

Analisis Spasial Potensi Genangan Banjir Rob Akibat Kenaikan Muka Air Laut di Pesisir Utara Kabupaten Gresik

Spatial Analysis of Potential Tidal Flood Inundation Areas Due to Sea Level Rise on the North Coast of Gresik Regency

Rayhan Al Dzikra^{1*} Vita Ayu Kusuma Dewi¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang
Jl. Semarang, No. 5, Kota Malang, Jawa Timur, Indonesia

*Corresponding author: rayhan.al-dzikra.2205236@students.um.ac.id

Diterima: 30 Desember 2025; Direvisi: 27 April 2026; Disetujui: 02 Juli 2026

Abstract

Sea level rise is an inevitable global phenomenon driven by global warming and climate change, mainly caused by polar ice melt and thermal expansion of seawater that increase ocean volume worldwide. When combined with local coastal factors such as tidal dynamics, land use change, and land subsidence, this process significantly elevates the risk of tidal flooding in low-lying coastal zones. This study aims to analyze the spatial distribution of tidal flooding along the northern coast of Gresik Regency, Indonesia. The analysis integrates a Digital Elevation Model (DEM), sea tide records from 2020 to 2025, land use data, and administrative boundary maps. Tide data were processed using the Least Square method with the PasutUGM14 application to derive the Highest High Water Level (HHWL) as the main parameter. Geographic Information System (GIS)-based spatial analysis was applied to simulate inundation and identify affected land use types. Results indicate sea level rise of 7–8 cm over five years, with a maximum HHWL of 1.019 m in 2024–2025. Modeling shows about 4,751.08 ha of coastal land are potentially exposed to tidal flooding, mainly affecting aquaculture ponds, swamps, mangrove forests, rice fields, and residential areas.

Keywords: Sea level rise, tidal flooding, spatial analysis, geographic information system, North Coast of Gresik Regency

Abstrak

Kenaikan muka air laut merupakan fenomena global yang tidak dapat dihindari sebagai dampak pemanasan global dan perubahan iklim, terutama akibat pencairan es di wilayah kutub yang meningkatkan volume air laut secara signifikan. Ketika fenomena ini berinteraksi dengan faktor lokal seperti pasang surut laut, perubahan penggunaan lahan, dan penurunan muka tanah, risiko terjadinya banjir rob di kawasan pesisir menjadi semakin tinggi. Penelitian ini menganalisis sebaran spasial genangan banjir rob di pesisir utara Kabupaten Gresik. Data yang digunakan meliputi Digital Elevation Model (DEM), data pasang surut air laut periode 2020–2025, data penggunaan lahan, serta peta administrasi wilayah. Data pasang surut diolah menggunakan metode Least Square dengan bantuan aplikasi PasutUGM14 untuk memperoleh nilai Highest High Water Level (HHWL) sebagai parameter utama. Analisis spasial berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) diterapkan untuk mengidentifikasi luasan genangan dan jenis penggunaan lahan yang terdampak. Hasil analisis menunjukkan bahwa kenaikan muka air laut selama lima tahun terakhir berada pada kisaran 7–8 cm, dengan nilai HHWL tertinggi sebesar 1,019 m pada periode 2024–2025. Berdasarkan hasil analisis, luas area pesisir yang berpotensi tergenang banjir rob diperkirakan mencapai sekitar 4.751,08 ha, dengan genangan dominan terjadi pada kawasan tambak atau empang, rawa, hutan mangrove, sawah, serta sebagian area permukiman, sehingga menegaskan tingginya kerentanan pesisir utara Kabupaten Gresik terhadap dampak kenaikan muka air laut.

Kata Kunci: Kenaikan muka air laut, banjir rob, analisis spasial, sistem informasi geografis, pesisir utara Kabupaten Gresik

PENDAHULUAN

Perubahan iklim global telah mendorong peningkatan suhu rata-rata bumi yang berdampak langsung pada mencairnya es di wilayah kutub, sehingga memicu kenaikan muka air laut (Hidayah et al., 2023). Laporan *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2023) menunjukkan bahwa laju rata-rata kenaikan permukaan laut global mengalami percepatan, dari sekitar 2,3 mm per tahun menjadi 3,7 mm per tahun dalam periode 1901–2018. Selain pengaruh global tersebut, faktor lokal akibat aktivitas manusia juga berperan penting dalam memperbesar risiko banjir rob (Sofian et al., 2011). Salah satunya adalah pemompaan air tanah yang berlebihan, yang dapat menyebabkan penurunan muka tanah dan pada akhirnya meningkatkan kerentanan wilayah pesisir terhadap genangan pasang laut (Handoyo et al., 2016). Kombinasi antara kenaikan muka air laut dan penurunan muka tanah ini menjadikan kawasan pesisir semakin rentan, karena permukaan daratan relatif semakin rendah terhadap muka air laut, sehingga potensi dan intensitas banjir rob cenderung meningkat dari waktu ke waktu.

Sebagai negara kepulauan dengan sekitar ±18.110 pulau dan panjang garis pantai yang mencapai lebih dari 108.000 km, Indonesia memiliki tingkat kerentanan yang tinggi terhadap dampak banjir rob (Sihombing et al., 2012). Kenaikan muka air laut global tidak terjadi secara merata di kawasan Asia Tenggara; namun, Indonesia termasuk wilayah yang mengalami laju kenaikan relatif lebih tinggi dibandingkan negara lain. Kondisi tersebut tidak hanya dipengaruhi oleh faktor global, tetapi juga diperkuat oleh faktor lokal, seperti perubahan penggunaan lahan di kawasan pesisir dan penurunan muka tanah akibat aktivitas manusia. Kombinasi faktor-faktor tersebut memperbesar risiko terjadinya genangan banjir rob, terutama di wilayah pesisir dengan topografi rendah, sehingga menjadikan banjir rob sebagai salah satu ancaman lingkungan yang semakin signifikan di Indonesia (Ninghtyas, 2022).

Kawasan pesisir utara Kabupaten Gresik memiliki tingkat kerentanan yang tinggi terhadap kejadian banjir rob sebagai dampak langsung dari kenaikan muka air laut. Berdasarkan wawancara Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Gresik, Kecamatan Ujungpangkah tercatat sebagai salah satu wilayah yang paling sering mengalami banjir rob, dengan ketinggian genangan rata-rata mencapai sekitar 40 cm. Fenomena banjir rob di wilayah pesisir utara Gresik bahkan telah menjadi kejadian berulang yang terjadi hampir setiap tahun. Kondisi ini tidak hanya dipengaruhi oleh faktor oseanografi, tetapi juga

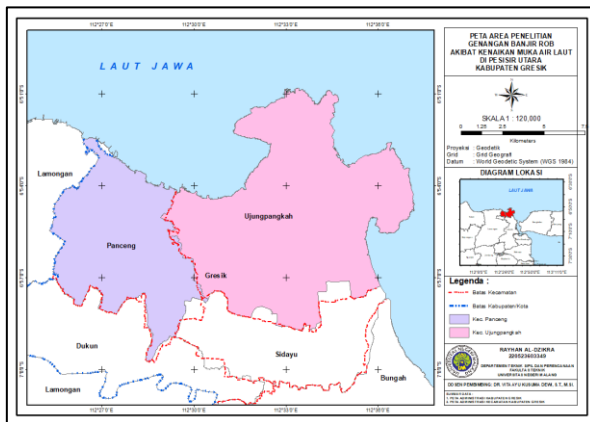
diperparah oleh pola penggunaan lahan dan penataan ruang kawasan pesisir yang belum sepenuhnya sesuai dengan karakteristik lingkungan setempat. Akibatnya, banjir rob secara berkelanjutan menimbulkan kerusakan pada lahan pertanian, tambak, serta kawasan permukiman, sehingga kerugian ekonomi yang ditimbulkan cenderung semakin meningkat dari waktu ke waktu (Aulady et al., 2024).

