



Konsep Infrastruktur Cerdas dalam Mengurangi dan Mencegah Risiko Bencana Banjir Pesisir: Kasus Palabuhanratu Kabupaten Sukabumi

Sandy Lesmana^{1*}, I Nyoman Teguh Prasadha², Nicco Plamonia³

Universitas Pancasila, Indonesia^{1, 2, 3}

Email: sandylesmana80@gmail.com^{1*}, nyoman.prasadha@univpancasila.ac.id²,
niccoplamonia@univpancasila.ac³.

Keywords:

Coastal flood, Climate change, Palabuhanratu, Urbanization, Smart infrastructure, Early warning system, Adaptive spatial planning, Coastal city resilience

Kata kunci: Banjir pesisir, Perubahan iklim, Palabuhanratu, Urbanisasi, Infrastruktur cerdas, Sistem peringatan dini, Perencanaan tata ruang adaptif, Resiliensi kota pesisir

Abstract

Coastal flooding is a major challenge for coastal cities, including Palabuhanratu, which is affected by extreme rainfall, rising sea levels, and rapid urbanization. The city faces flood risks from the sea, rivers, and surface runoff. This study is essential for understanding flood dynamics and exploring effective mitigation solutions. This research aims to describe the development of flooding in Palabuhanratu over the past 10 years, identify the contributing factors, and assess the potential of smart infrastructure for coastal flood mitigation. The approach includes spatial mapping to identify flood-prone areas, analysis of existing infrastructure capacity, and feasibility studies for implementing technologies such as IoT sensors, community-based early warning systems, and adaptive drainage. The findings show that integrating real-time technology with adaptive spatial planning can enhance flood mitigation effectiveness, speed up emergency responses, and encourage active community participation. This research recommends a smart infrastructure implementation model that can be replicated in other coastal areas with similar characteristics and emphasizes the importance of collaboration between government, academia, and local communities to build resilience to the impacts of climate change.

Abstrak

Banjir pesisir menjadi ancaman utama bagi kota-kota di tepi laut, termasuk Palabuhanratu, yang terpengaruh oleh curah hujan ekstrem, kenaikan muka air laut, dan urbanisasi pesat. Kota ini menghadapi risiko banjir dari laut, sungai, dan limpasan permukaan. Penelitian ini penting untuk memahami dinamika banjir dan mencari solusi mitigasi yang efektif. Penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan perkembangan banjir di Palabuhanratu dalam 10 tahun terakhir, mengidentifikasi faktor penyebabnya, dan mengevaluasi potensi penggunaan infrastruktur cerdas dalam mitigasi banjir pesisir. Pendekatan yang digunakan mencakup pemetaan spasial untuk mengenali wilayah rawan, analisis kapasitas infrastruktur eksisting, serta studi kelayakan penerapan teknologi seperti sensor IoT, sistem peringatan dini berbasis komunitas, dan drainase adaptif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi teknologi real-time dengan perencanaan tata ruang adaptif dapat meningkatkan efektivitas mitigasi banjir, mempercepat respons darurat, dan mendorong partisipasi aktif masyarakat. Penelitian ini merekomendasikan model implementasi infrastruktur cerdas yang dapat diterapkan di wilayah pesisir lainnya dengan karakteristik serupa dan menekankan pentingnya kolaborasi antara pemerintah, akademisi, dan masyarakat lokal untuk membangun ketahanan terhadap dampak perubahan iklim.

PENDAHULUAN

Wilayah pesisir di Indonesia kini semakin rentan terhadap banjir, yang menjadi salah satu konsekuensi nyata dari perubahan iklim. Risiko ini meningkat seiring dengan naiknya permukaan laut, curah hujan yang semakin ekstrem, serta perubahan fungsi lahan pesisir menjadi area permukiman dan infrastruktur (Wardhana & Prawira, 2023). Palabuhanratu, yang terletak di pesisir selatan Pulau Jawa, Kabupaten Sukabumi, menghadapi tantangan besar terkait dengan banjir pesisir akibat kombinasi faktor alam dan aktivitas manusia (Janssen et al., 2017; Rentschler et al., 2022; Tellman et al., 2021). Peningkatan curah hujan ekstrem, kenaikan permukaan air laut, serta urbanisasi yang pesat di kawasan pesisir memperburuk risiko banjir (Rosenzweig et al., 2019; Setiawan et al., 2020). Sebagai kota pesisir yang strategis, Palabuhanratu rentan terhadap banjir yang berasal dari aliran sungai, limpasan permukaan, serta pasang surut laut (B. K. Sukabumi, 2019).

