap faktor lainnya. signifikansi relatif antara kedua parameter dihitung bersamaan dengan skala kepentingan (*Tabel 2*). *Tabel 5* menggambarkan perbandingan kepentingan atau pengaruh dari setiap parameter terhadap banjir dalam bentuk desimal.

Tabel 5. Matriks Desimal *Pairwise Comparison*

	Kemiringan	Jarak ke Sungai	Jenis Tanah	<i>Drainage Density</i>	Tata Guna Lahan	Jarak Kerapatan Jalan	Curah Hujan	Geologi	Populasi Penduduk	Histori Banjir
Kemiringan	1	0.58	3	0.58	1.41	5	0.26	2.24	1	3.87
Jarak ke Sungai	1.73	1	3.87	0.33	1.41	3.16	1	3	1	3
Jenis Tanah	0.33	0.26	1	0.26	0.26	1	0.20	0.33	0.33	0.33
<i>Drainage Density</i>	1.73	3	3.87	1	1.73	5	0.33	2	1.73	1.73
Tata Guna Lahan	0.71	0.71	3.87	0.58	1	3.16	0.41	1.41	1.41	2.45
Jarak Kerapatan Jalan	0.20	0.32	1	0.20	0.32	1	0.14	0.20	0.20	0.26
Curah Hujan	3.87	1	5	3	2.45	7	1	3	3.87	5.92
Geologi	0.45	0.33	3	0.50	0.71	5	0.33	1	1	1.73
Populasi Penduduk	1	1	3	0.58	0.71	5	0.26	1	1	3.87
Histori Banjir	0.26	0.33	3	0.58	0.41	3.87	0.17	0.58	0.26	1
Jumlah	11.28	8.53	30.62	7.60	10.41	39.20	4.10	14.76	11.81	24.17

Tabel 6. Normalisasi dan Determinasi dari Setiap Parameter

	Kemiringan	Jarak ke Sungai	Jenis Tanah	<i>Drainage Density</i>	Tata Guna Lahan	Jarak Kerapatan Jalan	Curah Hujan	Geologi	Populasi Penduduk	Histori Banjir	Bobot
Kemiringan	0.09	0.07	0.10	0.08	0.14	0.13	0.06	0.15	0.08	0.16	0.11
Jarak ke Sungai	0.15	0.12	0.13	0.04	0.14	0.08	0.24	0.20	0.08	0.12	0.13
Jenis Tanah	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.05	0.02	0.03	0.01	0.03
<i>Drainage Density</i>	0.15	0.35	0.13	0.13	0.17	0.13	0.08	0.14	0.15	0.07	0.15
Tata Guna Lahan	0.06	0.08	0.13	0.08	0.10	0.08	0.10	0.10	0.12	0.10	0.09
Jarak Kerapatan Jalan	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	0.02	0.01	0.02
Curah Hujan	0.34	0.12	0.16	0.39	0.24	0.18	0.24	0.20	0.33	0.24	0.25
Geologi	0.04	0.04	0.10	0.07	0.07	0.13	0.08	0.07	0.08	0.07	0.07
Populasi Penduduk	0.09	0.12	0.10	0.08	0.07	0.13	0.06	0.07	0.08	0.16	0.10
Histori Banjir	0.02	0.04	0.10	0.08	0.04	0.10	0.04	0.04	0.02	0.04	0.05

Tabel 7. Bobot Vektor Eigen dari Parameter Banjir

Parameter	Bobot	Influence (%)
Kemiringan	0.11	11
Jarak ke Sungai	0.13	13
Jenis Tanah	0.03	3
Drainage Density	0.15	15
Tata Guna Lahan	0.09	9
Jarak Kerapatan Jalan	0.02	2
Curah Hujan	0.25	25
Geologi	0.07	7
Populasi Penduduk	0.10	10
Histori Banjir	0.05	5

Selanjutnya dilakukan normalisasi dan determinasi untuk menghasilkan bobot dari setiap parameter terhadap bencana banjir. Normalisasi dilakukan dengan membagi setiap nilai kepentingan parameter terhadap jumlah nilai kepentingan parameter tersebut, sedangkan determinasi dilakukan dengan menjumlahkan seluruh hasil normalisasi dari masing-masing parameter yang kemudian dibagi dengan jumlah parameter yang digunakan, sehingga akan menghasilkan bobot dari setiap parameter. Hasil perhitungan ditunjukkan oleh Tabel 6.

