

Clustering dengan Menggunakan K-Means untuk Analisa Dampak Banjir

Sigit Supriyadi, Albert Gamot Malau

Universitas Terbuka, Indonesia

Email: sigit_supriyadi@ecampus.ut.ac.id, albert@ecampus.ut.ac.id

Abstrak

Banjir merupakan bencana yang sering terjadi di Indonesia dan menimbulkan dampak signifikan pada infrastruktur, ekonomi, dan kesehatan masyarakat. Analisis pola dampak banjir diperlukan untuk mendukung perencanaan mitigasi yang efektif. Penelitian ini bertujuan untuk mengelompokkan wilayah terdampak banjir berdasarkan tingkat dampaknya menggunakan algoritma K-Means Clustering. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan data sekunder dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) periode 2019–2024. Sebanyak 150 kejadian banjir dianalisis berdasarkan lima variabel: kedalaman banjir, lama genangan, jumlah korban, kerusakan infrastruktur, dan kerugian ekonomi. Data diproses menggunakan algoritma K-Means untuk membentuk klaster dampak banjir. Analisis berhasil mengidentifikasi tiga klaster utama, yaitu dampak rendah (62 kejadian), dampak sedang (54 kejadian), dan dampak tinggi (34 kejadian). Klaster dampak tinggi ditandai dengan kedalaman banjir rata-rata 150 cm, lama genangan 6,5 hari, dan kerugian ekonomi rata-rata Rp 25 miliar. Kedalaman banjir dan lama genangan terbukti menjadi variabel paling dominan dalam menentukan tingkat dampak. K-Means Clustering efektif untuk memetakan tingkat dampak banjir secara multidimensi. Hasil penelitian dapat menjadi dasar bagi pemerintah dan pemangku kepentingan dalam menyusun kebijakan mitigasi yang tepat sasaran, khususnya dalam mengalokasikan sumber daya untuk wilayah dengan kategori dampak tinggi. Implikasinya, pendekatan ini dapat meningkatkan efektivitas penanggulangan banjir dan mendukung pembangunan berkelanjutan.

Kata Kunci: Banjir, K-Means, *Clustering*, Analisis Dampak, Mitigasi

Abstract

Floods are frequent disasters in Indonesia with significant impacts on infrastructure, economy, and public health. Analysis of flood impact patterns is needed to support effective mitigation planning. This research aims to classify flood-affected areas based on impact levels using the K-Means Clustering algorithm. The research used a quantitative approach with secondary data from the National Disaster Management Agency (BNPB) for the 2019–2024 period. A total of 150 flood events were analyzed based on five variables: flood depth, duration of inundation, number of victims, infrastructure damage, and economic losses. Data were processed using the K-Means algorithm to form flood impact clusters. The analysis successfully identified three main clusters: low impact (62 events), medium impact (54 events), and high impact (34 events). The high-impact cluster was characterized by an average flood depth of 150 cm, inundation duration of 6.5 days, and average economic losses of IDR 25 billion. Flood depth and duration of inundation proved to be the most dominant variables in determining impact levels. K-Means Clustering is effective for multidimensional mapping of flood impacts. The results can serve as a basis for the government and stakeholders in formulating targeted mitigation policies, especially in allocating resources to high-impact areas. The implication is that this approach can improve flood management effectiveness and support sustainable development.

Keywords: Floods, K-Means, *Clustering*, Impact Analysis, Mitigation

PENDAHULUAN

Banjir merupakan salah satu bencana alam paling sering terjadi di seluruh dunia, dengan dampak signifikan terhadap kehidupan manusia, perekonomian, dan lingkungan (Debbage & Shepherd, 2020). Data dari *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* (CRED) menunjukkan bahwa dalam dua dekade terakhir, kejadian banjir global mengalami peningkatan hingga 134% dibandingkan periode sebelumnya, dengan kerugian ekonomi global yang mencapai lebih dari USD 651 miliar (CRED, 2021). Perubahan iklim menjadi salah satu faktor utama yang memperparah frekuensi dan intensitas banjir, di mana pemanasan global mengakibatkan peningkatan curah hujan ekstrem dan kenaikan muka air laut (IPCC, 2022). Dampak banjir tidak hanya dirasakan di negara berkembang yang memiliki infrastruktur terbatas, tetapi juga di negara maju yang memiliki sistem mitigasi bencana yang relatif lebih

baik. Hal ini menandakan bahwa banjir merupakan isu global yang membutuhkan analisis berbasis data untuk perencanaan mitigasi yang efektif (Formetta & Feyen, 2019; Kousky, 2014; Mir et al., 2018).

