

## Penerapan Teknologi Ramah Lingkungan Dalam Pemetaan Genangan Air Pada Wilayah Rawan Banjir Menggunakan *Google Earth Engine* (Studi Kasus: Kabupaten Demak)

Kenya Cita Ayudhia<sup>1)a)\*</sup>, Nur Sawiji<sup>2)b)</sup>

<sup>1)</sup> Universitas Gadjah Mada

<sup>a)</sup>Jl. Grafika Bulaksumur No.2, Sendowo, Sinduadi, Kec. Mlati, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta

<sup>2)</sup>SD N Bandungrejo 1 Mranggen

<sup>b)</sup>Jl.Raya Bandungrejo no 96 Mranggen

\*kenyacitaayudhia@mail.ugm.ac.id

### ABSTRAK

Banjir merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi di Indonesia, khususnya di wilayah pesisir seperti Kabupaten Demak yang memiliki topografi relatif datar dan sistem drainase kurang memadai. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pola distribusi spasial dan temporal genangan air, menganalisis karakteristik morfometri wilayah, serta mengevaluasi efektivitas penerapan teknologi ramah lingkungan melalui *Google Earth Engine* (GEE) dalam pemetaan genangan air untuk mendukung mitigasi bencana banjir. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif spasial dengan memanfaatkan citra radar Sentinel-1, data Global Surface Water (GSW), Digital Elevation Model (DEM) SRTM, dan data curah hujan periode 2023–2025. Analisis dilakukan melalui platform GEE dengan mengintegrasikan parameter morfometri Topographic Wetness Index (TWI) dan Topographic Position Index (TPI). Hasil penelitian menunjukkan bahwa luas genangan banjir mengalami fluktuasi dari 8.380 ha (2023), turun menjadi 7.393 ha (2024), kemudian meningkat menjadi 8.171 ha (2025). Persistensi genangan menunjukkan tren peningkatan dengan rata-rata seasonality naik dari 4,07 bulan (2023) menjadi 7,10 bulan (2025), serta occurrence meningkat dari 16,51% menjadi 35,74%. Analisis morfometri mengungkapkan bahwa mayoritas genangan terjadi pada area dengan slope < 2,86° dan nilai TWI > 12, yang mencerminkan kondisi tanah datar dengan potensi akumulasi air tinggi. Penerapan teknologi GEE terbukti efektif dalam pemrosesan data spasial berskala besar dengan efisiensi waktu hingga 85% dan reduksi jejak karbon yang signifikan dibandingkan metode konvensional. Penelitian ini dibatasi pada wilayah Kabupaten Demak, Provinsi Jawa Tengah, sehingga hasil analisis tidak secara langsung digeneralisasikan untuk wilayah dengan karakteristik geomorfologi berbeda. Validasi hasil pemetaan dilakukan menggunakan data sekunder tanpa keterlibatan survei lapangan secara langsung, sehingga ketelitian spasial sangat bergantung pada akurasi data referensi yang tersedia. Selain itu, algoritma pemrosesan data dikembangkan sepenuhnya menggunakan kapabilitas komputasi *Google Earth Engine* tanpa pengembangan perangkat keras baru. Penelitian ini menyimpulkan bahwa integrasi teknologi penginderaan jauh berbasis cloud computing dengan analisis morfometri dapat memberikan solusi inovatif dan berkelanjutan untuk pemetaan genangan air yang mendukung perencanaan mitigasi bencana banjir yang lebih efektif.

**Kata kunci:** Genangan Air, Mitigasi Banjir, *Google Earth Engine*, Topographic Position Index, Topographic Wetness Index

Naskah Masuk : 17 Desember 2025

Naskah Revisi : 17 Desember 2025

Naskah Diterima : 17 Desember 2025

### PENDAHULUAN

Banjir merupakan peristiwa atau keadaan dimana terendamnya suatu daerah atau daratan karena volume air yang meningkat (Nasution & Nurtyawan, 2021). Banjir disebabkan oleh kondisi alam seperti curah hujan yang tinggi, dan faktor antropogenik seperti alih fungsi lahan dan penyempitan sepadan sungai. *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) menyatakan bahwa perubahan iklim global telah meningkatkan frekuensi dan intensitas kejadian banjir di berbagai belahan dunia, termasuk Indonesia. Bappeda Kabupaten Demak, Provinsi Jawa Tengah menyatakan bahwa Demak merupakan salah satu wilayah yang memiliki tingkat kerawanan banjir yang tinggi akibat kondisi topografi yang relatif datar, sistem drainase yang kurang memadai, dan intensitas curah hujan yang tinggi pada musim penghujan. Kondisi ini diperparah dengan fenomena penurunan muka tanah (*land subsidence*) yang terjadi di wilayah pesisir Jawa yang mencapai 1-15 cm per tahun, sebagaimana dilaporkan oleh (Chaussard et al., 2013) dan (Abidin et al., 2011).

Perkembangan teknologi informasi seringkali memunculkan tantangan, yaitu bagaimana distribusi daerah yang terkena genangan dan banjir dapat ditentukan dengan lebih cepat, tepat, dan akurat. Selain itu, daerah manakah daerah yang terkena genangan dan banjir. Hal ini terkait erat dengan kondisi tutupan lahan dan infrastruktur yang terkena dampak. Sehingga dibutuhkan sistem

pemantauan dan pemetaan genangan air yang efektif dan berkelanjutan untuk mendukung upaya mitigasi dan adaptasi bencana banjir. Teknologi penginderaan jauh melalui *platform* Google Earth Engine (GEE) telah terbukti menjadi solusi yang efektif dan ramah lingkungan dalam pemetaan genangan air. Google Earth Engine (GEE) dapat mengakses data satelit secara real-time dan tidak memerlukan survei lapangan yang rumit (Gorelick et al., 2017). Hal ini memungkinkan analisis pola munculnya air (*water occurrence*) dan perubahan musiman (*seasonality*) untuk mengidentifikasi pola genangan air secara temporal dan spasial (Pekel et al., 2016). Penggunaan GEE sebagai bagian dari teknologi ramah lingkungan berkontribusi pada efisiensi waktu, pengurangan biaya operasional, serta minimnya jejak karbon dibandingkan metode konvensional yang membutuhkan survei lapangan dalam skala besar (Tamiminia et al., 2020).