Kawasan Kota Palabuhanratu, sebagai kawasan pesisir di Kabupaten Sukabumi terdiri dari 3 Sub DAS (daerah aliran sungai) yaitu Sub DAS Cipalabuhan, Sub DAS Ciranca dan Sub DAS Cigangsa, telah mengalami beberapa kejadian banjir yang semakin parah dalam beberapa tahun terakhir (Bubeck et al., 2012; Hasan et al., 2019; Hirabayashi, 2013). Banjir yang terjadi sebagian besar disebabkan oleh kombinasi antara kenaikan permukaan air laut (Rob), curah hujan yang ekstrem, dan alih fungsi lahan pesisir menjadi kawasan permukiman serta infrastruktur. Dalam 10 tahun terakhir intensitas banjir semakin meningkat, Salah satu kejadian banjir yang signifikan terjadi pada tahun 2021, ketika air laut yang meluap merendam dermaga dan menyebabkan kerusakan pada infrastruktur pelabuhan (Detik.com, 2021). Selain itu, pada tahun 2024, lebih dari 400 keluarga terdampak banjir, dengan banyak rumah terendam dan sistem drainase yang ada tidak mampu menampung volume air yang besar (Indonesia, 2024; Li & Chakraborty, 2021). Kejadian-kejadian tersebut menunjukkan bahwa risiko banjir pesisir di Palabuhanratu semakin meningkat, yang memerlukan langkah mitigasi yang lebih efektif dan berkelanjutan (Kompas, 2025). Kejadian banjir semakin meningkat dalam beberapa dasawarsa terakhir, yang disebabkan oleh kombinasi faktor perubahan iklim, urbanisasi cepat, dan degradasi lingkungan (Hirabayashi et al., 2013).

Sejumlah penelitian terdahulu telah mengkaji mitigasi banjir pesisir dengan berbagai pendekatan. Penelitian oleh (Garg & Sharma, 2023; Huang & Huang, 2025) menunjukkan bahwa kombinasi infrastruktur abu-abu (grey infrastructure) dan infrastruktur hijau (green infrastructure) mampu secara signifikan mengurangi risiko banjir melalui pendekatan multi-objective decision-making. Selanjutnya, studi oleh (Oluwadare et al., 2024) mengungkapkan bahwa penerapan sistem peringatan dini berbasis teknologi prediktif dan sensor real-time dapat meningkatkan efektivitas respons terhadap bencana banjir, khususnya dalam konteks urban flood management. Selain itu, (Pamungkas et al., 2024) menemukan bahwa integrasi sumur resapan dalam sistem drainase perkotaan mampu menurunkan volume limpasan air secara signifikan, sehingga berkontribusi dalam mengurangi potensi genangan di kawasan padat penduduk.

Meskipun berbagai pendekatan tersebut telah dikembangkan, implementasi mitigasi banjir di banyak wilayah pesisir, termasuk Palabuhanratu, masih didominasi oleh pendekatan konvensional yang bersifat reaktif dan belum terintegrasi dengan teknologi cerdas. Infrastruktur seperti tanggul, drainase, dan pintu air umumnya belum didukung oleh sistem monitoring berbasis data real-time maupun integrasi dengan perencanaan tata ruang adaptif.

Hal ini menyebabkan keterlambatan dalam pengambilan keputusan serta rendahnya efektivitas mitigasi dalam menghadapi kejadian ekstrem.



Gambar 1. Gambaran visual lokasi penelitian

Sumber: Hasil olahan penulis berdasarkan data spasial dan observasi lapangan (2025)

Penelitian ini bertujuan menggambarkan perkembangan banjir dalam 10 tahun terakhir, faktor-faktor apa yang mempengaruhi banjir tersebut dan untuk mengevaluasi potensi penggunaan infrastruktur cerdas dalam mitigasi banjir pesisir di Palabuhanratu. Pendekatan yang digunakan meliputi pemetaan spasial wilayah rawan banjir, analisis kapasitas infrastruktur yang ada, dan penerapan teknologi seperti sensor IoT, sistem peringatan dini berbasis komunitas, serta kombinasi infrastruktur modular seperti sea wall dan tanggul hijau alami. Hasil penelitian ini infrastruktur cerdas dapat memberikan solusi adaptif dan berkelanjutan untuk meningkatkan ketahanan kota pesisir terhadap perubahan iklim serta mendorong partisipasi masyarakat dalam pengelolaan risiko bencana.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan pendekatan Kualitatif dan Kuantitatif dengan metode kombinasi risiko *Weighted Overlay* untuk menganalisis risiko banjir di Palabuhanratu. Data yang dikumpulkan mencakup:

- a. Pengamatan langsung di area yang rentan terhadap banjir di Palabuhanratu.
- b. Wawancara dengan pihak terkait, seperti BPBD (Badan Penanggulangan Bencana Daerah) Kabupaten Sukabumi, Dinas PUPR/Perkim, serta anggota masyarakat setempat.
- c. Tinjauan terhadap dokumen perencanaan RTRW (Rencana Tata Ruang Wilayah), RDTR, (Rencana Detail Tata Ruang), sempadan sungai (non hutan) terletak di seluruh Daerah Aliran Sungai (DAS) dan kebijakan-kebijakan mitigasi bencana.
- d. Pengumpulan data spasial (DEM (*Digital Elevation Model*) curah hujan, peta genangan) yang diperoleh dari lembaga resmi seperti BIG (Badan Informasi Geospasial) dan BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika).