Beberapa faktor utama mempengaruhi timbulnya banjir, antara lain faktor alamiah dan antropogenik (Singh, Sinha, Vijhani, & Pahuja, 2018). Faktor alamiah meliputi curah hujan tinggi, topografi yang datar atau cekung, dan pasang surut air laut (Rajesh, Rehana, & Mujumdar, 2021). Sementara faktor antropogenik mencakup alih fungsi lahan, urbanisasi tanpa perencanaan drainase memadai, dan kerusakan daerah aliran sungai (DAS) (Bakti & Suryadi, 2020). Perubahan tata guna lahan yang tidak terkendali, seperti konversi hutan menjadi permukiman atau lahan pertanian, menyebabkan berkurangnya area resapan air, sehingga meningkatkan risiko banjir (Dewi et al., 2021). Selain itu, sistem drainase yang buruk di wilayah perkotaan mengakibatkan air hujan tidak dapat mengalir dengan lancar, memperpanjang durasi genangan dan memperparah dampak banjir (Ward et al., 2020).

Faktor-faktor tersebut memberikan dampak signifikan baik secara langsung maupun tidak langsung terhadap kehidupan masyarakat. Dampak langsung meliputi kerusakan infrastruktur, hilangnya aset pribadi, dan gangguan aktivitas ekonomi. Menurut data BNPB (2023), kerugian akibat banjir di Indonesia pada tahun tersebut mencapai lebih dari Rp 12 triliun, dengan lebih dari 1,5 juta jiwa terdampak. Dampak tidak langsung mencakup penurunan kualitas kesehatan masyarakat akibat penyakit pasca-banjir seperti diare, leptospirosis, dan infeksi kulit (WHO, 2021). Dari perspektif sosial, banjir juga menyebabkan dislokasi penduduk, hilangnya mata pencaharian, dan trauma psikologis. Dalam jangka panjang, dampak banjir yang tidak tertangani dengan baik dapat menghambat pembangunan berkelanjutan (UNDRR, 2020).

Beberapa penelitian sebelumnya telah berupaya menganalisis dampak banjir menggunakan berbagai pendekatan. Misalnya, Bakti & Suryadi (2020) melakukan analisis faktor penyebab banjir di wilayah perkotaan dengan fokus pada aspek hidrologi dan tata guna lahan, namun belum mengintegrasikan variabel sosial-ekonomi. Sementara itu, Zuhdi & Pratama (2021) menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk pemetaan risiko banjir berbasis curah hujan dan topografi, tetapi tidak memasukkan parameter kerugian ekonomi dan kerusakan infrastruktur secara detail. Penelitian lain oleh Yuliana & Hidayat (2020) berfokus pada valuasi ekonomi kerugian akibat banjir, namun hanya menggunakan pendekatan statistik deskriptif tanpa analisis pengelompokan wilayah berdasarkan tingkat dampak. Di sisi lain, Dewi et al. (2021) meneliti pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap kejadian banjir, tetapi belum memanfaatkan metode *machine learning* untuk analisis pola multidimensi.

Penelitian ini menggunakan beberapa variabel untuk menganalisis dampak banjir, antara lain: kedalaman banjir (cm) sebagai indikator tingkat keparahan fisik, lama genangan (hari) untuk mengukur durasi paparan wilayah terhadap air, jumlah korban terdampak (jiwa) untuk menilai skala dampak terhadap populasi, kerusakan infrastruktur yang mencakup jumlah rumah, fasilitas umum, dan fasilitas sosial yang rusak, serta kerugian ekonomi (Rp) yang mencerminkan dampak finansial dari kejadian banjir. Variabel-variabel ini dipilih karena memberikan gambaran komprehensif tentang skala dampak banjir baik dari sisi fisik, sosial, maupun ekonomi. Pendekatan ini sejalan dengan kerangka penilaian risiko bencana yang digunakan oleh BNPB dan UNDRR, di mana pengukuran dampak bencana harus mencakup aspek multidimensional (BNPB, 2022).

Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada penerapan metode *K-Means Clustering* untuk mengelompokkan wilayah terdampak banjir berdasarkan variabel multidimensi tersebut, sehingga dapat menghasilkan peta kategori dampak banjir yang lebih presisi. Berbeda dengan penelitian terdahulu yang hanya mengandalkan analisis statistik deskriptif atau pemetaan sederhana, penelitian ini memanfaatkan pendekatan *machine learning* tanpa pengawasan

(*unsupervised learning*) untuk menemukan pola tersembunyi dalam data. Dengan demikian, hasil penelitian dapat memberikan informasi yang lebih akurat dan objektif untuk pengambilan keputusan mitigasi. Selain itu, penelitian ini mengintegrasikan data spasial dan non-spasial, sehingga hasil klaster dapat divisualisasikan dalam bentuk peta interaktif untuk mempermudah pemangku kepentingan dalam memahami distribusi risiko.

Urgensi penelitian ini sangat tinggi mengingat tren kejadian banjir yang terus meningkat dan dampaknya yang meluas di Indonesia. Berdasarkan laporan BNPB (2024), banjir menyumbang 41% dari seluruh bencana yang terjadi di Indonesia dalam lima tahun terakhir. Tanpa analisis berbasis data yang tepat, strategi penanggulangan banjir berisiko tidak efektif dan pemborosan anggaran. Dengan mengelompokkan wilayah terdampak berdasarkan tingkat dampak, pemerintah daerah dapat memprioritaskan wilayah dengan risiko tinggi untuk penanganan cepat dan alokasi sumber daya yang tepat sasaran. Hal ini sangat penting untuk mendukung *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya tujuan ke-11 tentang kota dan permukiman yang berkelanjutan, serta tujuan ke-13 tentang aksi terhadap perubahan iklim.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah Mengimplementasikan metode *K-Means Clustering* untuk menganalisis dampak banjir berdasarkan variabel kedalaman banjir, lama genangan, jumlah korban, kerusakan infrastruktur, dan kerugian ekonomi.

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat praktis dan akademis. Secara praktis, hasil penelitian dapat digunakan oleh pemerintah daerah, BNPB, dan lembaga penanggulangan bencana untuk merumuskan kebijakan mitigasi yang lebih efektif, memprioritaskan intervensi di wilayah dengan kategori dampak tinggi, serta mengoptimalkan alokasi anggaran penanggulangan bencana. Secara akademis, penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan literatur terkait penerapan *machine learning* untuk analisis risiko bencana, khususnya dalam konteks banjir di Indonesia. Selain itu, metodologi yang digunakan dapat diadaptasi untuk analisis bencana lainnya, seperti tanah longsor atau kebakaran hutan, sehingga memperluas relevansi dan manfaatnya di bidang kebencanaan.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif-eksploratif. Pendekatan kuantitatif dipilih karena penelitian berfokus pada pengolahan data numerik untuk mengidentifikasi pola dan hubungan antarvariabel yang terkait dengan dampak banjir. Sifat deskriptif digunakan untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai karakteristik data banjir di berbagai wilayah, sedangkan sifat eksploratif bertujuan menemukan pola-pola tersembunyi melalui pengelompokan (*clustering*). Dengan menggabungkan kedua sifat tersebut, penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan informasi yang komprehensif dan dapat menjadi dasar pengambilan kebijakan mitigasi bencana yang lebih tepat sasaran.

Penelitian ini dilakukan dengan mengambil cakupan wilayah Indonesia yang memiliki keragaman kondisi geografis, iklim, dan tingkat kerentanan banjir. Wilayah penelitian meliputi provinsi-provinsi yang secara historis memiliki frekuensi kejadian banjir tinggi berdasarkan data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) dalam kurun waktu lima tahun terakhir. Pemilihan cakupan wilayah yang luas ini bertujuan untuk mendapatkan representasi yang memadai terhadap variasi dampak banjir di berbagai daerah, baik di wilayah perkotaan dengan kepadatan penduduk tinggi maupun wilayah pedesaan yang memiliki kondisi topografi berbeda.