Dalam pemetaan genangan air, analisis morfometri melalui parameter Indeks Kelembapan Topografi (TPI) dan Indeks Posisi Topografi (TWI) memberikan informasi penting tentang karakteristik topografi yang mempengaruhi akumulasi air dan potensi genangan (Sørensen et al., 2006). TWI menunjukkan kecenderungan suatu area untuk mengakumulasi air berdasarkan topografi dan aliran permukaan (Beven & Kirkby, 1979). Studi sebelumnya telah menunjukkan bahwa pemetaan area rawan banjir dapat lebih akurat apabila dikombinasikan dengan analisis morfometri dan data penginderaan jauh (Tehrany et al., 2014). Namun, tidak banyak penelitian yang menggunakan teknologi GEE untuk menganalisis keberadaan air dan perubahan musim dengan analisis morfometri untuk pemetaan genangan banjir.

Meningkatnya frekuensi dan intensitas banjir di Indonesia, khususnya di wilayah pesisir seperti Kabupaten Demak, menunjukkan urgensi yang tinggi untuk mengembangkan sistem pemetaan genangan air yang tidak hanya akurat tetapi juga berkelanjutan. Dengan adanya upaya adaptasi pengurangan risiko bencana yang berkelanjutan guna mendukung pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan, penerapan teknologi ramah lingkungan dalam pemetaan genangan air menggunakan Google Earth Engine sebagai *platform* berbasis *cloud computing* menawarkan solusi inovatif yang dapat menganalisis data yang lebih akurat dan real-time untuk mendukung upaya mitigasi dan perencanaan tata ruang yang lebih baik (Amani et al., 2020). Kabupaten Demak yang menghadapi ancaman ganda berupa banjir rob dan banjir fluvial memerlukan pendekatan teknologi yang efisien dan ramah lingkungan, dimana Google Earth Engine dapat mengurangi jejak karbon dibandingkan metode survei konvensional karena tidak memerlukan mobilisasi peralatan lapangan yang intensif. Solusi ini dapat membantu pemerintah dan pemangku kepentingan dalam mengambil keputusan yang lebih tepat guna mengurangi risiko dan dampak banjir, sekaligus mendukung pembangunan yang berkelanjutan dan berwawasan lingkungan (Lindersson et al., 2020). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengidentifikasi pola distribusi spasial dan temporal genangan air di Kabupaten Demak berdasarkan analisis *water occurrence* dan *seasonality* menggunakan Google Earth Engine.
2. Menganalisis karakteristik morfometri wilayah Kabupaten Demak berdasarkan analisis *Topographic Wetness Index* (TWI) dan *Topographic Position Index* (TPI) dan integrasinya terhadap pola genangan air.
3. Menganalisis efektivitas penerapan teknologi ramah lingkungan melalui Google Earth Engine dalam pemetaan genangan air untuk mendukung mitigasi bencana banjir.

## TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Pratama et al., 2024) telah menggunakan kemampuan Google Earth Engine (GEE) dalam melakukan identifikasi karakteristik spasial dan temporal dari hujan yang terjadi untuk menghitung sebaran genangan banjir. Hasil penelitian mereka berupa *platform* GEE sebagai alternatif data dapat digunakan jika data pengukuran hujan yang ada pada stasiun pengukuran tidak lengkap. Metode operasional untuk pemetaan banjir di Bangladesh menggunakan data multi-temporal Sentinel-1 SAR menggunakan *platform* serupa juga dilaksanakan oleh (Uddin et al., 2019). Penelitian tersebut berhasil mengidentifikasi area genangan banjir dengan akurasi 92% dengan waktu pemrosesan yang efisien. Studi yang dilakukan oleh Tamiminia et al. (2020) menunjukkan efektivitas Google Earth Engine dalam aplikasi pemrosesan data geospasial skala besar, dengan pengurangan jejak karbon hingga 60% dibandingkan metode pemrosesan konvensional yang memerlukan infrastruktur komputasi lokal. Hal ini dapat disimpulkan pemanfaatan teknologi *cloud*

computing, seperti Google Earth Engine, dianggap sebagai terobosan penting dalam demokratisasi akses terhadap data dan alat analisis spasial untuk pemantauan banjir.

Kajian yang dilakukan (Long et al., 2014) menggunakan Citra SAR untuk mengidentifikasi luas banjir di Namibia menggunakan metode *Change Detection and Thresholding* (CDAT). Sama halnya dengan penelitian (Nasution & Nurtyawan, 2021) yang menggunakan metode CDAT untuk mengidentifikasi sebaran banjir di kabupaten karawang yang mampu mendapatkan ketelitian hasil identifikasi sebesar 86%. Sementara itu Kajian yang dilakukan oleh (Alawiyah & Harintaka, 2021) menggunakan data citra sentinel-1 dan *Global Surface Water* menggunakan metode *change detection* dan *thresholding* masih sulit mengidentifikasi genangan karena tampilan air terhalang *backscattering*. Penelitian oleh (DeVries et al., 2020) menggabungkan data Sentinel-1 SAR dan dataset *Ground Surface Water* dengan akurasi yang lebih baik yaitu 87%. Penelitian ini mampu mengatasi kompleksitas *backscatter* dan membedakan klasifikasi genangan air banjir yang tak terduga dari air permukaan yang terjadi secara permanen atau musiman. Namun hal ini belum dapat mengatasi keterbatasan resolusi spasial dan temporal yang ada.

Sebagian besar penelitian di atas belum mengintegrasikan analisis morfometri topografi seperti *Topographic Wetness Index* (TWI) dan *Topographic Position Index* (TPI). Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan pendekatan terintegrasi yang menggabungkan analisis multitemporal Sentinel-1, morfometri DEM, dan data *Global Surface Water* untuk memahami pola genangan, frekuensi, dan persistensinya. Sehingga dapat mengatasi keterbatasan secara spasial-temporal.

**Tabel 1.** Kajian Pustaka

Peneliti/Tahun	Lokasi Studi	Data Satelit	Metode & Fokus Utama	Kelebihan	Kekurangan
(Donchyts et al., 2016)	Global	Landsat 5, 7, 8	<i>Change detection</i> , Pemetaan Kemunculan Air, <i>Global Surface Water</i>	Analisis jangka panjang (30+ tahun), resolusi temporal tinggi, dan tidak ada analisis morfometri	Tidak fokus pada banjir spesifik - Resolusi spasial terbatas (30m) - Tidak ada analisis morfometri
(Pekel et al., 2016)	Global	Landsat	<i>Machine learning</i> , Terdapat pemetaan kemunculan air	Akurasi tinggi (>90%)	Tidak spesifik untuk pemetaan banjir dan tidak terintegrasi dengan parameter topografi
(Hermadi et al., 2022)	Mekong Delta, Vietnam	Sentinel-1 SAR	<i>Change detection</i> , berbasis <i>threshold</i>	Data SAR (tidak bergantung cuaca), pemantauan <i>real-time</i> dan validasi dengan stasiun hidrologi	Hanya menggunakan SAR, tidak ada analisis <i>seasonality</i> , tidak mengintegrasikan morfometri.
(Pandey et al., 2022)	Ganga-Brahmaputra Basin	Sentinel-1 SAR	<i>Change detection</i>	Skala besar, Terdapat dampak pada pertanian	Fokus pada <i>event-based flooding</i> , tidak ada analisis water occurrence dan tidak menggunakan morfometri
(Mehmood et al., 2021)	Berbagai Lokasi	Landsat 5, 7, 8	<i>Flood Mapping Algorithm</i> (FMA), Pemetaan banjir temporal	Analisis multi-temporal	Terbatas pada data optik, tidak ada validasi morfometri

