

# PEMODELAN SPASIAL GENANGAN AKIBAT KENAIKAN MUKA AIR LAUT DI PESISIR SELATAN KABUPATEN TULUNGAGUNG JAWA TIMUR

## *SPATIAL MODELLING OF TIDAL FLOOD DUE TO SEA LEVEL RISE IN THE SOUTHERN COAST OF TULUNGAGUNG REGENCY EAST JAVA*

Zainul Hidayah, Sastra Ardi Agamis Ilhami, Abdurrahman As-Syakur, Dwi Budi Wiyanto, & Harish Wirayuhanto

<sup>1</sup>Prodi Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian Universitas Trunojoyo Madura  
Jl. Raya Telang No 02 Kamal Bangkalan Madura 69162 Jawa Timur

<sup>2</sup>Prodi Ilmu Kelautan, Fakultas Kelautan dan Perikanan Universitas Udayana  
Jl. Raya Kampus Unud Jimbaran Kuta Selatan 80361 Bali

<sup>3</sup>Prodi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Maritim Raja Ali Haji  
Jl. Politeknik Senggarang Tanjungpinang 29111 Kepulauan Riau

e-mail : zainulhidayah@trunojoyo.ac.id

Diterima tanggal: 15 Mei 2022 ; diterima setelah perbaikan: 8 Desember 2022 ; Disetujui tanggal: 28 Februari 2023

### ABSTRAK

Kenaikan muka air laut menjadi fenomena alam yang tidak dapat dihindari sebagai dampak dari pemanasan global dan perubahan iklim. Akumulasi kenaikan muka air laut, air pasang dan penurunan muka air tanah menjadi penyebab terjadinya banjir rob. Penelitian ini bertujuan untuk mengaplikasikan pemodelan spasial Sistem Informasi Geografis (SIG) menggunakan tren kenaikan muka air laut untuk mengetahui luas genangan serta mengidentifikasi dampak yang terjadi akibat banjir rob terhadap tutupan lahan di kawasan pesisir selatan Kabupaten Tulungagung Jawa Timur. Data pasang surut yang diambil mulai tahun 2014 hingga tahun 2020 diolah menggunakan metode *Least Square* untuk mengetahui nilai harmonik pasang surut. Kecenderungan terjadinya *Sea Level Rise* (SLR) diketahui dengan menganalisis anomali tinggi permukaan laut dari data hasil pengukuran satelit altimetri yang berasal dari *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) dengan cakupan data dari tahun 1992 hingga tahun 2021 untuk perairan regional Indonesia. Pemodelan spasial menggunakan SIG dilakukan untuk mengetahui luas genangan dan tutupan lahan yang terdampak. Hasil analisis menunjukkan kenaikan muka air laut rata-rata sebesar  $4,3 \pm 0,4$  mm/tahun maka diprediksi terjadi kenaikan MSL di perairan pesisir Tulungagung dari 1,999 meter pada tahun 2020 menjadi 2,7735 meter pada tahun 2200. Luas tutupan lahan pesisir yang tergenang pada akhir pemodelan diperkirakan mencapai 139,13 Ha. Kenaikan muka air laut diperkirakan membawa dampak terhadap lingkungan pesisir di lokasi studi, karena akan menimbulkan banjir rob yang menggenangi pesisir pantai, pemukiman sawah dan tambak.

**Kata kunci:** kenaikan muka air laut, model spasial, area tergenang, sistem informasi geografis.

### ABSTRACT

*Sea level rise is a natural phenomenon that cannot be avoided as a result of global warming and climate change. The accumulation of sea level rise, tides and a decrease in ground water levels are considered as the cause of tidal flooding. This study aims to apply spatial modeling of Geographic Information Systems (GIS) using the analysis of sea level rise trend to determine the area of inundation. Furthermore, we identify the impact caused by tidal flooding on land cover in the southern coastal area of Tulungagung Regency, East Java. Tidal data originated from Geospatial Information Agency started from 2014 to 2020 was processed using the Least Square method to determine the value of tidal harmonics. Tidal data taken from 2014 to 2020 was processed using the Least Square method to determine the value of tidal harmonics. The trend of Sea Level Rise (SLR) is calculated by analyzing sea level anomaly from altimetry satellite measurement data from the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) with data coverage from 1992 to 2021 for Indonesian regional waters. The GIS spatial modeling was applied to determine the area of inundation and affected land cover. The result shows an average level rise of  $4,3 \pm 0,4$  mm/year affecting an increase in MSL in the coastal waters of Tulungagung from 1,99 meter in 2020 to 2,77 meter in 2200. The predicted inundation was estimated at 139,13 Ha. . Sea level rise could affect the coastal environment of the study area because it is predicted to flood coastal areas, settlements, rice fields and fish ponds.*

**Keywords:** sea level rise, spatial model, inundated area, geographic information system.

## PENDAHULUAN

Fenomena pemanasan global mengakibatkan perubahan iklim di seluruh permukaan bumi. Selain berpengaruh terhadap kehidupan manusia dan ekosistem dunia baik secara langsung maupun tidak langsung, pemanasan global dipercaya sebagai pemicu terjadinya kenaikan muka air laut (*sea level rise*). Kenaikan muka air laut berpotensi menyebabkan terjadinya banjir pasang (rob), dimana air laut akan masuk ke daratan dan menimbulkan genangan di wilayah pesisir. Selain akibat kenaikan muka air laut, aktivitas manusia diantaranya pemompaan air tanah secara berlebihan yang mengakibatkan penurunan muka tanah (*land subsidence*) dan reklamasi juga dapat menjadi faktor pemicu terjadinya banjir rob (Handoyo *et al.*, 2016; Nugroho, 2013).

Kenaikan muka air laut merupakan fenomena alam akibat pertambahan volume air laut. Fenomena tersebut diakibatkan oleh pemanasan global yang mempengaruhi iklim global, sehingga menyebabkan es di kutub mencair dan menambah volume perairan laut. Apabila kenaikan suhu terus berlangsung, maka laju pencairan gletser juga akan semakin cepat. Berdasarkan laporan *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* tahun 2021, kenaikan muka air laut global terus mengalami peningkatan dari 3,2 mm/tahun pada periode 1993-2015 menjadi 3,6 mm/tahun pada periode 2006-2015 (Oppenheimer *et al.*, 2021)

Indonesia memiliki keunikan berdasarkan letak geografis dan geofisika karena diapit oleh Samudera Pasifik dan Samudera Hindia, sehingga memiliki dinamika perairan yang kompleks. Kondisi laut Indonesia dipengaruhi oleh sistem angin muson, *Indian Ocean Dipole (IOD)* dan *El Nino Southern Oscillation (ENSO)*. Karakteristik perairan Indonesia juga dipengaruhi oleh mengalirnya massa air Pasifik ke Samudera Hindia (Nugroho *et al.*, 2021). Oleh karena itu, apabila terjadi penambahan volume massa air di kedua Samudera tersebut akibat mencairnya es di kutub selatan maupun utara secara masif, maka akan menambah volume air laut yang masuk ke perairan laut Indonesia dan menimbulkan kenaikan muka air laut di berbagai wilayah pesisir. Akumulasi dari kejadian cuaca ekstrim, kenaikan muka air laut dan kondisi laut pasang membuat wilayah pesisir termasuk kedalam kawasan yang rentan terhadap bencana (Yunvita *et al.*, 2020).