Untuk analisis, dilakukan pemetaan spasial menggunakan sistem informasi geografis (GIS) (*Geographic Information System*) guna mengidentifikasi lokasi-lokasi rawan banjir dan mengeksplorasi potensi penerapan infrastruktur cerdas. Analisis juga mencakup penilaian kelayakan implementasi teknologi, seperti sensor *IoT* yang disesuaikan dengan kondisi eksisting serta kebutuhan lokal.

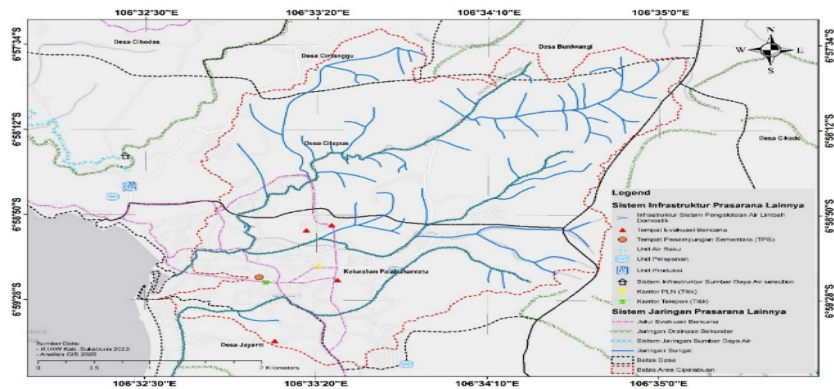
HASIL DAN PEMBAHASAN

Infrastruktur pengendali banjir yang saat ini ada di Palabuhanratu didominasi oleh pendekatan konvensional berupa tanggul beton, saluran drainase terbuka, dan pintu air dan signage evakuasi bencana. Namun, efektivitas infrastruktur ini semakin menurun akibat perubahan kondisi lingkungan dan meningkatnya tekanan urbanisasi.



Gambar 2. Infrastruktur eksisting

Sumber: Dokumentasi lapangan oleh penulis (2025)



Gambar 3. Peta Sebaran Infrastruktur Eksisting

Sumber: Hasil analisis GIS menggunakan data P. K. Sukabumi, (2023) dan survei lapangan

1. Kapasitas Sungai Cipalabuhan

Sungai dan saluran drainase utama di kawasan permukiman dan pusat kota Palabuhanratu memiliki kapasitas yang tidak memadai, terutama saat terjadi hujan lebat bersamaan dengan pasang tinggi laut (rob). Sedimentasi dan penyumbatan oleh sampah memperburuk aliran air dan meningkatkan potensi genangan maka perlu normalisasi sungai dan pembongkaran jembatan penghubung yang mengurangi luas basah sungai.

2. Minimnya sistem monitoring dan peringatan dini

Tidak terdapat sistem pemantauan debit air dan gelombang secara real-time. Ketiadaan sensor atau jaringan *IoT* menyebabkan keterlambatan dalam deteksi dan respons terhadap potensi banjir, baik dari laut maupun sungai.

3. Ketergantungan pada sistem manual

Pengoperasian pintu air dan pemompaan masih dilakukan secara manual dan terfragmentasi, tanpa integrasi dengan data cuaca dan pasang surut. Hal ini membuat pengambilan keputusan menjadi reaktif, bukan prediktif.

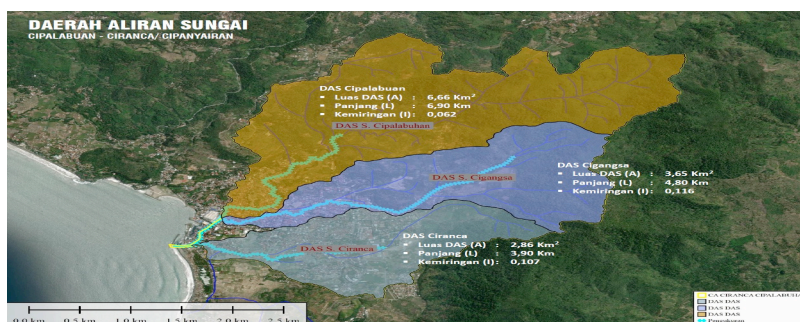
4. Kurangnya integrasi dengan tata ruang dan infrastruktur hijau

Infrastruktur yang ada belum terintegrasi dengan elemen hijau seperti taman resapan, kolam retensi, atau vegetasi pantai yang dapat memperlambat limpasan air hujan secara alami.