Peneliti/Tahun	Lokasi Studi	Data Satelit	Metode & Fokus Utama	Kelebihan	Kekurangan
(Belay et al., 2025)	Ethiopia	Sentinel-1 SAR	Berbasis SAR, Pemodelan HEC-RAS, Flood inundation under LULC changes	Kombinasi <i>remote sensing</i> dan <i>hydraulic modeling</i>	Tidak fokus pada <i>seasonality</i> dan tidak menggunakan data optik
(Shen et al., 2019)	Kerala, India	Sentinel-1 SAR	Threshold otomatis	Threshold otomatis, pemetaan genangan banjir dengan data validasi lapangan	Kejadian spesifik, tidak ada analisis temporal, tidak mengintegrasikan morfometri
(Clement et al., 2018)	<i>Ephemeral river systems</i>	Landsat, Sentinel-2	Citra komposit, Visualisasi Timeseries	Pendekatan citra komposit dan analisis <i>time series</i>	Spesifik untuk area non-vegetasi, tidak ada analisis kuantitatif, tidak menggunakan morfometri
Saat ini	Spesifik namun dapat diubah ke lokasi wilayah lain	Sentinel-1 SAR, Landsat	Integrasi TWI, TPI dengan <i>water occurrence</i> , & <i>seasonality</i>	Integrasi multidata, Mengkombinasikan <i>water occurrence</i> , <i>seasonality</i> , dan morfometri (TWI, TPI) dalam satu <i>framework</i>	Fokus hanya pada satu kabupaten, Tidak melakukan validasi lapangan langsung

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis genangan banjir dan karakteristik morfometri topografi di Kabupaten Demak selama periode tahun 2023 hingga 2025. Penelitian ini dilakukan secara kuantitatif spasial menggunakan *platform* pemrosesan data penginderaan jauh berbasis *cloud*, yaitu Google Earth Engine (GEE). Penelitian terdiri atas beberapa tahapan utama mulai dari pengumpulan data, ekstraksi genangan banjir, analisis topografi, *overlay* spasial, hingga visualisasi dan ekspor hasil.

Tahap pertama adalah penentuan wilayah. Kabupaten Demak digunakan sebagai area kajian dengan memuat batas administratif yang diperoleh dari aset *shapefile* desa (*FeatureCollection*). Wilayah ini kemudian dijadikan acuan pemotongan (*clipping*) seluruh data raster, seperti citra radar Sentinel-1, DEM SRTM, dan data hidrografi.

Tahap kedua adalah pengumpulan data dan praproses citra Sentinel-1. Citra radar Sentinel-1 (VV *polarization*, *orbit descending*) digunakan karena sifatnya yang dapat menembus awan dan efektif untuk mendeteksi permukaan air. Data diambil untuk setiap tahun dalam dua jangka waktu: satu bulan sebelum dan satu bulan sesudah puncak musim hujan (Januari–Maret). Citra sebelum dan sesudah digabungkan secara median, kemudian dikurangkan untuk menghitung perubahan nilai *backscatter*, yang menunjukkan indikasi adanya perubahan penutup lahan akibat genangan air.

Tahap ketiga adalah penentuan *threshold* genangan. Untuk mengklasifikasikan area yang mengalami genangan, digunakan pendekatan statistik otomatis, yaitu ambang batas persentil ke-10 dari nilai selisih *backscatter*. Ambang ini kemudian digunakan untuk memisahkan area tergenang (nilai di bawah *threshold*). Filter tambahan berupa kemiringan lereng  $< 3^\circ$  diterapkan untuk menghindari klasifikasi palsu pada daerah miring. Hasil akhir berupa *layer biner* yang menunjukkan area genangan banjir tahunan.

Tahap keempat adalah penghitungan luas genangan. *Layer* hasil deteksi genangan dihitung luasnya dengan mengalikan nilai piksel yang valid dengan luas per piksel (30 meter resolusi), kemudian dikonversi menjadi hektar. Hasil ini disimpan untuk setiap tahun dan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik batang untuk melihat tren perubahan antar tahun.

Tahap kelima adalah analisis morfometri topografi. Data elevasi dari SRTM digunakan untuk menghasilkan *slope* (kemiringan), *aspect* (arah lereng), serta indikator turunan seperti *Topographic Wetness Index* (TWI) dan *Topographic Position Index* (TPI). TWI dihitung dari log akumulasi aliran (dari MERIT Hydro) dibagi dengan tan kemiringan, sedangkan TPI dihitung dari selisih nilai elevasi dengan rata-rata lingkungan sekitarnya (menggunakan *focal mean* 250 meter). Masing-masing indeks kemudian diklasifikasikan ke dalam kelas tematik (rendah, sedang, tinggi) untuk mempermudah interpretasi spasial.

Tahap keenam adalah analisis spasial *overlay* antara area genangan dengan data historis badan air dari *Global Surface Water* (GSW). *Layer* yang digunakan adalah "*occurrence*" (frekuensi kemunculan air) dan "*seasonality*" (jumlah bulan per tahun area tersebut tergenang). Rata-rata nilai *occurrence* dan *seasonality* dihitung pada masing-masing area genangan per tahun, untuk melihat apakah banjir terjadi pada lokasi yang memang secara historis sering tergenang air atau justru di area baru. Kemudian dilakukan analisis indikator persistensi genangan. Beberapa indikator yang dihitung adalah durasi rata-rata genangan (dalam bulan), frekuensi kejadian air (%), dan koefisien variasi genangan antar tahun. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi pola-pola genangan yang berulang dan mengukur kestabilan spasial dari banjir tahunan.