Hasil dari pengolahan AHP tahap pertama menunjukkan bahwa seluruh parameter berpengaruh terhadap banjir, dimana curah hujan memiliki pengaruh yang paling tinggi dengan nilai 25%. Jarak ke jalan menjadi parameter dengan pengaruh paling kecil, yakni dengan nilai 2%. Tabel 7 menunjukkan hasil bobot yang akan dilakukan pengolahan pada ArcGIS.

2. Uji Konsistensi

Sebelum dilakukan weighted overlay pada Sistem Informasi Geografis (SIG), hasil perhitungan tersebut dilakukan uji konsistensi untuk menghitung batasan nilai Consistency Ratio (CR).

$$CR = \frac{CI}{IR}$$

Nilai Consistency Index ditabulasikan berdasarkan rumus berikut:

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1}$$

Dimana n merupakan banyaknya parameter yang digunakan, dan lambda (λ) adalah nilai rata-rata vektor dari setiap parameter. Berikut merupakan hasil perhitungan dari nilai CI

$$\lambda = \frac{(10.03 + 11.56 + 10.18 + 8.35 + 12.38 + 8.47 + 12.09 + 10.87 + 11.20 + 10.4)}{10}$$

$$= 10.56$$

Berdasarkan hasil di atas, maka:

$$CI = \frac{10.56 - 10}{10 - 1} = 0.0619$$

Maka nilai CR dengan menggunakan nilai IR (1,49) adalah sebagai berikut:

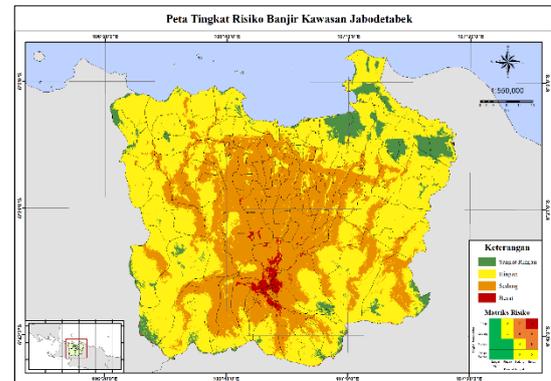
$$CR = \frac{0.0619}{1,49} = 0.04$$

Hasil nilai CR yang didapatkan adalah 0,04, yang mana nilai ini memenuhi kriteria karena

lebih rendah dari ambang batas 0,1. Dengan demikian, Nilai CR ini menjelaskan bahwa nilai pembobotan yang didapatkan dapat diimplementasikan ke dalam penentuan weighted overlay pada masing-masing parameter untuk pemetaan risiko banjir di kawasan Jabodetabek karena memiliki konsistensi penilaian yang baik.

3.3. Hasil Pemetaan Tingkat Risiko Banjir

Pemetaan tingkat risiko banjir didapatkan dari hasil weighted overlay dari tiap parameter pada Sistem Informasi Geografis (SIG), dimana pengolahan ini ditunjukkan oleh Gambar 11, yang menghasilkan peta tingkat risiko banjir dengan 4 (empat) tingkat kategori risiko, yakni sangat ringan, ringan, sedang, dan berat yang dilambangkan dengan kode warna (WMO, 2015). Peta tingkat risiko yang dihasilkan merepresentasikan bahwa semakin tinggi risiko, maka semakin besar dampak yang dapat terjadi.