Banjir rob yang terjadi secara terus menerus dapat

menimbulkan kerusakan lingkungan yaitu erosi pantai dan memberi tekanan terhadap kehidupan masyarakat pesisir. Selain itu, masuknya air laut ke daratan dapat pula menyebabkan kerusakan infrastruktur jalan dan bangunan yang berdampak negatif pada kegiatan perekonomian masyarakat (Rasyda *et al.*, 2015). Intrusi air laut yang tidak diatasi dapat mencemari sumur dan sumber air tanah di wilayah pesisir (Ikhsyan *et al.*, 2003). Kerugian ekonomi yang ditimbulkan dapat menjadi semakin besar akibat penggunaan lahan dan penataan ruang kawasan pesisir yang tidak sesuai, dimana banjir rob bisa merusak lahan pertanian, tambak dan pemukiman. Banjir rob yang menggenangi lahan pertanian bisa menimbulkan kerugian hingga 20 juta rupiah/ha (Kasbullah & Marfai, 2014). Studi lain juga menyebutkan bahwa petani tambak dapat kehilangan 60%-70% modal dan pendapatannya apabila lahan tambak tergenang oleh banjir rob (Pahlevi *et al.*, 2020).

Melalui perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam bidang Sistem Informasi Geografis (SIG), luas genangan dan potensi dampak yang terjadi akibat banjir rob dapat dimodelkan. Variabel utama yang digunakan untuk memprediksi kecenderungan kenaikan muka air laut adalah data pasang surut (Marfai, 2014). Data utama yang digunakan untuk memprediksi tinggi genangan akibat banjir rob atau model inundasi adalah muka air laut dan topografi (Marfai, 2014, Rachman *et al.*, 2015). Input model lainnya berupa data-data spasial yang kemudian digunakan untuk memprediksi arah dan luas genangan serta dampaknya terhadap penggunaan lahan eksisting. Melalui pemodelan-pemodelan tersebut, tindakan dan kebijakan dapat dirumuskan untuk mencegah atau meminimalisir dampak yang berpotensi timbul.

Beberapa penelitian terdahulu telah menerapkan pemodelan SIG untuk memprediksi area-area yang terdampak oleh banjir rob melalui skenario kenaikan muka air laut di beberapa kota seperti Jakarta, Semarang dan Surabaya (Handoyo *et al.*, 2016; Ramadhan *et al.*, 2015; Rasyda *et al.*, 2015; Sulma *et al.*, 2013). Sementara itu penelitian lainnya melakukan pemodelan dengan menambahkan variabel penurunan muka tanah dan curah hujan (Efendi *et al.*, 2021; Nugroho, 2013). Penelitian-penelitian tersebut dilakukan di kawasan pesisir utara Laut Jawa yang memiliki kondisi perairan relatif tenang dengan tipe pantai yang datar dan terbuka dengan didominasi pantai berlumpur atau berbatu. Sementara itu, penelitian yang dilakukan oleh penulis dilakukan di salah satu kawasan pesisir selatan Jawa Timur tepatnya di Kabupaten Tulungagung. Wilayah

pesisir Kabupaten Tulungagung memiliki tipikal perairan yang berteluk, semi tertutup, pantai berpasir namun memiliki kondisi gelombang besar dan arus yang kuat serta tipe pantai yang bertebing (Putranto, 2020). Kawasan ini sering mengalami banjir rob terutama pada saat musim barat. Penelitian ini bertujuan untuk mengaplikasikan pemodelan SIG untuk memprediksi trend kenaikan muka air laut dan luas genangan yang terjadi di pesisir selatan Kabupaten Tulungagung. Selanjutnya, penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis dampak yang terjadi akibat banjir rob terhadap lingkungan pesisir dan upaya mitigasi yang dapat dilakukan.

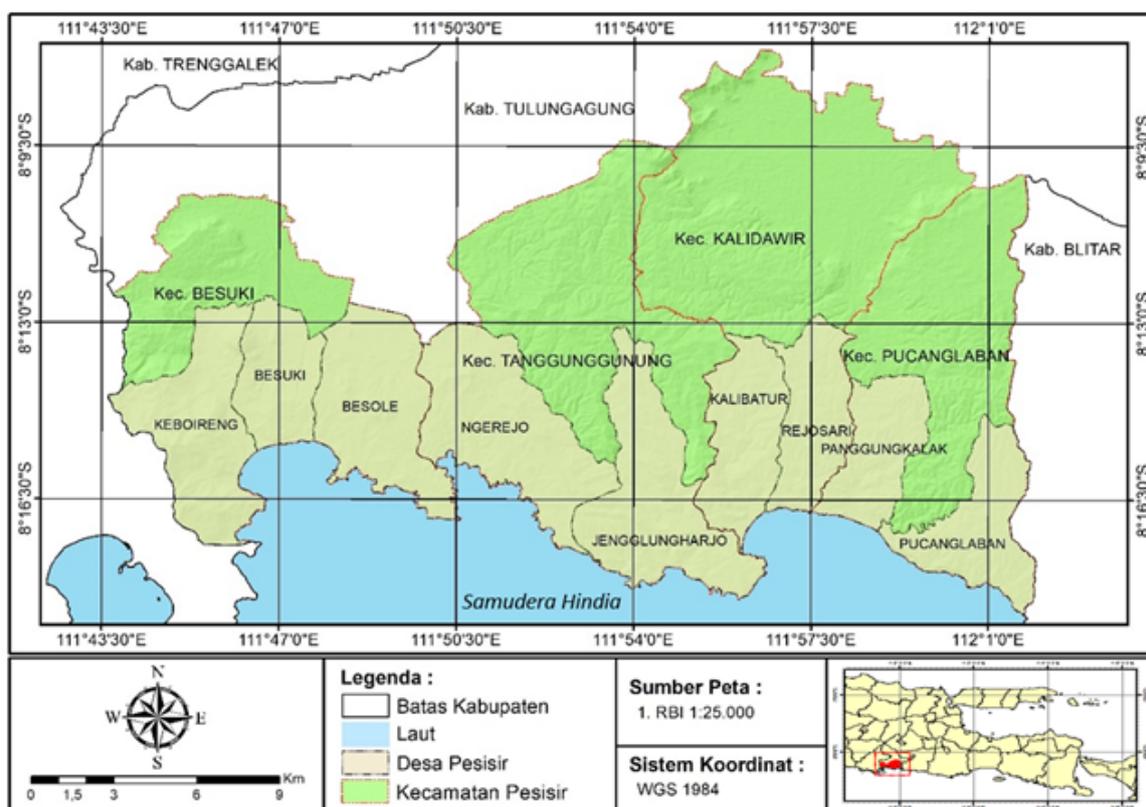
## BAHAN DAN METODE

Lokasi penelitian adalah di pesisir selatan Kabupaten Tulungagung yang merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Jawa Timur. Secara geografis, Kabupaten Tulungagung terletak pada koordinat  $07^{\circ}51'03''$  LS –  $08^{\circ}18'45''$  LS dan  $111^{\circ}43'15''$  BT –  $112^{\circ}01'33''$  BT. Wilayah yang menjadi fokus pada penelitian ini adalah desa-desa pesisir yang terletak di 4 kecamatan yaitu Kecamatan Besuki, Tanggunggunung, Kalidawir dan Pucanglaban. Wilayah pesisir di 4 kecamatan tersebut

memiliki banyak teluk dan berhadapan langsung dengan Samudera Hindia (Gambar 1).