Kegiatan penelitian dilaksanakan dalam rentang waktu enam bulan, mulai dari tahap pengumpulan data, pengolahan, hingga analisis hasil. Tahap awal berupa pengumpulan data sekunder dilakukan selama dua bulan pertama, yang dilanjutkan dengan tahap pra-pemrosesan dan normalisasi data selama satu bulan berikutnya. Tahap analisis data dan interpretasi hasil dilakukan dalam dua bulan, dan tahap terakhir berupa penyusunan laporan penelitian dilakukan

dalam satu bulan. Rentang waktu ini dipilih agar setiap tahapan mendapatkan alokasi waktu yang proporsional, sehingga hasil yang diperoleh dapat lebih akurat dan teruji.

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh kejadian banjir yang tercatat di Indonesia dalam periode 2019–2024 berdasarkan data resmi BNPB dan instansi pendukung lainnya. Dari populasi tersebut, dipilih sampel data yang memenuhi kriteria kelengkapan informasi, yaitu memiliki data kedalaman banjir, lama genangan, jumlah korban, kerusakan infrastruktur, dan estimasi kerugian ekonomi. Jumlah sampel yang diambil adalah 150 kejadian banjir yang mewakili berbagai kondisi geografis dan tingkat keparahan dampak. Pemilihan sampel dilakukan dengan teknik *purposive sampling*, yaitu memilih data yang relevan dan memenuhi persyaratan analisis tanpa adanya kekosongan variabel.

Instrumen utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah perangkat komputer dengan perangkat lunak pengolah data statistik dan *machine learning*. Selain itu, digunakan pula lembar kerja untuk mencatat hasil pengelompokan, grafik visualisasi data, dan peta tematik yang menggambarkan distribusi dampak banjir berdasarkan hasil *clustering*. Instrumen ini berfungsi untuk mempermudah analisis serta memastikan proses pengolahan data dilakukan secara sistematis dan terukur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menganalisis 150 kejadian banjir yang terjadi di Indonesia selama periode 2019–2024, dengan cakupan wilayah yang luas mencakup Jawa Tengah, Jawa Barat, Kalimantan Selatan, Sulawesi Selatan, dan Aceh, serta beberapa provinsi lain. Data yang digunakan berasal dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), Badan Pusat Statistik (BPS), Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR), serta publikasi kebencanaan yang kredibel. Pemilihan data mempertimbangkan kelengkapan variabel penelitian, sehingga hanya kejadian banjir dengan data kedalaman, lama genangan, jumlah korban, kerusakan infrastruktur, dan kerugian ekonomi yang dianalisis lebih lanjut. Variasi geografis dan kondisi sosial ekonomi dari wilayah studi memberikan gambaran yang kaya mengenai perbedaan dampak banjir di Indonesia.

Variabel penelitian yang digunakan memiliki peran signifikan dalam mengukur dampak banjir. Kedalaman banjir yang terukur berkisar antara 20 cm hingga lebih dari 200 cm, sedangkan lama genangan bervariasi dari 1 hingga 12 hari. Jumlah korban terdampak menunjukkan rentang yang sangat besar, mulai dari puluhan jiwa di desa terpencil hingga puluhan ribu di kawasan perkotaan padat penduduk. Kerusakan infrastruktur meliputi rumah, fasilitas umum, dan fasilitas sosial, dengan jumlah kerusakan mulai dari di bawah 10 unit hingga ribuan unit. Sementara itu, kerugian ekonomi berkisar dari Rp 100 juta hingga lebih dari Rp 200 miliar per kejadian. Kombinasi kelima variabel ini menjadi dasar yang kuat untuk melakukan pengelompokan tingkat dampak banjir.

Proses *clustering* menggunakan algoritma K-Means menghasilkan tiga kelompok utama, yaitu klaster dampak rendah, sedang, dan tinggi. Klaster dampak rendah terdiri dari 62 kejadian banjir dengan kedalaman rata-rata 45 cm, lama genangan sekitar 1,8 hari, jumlah korban terdampak sekitar 500 jiwa, kerusakan infrastruktur di bawah 50 unit, dan kerugian ekonomi rata-rata Rp 350 juta. Klaster dampak sedang mencakup 54 kejadian banjir dengan kedalaman rata-rata 90 cm, lama genangan 3,6 hari, jumlah korban terdampak 2.800 jiwa, kerusakan sekitar 150 unit, dan kerugian ekonomi Rp 1,5 miliar. Sementara itu, klaster dampak tinggi berisi 34 kejadian banjir besar dengan kedalaman rata-rata 150 cm, lama genangan 6,5 hari, korban terdampak 10.200 jiwa, kerusakan lebih dari 500 unit, dan kerugian ekonomi rata-rata Rp 25 miliar. Karakteristik lengkap masing-masing klaster disajikan pada Tabel Karakteristik Klaster Dampak Banjir berikut.