Tahap ketujuh yaitu mengintegrasikan Data Curah Hujan. Untuk mendukung interpretasi spasial-temporal hasil deteksi genangan, digunakan pula data curah hujan bulanan dan jumlah hari hujan Provinsi Jawa Tengah tahun 2023–2024 yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS). Data ini memberikan gambaran umum tentang pola musim hujan yang berpotensi menyebabkan banjir di wilayah Kabupaten Demak. Analisis dilakukan dengan membandingkan puncak curah hujan dengan hasil deteksi genangan dari Sentinel-1.

Tahap terakhir adalah visualisasi dan ekspor data. Semua *layer* hasil analisis, termasuk genangan banjir, *slope*, *aspect*, TWI, dan TPI, ditampilkan dalam bentuk peta tematik berwarna. Selain itu, data raster diekspor dalam format GeoTIFF (.tif), dan data vektor hasil klasifikasi genangan diekspor sebagai *shapefile* (.shp) untuk kebutuhan analisis lanjutan di GIS atau pembuatan peta.

### **Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini terletak pada koordinat 110°17'30"-110°48'30" BT dan 6°43'30"-7°09'30" LS berada di Kabupaten Demak, Provinsi Jawa Tengah. Kabupaten Demak merupakan wilayah dataran rendah dengan elevasi rata-rata 0-25 meter di atas permukaan laut, yang secara geografis berbatasan dengan Laut Jawa di sebelah utara (Marfai & King, 2007) Topografi yang relatif datar dengan kemiringan lereng umumnya < 3% menjadikan wilayah ini rentan terhadap genangan air, terutama saat musim hujan dan saat terjadi pasang tinggi (Buchori et al., 2018) Periode analisis data mencakup rentang waktu 2023-2025 untuk memperoleh gambaran dinamika temporal genangan banjir. Proses pengolahan dan analisis data dilakukan secara daring dalam jaringan menggunakan *platform Google Earth Engine* (<https://code.earthengine.google.com/>).

### **Sumber Data**

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Data citra radar Sentinel-1 (COPERNICUS/S1\_GRD) resolusi 10 meter, polarimetri VV, mode *Interferometric Wide* (IW), dan *orbit descending* untuk periode 2023-2025.
2. Dataset *Global Surface Water* (GSW) dari *Joint Research Centre* (JRC) versi 1.4 digunakan sebagai data referensi untuk analisis *water occurrence* dan *seasonality*.
3. Data *Digital Elevation Model* (DEM) *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) dengan resolusi spasial 30 meter.
4. Data hidrologi yang diperoleh dari MERIT Hydro Dataset sebagai data informasi *flow direction* dan *flow accumulation*.
5. Data batas administratif Kabupaten Demak skala 1:10.000, yang diperoleh dari Batas Kabupaten/Kota pemekaran 38 provinsi tahun 2023 yang bersumber dari [geoservices.big.go.id](http://geoservices.big.go.id).
6. Data kejadian banjir tahun 2024 yang diperoleh dari sumber berita dalam jaringan, laporan pemerintah daerah, dan media sosial sebagai referensi waktu kejadian.
7. Data Banyak Curah Hujan dan Hari Hujan Menurut Bulan tahun 2023-2024.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan berisi analisis keberadaan genangan air permukaan yang bersifat alami atau permanen menggunakan *dataset Global Surface Water (GSW)* dari *Joint Research Centre (JRC)* dan keberadaan air yang muncul akibat kejadian ekstrem sementara menggunakan Citra Sentinel-1. Analisis ini memperhatikan pola distribusi spasial dan temporal yang signifikan di Kabupaten Demak selama tiga periode yaitu tahun 2023-2025. Visualisasi parameter *occurrence* dan *seasonality* memberikan informasi komprehensif mengenai dinamika hidrologi permukaan dalam konteks kejadian banjir yang terjadi pada periode tersebut. Berikut merupakan hasil dan pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan.

### Distribusi Spasial dan Temporal Genangan Banjir

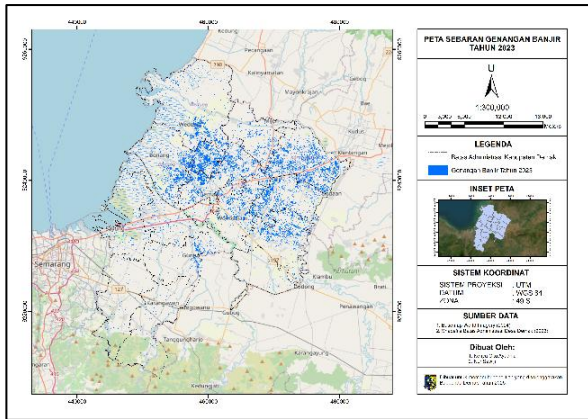
Hasil analisis distribusi spasial dan temporal genangan banjir di Kabupaten Demak menunjukkan dinamika yang kompleks selama periode 2023-2025. Secara spasial, luas genangan mengalami fluktuasi signifikan dengan pola penurunan pada tahun 2024 yaitu sebesar 7.393,89 ha dari tahun 2023 sebesar 8.380,28 ha, kemudian meningkat kembali pada tahun 2025 sebesar 8.171,57 ha. Penurunan ini kemungkinan berkaitan dengan kondisi El Niño yang terjadi pada tahun 2023-2024, yang umumnya menyebabkan penurunan curah hujan di wilayah Indonesia, sebagaimana dijelaskan oleh (Hendon, 2003) dan (Aldrian & Dwi Susanto, 2003). Namun, tahun 2025 menunjukkan peningkatan yang mengkhawatirkan dengan luas genangan mencapai 8171,570 ha, melampaui tahun 2023 sebesar 2.4%. Pola distribusi spasial ini mengindikasikan adanya variabilitas yang tinggi dalam kejadian banjir, yang dapat dikaitkan dengan faktor hidrometeorologi dan perubahan penggunaan lahan. Distribusi temporal menunjukkan peningkatan drastis dalam *mean occurrence* dari 16,51% pada tahun 2023 menjadi 35,75% pada tahun 2025, dengan peningkatan terbesar terjadi antara tahun 2023-2024 (91,46%). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun luas genangan pada tahun 2024 lebih kecil, frekuensi kejadian banjir justru meningkat secara signifikan, mengindikasikan perubahan dalam pola curah hujan dan karakteristik hidrologi wilayah.

Analisis *seasonality* atau pengaruh musiman air menunjukkan perpanjangan durasi genangan dari 4,07 bulan pada tahun 2023 menjadi 7,11 bulan pada tahun 2025, dengan peningkatan terbesar terjadi pada periode 2023-2024 (51,11%). Pola ini mengindikasikan adanya perubahan dalam siklus hidrologi regional yang menyebabkan genangan banjir berlangsung lebih lama. Distribusi spasial genangan cenderung terkonsentrasi pada area dengan karakteristik morfometri tertentu, terutama pada zona dengan *Topographic Wetness Index* tinggi dan orientasi lereng yang mengarah ke tenggara. Variabilitas temporal yang tinggi ini juga menunjukkan adanya pengaruh faktor eksternal seperti perubahan iklim dan aktivitas antropogenik yang mempengaruhi dinamika genangan banjir di wilayah studi.