Penelitian ini berlangsung dari Oktober hingga Desember 2021. Data yang digunakan pada penelitian adalah data pasang surut lokasi penelitian Tahun 2014-2021 yang berasal dari Badan Informasi Geospasial (<http://tides.big.go.id>). Sedangkan anomali tinggi permukaan laut yang merupakan indikator terjadinya *Sea Level Rise* (SLR) diperoleh dari data hasil pengukuran satelit altimetri yang berasal dari *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) dengan cakupan data dari tahun 1992 hingga tahun 2021 ([https://www.star.nesdis.noaa.gov/socd/lsa/SeaLevelRise/LSA\\_SLR\\_timeseries\\_regional.php](https://www.star.nesdis.noaa.gov/socd/lsa/SeaLevelRise/LSA_SLR_timeseries_regional.php)).

Selanjutnya data spasial yang digunakan untuk menentukan elevasi dan kemiringan (*slope*) adalah DEM (*Digital Elevation Model*) yang disediakan oleh BIG melalui laman <http://tides.big.go.id/DEMNAS>. Sementara itu data spasial lain yang digunakan adalah peta batas administrasi dan penggunaan lahan skala 1:25.000 yang diperoleh melalui laman <http://tanahair.indonesia.go.id>. Penentuan kelas kelereng (*slope*) pantai mengacu pada Undang-Undang No 26 Tahun 2007 tentang penataan ruang dengan klasifikasi sangat



Gambar 1. Lokasi Penelitian Pesisir Selatan Kabupaten Tulungagung Jawa Timur.  
 Figure 1. Research Location of the South Coast of Tulungagung Regency, East Java.

landai (0-8%), landai (8-15%), curam (15-25%) dan sangat curam (>45%) (Syah & Hariyanto, 2013).

**Penentuan Tren Kenaikan Muka Air Laut (*Trend SLR*)**

Kecenderungan (*tren*) kenaikan muka air laut diperoleh dari data satelit TOPEX dan JASON 1-3 yang mencatat tinggi permukaan air laut di seluruh dunia termasuk perairan Indonesia. Data tersebut merupakan hasil pengukuran satelit altimetri yang mencatat anomali tinggi permukaan laut yang merupakan indikator terjadinya *Sea Level Rise* (SLR) diperoleh dari data hasil pengukuran satelit altimetri yang berasal dari *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) dengan cakupan data dari tahun 1992 hingga tahun 2021 ([https://www.star.nesdis.noaa.gov/socd/lisa/SeaLevelRise/LSA\\_SLR\\_timeseries\\_regional.php](https://www.star.nesdis.noaa.gov/socd/lisa/SeaLevelRise/LSA_SLR_timeseries_regional.php)). Data anomali tinggi permukaan air laut sebagai indikator terjadinya SLR telah dipergunakan oleh beberapa studi sebelumnya di berbagai lokasi antara lain perairan barat Sumatera dan Laut Jawa (Khasanah & Umar, 2018; Handoko & Ariyani, 2020)

**Pembuatan Model Spasial dan Analisis Dampak Genangan Banjir Rob**

Input utama untuk pembuatan model spasial genangan akibat banjir rob adalah ketinggian muka air laut dan topografi pantai. Ketinggian muka air laut ditentukan dengan menggunakan data pasang surut yang diambil mulai tahun 2014 hingga tahun 2020. Data pasang surut diolah menggunakan metode Least Square untuk mengetahui nilai harmonik pasang surut. Pengolahan data pasang surut juga dilakukan untuk mencari nilai elevasi air laut tinggi tertinggi atau HHWL (*Highest High Water Level*). Nilai HHWL yang lebih tinggi dari daratan, akan diasumsikan sebagai fenomena banjir rob. Penentuan nilai HHWL dilakukan dengan persamaan 1.

$$HHWL \text{ (Highest High Water Level)} = So + Zo \dots\dots\dots 1)$$

Nilai So merupakan komponen harmonik yang mewakili nilai dari Mean Surface Level (MSL), sedangkan nilai Zo diperoleh melalui rumus perhitungan (Persamaan 2).

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

Pembuatan model genangan banjir rob diawali dengan menentukan tinggi genangan pada periode tertentu. Nilai harmonik pasang surut yang didapatkan pada analisis sebelumnya digunakan untuk menghitung tinggi genangan pada Tahun 2018, dengan cara

menghitung selisih antara HHWL dan MSL. Persamaan yang digunakan adalah Persamaan 3 dan 4 (Rasyda *et al.*, 2015).

$$\begin{aligned} \text{Tinggi Genangan}_{(t0)} &= HHWL_{(t0)} - MSL_{(t0)} \dots\dots\dots 3) \\ \text{Prediksi Genangan} &= \text{Tinggi genangan}_{(t0)} + (SLR \times (t1 - t0)) \dots\dots\dots 4) \end{aligned}$$

dimana,  
t0 = tahun awal model ;  
t1 = tahun akhir model

Selanjutnya, peta genangan dibuat menggunakan data DEM dari lokasi studi. Analisis spasial untuk menentukan wilayah yang tergenang dilakukan dengan *tools Raster Calculator*. Daerah yang tergenang ditentukan sebagai area yang memiliki nilai DEM lebih kecil dari ketinggian genangan air. Persamaan yang digunakan seperti yang dijelaskan oleh persamaan 5 (Rasyda *et al.*, 2015).

$$\text{Genangan tahun ke-i} = \text{DEM (tahun ke-i)} - (SLR \times (ti - to)) \dots\dots\dots 5)$$

Dampak genangan banjir rob terhadap lingkungan pesisir ditentukan melalui pendekatan fungsi *overlay*, yaitu menumpangsusunkan peta genangan dengan peta tutupan lahan (*land cover*). Melalui analisis ini maka akan diperoleh jenis tutupan lahan yang tergenang oleh banjir rob di wilayah pesisir Kabupaten Tulungagung.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Topografi Pesisir Selatan Kabupaten Tulungagung**

Karakteristik topografi pantai di lokasi penelitian ditinjau dari ketinggian dan kemiringan yang berasal dari data DEM. Berdasarkan hasil pengolahan data DEM, ketinggian permukaan tanah di wilayah tersebut berkisar antara 0 sampai 643 meter diatas permukaan laut mdpl (Gambar 2a). Analisis lanjutan menunjukkan bahwa sekitar 69,76% dari total luas kawasan berada pada ketinggian 5-192 mdpl dan 193-256 mdpl, sementara kawasan yang berada pada ketinggian 0-5 mdpl sekitar 11,24% (1.889,15 Ha) dari total seluruh kawasan (Tabel 1). Penentuan kelas ketinggian berdasarkan DEM secara spesifik berbeda dan tergantung pada kontur ketinggian untuk setiap lokasi. Namun kawasan yang rentan terhadap genangan akibat kenaikan muka air laut adalah yang memiliki ketinggian 0-5 mdpl (Loinenak *et al.*, 2015; Ramdhany *et al.*, 2021; Sulma *et al.*, 2013).