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya dalam bidang Sistem Informasi Geografis (SIG), memungkinkan analisis spasial untuk mengidentifikasi luasan genangan serta potensi dampak yang ditimbulkan oleh banjir rob (Bariroh & Surtikanti, 2024). Dalam analisis tersebut, data pasang surut menjadi parameter utama untuk merepresentasikan kecenderungan kenaikan muka air laut, yang kemudian dipadukan dengan data ketinggian lahan atau topografi guna menentukan elevasi dan kedalaman genangan banjir rob (Marfai et al., 2013). Selain itu, data penggunaan lahan di pesisir utara Kabupaten Gresik turut dimasukkan sebagai variabel pendukung untuk mengidentifikasi jenis dan sebaran penggunaan lahan yang terdampak genangan. Pendekatan ini memungkinkan analisis yang lebih terintegrasi dan akurat dalam menilai kerentanan wilayah pesisir terhadap banjir rob, sekaligus memberikan dasar yang kuat bagi perencanaan mitigasi berbasis spasial (Lestari & Nirmala, 2023).

Sejumlah penelitian terdahulu telah menerapkan SIG untuk memprediksi wilayah terdampak banjir rob melalui skenario kenaikan muka air laut di beberapa kawasan pantai utara Pulau Jawa, seperti penelitian (Salsabillah & Setiawan, 2024) di Jakarta Utara, penelitian Handoyo et al. (2016) di utara Semarang, penelitian Sawiji et al. (2024) di Lamongan hingga penelitian Ardiansyah (2020) di Selat Madura. Penelitian yang lainnya juga melakukan analisis dengan menambahkan keterkaitan penurunan muka tanah terhadap banjir rob seperti yang dilakukan oleh Iskandar et al. (2025) di Kota Pekalongan. Penelitian-penelitian tersebut dilakukan di kawasan pesisir utara Pulau Jawa yang memiliki kondisi pantai yang datar dan lebih terbuka dengan didominasi pantai yang berlumpur dan atau berbatu (Hidayah et al., 2023). Wilayah pesisir utara Kabupaten Gresik memiliki tipikal perairan berteluk dan terdapat muara yang mengarah langsung ke Laut Jawa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar potensi genangan yang ditimbulkan akibat kenaikan muka air laut, selanjutnya penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui bagaimana sebaran genangan banjir rob melalui analisis dengan SIG.

METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan di wilayah pesisir utara Kabupaten Gresik, dengan fokus pada Kecamatan Ujungpangkah dan Kecamatan Panceng. Kedua kecamatan tersebut dipilih karena secara geografis berada di pesisir utara Pulau Jawa dan berbatasan langsung dengan Laut Jawa, sehingga memiliki tingkat kerentanan yang tinggi terhadap dampak kenaikan muka air laut dan banjir rob. Secara koordinat geografis, lokasi penelitian terletak pada kisaran 6,84°–6,97° Lintang Selatan dan sekitar 112,52° Bujur Timur, dengan total luas wilayah kurang lebih 18.229,85 ha. Dari sisi administrasi, Kecamatan Ujungpangkah dan Kecamatan Panceng secara keseluruhan mencakup 27 desa, yang merepresentasikan karakteristik pesisir dengan variasi penggunaan lahan dan kondisi topografi yang beragam. Kondisi tersebut menjadikan kedua kecamatan ini relevan sebagai lokasi studi untuk analisis spasial genangan banjir rob.



Gambar 1 Peta Area Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini mencakup data pasang surut, data elevasi, serta data spasial pendukung lainnya. Data pasang surut diperoleh dari Sistem Referensi Geospasial Indonesia (SRGI) untuk periode tahun 2020–2025, yang diakses melalui laman resmi <https://srgi.big.go.id/map/pasut-active>. Data ini digunakan sebagai dasar dalam analisis dinamika muka air laut di lokasi penelitian. Selanjutnya, data spasial untuk menentukan ketinggian lahan dan kemiringan lereng (slope) diperoleh dari Digital Elevation Model (DEM) Nasional (DEMNAS) yang disediakan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) melalui portal <https://tanahair.indonesia.go.id/portalweb/login?page=/unduh/demnas>.

Selain itu, penelitian ini juga memanfaatkan peta batas administrasi dan peta penggunaan lahan dengan skala 1:25.000 yang diperoleh dari laman <http://tanahair.indonesia.go.id>. Data tersebut

digunakan untuk analisis spasial dan overlay guna mengidentifikasi wilayah terdampak genangan banjir rob. Penentuan kelas kemiringan lereng pantai mengacu pada Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang, dengan klasifikasi kemiringan sangat landai (0–8%), landai (8–15%), curam (15–25%), dan sangat curam (25–45%). Penggunaan standar klasifikasi ini bertujuan untuk memastikan konsistensi analisis serta memperkuat interpretasi kerentanan wilayah pesisir terhadap genangan banjir rob (Hidayah et al., 2023).

Pengolahan Data Pasang Surut dengan Aplikasi PasutUGM14

Data kenaikan muka air laut diperoleh melalui laman Sistem Referensi Geospasial Indonesia (SRGI), yang menyediakan informasi dan proyeksi kenaikan muka air laut khusus untuk wilayah perairan Indonesia. Data mentah yang diperoleh selanjutnya diolah menggunakan aplikasi PasutUGM14 guna menentukan nilai *Highest High Water Level* (HHWL), yang digunakan sebagai parameter utama dalam mengidentifikasi potensi terjadinya banjir rob. Pengolahan data difokuskan pada rentang waktu lima tahun terakhir, yaitu periode 2020 hingga 2025, sehingga nilai HHWL yang dihasilkan merepresentasikan kondisi pasang tertinggi yang relatif aktual dan relevan dengan karakteristik dinamika pesisir pada lokasi penelitian (Triatmodjo, 2009).

Parameter utama dalam penyusunan model spasial genangan banjir rob pada penelitian ini meliputi ketinggian muka air laut dan elevasi daratan di wilayah kajian. Ketinggian muka air laut ditentukan berdasarkan data pasang surut yang dikumpulkan pada periode 2020 hingga 2025. Data tersebut selanjutnya diolah menggunakan metode *Least Square* untuk memperoleh komponen harmonik pasang surut, dengan bantuan aplikasi PasutUGM14. Hasil pengolahan ini menghasilkan nilai *Highest High Water Level* (HHWL), yang digunakan sebagai ambang batas dalam analisis genangan. Pada tahap ini, area daratan yang memiliki elevasi lebih rendah dibandingkan nilai HHWL diasumsikan berpotensi mengalami genangan banjir rob. Penentuan nilai HHWL dalam penelitian ini mengacu pada Persamaan 1.

$$HHWL = So + Zo \dots \dots \dots (1)$$

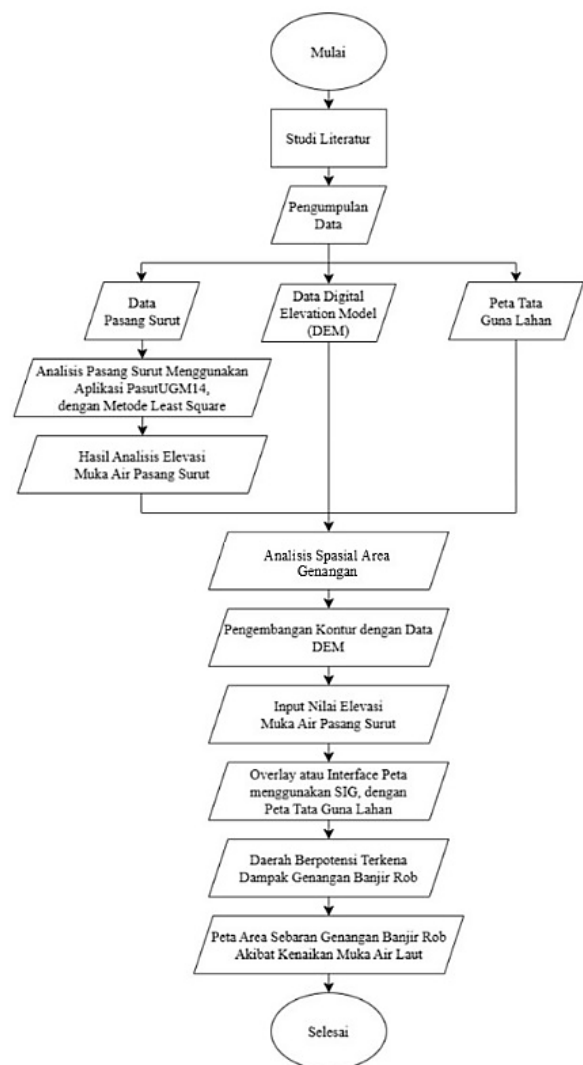
Komponen harmonik So merepresentasikan nilai *Mean Surface Level* (MSL), sedangkan nilai Zo merupakan Elevasi datum pasang surut yang ditentukan melalui perhitungan matematis yang mengacu pada Persamaan 2.