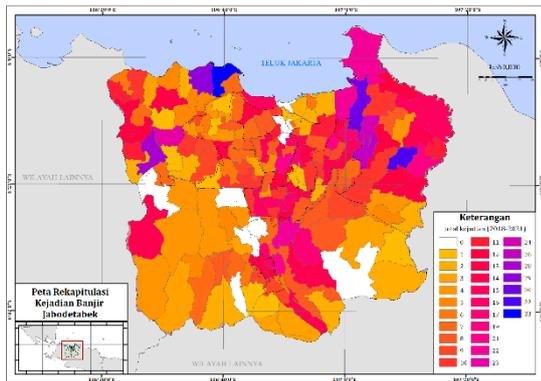


Gambar 11. Tingkat Risiko Banjir Jabodetabek

Kawasan Jabodetabek cenderung memiliki tingkat risiko ringan (kuning) hingga risiko tingkat sedang (oranye). Wilayah dengan tingkat risiko ringan diliputi luas 3818 km², dan risiko tingkat sedang sebesar 2382 km². Disamping hal tersebut, terdapat sebaran wilayah seluas 388 km² yang memiliki risiko banjir dengan tingkat yang sangat rendah (hijau). Selanjutnya, seluas 74 km² merupakan luasan wilayah yang memiliki tingkat risiko banjir berat (merah). Wilayah dengan tingkat risiko banjir berat secara umum berada di bagian utara Kabupaten Bogor, wilayah barat Kota Bogor, sebagian kecil di Kota Depok dan Tangerang Selatan.

3.4. Validasi Pemetaan Tingkat Risiko Banjir

Untuk menguji hasil pemetaan tingkat risiko banjir, diperlukan validasi dengan menggunakan rekapitulasi banjir kawasan Jabodetabek periode 2018-2021 yang kemudian disesuaikan dengan pemetaan tingkat risiko banjir. Berdasarkan hasil rekapitulasi yang telah dilakukan, kawasan Jabodetabek secara umum memiliki tingkat kejadian banjir yang berbeda-beda pada setiap wilayahnya. Jika mempertimbangkan luasan wilayah dan jumlah kejadian yang terjadi, wilayah Kota Bogor menjadi wilayah yang memiliki tingkat kejadian banjir yang tinggi, yakni 79 kejadian. Lebih dari itu, Kabupaten Bekasi menjadi wilayah yang memiliki rekapitulasi kejadian banjir paling tinggi dengan total kejadian sebanyak 332 kejadian, diikuti Kabupaten Tangerang dengan kejadian sebanyak 281 kejadian, dan Kabupaten Bogor sebanyak 230 kejadian. Jika meninjau dari beberapa parameter yang diidentifikasi pada pemetaan sebelumnya seperti nilai curah hujan, *drainage density*, geologi, kemiringan tanah, dan jarak ke sungai, pemetaan tingkat risiko banjir yang dihasilkan sudah dapat memberikan gambaran secara relevan dan konkrit karena dapat divalidasi dengan hasil rekapitulasi banjir yang baik dan sesuai.



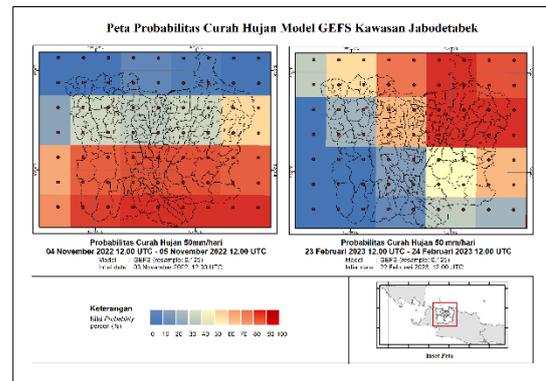
Gambar 12. Rekapitulasi Banjir Periode 2018-2021 Jabodetabek

Pemetaan tingkat risiko yang dihasilkan berdasarkan kombinasi dari komponen kerentanan (*vulnerability*) dan keterpaparan (*exposure*) ini dapat menentukan kemungkinan dan tingkat risiko dampak dari bencana banjir dari setiap wilayah kecamatan (Singhal dkk., 2022). Sehingga dapat digunakan sebagai peta dalam sistem *Impact-based Forecasting* (IBF).