Hasil evaluasi ini menunjukkan bahwa sistem eksisting perlu diperkuat melalui infrastruktur cerdas, yang mampu beradaptasi terhadap dinamika risiko dan memberikan respons berbasis data.

Peta DAS (Daerah Aliran Sungai)

Peta DAS (Daerah Aliran Sungai) adalah peta yang menggambarkan wilayah geografis yang menjadi tempat mengalirnya air hujan menuju ke satu titik aliran utama, seperti sungai, danau, atau laut. Peta ini sangat penting dalam perencanaan sumber daya air, pengelolaan lingkungan, dan mitigasi bencana seperti banjir atau kekeringan.



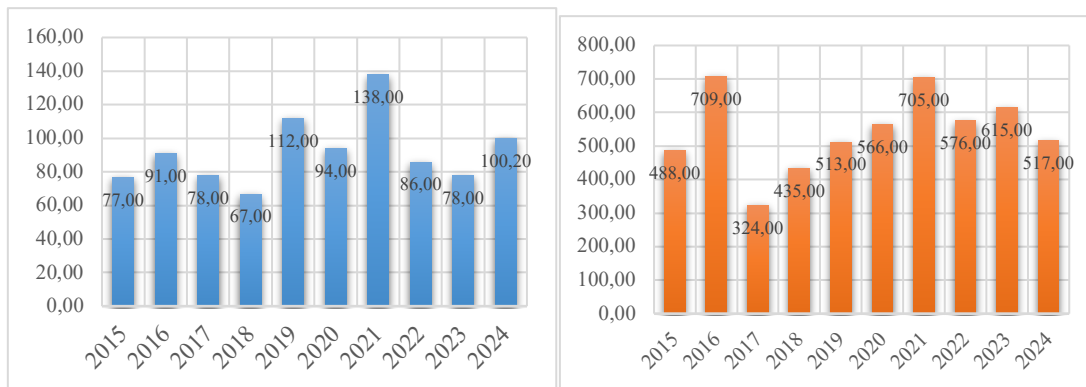
Gambar 4. Sub-DAS Kawasan Palabuhanratu

Sumber: Hasil pengolahan data DEM dari BIG (Badan Informasi Geospasial) (2024)

Wilayah pesisir Palabuhanratu dipengaruhi oleh tiga sub-DAS utama, yaitu sub-DAS Cipelabuhan, sub-DAS Cigangsa, dan sub-DAS Ciranca, yang semuanya bermuara di pantai selatan Jawa. Dari sisi luas, sub-DAS Cipelabuhan adalah yang terbesar, dengan area mencapai 6,66 km². Luas sebesar 3,65 km² untuk sub-DAS Cigangsa dan 2,86 km² untuk sub-DAS Ciranca.

Data Curah Hujan

Curah hujan merupakan elemen penting dalam sistem iklim yang mempengaruhi kehidupan manusia dan ekosistem. Curah hujan berperan dalam mendukung pertanian, penyediaan air bersih, dan pengelolaan bencana alam. Dengan menganalisis data curah hujan, kita dapat memprediksi tren cuaca, potensi banjir, kekeringan, serta dampaknya terhadap sektor vital seperti pertanian dan infrastruktur. Data curah hujan pada penelitian ini diperoleh dari Sta. Palabuhan Ratu periode tahun 2015-2024.



Gambar 5. Data curah hujan rerata bulanan dan maksimum Sta. Palabuhan Ratu (2015-2024)
 Sumber: BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika), diolah kembali oleh penulis (2025)

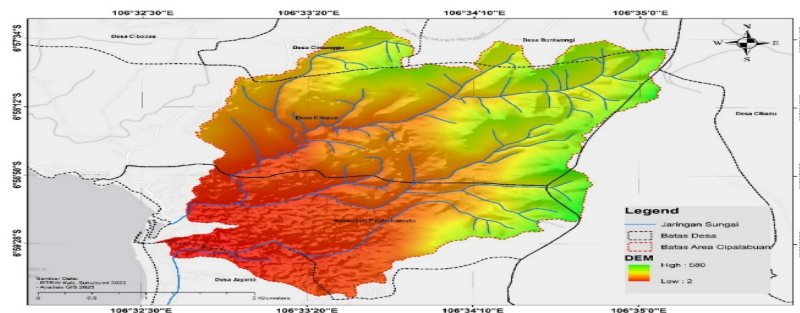
Dapat dilihat bahwa curah hujan maksimum tahunan di Palabuhanratu bervariasi antara tahun 2015 dan 2024. Tahun 2021 mencatat curah hujan maksimum tertinggi (nilai 138), sementara tahun 2018 mencatat nilai terendah (nilai 67). Tidak terlihat tren peningkatan atau penurunan yang jelas selama periode ini, melainkan fluktuasi dari tahun ke tahun. Tahun dengan curah hujan maksimum yang tinggi berpotensi meningkatkan risiko banjir.