Tabel 1. Ketinggian Kawasan Pesisir Kabupaten Tulungagung  
 Table 1. The height of the Coastal Area of Tulungagung Regency

No	Kecamatan	Luas Kelas Elevasi (Ha)					Jumlah
		(0-5 mdpl)	(6-192 mdpl)	(193-256 mdpl)	(257-339 mdpl)	(340-643 mdpl)	
1	Besuki	388,30	1.222,75	1.337,74	944,68	287,4	4.180,87
2	Tanggunggunung	413,66	1.631,31	1.369,34	844,52	208,51	4.467,34
3	Kalidawir	534,43	1.461,86	1.098,84	648,41	121,15	3.864,69
4	Pucanglaban	552,76	1.379,48	2.217,36	134,25	0	4.283,85
	Jumlah	1889,15	5695,4	6023,28	2571,86	617,06	16.796,75

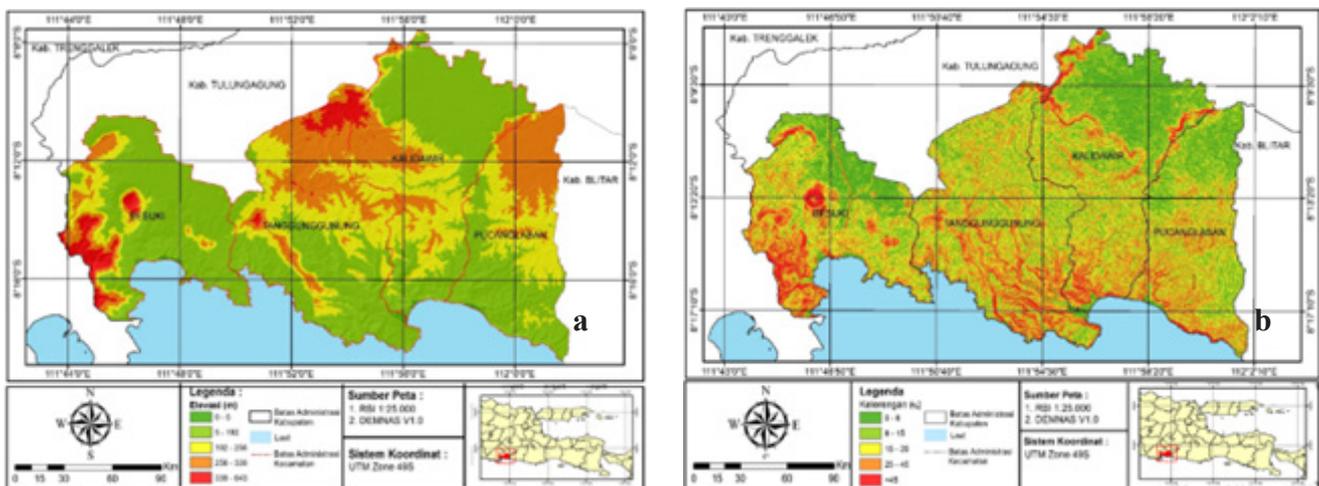
Sebagian besar pantai yang berada di lokasi penelitian memiliki ketinggian > 5 mdpl dan dicirikan dengan pantai yang bertebing. Kondisi fisik lingkungan di pesisir selatan Tulungagung menciptakan pelindung alami berupa tebing-tebing pantai yang melindungi daratan dari hampasan gelombang. Pantai-pantai lain yang terletak dalam teluk meskipun memiliki perairan relatif tenang dan terlindung, namun tetap rentan mengalami banjir rob. Hal ini ditimbulkan oleh ketinggian area yang kurang dari 5 mdpl dan bentuk pantai yang datar. Kondisi serupa juga banyak terjadi di berbagai wilayah yang terletak di pantai utara Jawa Timur meskipun memiliki tipe pantai lebih terbuka, antara lain di Kota Surabaya (Imaduddina & Widodo, 2017; Pratomoatmojo, 2014).

Analisis selanjutnya dari data DEM adalah untuk mengetahui kondisi ketererangan (*slope*) di lokasi penelitian (Gambar 2b). Berdasarkan hasil analisis dan klasifikasi ketererangan, maka dapat diketahui bahwa sekitar 33,92% (5698,88 Ha) kawasan pesisir selatan Tulungagung memiliki ketererangan 0-8% dan dapat dikategorikan sebagai datar. Sementara itu

sekitar 51,46% (8643,87 Ha) termasuk dalam kategori landai hingga curam (kelerengan 9-45%) dan 14,61% (2454,20 Ha) merupakan kawasan yang sangat curam (kelerengan >45%). Berdasarkan peta ketinggian dan ketererangan (Gambar 2a dan 2b), meskipun kawasan pesisir yang datar cukup luas namun letaknya relatif jauh dari pantai. Sementara itu, pantai di lokasi penelitian terlihat termasuk dalam ketererangan kategori curam. Kawasan pantai yang datar memiliki kerentanan yang lebih tinggi terhadap dampak banjir rob jika dibandingkan dengan pantai berlereng curam. Bentuk pantai yang landai akan mempermudah masuknya air pada saat air pasang (Ramdhany *et al.*, 2021). Tidak adanya vegetasi pelindung pantai atau struktur penahan ombak, membuat kerentanan terhadap banjir rob semakin tinggi. Secara lengkap, kondisi ketererangan wilayah pesisir selatan Kabupaten Tulungagung disajikan pada Tabel 2.

### Komponen Harmonik Pasang Surut dan Penentuan Trend SLR

Tipe pasang surut dan komponen harmonik perairan pesisir selatan Kabupaten Tulungagung diketahui



Gambar 2. Peta Ketinggian (a) dan Ketererangan (b) Wilayah Pesisir Selatan Kabupaten Tulungagung.  
 Figure 2. Map of Altitude (a) and Slope (b) of the South Coastal Area of Tulungagung Regency.

Tabel 2. Kelerengan Kawasan Pesisir Selatan Kabupaten Tulungagung  
 Table 2. The slope of the South Coastal Area of Tulungagung Regency

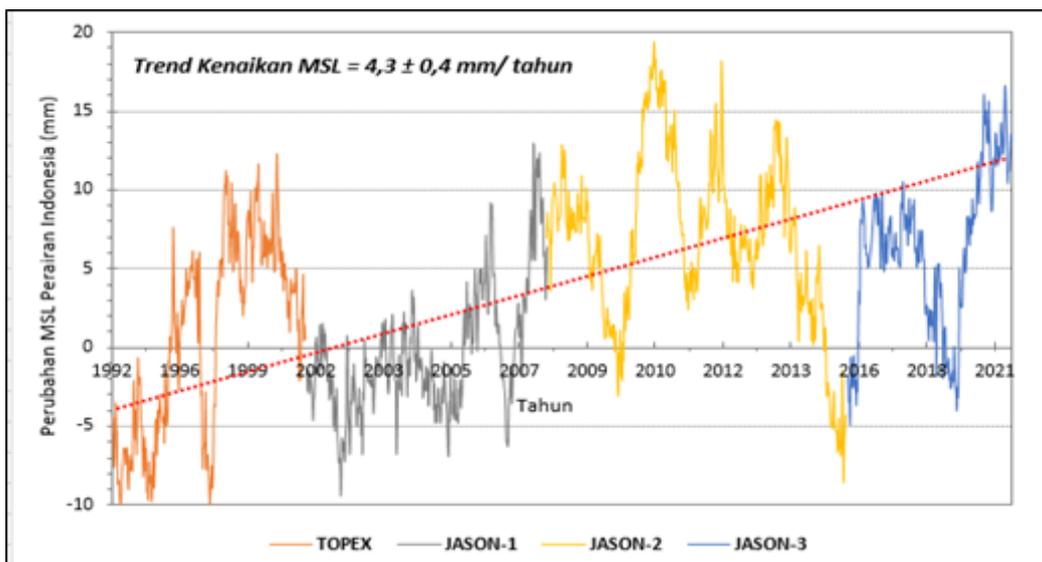
No	Kecamatan	Luasan Kelas Kelerengan (Ha)					Jumlah
		0 - 8 %	8 - 15 %	15 - 25 %	25 - 45 %	>45 %	
1	Besuki	1.813,90	834,44	500,20	854,86	884,39	4.887,79
2	Tanggunggunung	1.234,32	371,26	774,30	786,65	791,64	3.958,17
3	Kalidawir	1.176,94	838,65	796,71	825,95	528,33	4.166,58
4	Pucanglaban	1.473,72	958,32	327,06	775,27	249,84	3.784,21
	Jumlah	5.698,88	3.002,67	2.398,27	3.242,73	2.454,20	16.796,75