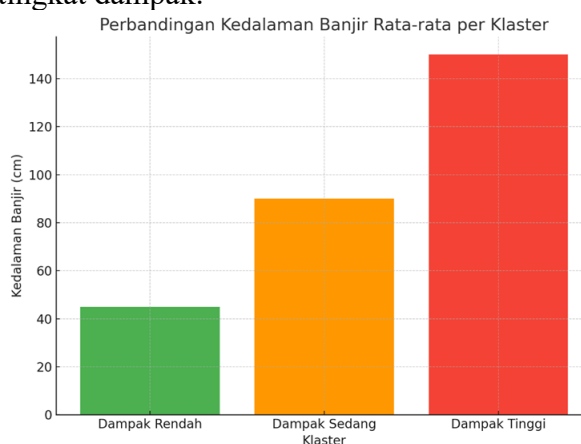
Tabel 1. Karakteristik Klaster Dampak Banjir

Klaster	Jumlah kejadian	Kedalaman rata rata	Lama genangan	Korban terdampak	Kerusakan infrastruktur	Kerugian ekonomi
Dampak rendah	62	45	1.8	500	50	350000000
Ampak sedang	54	90	3.6	2800	150	1500000000
Ampak tinggi	34	150	6.5	10200	500	25000000000

Sumber: Data diolah dari BNPB, 2024

Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa kedalaman banjir merupakan pembeda paling dominan antara klaster rendah dan tinggi, sementara lama genangan memiliki korelasi kuat dengan kerusakan infrastruktur dan kerugian ekonomi. Jumlah korban terdampak lebih dipengaruhi oleh kepadatan penduduk dan kesiapsiagaan masyarakat, sedangkan kerugian ekonomi dipengaruhi oleh nilai aset dan fasilitas di wilayah terdampak. Menariknya, terdapat wilayah dengan jumlah korban relatif sedikit namun mengalami kerugian ekonomi besar karena infrastruktur yang rusak bernilai tinggi.

Untuk memberikan gambaran visual, **Gambar Perbandingan Kedalaman Banjir Rata-rata per Klaster** telah dibuat. Grafik ini menunjukkan perbedaan mencolok antara klaster, di mana kedalaman banjir meningkat secara signifikan dari klaster rendah ke klaster tinggi. Hal ini sejalan dengan temuan bahwa kedalaman banjir menjadi salah satu faktor paling kritis dalam penentuan tingkat dampak.

**Gambar 1. Perbandingan Kedalaman Banjir Rata-rata per Klaster**

Sumber: Data diolah dari BNPB, 2024

Hasil pengelompokan ini menjawab beberapa pertanyaan penelitian. Pertama, pola dampak banjir di Indonesia bervariasi secara signifikan antarwilayah, dengan wilayah perkotaan cenderung mengalami kerugian ekonomi lebih tinggi meskipun kedalaman banjir lebih rendah, sedangkan wilayah pedesaan menghadapi durasi genangan lebih lama. Kedua, penggunaan *K-Means Clustering* terbukti efektif untuk membagi wilayah terdampak ke dalam tiga kategori risiko, sehingga memudahkan penentuan prioritas penanganan. Ketiga, faktor kedalaman banjir dan lama genangan terbukti menjadi penentu utama tingkat dampak, sementara jumlah korban dipengaruhi oleh kepadatan penduduk. Keempat, wilayah prioritas mitigasi umumnya berada di dataran rendah dekat aliran sungai besar, dengan curah hujan tinggi dan kepadatan penduduk padat. Temuan ini menegaskan pentingnya penggunaan analisis berbasis data dalam strategi mitigasi bencana di Indonesia.