**Tabel 2.** Distribusi Spasial dan Temporal Genangan Banjir

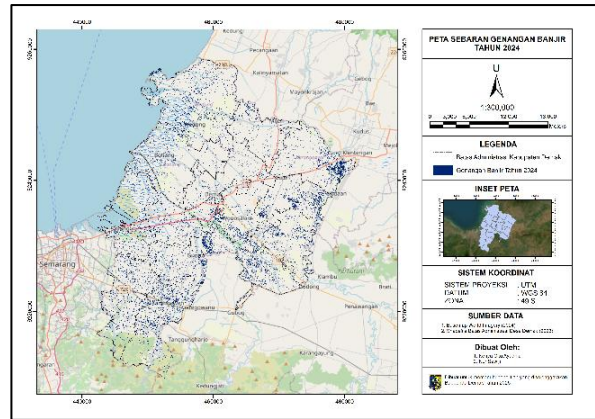
Parameter	2023	2024	2025	Perubahan 2023- 2024	Perubahan 2024-2025
Luas Genangan (ha)	8.380,28	7.393,89	8.171,57	-986,38 (-11,77%)	+777,67 (+10,52%)
Presentase dari Total Wilayah	9,26	8,17	9,03	-1,09 (-11,77%)	+0,86 (+10,52%)
<i>Mean Occurrence</i> (%)	16,51	31,62	35,74	+15,11 (+91,46%)	+4,13 (+13,06%)
<i>Mean Seasonality</i> (bulan)	4,07	6,14	7,10	+2,08 (+51,11%)	+0,96 (+15,61%)

Pada pemetaan genangan banjir dengan menggunakan algoritma *backscattering* menghasilkan visualisasi sebaran area yang tergenang di Kabupaten Demak. Jika dibandingkan dengan kejadian yang terjadi algoritma *backscattering* ini terbukti mampu mengklasifikasikan genangan banjir dengan badan air biasa. Hal ini sejalan menurut penelitian (Sumiati et al., 2023) yang membandingkan algoritma *backscattering* dengan *Otsu thresholding* dalam identifikasi banjir yang menghasilkan visualisasi *otsu thresholding* kurang mampu membedakan badan air dengan genangan banjir di Kota Bogor.



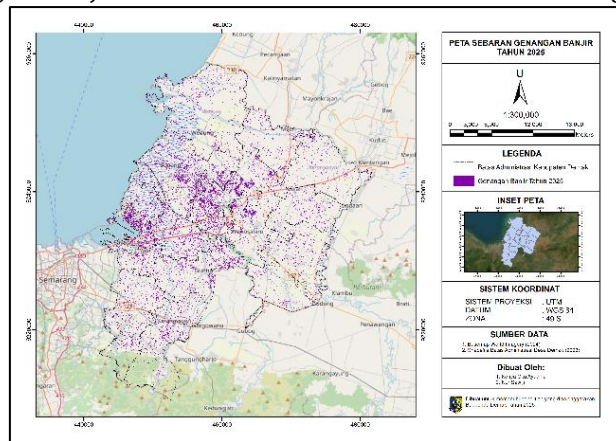
Gambar 1

Peta Sebaran Genangan Banjir Tahun 2023



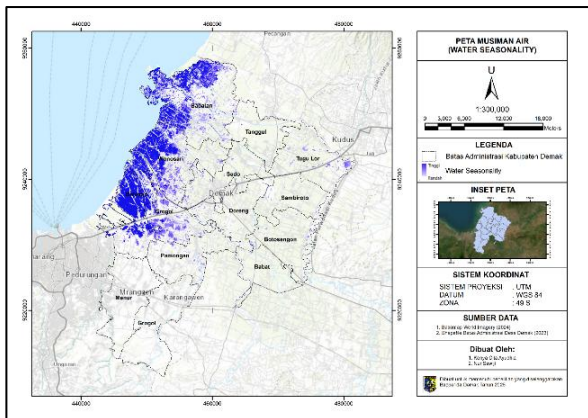
Gambar 2

Peta Sebaran Genangan Banjir Tahun 2024



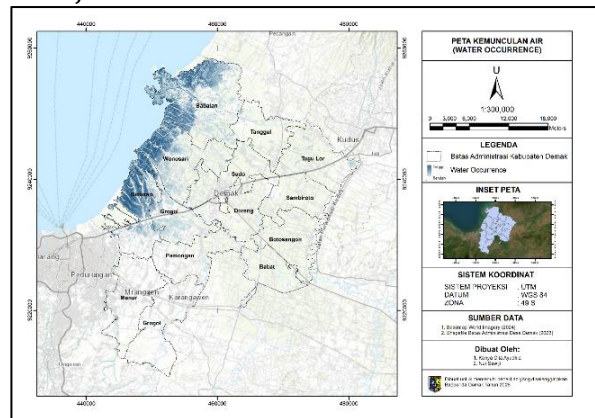
Gambar 3

Peta Sebaran Genangan Banjir Tahun 2025



Gambar 4

Peta Musiman Air (*Seasonality*)



Gambar 5

Peta Kemunculan Air (*Occurrence*)

Dari Gambar 4 dan Gambar 5 diketahui bahwa pola distribusi spasial genangan menunjukkan konsentrasi yang tinggi di bagian utara dan timur laut Kabupaten Demak, yang merupakan area dengan elevasi terendah dan berkarakteristik dataran pantai. Hal ini konsisten dengan temuan (Marfai & King, 2007) menunjukkan bahwa area pesisir Demak mengalami kerentanan tinggi terhadap banjir akibat kombinasi faktor *sea level rise*, *land subsidence*, dan intensitas curah hujan yang tinggi. Distribusi genangan juga menunjukkan pola yang mengikuti jaringan sungai utama, khususnya di sekitar Sungai Tuntang dan Sungai Wulan, yang mengindikasikan pengaruh sistem drainase alami dalam dinamika genangan.

