

Prediksi Genangan Banjir Rob di Kota Pekalongan Pasca Pembangunan Tanggul Laut

Dwitya Rahma Suci*, Sugeng Widada, Elis Indrayanti

Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah, 50275, Indonesia
Email: *dwityarahmasuci@gmail.com

Abstrak

Banjir pesisir yang dikenal sebagai banjir rob merupakan masalah serius yang banyak terjadi di beberapa kota di Indonesia tak terkecuali Kota Pekalongan, Jawa Tengah. Kondisi ini disebabkan oleh beberapa faktor di antaranya kenaikan muka laut dan penurunan muka tanah. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi genangan banjir rob di Kota Pekalongan pasca pembangunan tanggul laut tahun 2022 yaitu untuk kondisi tahun 2023, 2030, 2040 dan 2050. Luasan genangan rob dihitung dengan mempertimbangkan data penurunan muka tanah dan kenaikan muka air laut. Metode yang digunakan meliputi perhitungan kenaikan muka laut diolah dari data altimetri satelit (1993 – 2024) menggunakan metode ROMS dan analisis regresi linier, sedangkan penurunan muka tanah dianalisis menggunakan metode *Differential Interferometry SAR* (DInSAR) dengan citra Sentinel-1A dari tahun 2018 hingga 2022. Faktor tersebut kemudian diintegrasikan ke dalam model geospasial menggunakan ArcGis untuk membuat peta prediksi genangan rob. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kenaikan muka air laut di Kota sebesar 4.05 mm/tahun. Nilai maksimal dan minimum penurunan muka tanah sebesar 4.710 cm dan -9.328 cm. Prediksi luas genangan banjir rob tahun 2023, 2030 dan 2040 sebesar 3,269 hektar, 95,595 hektar dan 42,834 hektar. Sedangkan pada tahun 2050 luas genangan rob mencapai 249,494 hektar.

Kata kunci : Banjir Rob, Kenaikan Muka Laut, Penurunan Muka Tanah, Kota Pekalongan

Prediction of Tidal Flooding in Pekalongan City After the Construction of Sea Walls

Abstract

Coastal flooding, known as tidal flooding, is a serious problem that occurs in several cities in Indonesia, including in Pekalongan City, Central Java. This condition is caused by factors, including sea level rise and land subsidence. This study aims to predict tidal flooding in Pekalongan City after the construction of sea walls in 2022 for the years 2023, 2030, 2040, and 2050. The extent of tidal flooding is calculated by considering data on land subsidence and sea level rise. The methods used include calculating sea level rise from satellite altimetry data (1993–2024) using the ROMS method and linear regression analysis, while land subsidence is analyzed using the Differential Interferometry SAR (DInSAR) method with Sentinel-1A imagery from 2018 to 2022. These factors were then integrated into a geospatial model using ArcGIS to create a tidal flooding prediction map. The results of the study show that the tidal pattern in Pekalongan City is a mixed double daily tidal pattern. The sea level rise value is 4.05 mm/year. The maximum and minimum values of land subsidence are 4,710 cm and -9,328 cm. The predicted area of tidal flooding in 2023, 2030 and 2040 is 3,269 hectares, 95,595 hectares and 42,834 hectares, respectively. Meanwhile, in 2050, the area of tidal flooding will reach 249,494 hectares.

Keywords: Tidal Flood, Sea Level Rise, Land Subsidence, Pekalongan City

PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan serius yang terjadi di wilayah pesisir adalah banjir rob atau genangan air laut yang terjadi saat elevasi air pasang melebihi elevasi permukaan tanah di daratan. Fenomena ini sering terjadi di wilayah pesisir di Indonesia, salah satunya adalah Kota Pekalongan. Kota Pekalongan terletak di pesisir utara Pulau Jawa dan merupakan daerah dengan aktivitas penduduk yang padat. Banjir rob terjadi di beberapa kelurahan di Pekalongan dan menimbulkan kerusakan infrastruktur, jalan, rumah, serta fasilitas umum yang

banyak digunakan oleh masyarakat setempat (Marfai *et al.*, 2014). Beberapa kecamatan yang terdampak langsung oleh bencana banjir rob ini adalah kecamatan yang berbatasan dengan Pantai Utara, seperti Kecamatan Pekalongan Utara, Pekalongan Barat dan Pekalongan Timur (Riyatmoko *et al.*, 2022). Sebelum dibangun tanggul laut pada tahun 2022, kejadian banjir pesisir Pekalongan meningkat drastis, bahkan terjadi lebih dari sembilan kali per tahun dengan ketinggian banjir di atas 0,5 meter dan di beberapa lokasi mencapai lebih dari 1 meter (Zainuri *et al.*, 2022).

Topografi rendah Kota Pekalongan membuat daerah tersebut sangat rentan terhadap banjir rob. Perubahan pola pasang surut yang signifikan di wilayah ini juga berkontribusi pada peningkatan frekuensi banjir rob setiap tahunnya. Selain itu, kenaikan muka air laut dan penurunan muka tanah di wilayah ini semakin memperparah kondisi tersebut. Pemanasan global mengakibatkan dampak yang luas pada lingkungan bio-geofisika, seperti kenaikan muka air laut atau *sea level rise*, peningkatan hujan dan banjir. Apabila fenomena tersebut terjadi bersamaan dengan, maka bencana banjir rob yang sering melanda wilayah ini akan semakin parah. Kombinasi penurunan muka tanah dan kenaikan muka air laut tersebut tidak hanya meningkatkan frekuensi banjir rob, tetapi juga berpotensi memperluas wilayah terdampak, sehingga mengancam lebih banyak permukiman warga serta infrastruktur dan fasilitas umum. Meskipun banjir rob akibat kenaikan muka air laut tidak dapat dihilangkan sepenuhnya, dampaknya dapat diminimalkan melalui upaya mitigasi yang tepat (Perdinan *et al.*, 2023).