melalui pengolahan data pasang surut Desember 2020 dan Januari 2021 (Tabel 3). Pemilihan bulan tersebut karena pada saat puncak musim barat, perairan pesisir selatan mengalami cuaca buruk yang memicu terjadinya gelombang tinggi, apabila juga terjadi air pasang maka akan menimbulkan banjir rob. Hasil analisis Least Square menunjukkan bahwa tipe pasang surut di lokasi penelitian adalah mixed semi diurnal atau campuran condong harian ganda (bilangan Formzahl 0,25 – 1,50). Selanjutnya hasil analisis data pasut tahun 2020 juga mendapatkan nilai HHWL<sub>(t0)</sub> = 4,127 meter dan MSL<sub>(t0)</sub> = 1,999 meter. Selanjutnya dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan 3, maka diperoleh tinggi genangan pada tahun 2020<sub>(t0)</sub> adalah 2,12 meter.

Kecenderungan (*tren*) kenaikan muka air laut diperoleh dari data satelit altimeter TOPEX dan JASON 1-3 yang mencatat anomali tinggi permukaan air laut di seluruh dunia termasuk perairan Indonesia (Gambar 3). Hasil analisis data menunjukkan bahwa terjadi kenaikan MSL dengan laju sebesar  $4,3 \pm 0,4$  mm/tahun. Laju kenaikan MSL di perairan Indonesia relatif lebih tinggi apabila dibandingkan dengan laju yang terjadi di perairan Samudera Pasifik ( $2,8 \pm 0,4$  mm/tahun) dan Samudera Atlantik ( $3,2 \pm 0,4$  mm/tahun). Kecenderungan tersebut diperkirakan akibat letak geografis Indonesia yang berada tepat di ekuator bumi, sehingga pergerakan arus global membawa massa air yang berasal dari pencairan es di kutub dengan volume yang tinggi (Ariani, 2018). Hal tersebut tentu

Tabel 3. Tabel Komponen Harmonik Pasang Surut  
 Table 3. Table of Tidal Harmonic Components

Bulan		M2	S2	N2	K2	K1	O1	P1	M4	MS4	SO
Desember 2020	A (cm)	65,26	41,00	15,37	25,33	33,57	11,66	20,52	0,02	0,02	199,95
Januari 2021	A (cm)	64,69	42,32	12,87	17,96	21,82	12,02	20,58	0,02	0,01	200,02



Gambar 3. Hasil Analisis Trend Kenaikan Muka Air Laut.  
 Figure 3. Results of Trend Analysis of Sea Level Rise.

saja menyebabkan daratan dan kepulauan Indonesia lebih rentan terhadap dampak SLR. Kenaikan muka air laut dapat menimbulkan terjadinya banjir rob dengan frekuensi yang lebih sering yang melanda kota-kota besar di pesisir utara Jawa seperti Semarang, Jakarta dan Surabaya (Erlani & Nugrahandika, 2019; Ramdhan *et al.*, 2019; Triana & Hidayah, 2020). Banjir rob merupakan pemicu terjadinya perubahan garis pantai akibat abrasi erosi, kerusakan struktur bangunan pantai dan dapat menyebabkan intrusi air laut ke sumber-sumber air tawar yang terdapat di daratan (Hidayah & Apriyanti, 2020; Naufalita *et al.*, 2019; Widiarso *et al.*, 2020).

Selanjutnya dengan menggunakan hasil perhitungan tinggi genangan tahun 2020 dan temuan kenaikan MSL perairan Indonesia ( $4,3 \pm 0,4$  mm/ tahun), maka dilakukan proyeksi untuk menentukan tinggi dan luas genangan pada tahun 2025, 2050, 20100 dan 2200 untuk wilayah pesisir Tulungagung. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa berdasarkan  $MSL_{(t_0)} = 1,999$  meter dan tinggi genangan  $(t_0) = 2,1275$  meter maka pada akhir proyeksi tahun 2200 diperoleh hasil  $MSL_{(t_{180})} = 2,7735$  meter dan tinggi genangan  $(t_{180}) = 2,905$  meter. Hasil proyeksi tinggi genangan untuk tiap periode waktu disajikan pada Tabel 4.

### Pemodelan Genangan Banjir Rob

Berdasarkan hasil prediksi tinggi genangan (Tabel

3) selanjutnya dilakukan pemodelan spasial untuk mengetahui luas daerah yang tergenang dan jenis penggunaan lahan yang terdampak. Pemodelan dijalankan untuk prediksi mulai tahun 2025 hingga tahun 2200. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa seiring dengan bertambahnya tinggi genangan, maka luas area yang tergenang juga semakin bertambah mengikuti fungsi linear sebagai berikut : Luas area tergenang (Ha) =  $0,2143 \cdot \text{tahun pengamatan} - 333,1$  dengan  $R^2 = 0,987$ . Pada tahun awal pemodelan, total luas area tergenang akibat banjir rob di pesisir selatan Tulungagung diperkirakan mencapai 100,9 Ha dan meningkat menjadi 139,13 Ha pada akhir pemodelan (Tabel 5).

Menurut hasil pemodelan diketahui bahwa wilayah pesisir Kecamatan Besuki memiliki area tergenang yang lebih luas apabila dibandingkan dengan kecamatan lain di pesisir selatan Kabupaten Tulungagung (Gambar 4). Hasil pemodelan pada tahun 2025 memperkirakan bahwa banjir rob akan menggenangi area seluas 45,54 Ha dan meningkat signifikan hingga mencapai 67,21 Ha pada tahun 2200. Luasan ini hampir 3 kali lebih besar dibandingkan area tergenang di kecamatan lain yang berkisar antara 15 Ha sampai dengan 26 Ha pada periode yang sama (Tabel 4). Sehingga dapat dinyatakan bahwa Kecamatan Besuki lebih rentan dan menerima dampak lebih besar akibat banjir rob dibandingkan dengan kecamatan-kecamatan lainnya.