Analisis Spasial Wilayah Rawan Banjir di Palabuhanratu

Analisis spasial dilakukan untuk mengidentifikasi wilayah-wilayah yang rentan terhadap banjir pesisir dan banjir limpasan di Palabuhanratu. Data yang digunakan meliputi:

Pemetaan Elevasi dengan DEM

Dalam kajian banjir, data DEM (Digital Elevation Model) sangat penting karena memberikan informasi tentang topografi atau ketinggian permukaan tanah, potensi genangan, arah aliran permukaan, kesesuaian infrastruktur dan implikasi tata ruang.



Gambar 6. Pemetaan elevasi kawasan Palabuhanratu dengan DEM

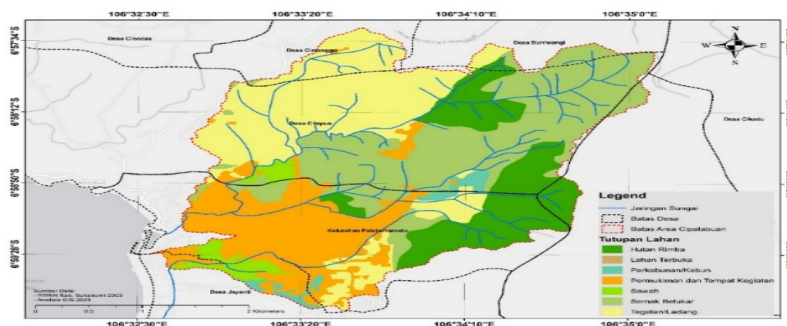
Sumber: Hasil analisis GIS berbasis data DEM BIG (2024)

- A. Variasi elevasi topografi wilayah berkisar antara 2 - 580 mdpl.
 - a) Elevasi rendah (warna merah): seluruh wilayah selatan dan barat daya sampai dengan perbukitan curam (Desa Jayanti, Desa Palabuhanratu).
 - b) Elevasi tinggi (hijau-kuning): sebagian timur laut & utara sampai dengan relatif datar (Desa Cikadu, Desa Buninanggung, Desa Ciranggu).
- B. Pola aliran sungai mengalir dari utara ke barat daya, menunjukkan sistem sub DAS terpadu dengan banyak anak sungai bermuara di sekitar Palabuhanratu.

- C. Potensi genangan dan risiko banjir area rendah (hijau-kuning), khususnya sekitar Desa Cikadu dan sepanjang aliran utama, berisiko tinggi tergenang saat curah hujan tinggi, terutama di titik pertemuan sungai.
 - D. Penanganan banjir wilayah hulu dan hilir (Djalante & Thomalla, 2012).
 - a) Wilayah hulu: reboisasi, terasering, dan embung.
 - b) Wilayah hilir: butuh sistem drainase makro, kolam retensi, dan infrastruktur hijau.
- Kesesuaian tata ruang kawasan padat seperti Palabuhanratu berada di zona rawan. Peta ini penting untuk evaluasi RTRW agar pembangunan tak dilakukan di zona pertemuan aliran atau daerah potensial genangan.

Analisis Tata Guna Lahan

Fungsi peta land use (penggunaan lahan) dalam kajian banjir di Palabuhanratu sangat krusial karena bisa memberi gambaran bagaimana karakteristik permukaan lahan mempengaruhi aliran dan penyerapan air hujan.



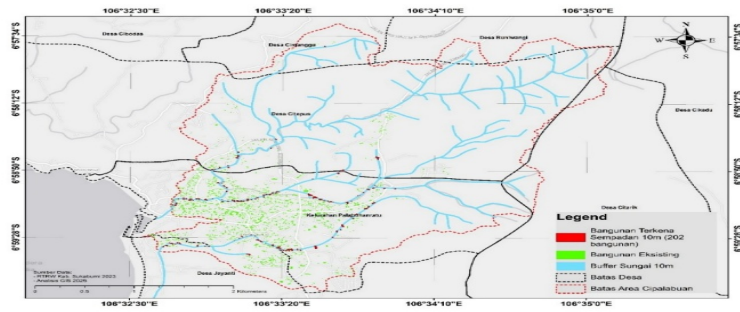
Gambar 7. Tutupan Lahan Kawasan Palabuhanratu dan Persentase kenaikan luas lahan di Palabuhanratu (2019-2024)

Sumber: Livingatlas.arcgis.com, (2024), diolah oleh penulis

Berdasarkan peta Tutupan Lahan Ciptalabuan, berikut analisis fungsi dan keterkaitannya terhadap banjir di wilayah Palabuhanratu dan sekitarnya. Pada tahun 2019, luas lahan terbangun wilayah penelitian mencapai 259,23 Ha dari 1283,5 Ha dan terus meningkat hingga pada tahun 2024 mencapai 354,71 Ha atau kenaikannya sebesar 37%. Ini menandakan begitu pesatnya jumlah lahan terbangun dan makin sedikitnya lahan untuk penyerapan air.