Pemerintah Kota Pekalongan telah melaksanakan berbagai upaya mitigasi struktural untuk mengurangi luas genangan banjir rob, antara lain melalui pembangunan tanggul di sungai dan pantai, pembangunan serta pemeliharaan stasiun pompa, serta rehabilitasi saluran drainase perkotaan (Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kota Pekalongan, 2021). Pada tahun 2022 dan 2023, luas genangan di Kota Pekalongan mengalami penurunan. Meskipun demikian, untuk memastikan keberhasilan upaya mitigasi tetap perlu dipastikan ketepatangunaan dan kebermanfaatan upaya tersebut dari persepsi masyarakat (Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kerja, 2023). Penelitian terkait fenomena banjir rob di Pekalongan diantaranya oleh El-fath *et al.* (2022) yang memprediksikan bahwa pada tahun 2025 – 2030 tanggul mulai tenggelam seluruhnya oleh genangan rob. Sedangkan penelitian ini bertujuan untuk memprediksi luasan genangan banjir rob pada tahun 2030, 2040 dan 2050 di Kota Pekalongan pasca pembangunan tanggul tahun 2021 – 2022 serta memprediksikan waktu terjadinya limpasan air ke daratan, dengan mempertimbangkan faktor kenaikan muka laut dan penurunan muka tanah.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan di Kota Pekalongan dengan titik koordinat Kota Pekalongan 6° 50' 42" - 6° 55' 44" LS dan 109° 37' 55" - 109° 42' 19" BT (Gambar 1). Data *Tracking* GPS dilaksanakan pada 18 Oktober 2023, sedangkan data penelitian tersaji pada Tabel 1. Kenaikan muka laut dihitung dari tahun 1993 – 2024. Perhitungan penurunan muka tanah dilakukan pada tahun 2018 – 2022, dan prediksi genangan banjir rob di tahun 2023, 2030, 2040 dan 2050.

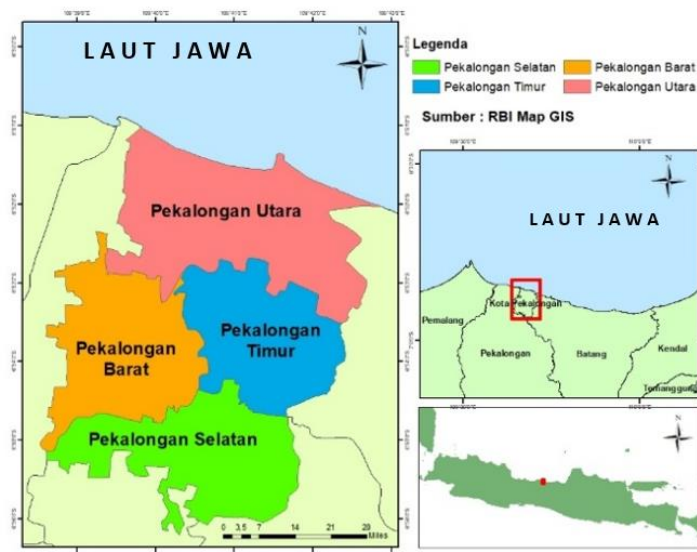
Perhitungan Nilai Elevasi Muka Laut

Elevasi muka air laut dapat dihitung dari nilai komponen – komponen pasang surut yang diperoleh dari hasil perhitungan pasang surut metode *Least Square*. Berikut perasamaan yang digunakan untuk menentukan elevasi muka air laut:

$$\begin{aligned} HHWL &= S_0 + (M_2 + S_2 + K_2 + K_1 + O_1 + P_1) \\ LLWL &= S_0 - (M_2 + S_2 + K_2 + K_1 + O_1 + P_1) \\ MSL &= S_0 \end{aligned}$$

Tabel 1. Data Penelitian

Parameter	Sumber
Data pengamatan pasut tahun 2021 dan 2022	BIG (Badan Informasi Geospasial)
Data penurunan muka tanah citra Sentinel-1A tahun 2018 – 2022 resolusi 5 m x 20 m	ASF Data Search (https://search.asf.alaska.edu/#/)
Data SLA (<i>Sea Level Anomaly</i>) tahun 1993 - 2024	Marine Copernicus (https://data.marine.copernicus.eu/products?q=ssh)
Data genangan banjir rob	Survei lapangan



Gambar 1. Lokasi Penelitian Kota Pekalongan, Jawa Tengah

Verifikasi Data Peramalan Pasang Surut

Keakuratan data hasil pengolahan pasang surut menggunakan metode *least square* diuji dengan membandingkannya terhadap data lapangan, data dinyatakan valid apabila nilai persentase *error* kecil dan perbandingan data pengolahan mendekati dengan data lapangan maupun data prediksi pasang surut (Ichsari *et al.*, 2020). Menurut Putra & Pratomo (2019), validasi data pasang surut dilakukan untuk mengetahui secara matematis menggunakan RMSE (*Root Mean Square Error*) untuk mengukur tingkat kesalahan. Perhitungan untuk mencari nilai – nilai tersebut adalah:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}{n}}$$