3.5. Identifikasi Probabilitas Curah Hujan

Untuk sistem *Impact-based Forecasting* (IBF), model curah hujan yang digunakan sebagai komponen bahaya (*hazard*) dikombinasikan dengan pemetaan tingkat risiko banjir untuk menjadi sistem yang dapat menentukan dan mengestimasi potensi dampak yang dapat terjadi (Rözer dkk., 2021; Sai dkk., 2018; UKMO, 2020). Probabilitas curah hujan menjadi salah satu model yang digunakan untuk mengidentifikasi besarnya paparan dan bahaya yang dapat memicu terjadinya banjir pada suatu wilayah

(Sai dkk., 2018). BMKG sebagai lembaga pemerintahan memiliki tanggung jawab utama terhadap akuratnya tempat, waktu prakiraan, dan peringatan bahaya, termasuk peristiwa hidrometeorologi (Sidek dkk., 2021). Pada penelitian ini, data model GEFS dengan probabilitas curah hujan 50mm/hari yang diperoleh dari BMKG digunakan untuk mengidentifikasi probabilitas curah hujan lebat yang diperkirakan terjadi pada wilayah-wilayah di kawasan Jabodetabek. Pada bagian ini, dipilih dua hari ketika curah hujan lebat diperkirakan terjadi di kawasan Jabodetabek. Gambar 13 menunjukkan distribusi probabilitas curah hujan dalam dua hari yang dipilih, yakni 5 November 2022, dan 24 Februari 2023.



Gambar 13. Probabilitas Curah Hujan Tanggal 5 November 2022 dan 24 Februari 2023 Jabodetabek

Nilai probabilitas atau tingkat kemungkinan yang terdistribusi menunjukkan adanya sebaran intensitas curah hujan yang semakin tinggi nilai persentasenya, maka semakin tinggi kemungkinan terjadinya hujan pada wilayah tersebut. Presetase tinggi ditunjukkan dengan sebaran peta berwarna merah, sedangkan biru menunjukkan nilai probabilitas yang relatif lebih rendah.

Dengan data model tersebut, nilai probabilitas digunakan sebagai nilai *likelihood* dan dianalisis menggunakan skenario dampak yang terdistribusi secara spasial. *Likelihood* tersebut kemudian digunakan ke dalam konvolusi skenario dampak untuk menghasilkan *Impact-based Forecasting* (IBF) yang memuat tingkat risiko peringatan, potensi dampak, dan respon yang tepat untuk mengurangi dampak yang dapat diimplementasikan oleh masyarakat.

3.6. Verifikasi *Impact-based Forecasting* (IBF)

Pada bagian ini, *informasi Impact-based Forecasting* (IBF) dilakukan verifikasi untuk meninjau keakuratan, performa, dan efektivitas dari informasi yang diberikan (WMO, 2015; UKMO, 2020). UKMO (2020) menyatakan bahwa sumber informasi kejadian banjir yang dapat digunakan untuk skema verifikasi bersumber dari laporan resmi oleh stakeholder terkait, berita, sosial media, koran atau media massa, maupun komunitas tertentu yang

4. KESIMPULAN

Pemetaan rawan banjir di kawasan Jabodetabek memberikan interpretasi yang baik berdasarkan hasil validasi dengan menggunakan data histori banjir, sehingga dapat digunakan sebagai peta tingkat risiko dalam sistem *Impact-based Forecasting (IBF)*. Berdasarkan perhitungan dengan teknik *Analytical Hierarchy Process (AHP)*, seluruh parameter berpengaruh terhadap banjir, namun curah hujan menjadi parameter yang paling tinggi pengaruhnya yaitu dengan nilai sebesar 25%. Selain itu, parameter *drainage density*, jarak ke sungai, dan slope juga menjadi parameter yang memiliki pengaruh yang besar setelah curah hujan, dengan nilai masing-masing 15%, 13%, dan 11%. Selanjutnya, parameter populasi penduduk memiliki pengaruh dengan nilai 10%, tata guna lahan 9%, dan geologi dengan nilai 7%. Parameter histori banjir, jenis tanah, dan jarak kerapatan jalan menjadi faktor penyebab risiko banjir paling kecil juga memiliki peran terhadap risiko banjir dengan nilai masing-masing sebesar 5%, 3%, dan 2%. Kawasan Jabodetabek didominasi tingkat risiko ringan dan tingkat risiko sedang, yakni dengan masing-masing wilayah seluas 3818 km² dan 2382 km². Sementara itu, tingkat risiko sangat rendah meliputi wilayah seluas 388 km², dan tingkat risiko berat seluas 74 km².