$$Zo = M2 + S2 + N2 + K2 + K1 + O1 + P1 + M4 + MS4 \dots \dots \dots (2)$$

Persamaan 2 memuat sembilan konstanta pasang surut yang diperoleh melalui metode Least Square. Adapun konstantanya adalah M_2 (Principal Lunar tengah harian), S_2 (Principal Solar tengah harian), N_2 (Larger Lunar Elliptic tengah harian), K_2 (Luni Solar tengah harian), K_1 (Luni Solar harian), O_1 (Principal Lunar harian), P_1 (Principal Solar harian), M_4 Shallow Water Overtide), M_4 (Shallow Water Quarter Diurnal).

Tahap berikutnya adalah penyusunan peta genangan dengan memanfaatkan data *Digital Elevation Model* (DEM) pada wilayah penelitian. Analisis spasial dilakukan menggunakan *Raster Calculator* untuk membandingkan nilai elevasi permukaan lahan dengan ketinggian muka air laut. Area yang memiliki nilai elevasi lebih rendah daripada tinggi muka air ditetapkan sebagai wilayah yang berpotensi tergenang, sehingga peta yang dihasilkan mampu menggambarkan sebaran genangan banjir rob secara spasial dan objektif (Wismarini & Khristianto, 2016). Adapun prosedur penelitian digambarkan di Gambar 2.

Dampak genangan banjir rob terhadap lingkungan pesisir dianalisis menggunakan pendekatan *overlay*, yaitu dengan menumpangtindihkan peta sebaran genangan dan peta penggunaan lahan (Zain & Utami, 2015). Pendekatan ini memungkinkan identifikasi secara langsung jenis tutupan lahan yang terdampak genangan banjir rob, sehingga memberikan gambaran yang jelas mengenai sektor-sektor penggunaan lahan yang paling rentan di pesisir utara Kabupaten Gresik.



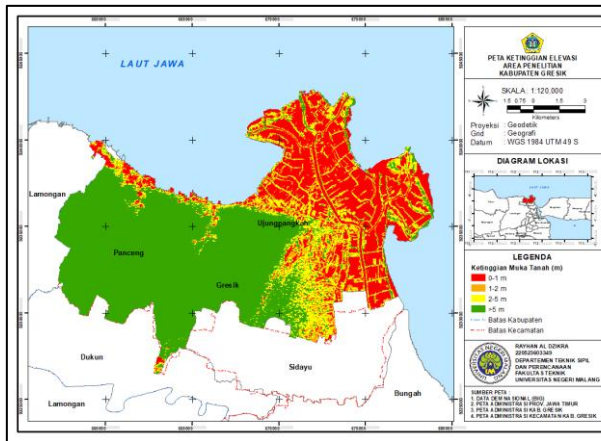
Gambar 2 Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Topografi Pesisir Utara Kabupaten Gresik

Karakteristik topografi pantai pada lokasi penelitian dianalisis berdasarkan ketinggian dan kemiringan lahan menggunakan data DEM. Hasil pengolahan menunjukkan bahwa elevasi permukaan pada wilayah tersebut berada pada rentang 0-130,843 mdpl. Pada Gambar 3 menunjukkan klasifikasi elevasi yang dibagi menjadi empat kelas ketinggian, yaitu kelas 0-1 mdpl, 1-2 mdpl, 2-5 mdpl dan kelas >5 mdpl berdasarkan data luas tiap kelas elevasi Total luas seluruh kelas yaitu sekitar 18.229,85 ha. Analisis lebih lanjut pada Tabel 1. Memperlihatkan bahwa sekitar 54,8% dari total luas kawasan berada pada kelas ketinggian >5 mdpl dengan luas 9.989,56 ha. Sedangkan area dengan ketinggian 0-1 mdpl mencakup sekitar 25,79% atau seluas 4.701,39 ha.

Klasifikasi ketinggian yang dihasilkan dari DEM dapat berbeda untuk setiap lokasi karena bergantung pada variasi kontur topografinya (Muzaki et al., 2022). Namun secara umum, kawasan dengan kelas elevasi 0-1 dan 1-2 mdpl merupakan area yang paling rentan terhadap genangan akibat kenaikan muka air laut (Dwi & Purwantara, 2025). Nilai *Highest High Water Level* (HHWL) yang terus meningkat pada pesisir utara Kabupaten Gresik menjadi indikator penting yang menunjukkan kerentanan wilayah ini terhadap genangan, terutama karena topografinya didominasi oleh dataran rendah dengan elevasi yang berada pada kisaran yang relatif dekat dengan muka air laut. Kondisi elevasi yang rendah dan lereng pantai yang landai menyebabkan setiap kenaikan HHWL, meskipun kecil, dapat memperluas area yang berpotensi tergenang dan meningkatkan risiko banjir rob (Yuhana, 2023).



Gambar 3 Peta Ketinggian Elevasi Tanah

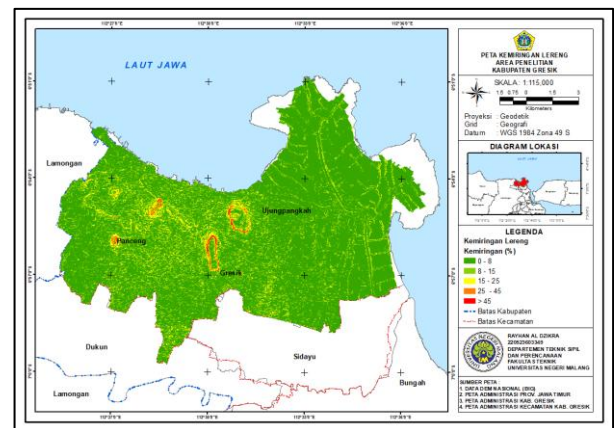
Sebagian besar wilayah pesisir pada lokasi penelitian di Pantura Gresik berada pada elevasi lebih dari 5 mdpl, sehingga kawasan ini secara umum memiliki kondisi topografi yang cukup aman terhadap potensi genangan (Syafitri & Rochani, 2022). Namun, berbeda dengan pantai bertebing seperti di pesisir selatan Jawa, morfologi pantai di Gresik umumnya datar dan terbuka, sehingga tidak memiliki pelindung alami berupa tebing yang dapat meredam energi gelombang. Kondisi ini membuat kawasan dengan ketinggian 0–5 mdpl, yang menempati sebagian wilayah pesisir, menjadi area yang paling rentan terhadap banjir rob, terutama saat pasang puncak atau peningkatan HHWL.

Tabel 1 Data Luas dan Persentase Kelas Elevasi

Kelas Elevasi	Luas (ha)	Persentase (%)
0-1 mdpl	4.701,39	25,79%
1-2 mdpl	998,10	5,48%
2-5 mdpl	2.540,80	13,94%
>5 mdpl	9.989,56	54,80%

Kerentanan serupa juga banyak ditemukan di wilayah pesisir utara Jawa Timur lainnya, seperti Surabaya, yang memiliki karakteristik pantai terbuka dan elevasi rendah. Kombinasi elevasi rendah dan bentuk pantai yang datar menjadi faktor utama yang mempengaruhi tingginya risiko genangan pada kawasan pesisir utara Gresik. Kondisi topografi tersebut membuat daerah pesisir memiliki kapasitas limpasan yang rendah, sehingga air laut yang mengalami pasang dengan mudah melimpas ke daratan. Selain itu, permukaan tanah yang relatif datar menyebabkan air genangan bertahan lebih lama karena tidak memiliki gradien cukup untuk mengalir kembali ke laut. Dengan demikian, wilayah ini sangat rentan terhadap peningkatan muka air laut, baik akibat pasang harian maupun fenomena iklim jangka panjang.