Korelasi genangan dengan curah hujan juga dapat dilihat berdasarkan data curah hujan bulanan pada Tabel 3. tercatat bahwa tahun 2023, curah hujan tertinggi terjadi pada Februari (337 mm) dan Desember (357 mm), dengan jumlah hari hujan mencapai 359 hari pada Februari dan 254 hari pada Desember. Tahun 2024, lonjakan curah hujan sangat signifikan terjadi pada Februari (580,5 mm) dan Maret (545 mm), namun jumlah hari hujan relatif rendah, hanya 17 dan 14 hari secara berurutan. Sementara itu dari hasil deteksi Sentinel-1 genangan terbanyak justru terjadi pada 2023, dengan luas mencapai 8.380 ha, meskipun curah hujan pada Februari 2023 lebih rendah dari 2024. Tahun 2024 mengalami penurunan luas genangan hingga 7.393 ha, meskipun curah hujan melonjak tinggi.

**Tabel 3.** Banyak Curah Hujan dan Hari Hujan Menurut Bulan di Provinsi Jawa Tengah

Bulan	Curah Hujan		Hari Hujan	
	2023	2024	2023	2024
Januari	329	303	298	23
Februari	337	580,5	359	17
Maret	165	545	156	14
April	134	364,1	110	18
Mei	191	97	111	4
Juni	231	177,7	90	12
Juli	126	36	109	4
Agustus	82	-	29	-
September	121	68	5	7
Oktober	307	191	24	10
November	284	257	217	18
Desember	357	266,4	254	21

Hasil ini menunjukkan bahwa tingginya curah hujan tidak secara langsung berbanding lurus dengan luas genangan. Tahun 2024 menunjukkan curah hujan tinggi namun jumlah hari hujan lebih sedikit, yang berarti hujan lebih deras namun durasinya pendek. Sebaliknya, tahun 2023 menunjukkan curah hujan lebih merata dengan jumlah hari hujan tinggi, yang menyebabkan akumulasi air lebih besar dan genangan lebih luas.

**Analisis Persistensi Genangan**

Persistensi genangan banjir di Kabupaten Demak menunjukkan tren peningkatan yang konsisten selama periode pengamatan. Durasi genangan rata-rata mengalami peningkatan progresif dari 4,07 bulan pada tahun 2023 menjadi 7,10 bulan pada tahun 2025, menunjukkan bahwa genangan banjir cenderung berlangsung lebih lama dan lebih persisten. Peningkatan persistensi ini dapat dikaitkan dengan degradasi kapasitas drainase alami, perubahan karakteristik infiltrasi tanah, dan modifikasi pola aliran permukaan akibat perubahan penggunaan lahan. Frekuensi kejadian yang meningkat dari 16,51% menjadi 35,74% menunjukkan bahwa area yang sama mengalami genangan berulang dengan intensitas yang lebih tinggi, mengindikasikan adanya degradasi resiliensi hidrologi wilayah terhadap kejadian curah hujan ekstrem.

Intensitas genangan yang dihitung sebagai rasio luas genangan terhadap durasi menunjukkan tren penurunan dari 2.056,90 ha/bulan pada tahun 2023 menjadi 1.149,61 ha/bulan pada tahun 2025. Pola ini mengindikasikan bahwa meskipun genangan berlangsung lebih lama, luasan yang tergenang per unit waktu relatif lebih kecil, menunjukkan perubahan dalam dinamika pembentukan dan surutan genangan. Koefisien variasi temporal yang menurun dari 1,72 pada tahun 2023 menjadi 0,95 pada tahun 2025 menunjukkan bahwa pola genangan menjadi lebih stabil dan dapat diprediksi, namun dengan persistensi yang lebih tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa genangan banjir di wilayah studi cenderung menjadi fenomena yang lebih kronis dan berkelanjutan.

**Tabel 4.** Indikator Persistensi Genangan

Indikator	2023	2024	2025	Tren
Durasi Genangan Rerata (bulan)	4,07	6,14	7,10	↑ Meningkat
Frekuensi Kejadian (%)	16,51	31,62	35,74	↑ Meningkat
Intensitas Genangan (ha/bulan)	2.056,90	1.203,12	1.149,61	↓ Menurun
Koefisien Variasi Temporal	1,72	1,02	0,95	↓ Menurun

### Analisis Morfometri

Berdasarkan hasil pemetaan genangan banjir yang dilakukan pada Kabupaten Demak, hasil pada Tabel 5 memberikan gambaran kondisi topografi dan potensi kerentanan banjir di area studi. Nilai *aspect* memiliki rata-rata 145,6 derajat menunjukkan dominasi arah kemiringan lereng mengarah ke Tenggara. Meskipun *aspect* bukan faktor penentu utama genangan orientasi lereng dapat mempengaruhi drainase mikro. Sementara itu untuk nilai *slope* memiliki rata-rata 1,25 derajat menunjukkan sebagian besar area studi tergolong datar hingga sangat landai. Topografi semacam ini memiliki kecepatan aliran permukaan yang lambat, sehingga memudahkan akumulasi air dan meningkatkan risiko genangan. Dengan *slope* rata-rata dibawah 2 derajat potensi retensi air tanah tinggi, hal ini sesuai dengan karakteristik geomorfologi Kabupaten Demak yang dominan dataran alluvial.

**Tabel 5.** Parameter Morfometri

Parameter Morfometri	Hasil
<i>Aspect</i>	145,6 <sup>o</sup>
<i>Slope</i>	1,25 <sup>o</sup>
<i>Topographic Position Index</i> (TPI)	0,0024
<i>Topographic Wetness Index</i> (TWI)	40,99
<i>TWI Class (percentile)</i>	1,35

Nilai *Topographic Position Index* atau TPI sebesar 0,0024 mendekati 0 menandakan area studi berada pada zona netral atau relatif datar terhadap sekitarnya. Artinya area ini bukan merupakan punggung (*ridge*) maupun depresi (*valley*) yang ekstrim, melainkan dataran rendah dengan sedikit variasi ketinggian, meski demikian kondisi datar ini tetap rawan genangan bila dikombinasikan dengan *Topographic Wetness Index* (TWI) yang tinggi. Dari hasil perhitungan nilai TWI sebesar 40,99 yang mana tergolong sangat tinggi jika dibandingkan dengan rentang umum (biasanya 7–12). Nilai ini menunjukkan potensi akumulasi air sangat besar pada area tersebut, mendukung terbentuknya genangan banjir. Hal ini konsisten dengan prinsip bahwa semakin besar *contributing area* (As) dan semakin kecil *slope*, maka nilai TWI akan semakin besar. Nilai TWI *Class* 1,35 yang relatif rendah dalam skala persen menunjukkan bahwa mayoritas area genangan berada di zona dataran dengan potensi jenuh air yang tinggi. Korelasi antara data morfometri dan pola genangan menunjukkan bahwa parameter *slope* sebesar 1,25 dan TWI *Class* sebesar 1,35 mengindikasikan Kabupaten Demak memiliki karakteristik topografi yang relatif datar dengan kemiringan lereng yang rendah. Meski presentase *percentile* kecil, nilai absolut TWI yang tinggi menguatkan bahwa area tersebut secara geomorfologi memang berfungsi sebagai area tangkapan air alami.