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah diverifikasi, penggunaan peta risiko banjir dengan probabilitas curah hujan *Global Ensemble Forecast System (GEFS)* untuk sistem *Impact-based Forecasting (IBF)* di kawasan Jabodetabek, menghasilkan informasi yang relatif lebih baik dan representatif. Hasil verifikasi menunjukkan bahwa seluruh kecamatan yang terdampak dicakup oleh informasi prakiraan dampak yang telah dihasilkan. Pengembangan visualisasi dan prakiraan yang dimuat pada informasi *Impact-based Forecasting (IBF)* menambahkan informasi berupa luas wilayah dan jumlah kecamatan yang berpotensi terdampak, serta memuat detail peringatan yang lebih informatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldimasqie, A. M., Hari Saputra, A., & Oktarina, S. (2022). Pemetaan Zona Rawan Banjir Di Jakarta Menggunakan Analytic Hierarchy Process (AHP). *Jurnal Environmental Science*, 5(1), 1-14. <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/>
- Ali, A., Deranadyan, G., & Sa'adah, U. (2021). Kajian awal pemanfaatan data pengindraan jauh dalam implementasi peringatan dini cuaca eskترم berbasis dampak. *Prosiding WIN-ID*, 27-36. <https://www.researchgate.net/publication/357506257>
- Ariyora, S., Budisusanto, Y., & Prasasti, I. (2015). Pemanfaatan data Penginderaan Jauh dan SIG untuk Analisa Banjir (Studi Kasus: Banjir Provinsi DKI Jakarta). *GEOID*, 10(2), 137-146.
- Aziza, S. N., Somantri, L., & Setiawan, I. (2021). Analisis pemetaan tingkat rawan banjir di kecamatan bontang barat kota bontang berbasis SIG. *Jurnal Pendidikan Geografi Undiksha*, 9(2), 109-120.
- Boult, V. L., Black, E., Saado Abdillahi, H., Bailey, M., Harris, C., Kilavi, M., Kniveton, D., MacLeod, D., Mwangi, E., Otieno, G., Rees, E., Rowhani, P., Taylor, O., & Todd, M. C. (2022). Towards drought impact-based forecasting in a multi-hazard context. *Climate Risk Management*, 35, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2022.100402>
- Budi Harsoyo. (2013). Mengulas penyebab banjir di wilayah dki jakarta dari sudut pandang geologi, geomorfologi dan morfometri sungai. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 14(1), 37-43.
- Chowdhuri, I., Pal, S. C., & Chakraborty, R. (2020). Flood susceptibility mapping by ensemble evidential belief function and binomial logistic regression model on river basin of eastern India. *Advances in Space Research*, 65(5), 1466-1489.
- Darmawan, K., Hani'ah, & Suprayogi, A. (2017). Analisis tingkat kerawanan banjir di kabupaten sampang menggunakan metode overlay dengan scoring berbasis sistem informasi geografis. *Jurnal Geodesi Undip Januari*, 6(1), 31-40.
- Das, S. (2018). Geographic information system and AHP-based flood hazard zonation of Vaitarna basin, Maharashtra, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(19), 1-13. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3933-4>
- Desalegn, H., & Mulu, A. (2021). Flood vulnerability assessment using GIS at Fetam watershed, upper Abbay basin, Ethiopia. *Heliyon*, 7(1). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05865>
- ESCAP. (2021). *Manual for Operationalizing Impact-based Forecasting and Warning Services (IBFWS)*.
- Ginting, A. M. (2020). Dampak ekonomi dan kebijakan mitigasi risiko banjir di dki jakarta dan sekitarnya tahun 2020. *Info Singkat*, XII(1), 19-24.
- Hamdani, H., Permana, S., & Susetyaningsih, A. (2014). Analisa daerah rawan banjir menggunakan aplikasi sistem informasi geografis (studi kasus pulau bangka). *Jurnalsttgarut*, 12(1), 1-13. <http://jurnal.sttgarut.ac.id>
- Hammami, S., Zouhri, L., Souissi, D., Souei, A., Zghibi, A., Marzougui, A., & Dlala, M. (2019). Application of the GIS based multi-criteria decision analysis and analytical hierarchy process (AHP) in the flood susceptibility mapping (Tunisia). Dalam *Arabian Journal of Geosciences* (Vol. 12, Nomor 21). Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4754-9>
- Hasanuzzaman, Md., Adhikary, P. P., Bera, B., & Shit, P. K. (2022). Flood Vulnerability Assessment Using AHP and Frequency Ratio Techniques. *GIScience and Geoenvironmental Modelling*, 91-104. https://doi.org/10.1007/978-3-030-94544-2_6
- Hassan, Z., & Kamarudzaman, A. N. (2023). Development of Flood Hazard Index (FHI) of the Kelantan River Catchment Using Geographic Information System (GIS) Based Analytical Hierarchy Process (AHP). *Pertanika Journal of Science and Technology*, 31(1), 203-215. <https://doi.org/10.47836/pjst.31.1.13>
- Hutabarat, Y. M. (2020). Pengembangan sistem informasi prakiraan cuaca berbasis dampak menggunakan model prakiraan cuaca numerik untuk wilayah jakarta. *Jurnal Widya Climago*, 2(2), 56-68.
- Kourgialas, N. N., & Karatzas, G. P. (2013). A hydro-economic modelling framework for flood damage