Analisis selanjutnya dari data DEM adalah untuk mengetahui kondisi kelerengan (*slope*) pada Lokasi penelitian yang tertera pada Gambar 4. Berdasarkan hasil analisis data DEM, kondisi kelerengan (*slope*) pada wilayah penelitian dapat dipetakan untuk melihat variasi kemiringan lahannya. Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa sebagian besar kawasan berada pada kategori sangat landai hingga landai, dengan proporsi terbesar berada pada kemiringan 0–8% dengan luas mencapai 13.124,2 ha, yang menjadi ciri umum morfologi pesisir utara Gresik. Kelas landai (8–15%) juga memiliki luasan yang cukup besar, yaitu 3.301,08 ha, sehingga semakin menegaskan bahwa kontur wilayah penelitian secara keseluruhan relatif datar. Sementara itu, kategori agak curam (15–25%), curam (25–45%), dan sangat curam (>45%) hanya menempati area terbatas dengan luasan di bawah 600 ha, dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 4 Peta Kemiringan Lereng Pesisir Utara Kabupaten Gresik

Kemiringan terjal ini umumnya berada pada bagian yang lebih jauh dari pesisir, terutama di wilayah peralihan menuju perbukitan kapur. Dominasi lereng datar hingga landai ini berimplikasi signifikan terhadap potensi genangan banjir rob, karena tidak adanya perbedaan elevasi yang cukup untuk menghambat intrusi air pasang ke daratan, sehingga genangan dapat menyebar lebih luas terutama pada saat pasang purnama atau kenaikan muka air laut (Pujiastuti et al., 2015). Selain itu, distribusi kemiringan lereng yang didominasi oleh kelas sangat landai dan landai menunjukkan bahwa wilayah ini memiliki potensi limpasan permukaan yang relatif rendah, sehingga air cenderung menggenang lebih lama terutama pada periode pasang maksimum atau ketika curah hujan tinggi. Kondisi topografi yang demikian juga membuat proses infiltrasi berjalan lebih lambat di beberapa titik, sehingga memperbesar peluang terbentuknya area genangan yang luas.

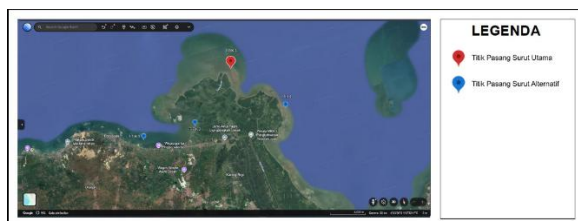
Tabel 2 Data Distribusi Kemiringan Lereng

Kelas Kemiringan	Rentang Kemiringan (%)	Luas (Ha)	Persentase (%)
Sangat Landai	0-8	13.124,2	76,74
Landai	8-15	3.301,08	19,30
Agak Curam	15-25	559,70	3,27
Curam	25-45	98,64	0,58
Sangat Curam	>45	18,29	0,11

Pengolahan Data Pasang Surut

Data pasang surut dalam penelitian ini diperoleh dari empat titik pengamatan yang tersebar di sepanjang pesisir utara Kabupaten Gresik. Keempat titik tersebut dipilih untuk merepresentasikan variasi kondisi hidrodinamika laut, mulai dari kawasan pesisir terbuka, area dekat muara sungai, hingga lokasi dengan aktivitas pesisir yang intens. Pemilihan titik-titik ini dimaksudkan agar data yang digunakan dalam analisis mencerminkan kondisi lapangan secara komprehensif dan menggambarkan pola pasang surut secara lebih akurat di seluruh wilayah pesisir. Setelah proses pengambilan data, informasi pasang surut tersebut kemudian diolah menggunakan aplikasi PasutUGM14 untuk memperoleh nilai HHWL, yang selanjutnya digunakan sebagai parameter utama dalam menentukan potensi terjadinya genangan banjir rob.

Penelitian ini menggunakan empat titik sampel yang akan digunakan sebagai titik koordinat terjadinya pasang surut di Lokasi penelitian. Empat titik pengamatan pasang surut di wilayah pesisir Kabupaten Gresik menunjukkan karakteristik yang berbeda sesuai kondisi lingkungannya. Titik pertama berada di Perairan Panceng yang berhadapan langsung dengan laut lepas, sehingga pola pasang surut yang diperoleh mencerminkan dinamika oseanografis murni tanpa pengaruh signifikan dari aktivitas daratan. Berbeda dengan itu, titik kedua di Perairan Banyuurip merupakan kawasan pesisir dengan aktivitas perikanan dan pertambakan yang cukup intensif. Kondisi perairan dangkal serta perubahan morfologi pesisir di lokasi ini dapat menyebabkan variasi amplitudo dan fase pasang surut yang lebih teredam atau terdistorsi dibandingkan wilayah terbuka.

**Gambar 5** Titik Pengambilan Data Pasang Surut

Pada titik ketiga, yaitu Muara Sungai Bengawan Solo, berada pada zona transisi antara air laut dan air sungai sehingga pola pasang surutnya dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara gelombang pasang, debit sungai, sedimentasi, dan dinamika geometri muara. Interaksi ini sering menghasilkan peredaman sinyal pasang surut serta perubahan fase. Sementara itu, titik keempat di Perairan Pangkahwetan terletak pada kawasan pesisir yang landai dan dekat dengan area tambak sehingga lebih rentan mengalami genangan pada saat pasang tinggi. Perbedaan karakteristik antar titik menunjukkan bahwa kondisi lokal berperan penting dalam membentuk pola pasang surut, sehingga keberagaman data ini menjadi aspek krusial dalam menghasilkan analisis spasial genangan yang lebih akurat bagi wilayah pesisir Gresik (Taufik et al., 2020).

Tabel 3 Titik Koordinat Pasang Surut

No	Nama	Titik Koordinat (°)	Keterangan Lokasi
1	Titik 1	-6.8905, 112.4777	Perairan Panceng
2	Titik 2	-6.8924, 112.5318	Perairan Banyuurip
3	Titik 3	-6.8481, 112.5840	Perairan Muara Sungai Bengawan Solo
4	Titik 4	-6.9023, 112.6255	Perairan Pangkahwetan

Data HHWL (*Highest High Water Level*) pada empat titik pantai utara Gresik selama periode 2020–2025 menunjukkan kecenderungan peningkatan pada seluruh lokasi pengamatan. Pada Titik 1 (Panceng), nilai HHWL relatif stabil pada kisaran 0,973 m selama 2020–2022, kemudian meningkat menjadi 0,998 m pada 2022–2023, 1,008 m pada 2023–2024, dan mencapai 1,017 m pada 2024–2025. Pola serupa terlihat pada Titik 2 (Banyuurip) dan Titik 3 (Muara Bengawan Solo), yang masing-masing mengalami kenaikan bertahap dari 0,942 m dan 0,943 m pada 2020–2021 menjadi 1,017 m dan 1,019 m pada 2024–2025. Titik 4 (Pangkahwetan) juga menunjukkan peningkatan dari 0,915 m pada 2020–2021 menjadi 0,991 m pada 2024–2025, meskipun laju pertumbuhannya sedikit melambat pada dua tahun terakhir. Secara keseluruhan, seluruh titik mengalami kenaikan HHWL kumulatif sekitar 4–8 cm dalam lima tahun, dengan rata-rata laju peningkatan sebesar 0,015–0,020 m per tahun. Temuan ini mengindikasikan adanya tren kenaikan puncak pasang laut di kawasan pesisir utara Gresik, meskipun intensitas pertumbuhannya relatif kecil dari tahun ke tahun. Hasil pengolahan HHWL menggunakan aplikasi PasutUGM14 disajikan pada Tabel 4.