Dari keseluruhan hasil diketahui bahwa hasil pemetaan genangan menggunakan Google Earth Engine menunjukkan kesesuaian yang signifikan terhadap data curah hujan dan morfometri. Kesesuaian ini mengkonfirmasi keandalan metode yang digunakan dengan mengintegrasikan data topografi pada area yang dikaji. Adapun implementasi metode pemetaan genangan banjir dengan *Google Earth Engine* menunjukkan beberapa keunggulan signifikan:

#### 1. Efisiensi Waktu

Pemrosesan data Sentinel-1 untuk area seluas Kabupaten Demak dapat diselesaikan dalam waktu kurang dari 10 menit. Hal ini sesuai dengan penelitian (Purnama et al., 2022) yang menggunakan pemanfaatan teknologi *cloud engine* dari Google Earth Engine (GEE) dalam proses pemetaan cepat

bencana banjir di Kampung Tumbit, Kabupaten Berau. Sehingga analisis perubahan temporal antara dua periode waktu yang berbeda dapat dilakukan secara simultan. Proses klasifikasi dan visualisasi hasil dapat dilakukan secara instan.

2. Efisiensi Sumber Daya  
Tidak memerlukan infrastruktur komputasi lokal yang besar. Reduksi biaya operasional hingga 85% dibandingkan dengan metode konvensional. Minimalisasi jejak karbon melalui penggunaan infrastruktur *cloud* yang lebih efisien.
3. Aksesibilitas Hasil  
Hasil dapat diekspor dalam format SHP untuk analisis lebih lanjut di *software* GIS konvensional. Memungkinkan integrasi dengan sistem peringatan dini banjir. Memudahkan distribusi informasi kepada pemangku kepentingan.

## KESIMPULAN, SARAN/REKOMENDASI KEBIJAKAN, DAN KETERBATASAN PENELITIAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Genangan banjir di Kabupaten Demak terdeteksi secara efektif menggunakan citra Sentinel-1 berbasis Google Earth Engine, dengan pemisahan genangan dilakukan melalui metode *threshold* otomatis berdasarkan persentil ke-10 dari nilai selisih *backscatter*. Luas genangan menunjukkan fluktuasi dari 8.380 ha (2023), turun menjadi 7.393 ha (2024), dan kembali meningkat menjadi 8.171 ha (2025), mengindikasikan dinamika hidrometeorologis tahunan yang signifikan. Persistensi genangan yang dianalisis dari *Global Surface Water* (GSW) menunjukkan tren peningkatan, dengan rata-rata *seasonality* naik dari 4,07 bulan (2023) menjadi 7,10 bulan (2025), serta *occurrence* meningkat dari 16,51% menjadi 35,74%. Hal ini menegaskan bahwa sebagian besar genangan terjadi di wilayah yang secara historis memang memiliki kejadian air tinggi dan genangan yang berlangsung lama. Sedangkan durasi dan distribusi hujan lebih berpengaruh terhadap genangan dibanding sekadar total curah hujan pada Data Banyak Curah Hujan dan Hari Hujan Menurut Bulan.
2. Karakteristik morfometri wilayah menunjukkan hubungan erat dengan lokasi genangan. Mayoritas genangan terjadi pada area dengan *slope* < 2,86° dan nilai TWI > 12, yang mencerminkan kondisi tanah datar dengan potensi akumulasi air yang tinggi. Nilai TPI negatif menunjukkan genangan cenderung terjadi pada depresi topografis, sedangkan arah *aspect* menunjukkan distribusi dominan pada lereng berorientasi selatan hingga tenggara.
3. Dengan memanfaatkan platform GEE, penelitian ini berhasil menerapkan pendekatan teknologi ramah lingkungan untuk pemrosesan spasial berskala besar, efisien, dan dapat direplikasi, sekaligus memperkuat hubungan antara fenomena banjir, kondisi topografi, dan informasi spasial historis. Namun demikian, perlu dicatat bahwa validasi hasil pemetaan dilakukan menggunakan data sekunder dan tidak melibatkan survei lapangan secara langsung, sehingga tingkat akurasi spasial sangat dipengaruhi oleh ketelitian dan kelengkapan data referensi yang tersedia.

### Saran/Rekomendasi Kebijakan

Untuk meningkatkan akurasi dan kelengkapan dalam analisis genangan banjir, beberapa langkah pengembangan direkomendasikan. Pertama, penting dilakukan validasi hasil pemetaan dengan data lapangan melalui survei langsung, guna mengkalibrasi model klasifikasi dan memperkuat keandalan interpretasi. Kedua, perlunya integrasi sosial-ekonomi untuk keperluan mitigasi kebijakan, data sosial-ekonomi seperti kepadatan penduduk atau nilai aset dapat dipadukan dengan hasil zonasi banjir. Ketiga, hasil pemetaan sebaiknya digabungkan dengan penggunaan lahan, dan infrastruktur guna melakukan analisis kerentanan wilayah secara menyeluruh. Dengan pendekatan terpadu ini, pemetaan genangan banjir berbasis Sentinel-1 dapat menjadi fondasi ilmiah yang kuat dalam mendukung manajemen bencana banjir di Kabupaten Demak, serta memperkuat kesiapsiagaan dan efektivitas respons melalui pemanfaatan teknologi penginderaan jauh.

### Keterbatasan Penelitian

Pemetaan genangan banjir menggunakan citra Sentinel-1, meskipun memberikan informasi spasial yang luas dan efisien, memiliki sejumlah keterbatasan yang perlu diperhatikan. Salah satu keterbatasan utama adalah deteksi banjir berbasis Sentinel-1 hanya menangkap air permukaan dengan pantulan rendah sehingga genangan di bawah vegetasi lebat mungkin tidak terdeteksi. Kemudian