Keterangan: n = Jumlah data; y_i = Data lapangan; $\bar{y}_i$ = Data hasil pemodelan

Pengolahan Data Kenaikan Muka Air Laut

Pengolahan data kenaikan muka air laut dilakukan dengan menggunakan metode ROMS. Data yang digunakan didapat dari data satelit altimetri *Copernicus marine Service* tahun 1993 – 2024 di wilayah Kota Pekalongan. Selanjutnya, dilakukan perhitungan analisis tren linier berdasarkan data SLA (*Sea Level anomaly*). Analisis regresi linier digunakan untuk mendapatkan laju kenaikan muka air laut (El-Fath *et al.*, 2022), analisis regresi linier sebagai berikut:

$$y = ax + b$$

dimana nilai y merupakan variabel tak bebas yang dicari yaitu nilai tren kenaikan muka air laut, sedangkan nilai x merupakan variabel bebas yaitu tahun, a koefisien merupakan indikator kenaikan tinggi muka laut dan b konstanta persamaan.

Pengolahan Data Penurunan Muka Tanah

Menurut Widada *et al.*, (2020), DInSAR (*Differential Interferometry SAR*) adalah salah satu teknologi radar yang dapat digunakan untuk menentukan penurunan muka tanah. hasil pengolahan menggunakan metode DInSAR adalah peta deformasi yang dapat diartikan sebagai peta penurunan muka tanah, pengolahan DInSAR dimulai dengan *Single Look Complex* Interferogram dengan perhitungan bentuk kompleks konjugasi antara

citra utama (*master*) dan citra kedua (*slave*). Pengolahan data penurunan muka tanah dilakukan menggunakan perangkat lunak *SNAP* dengan data Citra Sentinel-1A rekaman 22 Januari 2018 sebagai citra utama (*master*) dan 5 Januari 2019 sebagai citra kedua (*slave*).

Perhitungan laju penurunan muka tanah setiap tahun dari hasil metode DInSAR di olah dengan *raster calculator* di perangkat lunak *ArcGis 10.8* (Andari *et al.*, 2023). Hasil dari fase interferometrik tersebut adalah sebagai berikut:

$$\Delta\phi = \Delta\phi_{flat} + \Delta\phi_{height} + \Delta\phi_{displacement} + \Delta\phi_{atmosphere} + \Delta\phi_{noise}$$

Keterangan: $\Delta\phi_{flat}$ = Kontribusi fase bumi datar; $\Delta\phi_{height}$ = Deformasi tanah yang di ukur disepanjang Line of Sight (LoS); $\Delta\phi_{displacement}$ = Topografi; $\Delta\phi_{atmosphere}$ = Kontribusi atmosfer pada fase interferometrik; $\Delta\phi_{noise}$ = gangguan visual

Prediksi Genangan Banjir Rob

Pemetaan prediksi genangan banjir rob digunakan untuk mengetahui luas genangan banjir rob. Menurut Marfai *et al.*, (2011), model spasial genangan banjir rob dibuat dengan memasukan nilai selisih HHWL (*Highest High Water Level*) dan MSL (*Mean Sea Level*). Berikut persamaan yang digunakan:

$$WD = Con(Con([DEM] \leq Elevasi, Elevasi), Con ([DEM] \leq Elevasi, Elevasi) - [DEM], 0)$$

Keterangan: WD = Kedalaman air genangan banjir rob; DEM = Data ketinggian tanah; Elevasi = HHWL – MSL

Tracking GPS

Tracking GPS dilakukan pada memberi tanda (*marking*) pada titik atau daerah yang terkena banjir rob. Proses pengambilan data titik koordinat dilakukan dengan mengaktifkan perangkat GPS, kemudian mendatangi setiap titik sudut area penelitian untuk merekam posisi tersebut menggunakan fungsi “*mark*” pada GPS dan disimpan sebagai *waypoint*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai Elevasi Muka Laut

Hasil perhitungan nilai elevasi muka laut pada tahun 2021, 2022, 2023, 2030, 240 dan 2050 disajikan pada Tabel 2. Nilai HHWL tertinggi terjadi pada tahun 2022 yaitu 239 dan selanjutnya mengalami penurunan, demikian juga untuk nilai MSL. Sedangkan nilai LLWL terendah berada di tahun 2022. Hal ini menunjukkan bahwa pada tahun 2022 terjadi kenaikan elevasi muka laut yang signifikan dibandingkan periode lainnya.

Hasil Verifikasi Data Peramalan Pasang Surut

Berdasarkan hasil pengolahan pasang surut dengan menggunakan metode *Least Square* dilakukan perbandingan data observasi tahun 2021 yang disajikan dalam bentuk grafik Gambar 2. Menghasilkan nilai RMSE sebesar 0.1456 m (14.56 cm) menunjukkan verifikasi model yang tergolong cukup menggambarkan kondisi lapangan. Hal ini dapat diterima kebenarannya karena masih berada di ambang batas 40% (Hermialingga *et al.*, 2020).