Pada setiap periode pengukuran, perbandingan antar lokasi menunjukkan posisi Titik 4 selalu paling rendah, sedangkan Titik 1–3 relatif lebih tinggi. Sebagai contoh, pada 2020–2021 Titik 1 tertinggi (0,973 m) dan Titik 4 terendah (0,915 m), selisih mencapai 0,058 m. Pada 2024–2025, peringkat terbalik: Titik 3 sedikit lebih tinggi (1,019 m) dibanding Titik 1 dan 2 (masing-masing 1,017 m), dengan Titik 4 masih paling rendah (0,991 m). Selisih antar lokasi cenderung mengecil menuju akhir periode. Pola ini mengindikasikan adanya variasi lokal (misalnya faktor topografi atau hidrodinamika) yang membuat Titik 4 memiliki HHWL paling rendah, sementara Titik 1–3 hampir setara. Namun secara umum ketiga titik tersebut berada pada level HHWL $\sim 1,00$ m, jauh lebih tinggi dibanding Titik 4 ($\sim 0,92$ – $0,99$ m).

Tabel 4 Data HHWL Menggunakan Aplikasi PasutUGM14

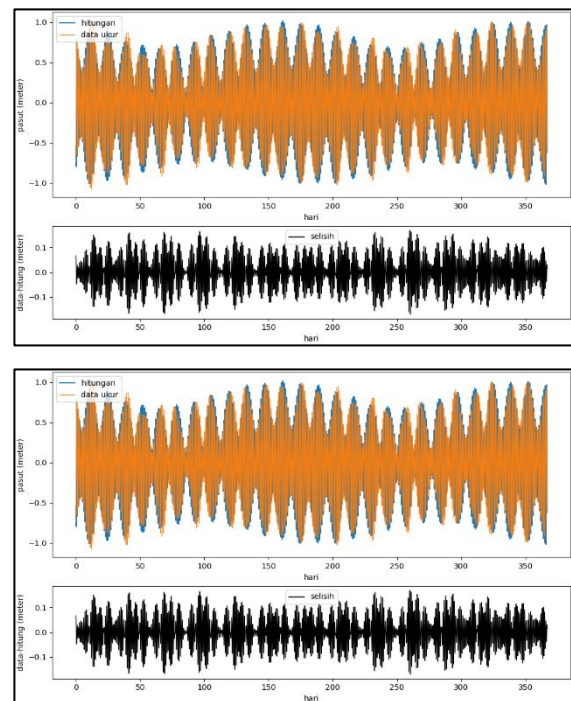
Rentang Tahun	Titik 1 (Pancen g)	Titik 2 (Banyu u rip)	Titik 3 (Muara Sungai Bengaw an Solo)	Titik 4 (Pangka hwetan)
2020-2021	0,973 m	0,942 m	0,943 m	0,915 m
2021-2022	0,973 m	0,973 m	0,976 m	0,949 m
2022-2023	0,998 m	0,998 m	1,000 m	0,976 m
2023-2024	1,008 m	1,008 m	1,011 m	0,983 m
2024-2025	1,017 m	1,017 m	1,019 m	0,991 m

Secara umum semua titik menunjukkan kenaikan dari 2020 hingga 2025. Rata-rata setiap titik mengalami kenaikan kumulatif 0,04–0,08 m dalam kurun waktu lima tahun. Kenaikan bertahap ini menunjukkan adanya tren peningkatan permukaan laut (*sea level rise*) setempat. Secara kuantitatif, perubahan rata-rata tahunan sekitar 0,015–0,020 m sejalan dengan tingkat kenaikan muka air laut global yang diprediksi beberapa milimeter per tahun. Pola ini konsisten dengan fenomena kenaikan pasang maksimum laut yang dilaporkan di pesisir utara Pulau Jawa, banjir rob dipicu oleh kenaikan muka air laut (pasang surut tinggi) akibat pemanasan global dan mencairnya es kutub (Syafitri & Rochani, 2022).

Peningkatan HHWL sekitar 0,08 meter dalam lima tahun terakhir menjadi faktor utama yang perlu dipertimbangkan dalam penentuan parameter input model simulasi banjir rob. Dengan elevasi pasang puncak yang semakin tinggi, dasar muka air laut turut meningkat sehingga area genangan yang diproyeksikan oleh model akan meluas dan bergerak lebih jauh ke arah daratan (Ikhsyan et al., 2017). Kondisi ini menunjukkan

bahwa risiko banjir rob di pesisir utara Gresik akan terus meningkat pada tahun-tahun mendatang, sehingga diperlukan upaya mitigasi dan adaptasi yang lebih terarah, seperti penguatan sistem pertahanan pantai, peningkatan kapasitas tanggul, maupun optimalisasi pompanisasi sesuai dengan proyeksi kenaikan muka air.

Pada penelitian ini tipe pasang surut dan komponen harmonik perairan pesisir utara Kabupaten Gresik diketahui melalui pengolahan data pasang surut pada Titik 3 dengan rentang tahun 2024–2025, pemilihan data pasang surut tersebut didasarkan pada nilai HHWL tertinggi selama periode 5 tahun terakhir. Hasil analisis Least Square menunjukkan bahwa tipe pasang surut di lokasi penelitian adalah diurnal tide yang artinya dalam satu hari terjadi satu kali pasang dan satu kali surut, didapatkan juga nilai bilangan *Formzahl* yakni 9,75. Selain itu hasil analisis data pasut Titik 3 rentang tahun 2024–2025 juga mendapatkan nilai HHWL = 1,019 meter.



Gambar 6 Grafik Pasang Surut Titik 3 Rentang 2024–2025

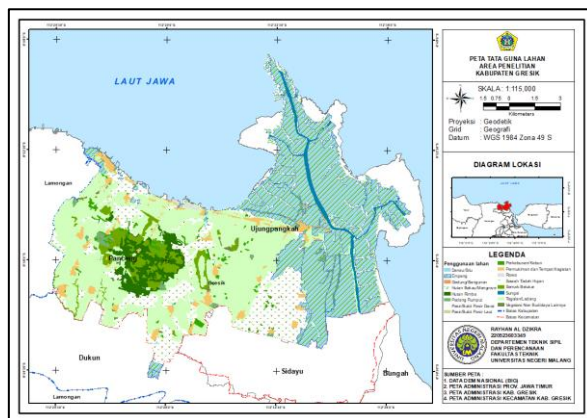
Data dari website SRGI (Sistem Referensi Geospasial Indonesia) mencatat anomali ketinggian permukaan air laut khususnya untuk wilayah perairan Indonesia. Berdasarkan Gambar 6, hasil analisis data pasut Titik 3 rentang tahun 2024–2025 yang dilakukan, menunjukkan bahwa seluruh data memiliki tingkat kecocokan yang tinggi, data tahun 2024–2025 ini memperlihatkan kinerja terbaik, yang ditandai dengan kurva yang saling tumpang tindih secara sempurna dan memiliki residual yang paling stabil dengan rentang sekitar -0,1 hingga 0,1

meter. Oleh karena itu, data titik 3 tahun 2024-2025 dipilih sebagai dasar analisis dalam penelitian ini karena memiliki kualitas data yang baik dan paling representatif untuk dilakukan analisis genangan banjir rob.

Kondisi Penggunaan Lahan

Berdasarkan peta penggunaan lahan pada pesisir utara Kabupaten Gresik (Gambar 7), wilayah penelitian terbagi menjadi enam belas jenis tutupan lahan. Setiap jenis penggunaan lahan digambarkan dengan warna berbeda sehingga memudahkan identifikasi visual distribusi pemanfaatan ruang. Dari hasil pemetaan, terlihat jelas bahwa tambak atau empang menjadi bentuk penggunaan lahan yang paling dominan, terutama di kawasan yang berada dekat garis pantai.