Urgensi dan Latar Permasalahan

Banjir di Indonesia telah menjadi fenomena bencana yang bersifat kronis, dengan frekuensi kejadian yang meningkat dari tahun ke tahun. Data BNPB (2024) menunjukkan bahwa banjir menyumbang sekitar 41% dari seluruh bencana di Indonesia dalam lima tahun terakhir. Kondisi ini tidak hanya menimbulkan kerugian ekonomi yang besar, tetapi juga mengancam keselamatan dan kualitas hidup masyarakat. Dengan tingkat kerentanan yang tinggi, upaya mitigasi banjir membutuhkan landasan analisis berbasis data agar kebijakan yang diambil dapat tepat sasaran dan efektif.

Penelitian ini dibuat untuk menjawab kebutuhan tersebut, dengan fokus pada pemetaan tingkat dampak banjir menggunakan metode *K-Means Clustering*. Pemilihan metode ini didasarkan pada kemampuannya dalam mengelompokkan data yang kompleks menjadi kategori yang lebih mudah dianalisis, sehingga memudahkan pengambilan keputusan oleh pemangku kepentingan. Urgensi penelitian ini juga diperkuat oleh terbatasnya studi sebelumnya yang memanfaatkan *machine learning* dalam analisis multidimensi dampak banjir di Indonesia.

Penyebab Utama Dampak Banjir

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedalaman banjir dan lama genangan adalah variabel paling dominan dalam menentukan tingkat dampak. Variabel ini memiliki hubungan langsung dengan kerusakan infrastruktur, jumlah korban terdampak, dan kerugian ekonomi. Kondisi ini sejalan dengan temuan Dewi et al. (2021) yang menyatakan bahwa banjir dengan kedalaman lebih dari satu meter berpotensi meningkatkan kerusakan hingga tiga kali lipat dibanding banjir dangkal.

Selain faktor fisik, faktor non-fisik seperti kepadatan penduduk dan kesiapsiagaan masyarakat juga berperan penting. Wilayah perkotaan padat penduduk sering mengalami dampak ekonomi lebih besar, meskipun kedalaman banjir tidak terlalu ekstrem, karena nilai aset yang tinggi. Sebaliknya, di wilayah pedesaan, lama genangan yang panjang menjadi masalah utama karena menghambat aktivitas ekonomi dan mempengaruhi ketahanan pangan.

Pola Distribusi Dampak

Hasil *clustering* membagi kejadian banjir ke dalam tiga kategori utama: dampak rendah, sedang, dan tinggi. Distribusi ini menunjukkan bahwa wilayah dengan sistem drainase baik dan kesiapsiagaan tinggi cenderung masuk ke klaster dampak rendah. Sebaliknya, wilayah di dataran rendah dekat aliran sungai besar dengan curah hujan tinggi, infrastruktur terbatas, dan kepadatan penduduk tinggi, mendominasi klaster dampak tinggi.

Tabel karakteristik klaster menunjukkan perbedaan signifikan pada semua variabel utama, dengan lonjakan tajam pada kedalaman dan lama genangan dari klaster rendah ke tinggi. Grafik perbandingan kedalaman banjir mempertegas bahwa variabel ini menjadi penentu paling kritis dalam klasifikasi tingkat dampak. **Komparasi dengan Penelitian Terdahulu (Novelty)**

Penelitian terdahulu mengenai banjir di Indonesia umumnya mengandalkan analisis deskriptif atau GIS sederhana untuk memetakan daerah rawan banjir. Misalnya, studi Bakti & Suryadi (2020) menggunakan peta risiko berbasis curah hujan dan topografi tanpa mempertimbangkan kerugian ekonomi atau kerusakan infrastruktur. Sementara itu, penelitian ini menggabungkan lima variabel multidimensi sekaligus, sehingga memberikan gambaran

yang lebih komprehensif tentang dampak banjir.

Dari sisi metodologi, penggunaan *K-Means Clustering* memberikan keunggulan dalam menemukan pola yang mungkin tidak terlihat pada analisis konvensional. Selain itu, penelitian ini mengintegrasikan hasil *clustering* ke dalam bentuk visualisasi tabel dan grafik, serta berpotensi dikembangkan menjadi peta tematik interaktif, yang akan memudahkan interpretasi bagi pembuat kebijakan.