Analisis Ruang Terbangun di sekitar Aliran Sungai

Peta ini menunjukkan sebaran persil bangunan di wilayah Palabuhanratu beserta zona penyangga (buffer) sejauh 10 meter dari masing-masing bangunan. Buffer digunakan untuk mengidentifikasi area yang sangat penting dalam konteks mitigasi bencana banjir, terutama sebagai zona transisi antara bangunan dan potensi aliran air hujan atau rob. Hasil overlay menunjukkan bahwa sebagian besar bangunan berada sangat dekat dengan jalur drainase dan area rawan genangan, menandakan kebutuhan mendesak akan infrastruktur serapan dan early warning system di zona ini (Oluwadare et al., 2024).

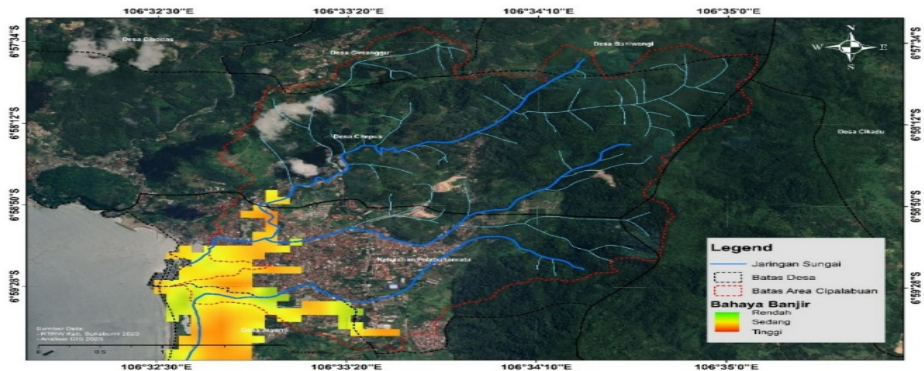


Gambar 8. Peta persil bangunan dan buffer 10 m

Sumber: Hasil analisis GIS penulis berdasarkan data spasial bangunan (2025)

Analisis kombinasi risiko (Weighted Overlay) banjir pesisir di Palabuhanratu

Analisis peta risiko banjir pesisir di Palabuhanratu dapat dilakukan untuk berbagai tujuan yang sangat relevan dalam konteks pengelolaan dan mitigasi bencana banjir.



Gambar 9. Peta Resiko Banjir Kawasan Palabuhanratu

Sumber: Hasil analisis Weighted Overlay menggunakan data curah hujan, elevasi, dan tata guna lahan (2025)

Peta risiko banjir dijabarkan atas klasifikasi risiko banjir pesisir yang disampaikan pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 1. Klasifikasi Risiko Banjir Pesisir di Palabuhanratu

Tingkat	Elevasi (m)	Jarak ke Sungai/Pantai (m)	Curah Hujan (mm/ bulan)	Jenis Lahan	Keterangan
---------	-------------	----------------------------	-------------------------	-------------	------------

Tinggi	< 10	< 250	> 300	Permukiman padat, tambak, sawah	Daerah sangat rentan terhadap genangan dan luapan rob
Sedang	10–25	250–500	200–300	Lahan campuran, permukiman sedang	Genangan terjadi saat hujan ekstrim atau pasang tinggi
Rendah	> 25	> 500	< 200	Hutan, lahan kosong, semak belukar	Risiko rendah, hanya terdampak oleh kejadian ekstrem

Sumber: Hasil analisis penulis berdasarkan parameter elevasi, curah hujan, jarak terhadap sungai/pantai, dan tata guna lahan (2025)