Selain sektor perikanan tambak, kecamatan Ujungpangkah dan Panceng juga menunjukkan cakupan yang luas pada sektor pertanian, yang tersebar cukup merata di area daratan. Kedua kecamatan ini masih memiliki keberadaan hutan dan mangrove yang cukup signifikan, berfungsi sebagai penyangga ekologis sekaligus pelindung alami wilayah pesisir. Komposisi penggunaan lahan tersebut memberikan gambaran bahwa aktivitas masyarakat di kawasan penelitian sangat dipengaruhi oleh kondisi pesisir dan potensi sumber daya alam yang tersedia.



Gambar 7 Peta Penggunaan Lahan Pesisir Utara Kabupaten Gresik

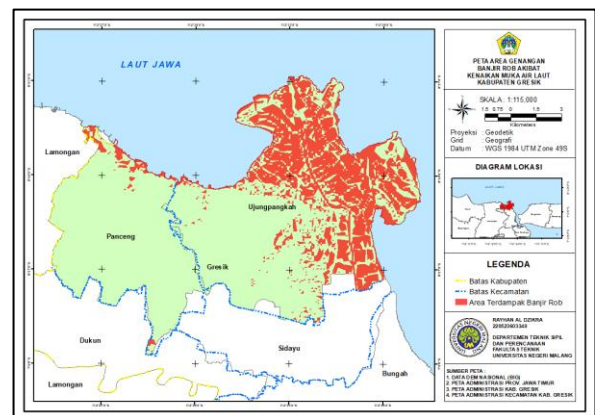
Perubahan penggunaan lahan di wilayah penelitian dalam lima tahun terakhir menunjukkan dinamika yang relatif stabil tanpa pergeseran yang signifikan. Hal ini terlihat dari perbandingan data penggunaan lahan tahun 2020 hingga 2024, di mana komposisi tutupan lahan seperti permukiman, tambak, vegetasi, dan area pertanian cenderung berada pada pola yang sama. Konsistensi ini mengindikasikan bahwa aktivitas pembangunan maupun alih fungsi lahan berlangsung secara bertahap dan tidak memunculkan perubahan besar

pada struktur ruang wilayah (Sitorus P.R. Santun, 2016).

Analisis Potensi Genangan Banjir Rob

Berdasarkan pengolahan parameter utama banjir rob, yaitu elevasi dan kemiringan lahan, data pasang surut air laut, dan pola penggunaan lahan, dilakukan analisis spasial menggunakan nilai pasang tertinggi (HHWL) yang tercatat pada lokasi penelitian yaitu 1,019 meter. Dalam studi ini, ketinggian muka air laut maksimum digunakan sebagai acuan untuk mensimulasikan potensi genangan pada wilayah pesisir Ujungpangkah dan Panceng. Pendekatan ini memberikan gambaran yang nyata mengenai area yang berpotensi terdampak genangan rob tanpa perlu memproyeksikan skenario kenaikan muka air laut secara hipotesis (Azhari et al., 2022).

Pendekatan berbasis nilai pasang tertinggi (HHWL) ini dinilai relevan untuk menggambarkan kondisi eksisting banjir rob yang berpotensi terjadi di wilayah pesisir utara Kabupaten Gresik. Dengan menggunakan parameter HHWL aktual, hasil analisis mampu merepresentasikan area genangan yang realistis dan sesuai dengan kondisi lapangan, khususnya pada zona dengan elevasi rendah dan kemiringan lahan yang landai (Hariyra et al., 2025). Selain itu, integrasi antara data pasang surut, elevasi, dan penggunaan lahan memungkinkan identifikasi wilayah dengan tingkat kerentanan yang lebih tinggi, sehingga hasil analisis dapat digunakan sebagai dasar awal dalam perencanaan mitigasi banjir rob dan pengelolaan kawasan pesisir secara lebih tepat sasaran.

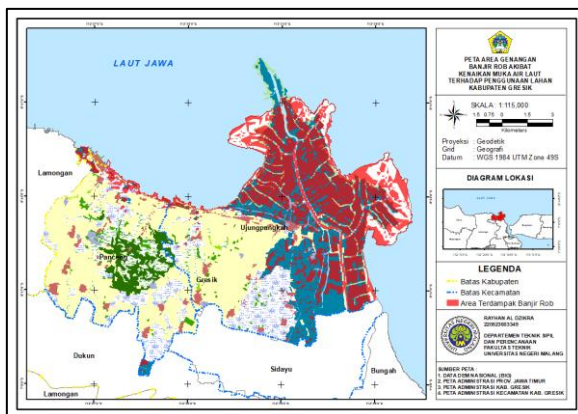


Gambar 8 Peta Area Genangan Banjir Rob

Hasil analisis menunjukkan bahwa zona pesisir dengan elevasi rendah, khususnya kawasan tambak, empang, dan lahan terbuka dekat garis pantai, memiliki kerentanan genangan yang lebih tinggi. Dari pemetaan yang dilakukan di ArcGIS, total luas area yang tergenang dihitung berdasarkan overlay antara permukaan pasang tertinggi dan topografi

setempat. Luas genangan kemudian dievaluasi terhadap penggunaan lahan aktual sehingga terlihat sektor-sektor mana yang paling rentan, terutama pada wilayah tambak yang mendominasi sebagian besar pesisir Ujungpangkah dan Panceng.

Berdasarkan peta sebaran genangan banjir rob pada Gambar 8 di kawasan pesisir utara Kabupaten Gresik, terlihat bahwa area yang paling terdampak berada pada zona dataran rendah, khususnya di Kecamatan Ujungpangkah dan sebagian wilayah Panceng. Lokasi yang berada dekat garis pantai terutama kawasan tambak dan lahan dengan elevasi rendah menunjukkan tingkat kerentanan yang lebih tinggi terhadap peristiwa pasang maksimum. Pola genangan yang muncul cenderung mengikuti persebaran jaringan tambak yang luas di pesisir Ujungpangkah, sehingga membentuk area genangan yang relatif kompak dan saling terhubung (Hidayah et al., 2023).



Gambar 9 Peta Area Genangan Banjir Rob Terhadap Penggunaan Lahan

Sebaliknya, wilayah dengan kondisi topografi yang lebih tinggi, seperti bagian tengah Panceng, memperlihatkan intensitas genangan yang jauh lebih rendah. Temuan ini selaras dengan kondisi lapangan yang menunjukkan bahwa area tersebut memiliki elevasi pantai yang relatif lebih tinggi dibandingkan zona pesisir lainnya. Secara keseluruhan, pola spasial tersebut menegaskan bahwa variasi elevasi lahan dan jarak terhadap garis pantai merupakan faktor utama yang mempengaruhi tingkat paparan banjir rob di pesisir utara Gresik (Cahyani et al., 2023).

Hasil analisis spasial tersebut sejalan dengan temuan kuantitatif pada Tabel 5. Data menunjukkan bahwa penggunaan lahan berupa empang atau tambak menjadi sektor yang paling terdampak, dengan luas genangan mencapai 3.783,08 ha atau sekitar 79,626% dari total area tergenang. Kondisi ini konsisten dengan pola sebaran pada peta, di mana area berwarna biru dan merah tampak mendominasi kawasan tambak yang umumnya

berada sangat dekat dengan garis pantai serta memiliki elevasi rendah.

Selain tambak, beberapa jenis penggunaan lahan lain juga mengalami dampak genangan dalam luasan yang cukup berarti, yaitu hutan bakau atau mangrove (346,375 ha; 7,29%), sungai (224,75 ha; 4,731%), semak belukar (138,632 ha; 2,918%), dan sawah (82,008 ha; 1,726%). Sementara itu, permukiman hanya terdampak sekitar 28,986 ha atau 0,61%, yang mengindikasikan bahwa kawasan hunian umumnya berada lebih jauh dari garis pantai atau terletak pada elevasi yang lebih tinggi. Secara keseluruhan, distribusi pada tabel 5 tidak hanya menguatkan hasil interpretasi visual dari peta, tetapi juga memberikan bukti kuantitatif mengenai tingkat kerentanan masing-masing jenis penggunaan lahan terhadap genangan banjir rob di pesisir utara Gresik (Suripin, 2004).