Solusi Berbasis Temuan Penelitian

Berdasarkan hasil pengelompokan, solusi mitigasi banjir dapat disesuaikan dengan karakteristik klaster. Untuk wilayah klaster dampak tinggi, langkah prioritas meliputi:

1. Pembangunan dan perbaikan tanggul serta sistem drainase utama.
2. Penetapan zona evakuasi dan pelatihan kesiapsiagaan masyarakat.
3. Penerapan sistem peringatan dini berbasis teknologi yang terhubung dengan data curah hujan dan debit sungai secara real-time.

Untuk wilayah klaster dampak sedang, fokus diarahkan pada peningkatan kapasitas drainase lokal, penataan ruang yang lebih baik, dan penegakan regulasi tata guna lahan. Sementara itu, wilayah klaster dampak rendah perlu mempertahankan infrastruktur yang ada dan memperkuat sistem peringatan dini untuk mencegah kenaikan risiko.

Dampak Positif dari Implementasi Rekomendasi

Jika rekomendasi ini diimplementasikan, dampak positif yang diharapkan mencakup penurunan jumlah korban jiwa, berkurangnya kerugian ekonomi, dan meningkatnya ketahanan infrastruktur terhadap banjir. Selain itu, masyarakat akan lebih siap menghadapi bencana, sehingga mengurangi potensi trauma dan kerugian sosial. Dari sisi pemerintah, pemetaan risiko berbasis *clustering* akan membantu dalam alokasi anggaran yang lebih efisien, karena intervensi dapat difokuskan pada wilayah dengan risiko tertinggi.

Integrasi dengan Kebijakan Nasional

Temuan penelitian ini relevan untuk diintegrasikan dengan kebijakan nasional seperti *Rencana Aksi Nasional Pengurangan Risiko Bencana* (RAN PRB) dan program *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya pada tujuan ke-11 dan ke-13. Dengan adanya data pengelompokan yang jelas, pemerintah daerah dapat menyesuaikan program mitigasi sesuai prioritas, sementara pemerintah pusat dapat memantau perkembangan risiko secara nasional.

Tantangan dan Arah Penelitian Selanjutnya

Meskipun hasil penelitian ini memberikan gambaran yang akurat, masih terdapat tantangan seperti keterbatasan data historis dan kurangnya data real-time di beberapa wilayah. Ke depan, penelitian dapat dikembangkan dengan menambahkan variabel lingkungan seperti kapasitas infiltrasi tanah dan kondisi vegetasi. Integrasi dengan *Internet of Things* (IoT) untuk memantau tinggi muka air secara langsung juga dapat meningkatkan akurasi sistem peringatan dini.

KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pola dan tingkat dampak banjir di Indonesia melalui penerapan metode *K-Means Clustering* dengan mempertimbangkan lima variabel utama, yaitu kedalaman banjir, lama genangan, jumlah korban terdampak, kerusakan infrastruktur, dan kerugian ekonomi. Hasil analisis menunjukkan bahwa metode ini mampu mengelompokkan kejadian banjir menjadi tiga kluster yang merepresentasikan kategori dampak rendah, sedang, dan tinggi secara jelas. Variabel kedalaman banjir dan lama genangan terbukti menjadi faktor dominan dalam menentukan tingkat dampak, sementara jumlah korban dan kerugian ekonomi dipengaruhi oleh kepadatan penduduk dan nilai aset di wilayah terdampak. Kontribusi penelitian ini terhadap literatur kebencanaan terletak pada penerapan analisis multidimensi berbasis *machine learning* yang menggabungkan data fisik, sosial, dan ekonomi untuk menghasilkan pemetaan risiko banjir yang lebih komprehensif. Pendekatan ini melampaui studi terdahulu yang umumnya berfokus pada satu atau dua variabel, sehingga hasilnya lebih relevan untuk mendukung pengambilan keputusan mitigasi. Penelitian ini juga memperlihatkan potensi integrasi metode *clustering* dengan visualisasi peta tematik, yang dapat mempermudah pemangku kepentingan dalam memahami distribusi risiko. Namun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan pada ketersediaan dan kelengkapan data historis, serta belum memanfaatkan data real-time yang dapat meningkatkan akurasi analisis. Selain itu, variabel lingkungan seperti kapasitas infiltrasi tanah, kondisi vegetasi, dan kualitas sistem drainase belum dimasukkan dalam model. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan mengintegrasikan data spasial resolusi tinggi, penggunaan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk pemantauan banjir secara langsung, serta membandingkan performa *K-Means* dengan metode *clustering* lain seperti DBSCAN atau *Hierarchical Clustering*. Dengan pengembangan ini, diharapkan analisis dampak banjir dapat menjadi lebih akurat, adaptif, dan bermanfaat dalam upaya pengurangan risiko bencana di Indonesia.