- estimation and the role of riparian vegetation. *Hydrological Processes*, 27(4), 515–531. <https://doi.org/10.1002/hyp.9256>
- Kox, T., Lüder, C., & Gerhold, L. (2018). Anticipation and Response: Emergency Services in Severe Weather Situations in Germany. *International Journal of Disaster Risk Science*, 9(1), 116–128. <https://doi.org/10.1007/s13753-018-0163-z>
- Langkoke, R., & Nur, Z. A. (2022). Analisis Bahaya Banjir Sungai Bone-Bone dengan Metode Geographical Information System (GIS) pada daerah Bantimurung Kecamatan Bone-Bone Kabupaten Luwu Utara Provinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Ecosolum*, 11(2), 110–125. <https://doi.org/10.20956/ecosolum.v11i2.23971>
- Merz, B., Kuhlicke, C., Kunz, M., Pittore, M., Babeyko, A., Bresch, D. N., Domeisen, D. I. V., Feser, F., Koszalka, I., Kreibich, H., Pantillon, F., Parolai, S., Pinto, J. G., Punge, H. J., Rivalta, E., Schröter, K., Strehlow, K., Weisse, R., & Wurpts, A. (2020). Impact Forecasting to Support Emergency Management of Natural Hazards. *Reviews of Geophysics*, 58(4), 1–52. <https://doi.org/10.1029/2020RG000704>
- Mukherjee, F., & Singh, D. (2020). Detecting flood prone areas in Harris County: a GIS based analysis. *Geojournal*, 85, 647–663.
- Oikonomidis, D., Dimogianni, S., Kazakis, N., & Voudouris, K. (2015). A GIS/ remote sensing based methodology for groundwater potentiality assessment in Tirnavos area, Greece. *Journal of Hydrology*, 525, 197–208.
- Pandega, A. K., & Hastuti, E. W. D. (2019). Analisis potensi banjir berdasarkan metode AHP daerah sumber jaya dan sekitarnya, kabupaten oku selatan, provinsi sumatera SELATAN. *Seminar Nasional AVoER XI*.
- PP No. 60 Tahun 2020, (2020).
- Putra, H. M. M., & Karomah, A. (2022). Implementasi Sistem Informasi Geografis (SIG) Untuk Pemetaan Lokasi Rawan Banjir Di Kabupaten Kebumen. *Prosiding SAINTEK: Sains dan Teknologi*, 1(1), 437–444.
- Rahman, M., Ningsheng, C., Mahmud, G. I., Islam, M. M., Pourghasemi, H. R., Ahmad, H., Habumugisha, J. M., Washakh, R. M. A., Alam, M., Liu, E., Han, Z., Ni, H., Shufeng, T., & Dewan, A. (2021). Flooding and its relationship with land cover change, population growth, and road density. *Geoscience Frontiers*, 12(6), 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101224>
- Ramadhani, D., Hariyanto, T., & Nurwatik. (2021). Penerapan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) dalam Pemetaan Potensi Banjir Berbasis Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus: Kota Malang, Jawa Timur) Application of the Analytical Hierarchy Process (AHP) Method in Mapping Flood Potentials Based on Geographic Information Systems (Study Case: Malang City, East Java). *GEOID*, 17(1), 72–80.
- Rincón, D., Khan, U. T., & Armenakis, C. (2018). Flood risk mapping using GIS and multi-criteria analysis: A greater toronto area case study. *Geosciences (Switzerland)*, 8(8), 1–27. <https://doi.org/10.3390/geosciences8080275>
- Rözer, V., Peche, A., Berkhahn, S., Feng, Y., Fuchs, L., Graf, T., Haberlandt, U., Kreibich, H., Sämman, R., Sester, M., Shehu, B., Wahl, J., & Neuweiler, I. (2021). Impact-Based Forecasting for Pluvial Floods. *Earth's Future*, 9(2), 1–18. <https://doi.org/10.1029/2020EF001851>