Tabel 5 Distribusi Wilayah Terdampak Banjir Rob Terhadap Penggunaan Lahan

No	Penggunaan Lahan	Luas Wilayah Terdampak (Ha)	Persentase (%)
1	Danau	2,361	0,050
2	Dermaga	7,441	0,157
3	Empang/Tambak	3.783,081	79,626
4	Gedung/Bangunan	0,029	0,001
5	Hutan Bakau/Mangrove	346,375	7,290
6	Industri	0,300	0,006
7	Padang Rumput	33,448	0,704
8	Pelabuhan Nelayan	2,195	0,046
9	Permukiman	28,986	0,610
10	Pesisir Pantai	69,399	1,461
11	Rawa	5,822	0,123
12	Sawah	82,008	1,726
13	Semak Belukar	138,632	2,918
14	Sungai	224,750	4,731
15	Tegalan/Ladang	26,247	0,552
Total		4.751,08	100

Berdasarkan hasil analisis genangan pada Gambar 9, penggunaan lahan berupa empang atau tambak tercatat sebagai sektor yang paling terdampak banjir rob. Tingginya tingkat

keterpaparan ini berkaitan langsung dengan kondisi topografi, di mana lahan tambak umumnya berada pada elevasi yang relatif rendah (Hamuna et al., 2018). Peta ketinggian menunjukkan bahwa sebagian besar area empang berada pada kelas elevasi 0–1 mdpl, sehingga posisinya berada di bawah atau mendekati elevasi muka air laut saat pasang tertinggi (HHWL). Kondisi tersebut menyebabkan air laut mudah menggenangi kawasan tambak ketika terjadi pasang maksimum, sehingga memperbesar potensi dan intensitas genangan banjir rob akibat kenaikan muka air laut.

Hasil analisis banjir rob menunjukkan bahwa badan sungai di wilayah pesisir utara Kabupaten Gresik turut mengalami genangan, khususnya pada segmen sungai yang berlokasi dekat muara dan garis pantai. Kondisi ini terjadi akibat pengaruh pasang laut yang menyebabkan peningkatan muka air laut hingga mencapai nilai HHWL, sehingga aliran sungai menuju laut tertahan dan memicu kenaikan muka air sungai (*backwater effect*). Akibatnya, air sungai meluap ke area sekitarnya, terutama pada sungai dengan elevasi dasar rendah dan kapasitas aliran yang terbatas. Meskipun penelitian ini tidak memodelkan banjir sungai secara hidrodinamik, hasil analisis spasial mengindikasikan bahwa sungai berperan sebagai jalur penetrasi air pasang ke daratan, sehingga memperluas sebaran genangan rob pada kawasan dataran rendah dan penggunaan lahan di sekitarnya, terutama tambak dan area pesisir yang berdekatan langsung dengan badan Sungai (Prayogo, 2021).

Temuan penelitian ini sejalan dengan sejumlah studi yang menyatakan bahwa laju kenaikan muka air laut di pesisir utara Pulau Jawa cenderung lebih tinggi dibandingkan wilayah perairan lain di Indonesia. Salah satu kajian di pesisir Kota Semarang menunjukkan bahwa kejadian banjir rob yang berulang dipicu oleh kondisi topografi wilayah Semarang bagian bawah yang memiliki elevasi relatif rendah, sehingga sangat rentan terhadap genangan akibat kenaikan muka air laut. Dengan merujuk pada laporan dan proyeksi skenario kenaikan muka air laut dari IPCC hingga tahun 2100, penelitian tersebut memperkirakan peningkatan luas genangan yang signifikan, dari sekitar 599,4 ha pada tahun 2020 menjadi 4.235,4 ha pada tahun 2100 (Suhelmi & Prihatno, 2020). Hasil ini mempertegas bahwa kombinasi antara kenaikan muka air laut dan kondisi topografi rendah merupakan faktor kunci yang memperbesar risiko banjir rob di kawasan pesisir utara Pulau Jawa.

Penelitian lain yang dilakukan di kawasan pesisir pantai Utara Jawa, meliputi Jakarta Utara,

Semarang Timur, Kabupaten Brebes, dan Kabupaten Pekalongan, menunjukkan bahwa kejadian banjir rob di wilayah tersebut terutama dipengaruhi oleh kombinasi penurunan muka tanah dan kenaikan muka air laut saat kondisi pasang. Faktor ganda ini memperbesar frekuensi dan durasi genangan di kawasan pesisir, sehingga dampaknya tidak hanya bersifat fisik, tetapi juga sosial dan ekonomi. Syafitri dan Rochani (2022) menegaskan bahwa banjir rob menimbulkan kerugian yang signifikan bagi masyarakat dan pemerintah daerah, karena wilayah yang berulang kali tergenang cenderung mengalami penurunan kualitas lingkungan, ditandai dengan kerusakan infrastruktur dan fasilitas umum, serta berkembangnya kawasan permukiman yang semakin kumuh.

KESIMPULAN

Analisis banjir rob berbasis nilai HHWL tertinggi sebesar 1,019 m yang dikombinasikan dengan data elevasi DEM dan analisis berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) menunjukkan bahwa pesisir utara Kabupaten Gresik memiliki potensi genangan yang sangat luas, dengan total area terdampak mencapai sekitar 4.751,08 ha dan dominasi genangan berada di Kecamatan Ujungpangkah. Wilayah ini tercatat sebagai kawasan dengan tingkat keterdampakan tertinggi, dengan luasan genangan sekitar 4.551,9 ha, di mana pada skala desa Pangkahwetan menjadi wilayah paling terdampak seluas 2.602,6 ha (57,18%), diikuti oleh Desa Pangkahkulon seluas 1.205,9 ha (26,49%). Sementara itu, Kecamatan Panceng menunjukkan tingkat genangan yang relatif lebih kecil, dengan total area terdampak sekitar 199,169 ha, yang terkonsentrasi terutama di Desa Campurejo dan Desa Dalegan. Tingginya kerentanan genangan banjir rob di wilayah penelitian dipengaruhi oleh kondisi topografi pesisir yang rendah dan landai serta keberadaan muara Sungai Bengawan Solo yang memperkuat penetrasi air laut saat pasang maksimum. Secara keseluruhan, penggunaan lahan berupa empang dan tambak menjadi sektor yang paling terdampak dengan total genangan mencapai sekitar 3.783,08 ha atau 79,6%, yang berkaitan erat dengan posisi lahan tersebut pada elevasi rendah, sehingga sangat rentan terhadap dampak kenaikan muka air laut, sejalan dengan karakteristik umum pesisir utara Pulau Jawa.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan analisis banjir rob secara lebih menyeluruh dengan mempertimbangkan tambahan parameter, seperti dinamika hidrodinamika sungai, laju penurunan muka tanah, serta berbagai skenario kenaikan muka air laut dalam jangka panjang. Integrasi faktor-faktor tersebut diharapkan mampu