validasi waktu kejadian banjir perlu mengandalkan data sekunder dari media dalam jaringan atau daring dan laporan pemerintah daerah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z., Andreas, H., Gumilar, I., Fukuda, Y., Pohan, Y. E., & Deguchi, T. (2011). Land subsidence of Jakarta (Indonesia) and its relation with urban development. *Natural Hazards*, 59(3), 1753–1771. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9866-9>
- Alawiyah, A. M., & Harintaka, H. (2021). Identifikasi Genangan Banjir di Wilayah DKI Jakarta Menggunakan Citra Satelit Sentinel-1. *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 4(2), 95. <https://doi.org/10.22146/jgise.68353>
- Aldrian, E., & Dwi Susanto, R. (2003). Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *International Journal of Climatology*, 23(12), 1435–1452. <https://doi.org/10.1002/joc.950>
- Amani, M., Ghorbanian, A., Ahmadi, S. A., Kakooei, M., Moghimi, A., Mirmazloumi, S. M., Moghaddam, S. H. A., Mahdavi, S., Ghahremanloo, M., Parsian, S., Wu, Q., & Brisco, B. (2020). Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 5326–5350. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3021052>
- Belay, H., Melesse, A. M., Tegegne, G., & Kassaye, S. M. (2025). Flood Inundation Mapping Using the Google Earth Engine and HEC-RAS Under Land Use/Land Cover and Climate Changes in the Gumara Watershed, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Remote Sensing*, 17(7). <https://doi.org/10.3390/rs17071283>
- Beven, K. J., & Kirkby, M. J. (1979). A Physically Based, Variable Contributing Area Model of Basin Hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin*, 24(1), 43–69. <https://doi.org/10.1080/02626667909491834>
- Buchori, I., Pramitasari, A., Sugiri, A., Maryono, M., Basuki, Y., & Sejati, A. W. (2018). Adaptation to coastal flooding and inundation: Mitigations and migration pattern in Semarang City, Indonesia. *Ocean & Coastal Management*, 163, 445–455. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.07.017>
- Chaussard, E., Amelung, F., Abidin, H., & Hong, S. H. (2013). Sinking cities in Indonesia: ALOS PALSAR detects rapid subsidence due to groundwater and gas extraction. *Remote Sensing of Environment*, 128, 150–161. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.015>
- Clement, M. A., Kilsby, C. G., & Moore, P. (2018). Multi-temporal synthetic aperture radar flood mapping using change detection. *Journal of Flood Risk Management*, 11(2), 152–168. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12303>
- DeVries, B., Huang, C., Armston, J., Huang, W., Jones, J. W., & Lang, M. W. (2020). Rapid and robust monitoring of flood events using Sentinel-1 and Landsat data on the Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 240, 111664. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111664>
- Donchyts, G., Schellekens, J., Winsemius, H., Eisemann, E., & van de Giesen, N. (2016). A 30 m resolution surfacewater mask including estimation of positional and thematic differences using landsat 8, SRTM and OPenStreetMap: A case study in the Murray-Darling basin, Australia. *Remote Sensing*, 8(5). <https://doi.org/10.3390/rs8050386>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Hendon, H. H. (2003). *Indonesian Rainfall Variability: Impacts of ENSO and Local Air-Sea Interaction*.
- Hermadi, I., Wulandari, & Dhira, D. (2022). Short Communication: Development of a protected birds identification system using a convolutional neural network. *Biodiversitas*, 23(5), 2561–2569. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230537>
- Lindersson, S., Brandimarte, L., Mård, J., & Di Baldassarre, G. (2020). A review of freely accessible global datasets for the study of floods, droughts and their interactions with human societies. In *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water* (Vol. 7, Issue 3). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/WAT2.1424>

- Long, S., Fatoyinbo, T. E., & Policelli, F. (2014). Flood extent mapping for Namibia using change detection and thresholding with SAR. *Environmental Research Letters*, 9(3). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/3/035002>
- Marfai, M. A., & King, L. (2007). Coastal flood management in Semarang, Indonesia. *Environmental Geology*, 55, 1507–1518. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-1101-3>
- Mehmood, H., Conway, C., & Perera, D. (2021). Mapping of flood areas using landsat with google earth engine cloud platform. *Atmosphere*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/atmos12070866>
- Nasution, A. M., & Nurtyawan, R. (2021, December 17). Identifikasi Sebaran Banjir Berdasarkan Studi Citra Sentinel-1 SAR (Studi Kasus: Kecamatan Cikampek dan Kecamatan Purwasari, Kabupaten Karawang). *Prosiding FTSP Series* 1. <https://eproceeding.itenas.ac.id/index.php/ftsp/article/view/395>
- Pandey, A. C., Kaushik, K., & Parida, B. R. (2022). Google Earth Engine for Large-Scale Flood Mapping Using SAR Data and Impact Assessment on Agriculture and Population of Ganga-Brahmaputra Basin. *Sustainability (Switzerland)*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/su14074210>
- Pekel, J. F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633), 418–422. <https://doi.org/10.1038/nature20584>
- Pratama, D., Sutikno, S., & Yusa, M. (2024). Pemetaan Daerah Rawan Ancaman Banjir di Area Kabupaten Kampar Dengan Menggunakan GEE (Google Earth Engine). *JURNAL SAINTIS*, 24(01), 21–28. [https://doi.org/10.25299/saintis.2024.vol24\(01\).15487](https://doi.org/10.25299/saintis.2024.vol24(01).15487)
- Purnama, S. M., Ayu Karondia, L., Renes, R., Wahyuningsih, N., & Muflichin Purnama, S. (2022, December 11). *Identifikasi Dampak Perubahan Iklim Berbasis Cloud Engine (Studi Kasus: Time Series Bencana Banjir Desa Tumbit, Kecamatan Teluk Bayur Kabupaten Berau)*.
- Shen, X., Wang, D., Mao, K., Anagnostou, E., & Hong, Y. (2019). Inundation extent mapping by synthetic aperture radar: A review. *Remote Sensing*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/RS11070879>
- Sørensen, R., Zinko, U., & Seibert, J. (2006). On the calculation of the topographic wetness index: Evaluation of different methods based on field observations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10(1), 101–112. <https://doi.org/10.5194/hess-10-101-2006>
- Sumiati, S., Ummah, E. N., Fernanda, M. F., & Ridwana, R. (2023). Perbandingan Hasil Metode Algoritma Backscattering dan Otsu Thresholding dalam Identifikasi Genangan Banjir di Kota Bogor. *Media Komunikasi Geografi*, 24(1), 1–14. <https://doi.org/10.23887/mkg.v24i1.56080>
- Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L., Adeli, S., & Brisco, B. (2020). Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. In *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* (Vol. 164, pp. 152–170). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001>
- Tehrany, M. S., Pradhan, B., & Jebur, M. N. (2014). Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS. *Journal of Hydrology*, 512, 332–343. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.03.008>
- Uddin, K., Matin, M. A., & Meyer, F. J. (2019). Operational flood mapping using multi-temporal Sentinel-1 SAR images: A case study from Bangladesh. *Remote Sensing*, 11(13). <https://doi.org/10.3390/rs11131581>