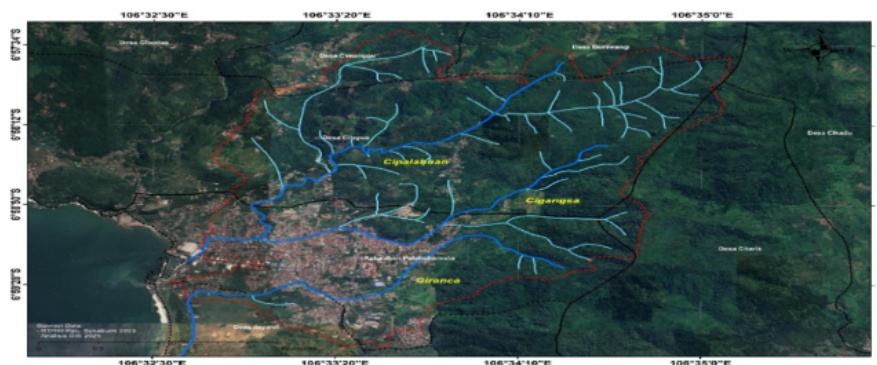
Area merah dan oranye di sekitar Kelurahan Palabuhanratu dan Desa Jayanti menunjukkan tingkat bahaya banjir tinggi hingga sangat tinggi. Lokasi ini dekat pantai, dataran rendah, dan pusat permukiman, rentan terhadap banjir pesisir dan limpasan air hujan. Faktor pemicu adalah

- Berdasarkan peta risiko banjir (Gambar 10) kepadatan bangunan tinggi, di lokasi pertemuan aliran sungai dan laut, berisiko backwater effect (Kodoatie & Sjarief, 2005).
- Jaringan sungai bercabang rapat, menunjukkan DAS aktif yang memerlukan perhatian dalam pengelolaan limpasan (Kodoatie & Sjarief, 2005).

Maka fokus pembangunan infrastruktur cerdas seperti sumur resapan, sistem drainase adaptif, early warning system, dan peningkatan kapasitas saluran air di area merah dan oranye dengan pertimbangan pengembangan zona hijau di area kuning sebagai penyangga banjir. Hasil ini menjadi dasar untuk merancang titik-titik optimal penerapan sensor banjir, kolam retensi mikro serta integrasi dengan taman resapan di ruang terbuka hijau.

Konsep Infrastruktur Cerdas dalam mengurangi dan mencegah risiko Banjir Pesisir

Berdasarkan evaluasi infrastruktur eksisting dan kebutuhan spesifik kawasan pesisir Palabuhanratu, dirancang model infrastruktur cerdas yang mengintegrasikan teknologi digital dengan pendekatan ekologi dan spasial. Beberapa komponen utama desain yang direkomendasikan antara lain:




Gambar 10. Peta sebaran infrastruktur rencana

Sumber: hasil perhitungan

Tabel 2. Klasifikasi Risiko Banjir Pesisir di Palabuhanratu

	Normalisasi Sungai	Cigangsa	Ciplabuhan	Ciranca
--	--------------------	----------	------------	---------



Peringatan Dini Dinamis Berbasis Data	6°58'54.35"S, 106°33'56.98"E	6°58'13.58"S, 106°33'55.56"E	6°59'1.61"S, 106°33'57.35"E
 Sensor IoT dan Sistem Pemantauan Terintegrasi	6°59'17.19"S, 106°32'39.17"E	6°59'17.19"S, 106°32'39.17"E	6°59'17.19"S, 106°32'39.17"E

Sumber: Hasil perencanaan dan analisis spasial penulis (2025)

Simulasi dan studi terbaru menunjukkan bahwa penerapan sistem pemantauan dini berbasis teknologi, seperti sensor IoT dan taman resapan, dapat secara signifikan mengurangi dampak banjir di wilayah rawan. Misalnya, integrasi sumur resapan dalam sistem drainase telah terbukti mengurangi volume banjir di beberapa kawasan, seperti yang ditemukan dalam studi oleh Pamungkas et al. (2024).



sistem peringatan dini memungkinkan deteksi perubahan lingkungan secara real-time, yang dapat meningkatkan kecepatan respons darurat secara signifikan dibandingkan dengan metode manual. Namun, perlu dicatat bahwa efektivitas sistem peringatan dini juga dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti ketersediaan peralatan, kesadaran masyarakat, dan koordinasi antar pihak terkait. Penelitian oleh Wibowo (2023) menunjukkan bahwa meskipun sistem peringatan dini di DKI Jakarta sudah efektif, masih terdapat kendala dalam implementasinya yang perlu diatasi untuk mencapai hasil yang optimal.