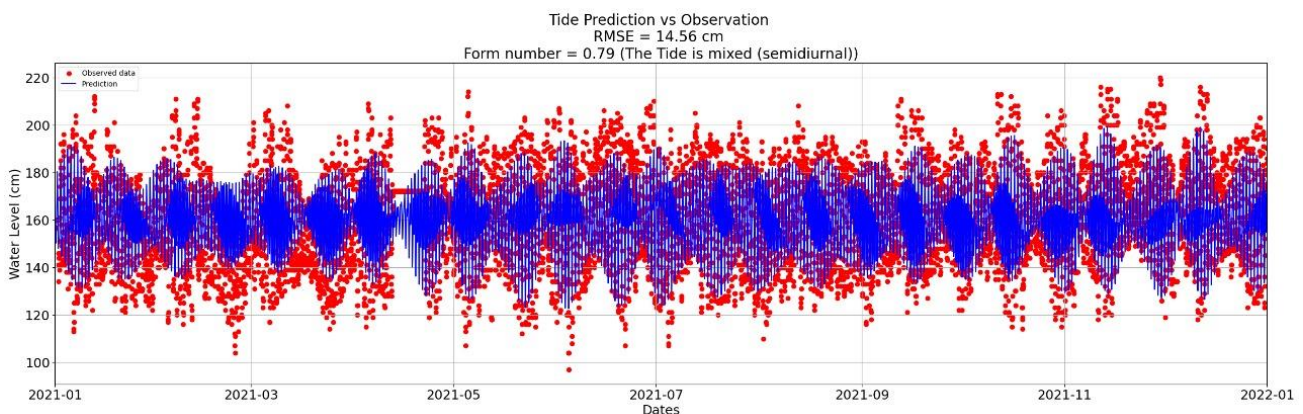
Tabel 2. Nilai Elevasi Muka Air Laut

Tahun	Elevasi Muka Air Laut		
	HHWL	MSL	LLWL
2021	213,81	160,15	117,23
2022	239	174	110
2023	217,97	160,83	120,22
2030	214,34	163,26	118,44
2040	223,43	166,79	124,62
2050	218,39	170,29	129,64

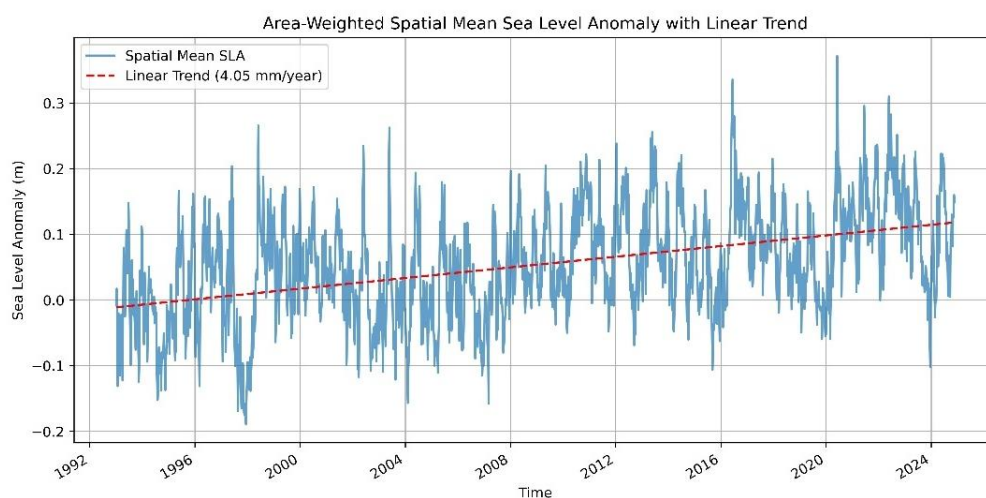
Kenaikan Muka Air Laut

Berdasarkan Gambar 3, maka laju kenaikan muka air laut di Kota Pekalongan antara tahun 1993 hingga 2024 mencapai 4.05 mm/tahun memiliki dampak yang signifikan terhadap risiko banjir. Menurut Cahyadi *et al.*, (2016), fenomena ini disebabkan oleh perubahan iklim yang mengakibatkan pencairan gletser dan es di kutub, sehingga menyebabkan peningkatan muka air laut yang signifikan. Kenaikan muka air laut ini dapat mengakibatkan genangan di daerah tertentu dan berkontribusi pada terjadinya banjir rob. Dampak dari peningkatan muka air laut yang drastis ini dapat memperburuk kondisi banjir rob, serta merusak infrastruktur dan lingkungan, serta ancaman tenggelamnya dataran di sekitar wilayah pesisir (Handoko *et al.*, 2019).