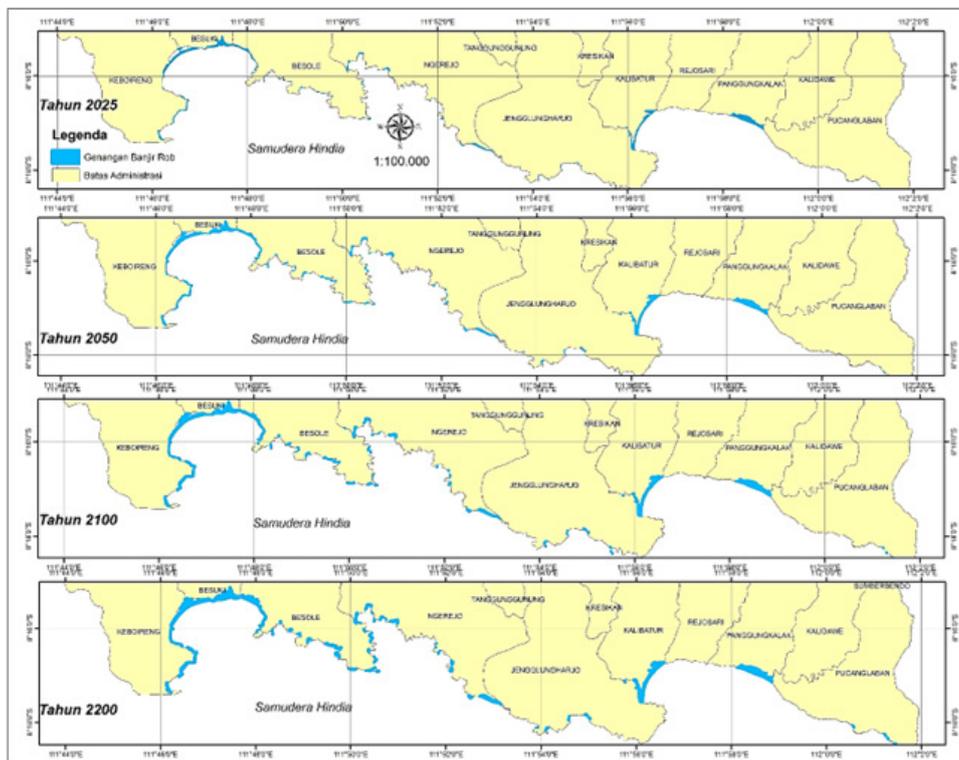
Tabel 4. Hasil Proyeksi Tinggi Genangan akibat SLR di Wilayah Pesisir Tulungagung 2020 – 2200  
Table 4. Projected Results of High Inundation due to SLR in the Tulungagung Coastal Area 2020 – 2200

	Tahun	SLR (m)	MSL (m)	Prediksi Tinggi Genangan (m)
1	2025	0,022	2,0210	2,1490
2	2050	0,129	2,1285	2,2565
3	2100	0,344	2,4725	2,4715
4	2200	0,774	2,7735	2,9015

Keterangan :  $\Delta SLR$  2020-2025 =  $5 \times 0,0043$  m; HHWL menggunakan data 2020 = 4,127 meter

Tabel 5. Prediksi Luas Area Tergenang Akibat Banjir Rob  
Table 5. Prediction of Areas of Inundated Areas Due to Floods of Rob

No	Kecamatan	Hasil Pemodelan Spasial Luas Genangan (Ha)			
		Tahun 2025	Tahun 2050	Tahun 2100	Tahun 2200
1	Besuki	45,54	50,11	52,93	67,21
2	Tanggunggunung	15,21	15,89	16,51	25,18
3	Kalidawir	17,5	17,67	19,55	20,07
4	Pucanglaban	22,65	24,01	25,52	26,82
	<b>Total Luas</b>	<b>100,9</b>	<b>107,68</b>	<b>114,51</b>	<b>139,13</b>



Gambar 4. Prediksi Area Tergenang Akibat Banjir Rob Tahun 2025-2200.  
 Figure 4. Prediction of Inundated Areas Due to Rob Floods in 2025-2200.

### Dampak Banjir Rob Terhadap Lingkungan Pesisir

Analisis dampak banjir rob terhadap lingkungan pesisir dilakukan secara spasial dengan *overlay* antara area genangan dengan tutupan lahan. Asumsi yang digunakan adalah bahwa tutupan lahan eksisting tidak mengalami perubahan yang signifikan selama periode pemodelan. Melalui pendekatan perhitungan ekonomi atas rusaknya tiap jenis lahan, maka besarnya kerugian total saat terjadi banjir rob dapat dihitung (Dasanto, 2010). Secara umum, tipe tutupan lahan di kawasan pesisir selatan Kabupaten Tulungagung adalah pantai berpasir, pemukiman, hutan pantai dan semak belukar. Terdapat juga lahan yang digunakan untuk usaha produktif seperti sawah, ladang dan tambak. Kenaikan area tergenang tertinggi selama

periode pemodelan diprediksi terjadi pada tutupan lahan tambak dari 5,14 Ha pada tahun 2025 menjadi 12,08 Ha pada tahun 2200. Selain itu area hutan pantai yang tergenang juga meningkat dari 14,18 Ha menjadi 24,76 Ha. Kawasan pemukiman warga yang tergenang juga cukup meningkat dari 21,28 Ha menjadi 25,47 Ha. Peningkatan yang serupa juga terjadi pada kelas tutupan lahan lainnya dengan laju yang relatif lebih kecil. Secara rinci, luas area tergenang per kelas tutupan lahan hasil pemodelan spasial disajikan dalam Tabel 6.

Dampak banjir rob diidentifikasi juga melalui penelusuran informasi kepada masyarakat yang mengalami banjir rob Tahun 2018-2020. Banjir rob



Gambar 4. Tipikal Pantai yang Bertebing dan Datar di Pesisir Selatan Kabupaten Tulungagung.  
 Figure 4. Typical of cliffs and flat beaches on the South Coast of Tulungagung Regency.

di Kecamatan Pucanglaban dan Besuki melanda beberapa pantai diantaranya Pantai Dlado dan Pantai Molang. Sedangkan pantai lainnya tidak tergenang, karena pantainya berbentuk tebing terjal dan sedikit hamparan pasir serta tidak berpenghuni. Genangan yang ditimbulkan oleh banjir rob Tahun 2018-2020 mencapai jarak hingga 200 meter dari bibir pantai dengan ketinggian air mencapai kurang lebih 50 cm. Kejadian serupa juga terjadi di Pantai Sine yang terletak di Kecamatan Kalidawir. Genangan banjir rob yang melanda daerah tersebut diakibatkan adanya gelombang tinggi yang mencapai 5 meter dan membuat pemukiman warga tergenang hingga 5 jam. Kejadian ini terjadi berulang kali sehingga menimbulkan kerusakan pada fasilitas umum. Sementara itu, untuk banjir rob yang melanda Kecamatan Tanggunggunung relatif lebih jarang dengan tinggi genangan 20 cm dan air akan surut setelah 2-3 jam. Namun begitu, terjadinya banjir rob menyebabkan abrasi erosi pantai yang cukup parah.

Keadaan geomorfologi pantai menjadi faktor utama yang menentukan luasan area yang berpotensi terdampak banjir rob dan juga menentukan tingkat kerentanan sebuah kawasan pesisir. Pantai yang memiliki tebing tinggi atau sedang lebih tahan terhadap dampak gelombang tinggi dan banjir rob, sehingga kerentanannya rendah. Sebaliknya pantai dengan ciri geomorfologi berpasir dan terletak di estuari, laguna atau delta maka kerentanannya akan semakin tinggi (Gornitz *et al.*, 1997; Loinenak *et al.*, 2015). Jenis batuan (geologi) dinyatakan juga merupakan faktor penentu kerentanan dimana pantai dengan batuan vulkanik dan konglomerasi akan lebih tahan terhadap

abrasi erosi gelombang dan intrusi air laut jika dibandingkan dengan pantai yang memiliki sedimen terkonsolidasi seperti pasir, lempung dan lumpur (Loinenak *et al.*, 2015). Terdapat perbedaan yang signifikan antara karakteristik pantai di pesisir selatan dan utara Jawa Timur. Pantai-pantai di pesisir utara Jawa Timur yang menghadap Laut Jawa dan Selat Madura sebagian besar bertipe landai. Keberadaan muara-muara sungai membuat sedimen lumpur mendominasi, meskipun ada beberapa pantai berpasir terutama di wilayah Situbondo dan Probolinggo. Sementara itu, pantai-pantai di pesisir selatan Jawa Timur sebagian besar bertebing dan berbatu. Meskipun pantai-pantai di selatan Jawa Timur memiliki gelombang dan kecepatan arus yang lebih tinggi, namun area yang terdampak banjir rob diperkirakan tidak seluas seperti yang terjadi di pesisir utara.