menghasilkan pemetaan risiko banjir rob yang lebih akurat dan representatif terhadap kondisi lapangan, sekaligus menjadi dasar yang kuat dalam perumusan strategi mitigasi dan adaptasi yang berkelanjutan di wilayah pesisir utara Kabupaten Gresik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM Universitas Negeri Malang yang telah memberikan dana hibah internal Penelitian skema IRN Tahun 2025.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiansyah, R. (2020). Pemodelan Spasial Bahaya Banjir Rob Di Kota Dumai Provinsi Riau. Universitas Islam Riau Pekanbaru. *Diakes Pada*, 25., 03(02), 39–46.
- Aulady, M. F. N., F. M. F., & Syahputra, D. A. (2024). Dampak banjir rob terhadap pemukiman di Kecamatan Ujungpangkah Kabupaten Gresik. *Prosiding Seminar Nasional Keteknisiplan Bidang Vokasional XII*, 3, 10–17.
- Azhari, D. R., Lestari, D. A., & Arifin, W. A. (2022). Pemodelan Spasial Genangan Banjir Rob , Studi Kasus : Pesisir Utara Banten (Kecamatan Kasemen). *Jurnal Georafflesia: Artikel Ilmiah Pendidikan Geografi*, 7(2), 173–181.
- Bariroh, G., & Surtikanti, H. K. (2024). *Strategi masyarakat pesisir Margolinduk dalam penanganan banjir rob serta implikasi terhadap sikap peduli lingkungan*. 1(2), 69–86.
- Cahyani, M. D., Hernovianty, F. R., & Pratiwi, N. N. (2023). *Analisis Aspek Fisik Yang Mempengaruhi Perubahan Penggunaan Lahan Di Kelurahan Parit Tokaya*. 1–29.
- Suripin. (2004). *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*.
- Dwi, A., & Purwantara, S. (2025). *Pemodelan spasial risiko banjir rob di pesisir Kota Semarang berbasis sistem informasi geografis Abstrak Pendahuluan*. 1(1), 101–119.
- Hamuna, B., Tanjung, R. H. R., Kalor, J. D., Dimara, L., Indrayani, E., Warpur, M., Paulangan, Y. Y. P., & Paiki, K. (2018). Studi Karakteristik Pasang Surut Perairan Laut Mimika, Provinsi Papua. *ACROPORA: Jurnal Ilmu Kelautan Dan Perikanan Papua*, 1(1), 19–28. <https://doi.org/10.31957/v1i1.503>
- Handoyo, G., Suryoputro, A. A. D., & Subardjo, P. (2016). Genangan Banjir Rob Di Kecamatan Semarang Utara. *Jurnal Kelautan Tropis*, 19(1), 55. <https://doi.org/10.14710/jkt.v19i1.601>
- Hariyra, S., Miladan, N., Yudana, G., Teknik, F., & Maret, U. S. (2025). *Kesesuaian Penggunaan Lahan Pesisir Kota Pangkalpinang terhadap Risiko Banjir Rob The Suitability of Coastal Land Use in Pangkalpinang City for Tidal*. 7(2), 55–67.
- Hidayah, Z., Ilhami, S. A. A., As-Syakur, A., Wiyanto, D. B., & Wirayuhanto, H. (2023). Pemodelan Spasial Genangan Akibat Kenaikan Muka Air Laut di Pesisir Selatan Kabupaten Tulungagung Jawa Timur. *Jurnal Kelautan Nasional*, 18(1), 1. <https://doi.org/10.15578/jkn.v18i1.10796>
- Ikhsyan, N., Muryani, C., & Rintayani, P. (2017). Analisis Sebaran, Dampak dan Adaptasi Masyarakat terhadap Banjir Rob di Kecamatan Semarang Timur dan Kecamatan Gayamsari Kota Semarang. *Jurnal Geo Eco*, 3(2), 145–156.
- IPCC, 2023. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Iskandar, S. A., Helmi, M., & Widada, S. (2025). *Analisis Geospasial Area Genangan Banjir Rob dan Dampaknya pada Penggunaan Lahan Tahun 2020 - 2025 di Kota Pekalongan Provinsi Jawa Tengah*. 02(February 2020).
- Lestari, R. D., & Nirmala, R. J. (2023). A Framework for Problem Formulation in Climate Change Issues: Formulating Policy Recommendations Using Energy Indicators for Sustainable Development. *Gema Publica*, 8(1), 56–78. <https://doi.org/10.14710/gp.8.1.2023.56-78>
- Marfai, M. A., Mardiatno, D., Cahyadi, A., & Nucifera, F. (2013). *Pemodelan spasial bahaya banjir rob berdasarkan skenario perubahan iklim dan dampaknya di pesisir pekalongan*. 2007, 244–256.
- Muzaki, A. N., Masrurroh, H., Firmansyah, A. H., Bagus, D., Program, M., Pendidikan, S., Malang, U. N., Geografi, D. D., Malang, U. N., Banjir, P. B., & Arcgis, A. (2022). *Pemetaan potensi banjir dengan metode skoring secara geospasial di kecamatan bumiaji kota batu*. VII, 267–284. <https://doi.org/10.24815/jpg.v>
- Ninghtyas, D. A. W. (2022). Pemanfaatan Citra Penginderaan Jauh untuk Bencana Banjir. *ResearchGate*, 1(1), 1–7. <https://www.researchgate.net/publication/359505739>
- Prayogo, L. M. (2021). Untuk Analisis Konstanta Harmonik Pasang Surut Air Laut di Pulau Gili Raja, Kabupaten Sumenep, Madura Luhur Moekti Prayogo Indonesia merupakan negara

- dengan laut yang luas serta memiliki letak yang strategis yang berada di antara dua benua berbagai kean. *PENA Akuatika*, 20(1), 72–79.
- Pujiastuti, R., Suripin, S., & Syafrudin, S. (2015). *Pengaruh Land Subsidence terhadap Genangan Banjir dan Rob di Semarang Timur*. 21(1), 1–12.
- Salsabillah, F., & Setiawan, C. (2024). Analisis Spasial Tingkat Kerawanan Banjir Rob di Wilayah Jakarta Utara. *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing*, 5(1), 55–68. <https://doi.org/10.23960/jgrs.ft.unila.246>
- Sawiji, A., Dewi, H. C., Maisaroh, D. S., Sains, F., Sunan, U. I. N., & Surabaya, A. (2024). *Prediksi Kenaikan Muka Air Laut dan Luas Genangan Banjir Rob Pada Tahun 2039 dan 2069 Pada Kabupaten Lamongan , Jawa Timur*. 01.
- Sihombing, W. H., Suntoyo, S., & Sambodho, K. (2012). Kajian Kenaikan Muka Air Laut di Kawasan Pesisir Kabupaten Tuban, Jawa Timur. *Jurnal Teknik ITS*, 1(1), G166–G169.
- Sitorus P.R. Santun. (2016). Perencanaan Penggunaan Lahan. *IPB Press, Bogor, Indonesia*, 243.
- Sofian, I., Supangat, A., Fitriyanto, M. S., & Kurniawan, R. (2011). Memahami Dan Mengantisipasi Dampak Perubahan Iklim Pada Pesisir Dan Laut Di Indonesia Bagian Timur. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 12(1), 53–64. <https://doi.org/10.31172/jmg.v12i1.86>
- Suhelmi, I. R., & Prihatno, H. (2020). *Mode Spasial Dinamik Genangan Akibat Kenaikan Muka Air Laut Di Pesisir Semarang*. 21(1), 15–20.
- Syafitri, A. W., & Rochani, A. (2022). Analisis Penyebab Banjir Rob di Kawasan Pesisir Studi Kasus: Jakarta Utara, Semarang Timur, Kabupaten Brebes, Pekalongan. *Jurnal Kajian Ruang*, 1(1), 16. <https://doi.org/10.30659/jkr.v1i1.19975>
- Taufik, H. A., Saputro, S., Ismunarti, D. H., Oseanografi, P. S., Kelautan, J. I., & Perikanan, F. (2020). *Studi Pasang Surut untuk Perubahan Luas Genangan Akibat Kenaikan Muka Air Laut di Perairan Banyuwirip, Kabupaten Gresik*. 4, 171–178.
- Triatmodjo, B. (2009). *Teknik Pantai* (p. 327).
- Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2007 Nomor 68. Sekretariat Negara. Jakarta.
- Wismarini, T. D., & Khristianto, T. (2016). Implementasi Superimpose dalam Pemodelan Spasial Tingkat Rentan Banjir di Semarang. *Dinamik*, 21(2), 124–138. <https://www.unisbank.ac.id/ojs/index.php/fti1/article/view/6092/1957>
- Yuhana, S. (2023). Mitigasi Bencana Banjir Rob Di Desa Mundu Pesisir, Kecamatan Mundu, Kabupaten Cirebon. In *Repository.Uinjkt.Ac.Id*. https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/bitstream/123456789/1/SKRIPSI_SITI_YUHANA-11190150000004.PDF
- Zain, M. I., & Utami, S. W. (2015). *Sistem Informasi Geografis* (Issue December).