Menurut Husna *et al.*, (2025), ketinggian pada kenaikan muka air laut diseluruh Kecamatan Kota Pekalongan mencapai 4.3 mm/tahun. Nilai regresi linier dari kenaikan muka air laut, yaitu $Y = 0.00001x - 0.3881$. Kenaikan muka air laut sekecil apapun sangat berdampak pada peningkatan banjir rob secara signifikan terutama di kawasan pesisir yang rentan (Kartika *et al.*, 2019). Kenaikan air laut dan penurunan permukaan tanah merupakan fenomena alam yang signifikan dan saling terkait, keduanya merupakan faktor utama terjadinya banjir rob di wilayah pesisir Pekalongan, Jawa Tengah, Indonesia. Menurut Nadya & Salim (2023), bahwa ketinggian permukaan air laut di Pekalongan mencapai 10.6 mm/tahun, bahkan jauh lebih tinggi dari rata – rata global sebesar 3.2 mm/tahun. Terjadinya kenaikan air laut dapat meningkatkan frekuensi dan intensitas banjir rob di kawasan pesisir. Namun kenaikan air laut tidak menjadi salah satu faktor yang sangat mempengaruhi perubahan luas genangan banjir rob, dibandingkan dengan penurunan muka tanah yang menjadi faktor utama terjadinya luas genangan banjir rob.



Gambar 2. Perbandingan Data Observasi dan Prediksi



Gambar 3. Laju Kenaikan Muka Air Laut Kota Pekalongan

Penurunan Muka Tanah

Laju penurunan muka tanah di Kota Pekalongan pada tahun 2018 sampai 2022 disajikan pada Tabel 3 dan Gambar 4. Pada tahun 2021 wilayah Pekalongan Utara menunjukkan tingkat penurunan muka tanah yang sangat tinggi dibandingkan dengan wilayah lainnya. Sementara itu, pada tahun 2022 Kota Pekalongan mengalami penurunan muka tanah yang signifikan. Hal ini dapat dilihat dari dominasi warna merah yang mencakup sebagian besar wilayah Pekalongan, seperti yang tersaji pada Gambar 4.

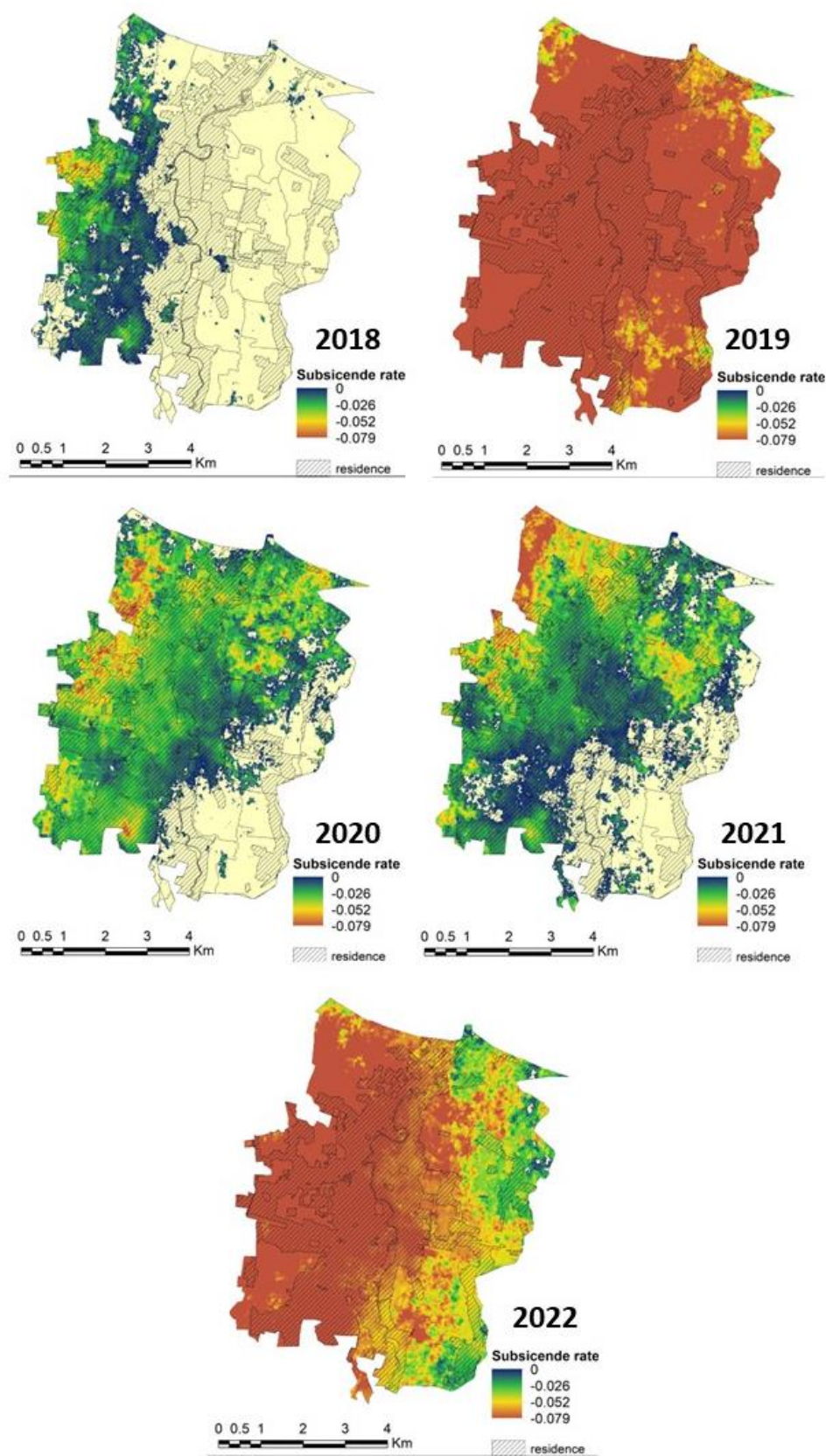
Penurunan muka air tanah dapat menyebabkan permukaan tanah mengalami ambles serta memicu intrusi air laut. Kondisi ini mengakibatkan permukaan air laut menjadi lebih tinggi dibandingkan permukaan tanah, yang dikenal sebagai banjir pasang air laut (rob). Penurunan muka tanah merupakan masalah yang sering dijumpai di kota – kota besar dan menjadi isu serius terutama ketika terjadi di wilayah pesisir pantai. Hal ini disebabkan oleh kerentanan daerah pesisir terhadap tekanan lingkungan yang berasal dari dataran maupun lautan (Pujiastuti *et al.*, 2015). Penurunan muka tanah menjadi faktor utama penyebab terjadinya banjir rob di Kota Pekalongan. Hal ini disebabkan oleh penggunaan air tanah yang berlebihan yang mengakibatkan amblesan tanah dan semakin memperparah kondisi penurunan muka tanah di daerah tersebut. Eksploitasi air tanah ini dilakukan untuk berbagai keperluan, termasuk pertanian, industri dan kebutuhan sehari – hari masyarakat. Banyaknya titik pengambilan air tanah dalam yang digunakan untuk kegiatan industri semakin memperparah kondisi penurunan muka tanah di pesisir Kota Pekalongan (Maharlika *et al.*, 2020).