Hal ini juga didukung oleh beberapa penelitian yang menyebutkan bahwa kenaikan muka air laut di pesisir utara Jawa lebih tinggi dibandingkan perairan lainnya di Indonesia. Penelitian yang dilakukan di Muara Baru Teluk Jakarta menyatakan bahwa pada periode 2004-2010 telah terjadi kenaikan muka air laut sebesar 1,67 mm/tahun, sehingga pada tahun 2030 diprediksi bahwa kota Jakarta akan mengalami kenaikan muka air laut sebesar 2,88 meter dengan area tergenang diperkirakan mencapai 6670,2 Ha. Kondisi ini akan membuat pulau-pulau kecil di sekitar perairan Teluk Jakarta akan tenggelam (Ramdhan *et al.*, 2019a). Kota Semarang termasuk salah satu kota di pesisir utara Jawa yang juga mengalami bencana banjir rob tahunan. Berdasarkan analisis dinamika pasang surut, diketahui bahwa kenaikan muka air laut di kawasan ini mencapai

Tabel 6. Area of Inundation Based on Land Cover  
Table 6. Area of Inundation Based on Land Cover

No	Unsur	Luas Tutupan Lahan Tergenang (Ha) Menurut Tahun			
		2025	2050	2100	2200
1	Pasir	37,15	37,95	39,28	41,58
2	Alang	1,64	1,7	1,75	2,14
3	Kebun	3,25	3,82	3,86	4,66
4	Ladang	2,18	3,99	5,87	9,03
5	Hutan Pantai	14,18	14,64	16,94	24,76
6	Pemukiman	21,28	21,72	22,49	25,47
7	Sawah	0,12	0,18	0,21	0,25
8	Semak Belukar	13,77	14,26	14,3	15,95
9	Tambak	5,14	7,16	7,22	12,08
10	Pelabuhan Laut	0,44	0,44	0,44	0,46
11	Lahan Terbangun	1,75	1,82	2,15	2,75
	Total Luas	100,9	107,68	114,51	139,13

2,65 mm/tahun dan menggenangi area seluas 8.527,78 Ha (Nugroho, 2013). Ancaman banjir rob di kedua kota tersebut diperparah dengan terjadinya penurunan muka tanah (*land subsidence*) akibat eksploitasi air tanah secara berlebihan (Karondia *et al.*, 2019; Triana & Hidayah, 2020).

Meskipun potensi kenaikan muka air laut dan banjir rob di lokasi penelitian tidak sebesar wilayah pesisir lain di pesisir utara Jawa, perencanaan dan langkah-langkah mitigasi bencana perlu dilakukan. Beberapa metode dapat dilakukan untuk mengatasi banjir rob, antara lain adalah dengan membangun struktur tanggul sepanjang pantai atau membuat mekanisme pengaliran air laut ke kolam penampungan (Kusumaning & Puriningsih, 2019; Nugroho, 2013). Selanjutnya peninggian jalan hingga relokasi ke wilayah yang lebih aman juga dapat dilakukan. Tindakan-tindakan tersebut sesuai jika diterapkan di wilayah kota-kota besar karena memerlukan dana pembangunan yang besar. Namun, untuk Kabupaten Tulungagung dengan pembiayaan pembangunan yang terbatas, maka metode-metode yang disebutkan di atas tidak sesuai. Pendekatan-pendekatan mitigasi yang lebih alami dengan melibatkan masyarakat dapat menjadi pilihan. Bentuk-bentuk mitigasi yang direkomendasikan antara lain adalah menjaga atau menambah vegetasi sepanjang pantai yang berfungsi sebagai sabuk hijau (*green belt*), pembersihan dan pemeliharaan saluran drainase di sepanjang pemukiman warga untuk menghindari genangan, pembuatan tanggul darurat dalam skala kecil dan pembentukan kelompok sadar bencana (Erlani & Nugrahandika, 2019). Oleh karena itu, peranan pemerintah daerah sangat penting dalam merumuskan rencana mitigasi untuk meminimalisir dampak yang diakibatkan kenaikan muka air laut dan banjir rob terhadap kelestarian lingkungan pesisir.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Penelitian ini telah mendemonstrasikan pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk memodelkan secara spasial luas genangan banjir rob dan dampaknya terhadap tutupan lahan di kawasan pesisir. Melalui perhitungan kenaikan muka air laut rata-rata sebesar  $4,3 \pm 0,4$  mm/ tahun maka diprediksi terjadi kenaikan MSL di perairan pesisir Tulungagung dari 1,999 meter pada tahun 2020 menjadi 2,7735 meter pada tahun 2200. Kenaikan MSL tersebut berkonsekuensi pada terjadinya kenaikan tinggi genangan dari 2,1725 meter menjadi 2,9015 meter pada periode waktu yang sama.

Hasil pemodelan SIG memproyeksikan bahwa luas area tergenang mengalami kenaikan dari 100,9 Ha pada tahun 2025 menjadi 139,13 Ha pada Tahun 2200. Jenis tutupan lahan yang diperkirakan menerima dampak akibat banjir rob adalah pantai, pemukiman, sawah ladang dan tambak. Bentuk penanganan bencana banjir rob yang sesuai adalah pemeliharaan dan penambahan vegetasi pantai, pemeliharaan saluran drainase di kawasan pemukiman, pembuatan tanggul sederhana dan peningkatan peran serta masyarakat.

### Saran

Perencanaan mitigasi dan penanggulangan dampak banjir rob di wilayah pesisir selatan Kabupaten Tulungagung memerlukan studi lebih lanjut mengenai penilaian kerentanan wilayah berdasarkan kondisi fisik lingkungan, ekonomi dan sosial masyarakat. Selain itu, dapat dilakukan pula perhitungan dan analisis kerugian ekonomi akibat banjir rob secara periodik dengan mengikuti model genangan yang telah dihasilkan oleh penelitian ini. Pengembangan kapasitas masyarakat dalam menanggulangi bencana banjir rob dapat menjadi fokus utama pemerintah daerah untuk meminimalisir dampak yang berpotensi terjadi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kami para penulis mengucapkan terima kasih kepada Himpunan Ahli Pengelolaan Pesisir (HAPPI) regional Jawa Timur, Pusat Penelitian Lingkungan Hidup (PPLH) Universitas Udayana dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Trunojoyo Madura atas dukungan fasilitasi penelitian ini. Artikel ini merupakan salah satu output riset kolaborasi yang dilakukan pada tahun 2021. Semua penulis memiliki kontribusi yang sama dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan artikel.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ariani, R. (2018). *Analisa Kenaikan Muka Air Laut di Perairan Indonesia Menggunakan Data Altimetri Topex/Poseidon dan Jason Series Tahun 1993-2018*. Tesis Disertasi Doktor. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Dasanto, B. D. (2010). Penilaian Dampak Kenaikan Muka Air Laut Pada Wilayah Pantai : Studi Kasus Kabupaten Indramayu. *Jurnal Hidrosfir Indonesia*, 5(2), 45–53.
- Efendi, U., Kristianto, A., & Pratama, B. E. (2021).