KESIMPULAN

Penerapan infrastruktur cerdas di Palabuhanratu memiliki potensi besar dalam mengurangi risiko banjir pesisir. Integrasi teknologi seperti sensor, sistem peringatan dini, dan ruang terbuka hijau yang fungsional menjadi elemen utama dalam membangun sistem mitigasi yang responsif dan berkelanjutan. Agar sistem ini dapat berjalan dengan efektif, dibutuhkan dukungan kebijakan yang melibatkan berbagai sektor serta partisipasi aktif dari masyarakat. Beberapa rekomendasi mencakup perluasan model ini ke wilayah pesisir lainnya, pengembangan prosedur operasi standar (SOP) darurat berbasis data, serta pelaksanaan pelatihan rutin untuk para operator sistem. Rekomendasi tata ruang yaitu perlu dilakukan peninjauan kembali terhadap tata ruang DAS yang berpengaruh terhadap banjir Palabuhanratu yaitu DAS sungai-sungai di area terdampak atau sungai-sungai yang berkontribusi terhadap banjir, dimana sebagaimana yang disampaikan di atas dengan tingkat kerawanan yang sangat tinggi yang disebabkan oleh perilaku alamiahnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Bubeck, P., Botzen, W. J. W., & Aerts, J. C. J. H. (2012). A review of risk perceptions and other factors that influence flood mitigation behavior. *Risk Analysis*, 32(9), 1481–1495. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2011.01783.x>
- Detik.com. (2021). *Banjir Rob Terjang Palabuhanratu, Infrastruktur Pelabuhan Rusak Parah*. <https://www.detik.com>
- Djalante, R., & Thomalla, F. (2012). Disaster risk reduction and climate change adaptation in Indonesia. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 3(2), 166–180. <https://doi.org/10.1108/17595901211245260>
- Garg, S., & Sharma, R. (2023). Smart Infrastructure. In *Sustainable Technology for Society 5.0* (pp. 19–31). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003365525-3>
- Hasan, M. A., Clegg, S., Cullen, J., & Lawless, A. (2019). Urban flood vulnerability and risk assessment in coastal areas: A case study of Indonesia. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 37, 101168. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101168>
- Hirabayashi, Y. (2013). Global flood risk under climate change. *Nature Climate Change*, 3, 816–821.
- Huang, X., & Huang, G. (2025). Flood risk mitigation based on multi-objective decision-making of urban grey–green infrastructure retrofits: impacts of overflow transferring downstream and cost weight. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 39(4), 1327–1343. <https://doi.org/10.1007/s00477-025-02915-3>
- Indonesia, M. (2024). *Banjir Melanda Palabuhanratu, 400 Keluarga Terkena Dampak*.
- Janssen, M., van der Voort, H., & Wahyudi, A. (2017). Factors influencing big data decision-making quality. *Journal of Business Research*, 70, 338–345. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2016.08.007>
- Kodoatie, R. J., & Sjarief, R. (2005). *Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu*. Andi. <https://books.google.co.id/books?id=v3rMAAAACAAJ>
- Kompas. (2025). *Peningkatan Risiko Banjir di Palabuhanratu, Urgensi Mitigasi Bencana Pesisir*.
- Li, L., & Chakraborty, P. (2021). Birth of a cold core in tropical cyclones past landfall. *Physical Review Fluids*, 6(5), 1–8. <https://doi.org/10.1103/PhysRevFluids.6.L051801>
- Livingatlas.arcgis.com. (2024). *Land Cover Explorer*. Esri. <https://livingatlas.arcgis.com>
- Oluwadare, S. A., Alakuro, M. A., & Sarumi, O. A. (2024). Early Warning System for Flood Disaster Risk Reduction Using Predictive Analytics. In A. Abraham, A. Bajaj, T. Hanne, P. Siarry, & K. Ma (Eds.), *Intelligent Systems Design and Applications* (pp. 180–190). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-64813-7_19
- Rentschler, J., Salhab, M., & Jafino, B. A. (2022). Flood exposure and poverty in 188 countries. *Nature Communications*, 13(1), 3527. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-30727-4>
- Rosenzweig, E. Q., Harackiewicz, J. M., Priniski, S. J., Hecht, C. A., Canning, E. A., Tibbetts, Y., & Hyde, J. S. (2019). Choose your own intervention: Using choice to enhance the effectiveness of a utility-value intervention. *Motivation Science*, 5(3), 269–276. <https://doi.org/10.1037/mot0000113>
- Setiawan, B., Afiff, A. Z., & Heruwasto, I. (2020). Integrating the Theory of Planned Behavior With Norm Activation in a Pro-Environmental Context. *Social Marketing Quarterly*, 26(3), 244–258. <https://doi.org/10.1177/1524500420929074>
- Sukabumi, B. K. (2019). *Kajian Kerentanan Banjir Kawasan Pesisir Palabuhanratu*. Bappeda Kabupaten Sukabumi.
- Sukabumi, P. K. (2023). *Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Sukabumi 2023*. Pemerintah Kabupaten Sukabumi.

Tellman, B., Sullivan, J. A., Kuhn, C., Kettner, A. J., Doyle, C. S., Brakenridge, G. R., Erickson, T. A., & Slayback, D. A. (2021). Satellite imaging reveals increased proportion of population exposed to floods. *Nature*, *596*, 80–86. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03695-w>