Menurut Sarah *et al.*, (2021), laju penurunan muka tanah di Kota Pekalongan saat ini sebanding dengan laju penurunan yang umum terjadi di kota – kota besar. Bahkan, laju penurunan permukaan tanah di Pekalongan telah melebihi kenaikan permukaan air laut, yang berdampak signifikan terhadap kehilangan lahan. Data menunjukkan bahwa laju penurunan muka tanah di Pekalongan meningkat dari 7.7 – 10.5 cm/tahun pada tahun 2009 menjadi 10 – 14 cm/tahun pada tahun 2015. Penurunan permukaan tanah lebih banyak terjadi di Kota Pekalongan dibandingkan dengan Kabupaten Pekalongan, terutama di wilayah pesisir utara. Hal ini sejalan dengan penelitian Sidiq *et al.*, (2023), yang menunjukkan bahwa Pekalongan mengalami penurunan permukaan tanah yang cukup signifikan dan konsisten jika dibandingkan dengan kota – kota lainnya. Di beberapa area, laju penurunan tanah di Pekalongan bahkan dapat mencapai 16 cm/tahun. Penurunan tanah memiliki dampak negatif yang sangat mempengaruhi kehidupan masyarakat. Dampak negatif dari penurunan permukaan tanah merupakan manifestasi dari pergerakan bawah permukaan tanah yang terjadi melalui kegiatan pengambilan air tanah secara berlebihan atau eksploitasi air tanah. Eksploitasi air tanah diketahui sebagai penyebab penurunan muka tanah antropogenik yang besar di Indonesia.

Oleh karena itu, tidak mengherankan jika beberapa penelitian juga dilakukan di Pekalongan dimana terjadi eksploitasi air tanah yang berlebihan di wilayah sedimentasi. Seperti yang diketahui bahwa Pekalongan terletak di atas dataran aluvial yang dibawa oleh sungai – sungai yang bermuara di Laut Jawa. Sehingga hal tersebut semakin memperparah terjadinya penurunan muka tanah di Pekalongan. Beberapa upaya dapat dilakukan untuk mengatasi penurunan muka tanah serta dampaknya di Pekalongan, seperti moratorium peraturan terkait penggunaan air lahan, pembangunan tanggul laut dan penampungan permukaan. Dampak penurunan muka tanah di Pekalongan juga mempengaruhi berbagai aspek banjir yang semakin parah, kerusakan infrastruktur dan bangunan, serta hilangnya lahan akibat genangan permanen. Menurut (Sarah *et al.*, 2023), daerah Pekalongan Utara mengalami penurunan tanah yang lebih besar 3 – 10 cm/tahun dibandingkan dengan daerah Selatan. Selain kerusakan infrabangunan, penurunan permukaan tanah juga mempengaruhi ketersediaan air di daerah tersebut, terutama di daerah yang menjadi langganan banjir rob.

Tabel 3. Hasil Laju Penurunan Muka Tanah

No	Tahun	Maksimal (cm)	Minimum (cm)
1.	2018	0,084	-0,064
2.	2019	-0,030	-0,177
3.	2020	0,042	-0,078
4.	2021	0,056	-0,083
5.	2022	0,084	-0,064
Rata – Rata (cm)		4.710	-9.328