- Respon Hujan Lebat dan Kenaikan Tinggi Muka Laut terhadap Prediksi Luasan Banjir Rob Kota Semarang. *Jurnal Kelautan Nasional*, 16(3), 157-168.
- Erlani, R., & Nugrahandika, W. H. (2019). Ketangguhan Kota Semarang dalam Menghadapi Bencana Banjir Pasang Air Laut (Rob). *Journal of Regional and Rural Development Planning*, 3(1), 47. <https://doi.org/10.29244/jp2wd.2019.3.1.47-63>.
- Fadilah, S., & Sasongko, D. P. (2014). Menentukan Tipe Pasang Surut dan Muka Air Rencana Perairan Laut Kabupaten Bengkulu Tengah Menggunakan Metode Admiralty. *Maspari Journal*, 6(1), 1–12.
- Gornitz, V., White, T., & Daniels, R. (1997). A Coastal Hazards Data Base for the U.S. East Coast. In Environmental Sciences Division.
- 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>
- Hidayah, Z., & Apriyanti, A. (2020). Deteksi Perubahan Garis Pantai Teluk Jakarta Bagian Timur Tahun 2003-2018. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 13(2), 143–150. <https://doi.org/10.21107/jk.v13i2.7980>
- Hidayah, Z., Prayogo, L. M., & Wardhani, M. K. (2018). Sea level rise impact modelling on small islands: Case study gili raja island of east Java. *MATEC Web of Conferences*, 177, 1–8. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201817701017>
- Ikhsyan, N., Muryani, C., Rintayati, P., & Pendahuluan, A. (2003). *Analisis Sebaran Dampak dan Adaptasi Masyarakat Terhadap Banjir Rob di Kecamatan Semarang Timur dan Gayamsari Kota Semarang*. Universitas negeri Sebelas Maret.
- Imaduddina, A., & Widodo, W. (2017). Pemodelan Bahaya Bencana Banjir Rob Di Kawasan Pesisir Kota Surabaya. *Spectra*, 15(30), 45–56.
- Karondia, L. A., Handoko, E. Y., & Hapsari, H. (2019). 3D modelling analysis of sea-level rise impact in Semarang, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 389(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/389/1/012005>
- Kisnarti, A. E., & Prasita, V. D. (2014). Methods of Tidal Approach for Determination of Sea Level Rise in Surabaya Waters. *The International Journal of Engineering And Science*, 2319–1813. [www.theijes.com](http://www.theijes.com)
- Kusumaning, T., & Puriningsih, F. S. (2019). Kajian Strategi Penanganan Banjir/Rob Di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang. *Warta Penelitian Perhubungan*, 26(11), 677. <https://doi.org/10.25104/warlit.v26i11.949>
- Loinenak, F. A., Hartoko, A., & Muskananfolo, M. R. (2015). Mapping of coastal vulnerability using the coastal vulnerability index and geographic information system. *International Journal of Technology*, 6(5), 819–827. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v6i5.1361>
- Marfai, M. A. (2014). Impact of sea level rise to coastal ecology: A case study on the northern part of java island, indonesia. *Quaestiones Geographicae*, 33(1), 107–114. <https://doi.org/10.2478/quageo-2014-0008>
- Naufalita, A., Subiyanto, S., & Hani'ah. (2019). Analisis Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Perubahan Zona Nilai Tanah Pada Daerah Genangan Banjir Rob Di Kecamatan Pekalongan Utara Tahun 2014-2018. *Jurnal Geodesi Undip*, 8(1), 38–47.
- Nugroho, A. R., Tamagawa, I., & Harada, M. (2021). The relationship between river flow regimes and climate indices of ENSO and IOD on code river, southern Indonesia. *Water (Switzerland)*, 13(10), 1–14. <https://doi.org/10.3390/w13101375>
- Nugroho, S. H. (2013). Prediksi luas genangan pasang surut ( rob ) berdasarkan analisis data spasial di Kota Semarang , Indonesia. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 4(1), 71–87.
- Oppenheimer, M., & Hinkel, J. (2022) *Sea Level Rise and Implications for Low Lying Islands, Coasts and Communities Supplementary Material*. In *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 321–445. <https://doi.org/10.1017/9781009157964.006>

- Pratomoatmojo, N. A. (2014). LanduseSim Sebagai Aplikasi Pemodelan dan Simulasi Spasial Perubahan Penggunaan Lahan. *Seminar Nasional CITIES*, 69–79.
- Ramadhan, P., Widada, S., Subardjo, P., Oseanografi, P. S., Kelautan, J. I., & Perikanan, F. (2015). Dampak Kenaikan Muka Laut Terhadap Genangan Rob Di Kecamatan Pademangan, Jakarta Utara. *Journal of Oceanography*, 4(1), 159–165.
- Ramadhan, M., Nur Amri, S., & Gunawan Priyambodo, D. (2019a). Survey Identifikasi Pulau-pulau Tenggelam di Teluk Jakarta. *Jurnal Riset Jakarta*, 12(1), 1–6. <https://doi.org/10.37439/jurnaldrd.v12i1.4>
- Ramadhan, M., Nur Amri, S., & Gunawan Priyambodo, D. (2019b). Survey Identifikasi Pulau-Pulau Tenggelam Di Teluk Jakarta Identification Survey of Sinking Island in Jakarta Bay. *Jurnal Riset Jakarta*, 12(1), 1–6. DOI:10.5281/zenodo.3379104.
- Ramdhany, A. D., Wiranegara, H. W., & Luru, M. N. (2021). Tingkat Kerentanan Fisik Kecamatan Tugu Kota Semarang Terhadap banjir Rob. *Jurnal Bhuwana*, 1(2), 137–146. <https://doi.org/10.25105/bhuwana.v1i2.12532>
- Rasyda, M. H., Widada, S., & Rochaddi, B. (2015). Analisa Spasial Daerah Banjir Genangan (Rob) Akibat Kenaikan Muka Air Laut di Kota Padang. *Jurnal Oseanografi*, 4(2), 379–385.
- Sulma, S., Kusratmoko, E., & Saraswati, R. (2013). Coastal Physical Vulnerability of Surabaya and Its Surrounding Area To Sea Level Rise. *MAKARA Journal of Technology Series*, 16(2). <https://doi.org/10.7454/mst.v16i2.1516>
- Syah, M. W., & Hariyanto, T. (2013). Klasifikasi Kemiringan Lereng dengan Menggunakan Pengembangan Sistem Informasi Geografis Sebagai Evaluasi Kesesuaian Landasan Pemukiman (Studi Kasus: Donggala, Sulawesi Tengah). *Jurnal Teknik Pomits*, 10(10), 1–6.
- Triana, Y. T., & Hidayah, Z. (2020). Kajian Potensi Daerah Rawan Banjir Rob dan Adaptasi Masyarakat Di Wilayah Pesisir Utara Surabaya. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*, 1(1), 141-150. <https://doi.org/10.21107/juvenil.v1i1.6961>
- Widiarso, D. A., Winarno, T., & Haryanto, W. (2020). Pengaruh Intrusi Airlaut dan Banjir Pasang (Rob) terhadap Sifat Specific Gravity dan Unit Weight Tanah Lempung Aluvial di Kota Semarang. *Jurnal Geosains Dan Teknologi*, 3(3), 129-134. <https://doi.org/10.14710/jgt.3.3.2020.129-134>
- Yunvita, W. D., Wirasatriya, A., Nugroho, D., Sugianto, S., Helmi, M., Marwoto, J., & Maslukah, L. (2020). Effect of ENSO and IOD on the Variability of Sea Surface Temperature (SST) in Java Sea. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 530(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/530/1/012007>