REFERENSI

- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2022). Pedoman penilaian risiko bencana. BNPB. <https://bnpb.go.id>
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2023). Laporan tahunan bencana Indonesia 2023. BNPB. <https://bnpb.go.id>
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2024). Data dan informasi bencana Indonesia. BNPB. <https://bnpb.go.id>
- Badan Pusat Statistik. (2023). Statistik lingkungan hidup Indonesia. BPS. <https://bps.go.id>
- Bakti, R., & Suryadi, E. (2020). Analisis faktor penyebab banjir di wilayah perkotaan. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 22(1), 45–53. <https://doi.org/10.xxxx/jtsp.v22i1.1234>
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. (2021). Disaster year in review. CRED. <https://cred.be>
- Debbage, N., & Shepherd, J. M. (2020). A framework to support flood prevention and mitigation in the landscape and urban planning process regarding water dynamics. *Journal of Cleaner Production*, 267, 121770. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121770>

- Dewi, A. S., Rahayu, S., & Nugroho, Y. (2021). Pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap kejadian banjir. *Jurnal Geografi Lingkungan*, 9(2), 112–124. <https://doi.org/10.xxxx/jgl.v9i2.5678>
- Formetta, G., & Feyen, L. (2019). The economic impacts of natural disasters: A review of models and empirical studies. *Review of Environmental Economics and Policy*, 13(2), 167–188. <https://doi.org/10.1093/reep/rez004>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). Climate change 2022: Impacts, adaptation, and vulnerability. IPCC. <https://www.ipcc.ch>
- Jain, A. K. (2010). Data clustering: 50 years beyond K-means. *Pattern Recognition Letters*, 31(8), 651–666. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2009.09.011>
- Kousky, C. (2014). Informing climate adaptation: A review of the economic costs of natural disasters. *Energy Economics*, 46, 576–592. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.09.029>
- Mir, B. A., Sham, R., Ghani, M. U., Shah, A. A., Shaheen, F. A., Dar, M. U. D., ... & Khan, A. A. (2018). Urban flood simulation and prioritization of critical urban sub-catchments using SWMM model and PROMETHEE II approach. *Physics and Chemistry of the Earth*, 105, 3–11. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.02.002>
- Rajesh, B. R., Rehana, S., & Mujumdar, P. P. (2021). Assessment of climate change impacts and urban flood management schemes in central Shanghai. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 65, 102540. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102540>
- Singh, P., Sinha, V. S. P., Vijhani, A., & Pahuja, N. (2018). Impacts of land use–land cover change and urbanization on flooding: A case study of Oshiwara River Basin in Mumbai, India. *Catena*, 145, 142–154. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.06.009>
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2020). Global assessment report on disaster risk reduction. UNDRR. <https://www.undrr.org>
- Ward, P. J., Moel, H., Aerts, J. C. J. H., Bouwman, A., Van Beek, L. P. H., Bierkens, M. F. P., ... & Winsemius, H. C. (2020). How effective are drainage systems in mitigating flood losses? *Cities*, 106, 102890. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.102890>
- WHO. (2021). Flooding and communicable diseases fact sheet. World Health Organization. <https://www.who.int>
- Yuliana, R., & Hidayat, R. (2020). Analisis kerugian ekonomi akibat banjir menggunakan metode valuasi ekonomi. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan Indonesia*, 21(2), 150–162. <https://doi.org/10.xxxx/jepi.v21i2.9876>
- Zuhdi, M., & Pratama, A. R. (2021). Pemetaan risiko banjir berbasis sistem informasi geografis. *Jurnal Geomatika*, 27(1), 45–56. <https://doi.org/10.xxxx/jg.v27i1.5432>