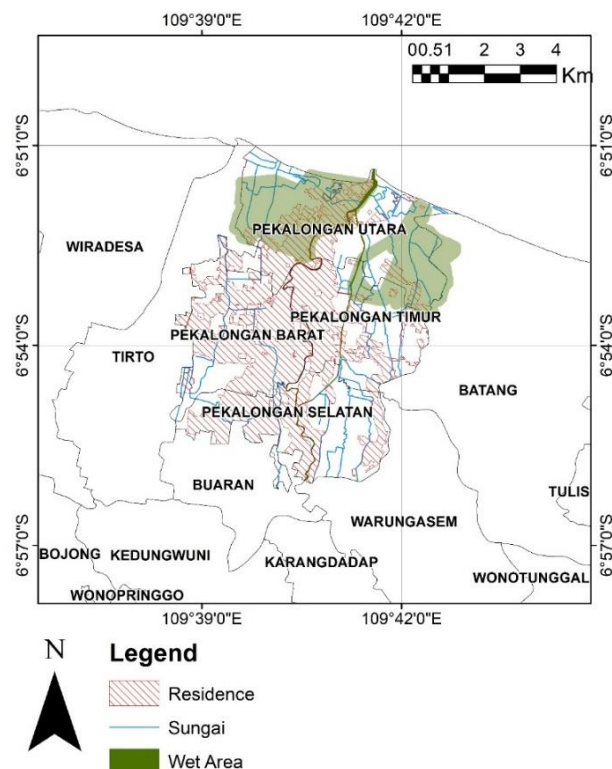
Gambar 4. Penurunan Muka Tanah Kota Pekalongan dari tahun 2018 sampai 2022

Hasil *Tracking GPS*

Hasil *tracking* lapangan Tahun 2023 (Gambar 5) menunjukkan bahwa banjir rob di Kota Pekalongan telah terkendali. Beberapa area yang masih terendam air yaitu beberapa titik di Pekalongan Utara dan Pekalongan Timur. merupakan sisa genangan sebelum dibangunnya tanggul yang belum mengering sepenuhnya dan juga pada area yang memang difungsikan sebagai kolam retensi untuk menampung air hujan yang datang bersamaan dengan waktu pasang air laut. Disamping itu juga tanggul sungai yang belum sepenuhnya selesai dibangun pada tahun 2022.

Prediksi Genangan Banjir Rob

Gambar 6 menunjukkan bahwa luas genangan banjir rob mencakup area Pekalongan Utara, Pekalongan Barat dan beberapa wilayah di Pekalongan Timur. Luas genangan banjir rob pada tahun 2021 mencapai luas sebesar 94,830 hektar. Genangan banjir rob yang meluas memungkinkan untuk terjadi, hal ini dikarenakan penurunan muka tanah yang semakin parah akibat dari eksploitasi air tanah yang berlebihan. Selain itu, pada tahun 2021 belum adanya penanggulangan bencana banjir rob berupa pembangunan tanggul guna menahan banjir rob meluas hingga ke pemukiman warga. Hasil peta genangan banjir rob di Kota Pekalongan tahun 2022 menunjukkan bahwa tidak adanya area yang tergenang oleh banjir rob. Hal ini dikarenakan adanya upaya penanganan bencana banjir rob oleh pemerintah berupa pembangunan tanggul yang dapat menahan masuknya air laut. Tahun 2023 genangan rob mulai terjadi kembali dan merendam sedikit wilayah di Pekalongan Utara, hal ini disebabkan oleh penurunan muka tanah yang semakin parah menyebabkan tanggul ikut mengalami penurunan. HHWL yang telah melampaui elevasi tanggul memicu terjadinya limpasan air yang mengakibatkan genangan rob kembali merendam beberapa wilayah Pekalongan Utara, sehingga tanggul yang sudah dibuat tidak mampu menahan banjir rob dalam jangka waktu yang cukup Panjang. Luas prediksi genangan rob tahun 2023 mencapai 3,269 hektar. Prediksi genangan rob tahun 2023 yang divalidasikan dengan hasil *tracking* lapangan tahun 2023 menunjukkan wilayah yang mengalami genangan rob diantaranya daerah Pekalongan Utara dan Pekalongan Timur.