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*, 1(1), 83–98.
- Sai, F., Cumiskey, L., Weerts, A., Bhattacharya, B., Khan, R. H., & Po, A. I. (2018). Towards impact-based flood forecasting and warning in Bangladesh: a case study at the local level in Sirajganj district. *Natural Hazard and Earth System Sciences*, 1–20. <https://doi.org/10.5194/nhess-2018-26>
- Sajedi-Hosseini, F., Choubin, B., Solaimani, K., Cerda, A., & Kavian, A. (2018). Spatial prediction of soil erosion susceptibility using a fuzzy analytical network process: Application of the fuzzy decision making trial and evaluation laboratory approach. *LDD Land Degradation & Development*, 29(9), 3092–3103.
- Saputra, N. A., Perwira, A., Tarigan, M., & Nusa, A. B. (2020). Penggunaan Metode AHP dan GIS Untuk Zonasi Daerah Rawan Banjir Rob di Wilayah Medan Utara. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 26(1), 73–82.
- Saranya, T., & Saravanan, S. (2020). Groundwater potential zone mapping using analytical hierarchy process (AHP) and GIS for Kancheepuram District, Tamilnadu, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6(2), 1105–1122. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00744-7>
- Seejata, K., Yodying, A., Wongthadam, T., Mahavik, N., & Tantane, S. (2018). Assessment of flood hazard areas using Analytical Hierarchy Process over the Lower Yom Basin, Sukhothai Province. *Procedia Engineering*, 212, 340–347. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.044>
- Septian, A., Elvarani, A. Y., Putri, A. S., Maulia, I., Damayanti, L., Pahlevi, M. Z., & Aswad, F. H. (2020). Identifikasi Zona Potensi Banjir Berbasis Sistem Informasi Geografis Menggunakan Metode Overlay dengan Scoring di Kabupaten Agam, Sumatera Barat. *Jurnal Geosains dan Remote Sensing*, 1(1), 11–22. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2020.v1i1.25>
- Setiawan, H., Jalil, M., Enggi, M., Purwadi, F., Adios, C., Brata, A. W., Syaful Jufda, A., Studi, P., Geografi, P., Keguruan, F., Pendidikan, I., & Mulawarman, U. (2020). ANALISIS PENYEBAB BANJIR DI KOTA SAMARINDA. *Jurnal Geografi Gea*, 20(1), 39–43. <https://ejournal.upi.edu/index.php/gea>
- Sidek, L. M., Basri, H., Mohammed, M. H., Marufuzzaman, M., Ishak, N. A., Ishak, A. M., Omar, B. Z. C., Osman, S., Ramly, S., & Hassan, M. H. (2021). Towards impact-based flood forecasting and warning in Malaysia: A case study at Kelantan river. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 704(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/704/1/012001>
- Singhal, A., Raman, A., & Jha, S. K. (2022). Potential Use of Extreme Rainfall Forecast and Socio-Economic Data for Impact-Based Forecasting at the District Level in Northern India. *Frontiers in Earth Science*, 10, 1–15. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.846113>
- Swain, K. C., Singha, C., & Nayak, L. (2020). Flood susceptibility mapping through the GIS-AHP technique using the cloud. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(12), 1–23. <https://doi.org/10.3390/ijgi9120720>
- Taylor, A. L., Kause, A., & Harrowsmith, M. (2019). Preparing for Doris: Exploring Public Responses to Impact-Based Weather Warnings in the United

- Dhuha, MAS., Saputra, AH., Kristianto, A., Mulya, A. (2024). *Impact-Based Forecasting (IBF) untuk Mendukung Manajemen Resiko Banjir di Kawasan Jabodetabek*. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(5), 1159-1173, doi:10.14710/jil.22.5.1159-1173
- Kingdom. *WEATHER, CLIMATE, AND SOCIETY*, 11, 713-729. <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-18>
- Tehrany, M. S., Pradhan, B., & Jebur, M. N. (2015). Flood susceptibility analysis and its verification using a novel ensemble support vector machine and frequency ratio method. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 29(4), 1149-1165. <https://doi.org/10.1007/s00477-015-1021-9>
- Tempa, K. (2022). District flood vulnerability assessment using analytic hierarchy process (AHP) with historical flood events in Bhutan. *PLoS ONE*, 17(6), 1-20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0270467>
- UKMO. (2020). *IMPACT-BASED FORECASTING FOR EARLY ACTION THE FUTURE OF FORECASTS*. UK Met Office.
- Umar, H., Dahlan Balfas, M., Amin Syam, M., Arum Pertiwi, D., & Iqbal, F. M. (2021). Geologi dan pemanfaatan sistem informasi geografis untuk daerah bahaya banjir dengan metode AHP di desa bangun rejo kecamatan tenggarong seberang, kutai kartanegara, kalimantan timur. *Jurnal Teknik Geologi: Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 4(1), 7-17.
- Velastegui-Montoya, A., Montalván-Burbano, N., Peña-Villacreses, G., de Lima, A., & Herrera-Franco, G. (2022). Land Use and Land Cover in Tropical Forest: Global Research. *Forests*, 13(10), 1-34. <https://doi.org/10.3390/f13101709>
- Vojtek, M., & Vojteková, J. (2019). Flood susceptibility mapping on a national scale in Slovakia using the analytical hierarchy process. *Water (Switzerland)*, 11(2), 1-17. <https://doi.org/10.3390/w11020364>
- Weyrich, P., Scolobig, A., Bresch, D. N., & Patt, A. (2018). Effects of Impact-Based Warnings and Behavioral Recommendations for Extreme Weather Events. *WEATHER, CLIMATE, AND SOCIETY*, 10, 781-796. <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-18>
- WMO. (2015). *WMO Guidelines on Multi-hazard Impact-based Forecast and Warning Services* (1 ed.).
- Yassar, M. F., Nurul, M., Nadhifah, N., Sekarsari, N. F., Dewi, R., Buana, R., Fernandez, S. N., & Rahmadhita, K. A. (2020). Penerapan Weighted Overlay Pada Pemetaan Tingkat Probabilitas Zona Rawan Longsor di Kabupaten Sumedang, Jawa Barat. *Jurnal Geosains dan Remote Sensing*, 1(1), 1-10. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2020.v1i1.13>
- Yin, J., Yu, D., Yin, Z., Liu, M., & He, Qi. (2016). Evaluating the impact and risk of pluvial flash flood on intra-urban road network: A case study in the city center of Shanghai, China. *Journal of Hydrology*, 537, 138-145.