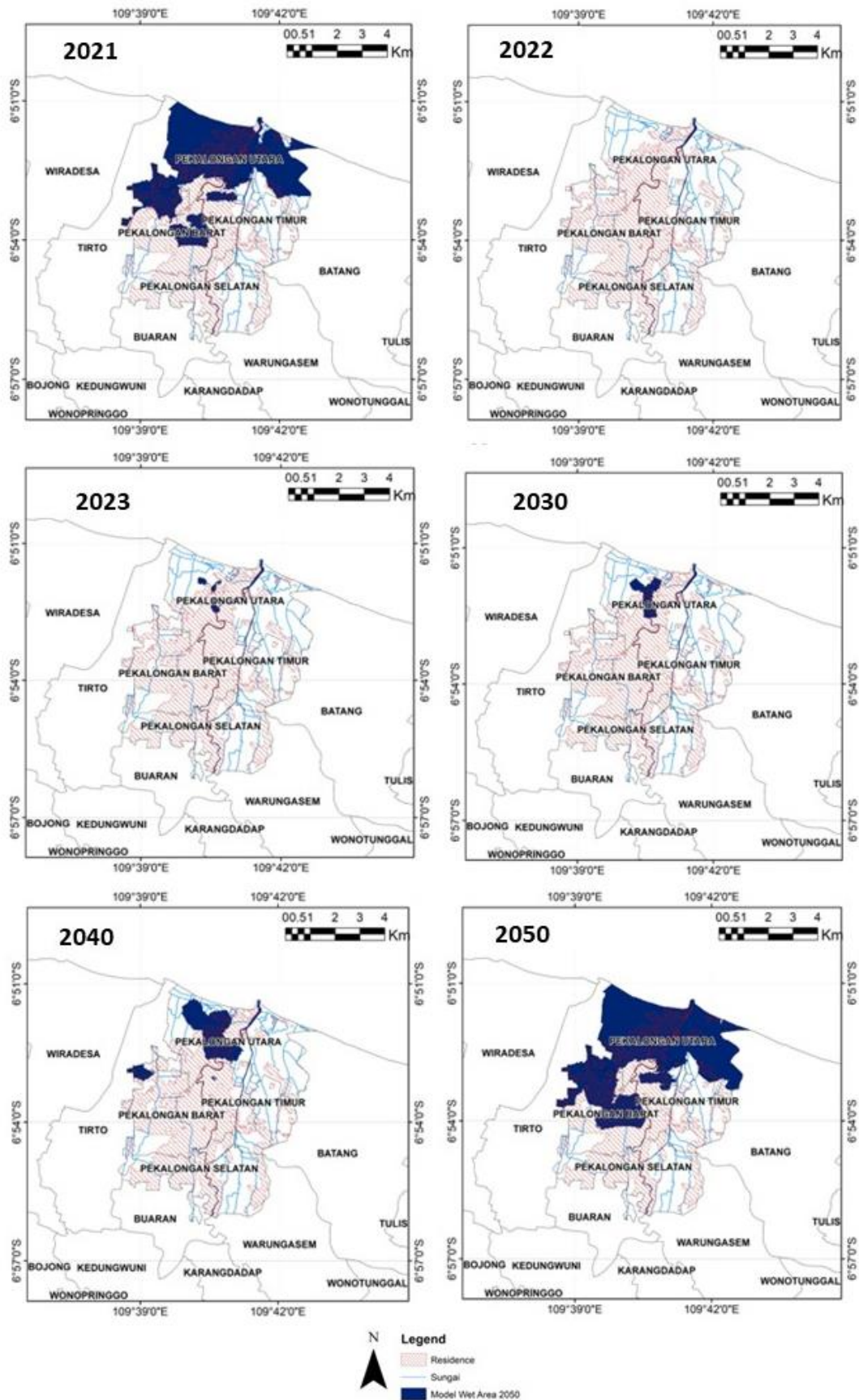
Gambar 5. Hasil *Tracking GPS* Tahun 2023 untuk Daerah Tergenang banjir Rob

Prediksi tahun 2030 menunjukkan genangan rob sedikit lebih meluas dibandingkan tahun 2023 yang terjadi di Pekalongan Utara, yaitu seluas 95,595 hektar. Prediksi pada tahun 2040 menunjukkan genangan rob yang terjadi pada Pekalongan Utara lebih luas dibandingkan tahun 2030 serta beberapa wilayah Pekalongan Barat juga ikut terdampak. Luas prediksi genangan rob tahun 2040 sebesar 42,834 hektar. Penurunan tubuh tanggul yang pada beberapa titik mencapai elevasi di bawah muka air laut saat pasang menjadikan aliran air dari laut tak terhalang dan menggenangi area di belakang tubuh tanggul. Pada sisi lain penurunan muka tanah yang semakin parah setiap tahunnya, membuat elevasi tanah menjadi lebih rendah dibandingkan dengan permukaan laut, menyebabkan wilayah tersebut menjadi sangat rentan Elevasi tanah yang cenderung rendah di Pekalongan Utara dibandingkan dengan wilayah lainnya, sehingga menjadikan Pekalongan Utara semakin rentan terhadap genangan banjir rob. Kenaikan muka air laut dan penurunan muka tanah yang terjadi secara signifikan dapat mempercepat dan memperluas area yang terkena dampak genangan rob.

Prediksi pada tahun 2050 menunjukkan adanya cakupan genangan rob yang diprediksikan akan meluas secara drastis seluruh wilayah Pekalongan Utara, sebagian besar Pekalongan Barat dan beberapa wilayah Pekalongan Timur. Peta – peta prediksi menunjukkan adanya peningkatan area yang terendam dari waktu ke waktu dengan Pekalongan Utara menjadi wilayah yang konsisten terendam dan terdampak. Banjir pasang atau banjir rob cenderung terjadi lebih sering, dikarenakan wilayah ini memiliki ketinggian yang lebih rendah dibandingkan dengan elevasi muka air laut. Luas prediksi genangan rob pada tahun 2050 seluas 249,494 hektar. Meningkatnya nilai prediksi genangan rob pada tahun 2050 disebabkan oleh penurunan muka tanah yang semakin besar akibat dari laju pertumbuhan penduduk yang semakin meningkat. Peningkatan penduduk mendorong kebutuhan akan lahan tempat tinggal dan lahan industri yang lebih besar, serta kebutuhan air tanah yang berlebih. Hal ini juga dijelaskan dalam penelitian Andari *et al.*, (2023), yang menyatakan bahwa Pekalongan terletak di daerah aluvial yang halus dan perkembangan penduduk yang signifikan menyebabkan penurunan tanah di daerah tersebut cukup besar. Tanah aluvial di Pekalongan belum sepenuhnya terkonsolidasi dan terpadatkan. Selain itu, daerah Kota Pekalongan merupakan wilayah dengan kemiringan lahan 0 – 5%, secara geografis kondisi tersebut menyulitkan pengaturan sistem saluran drainase karena presentase kemiringan lahan yang relatif kecil. Hal ini menyebabkan beberapa kawasan Kota Pekalongan sering mengalami gangguan genangan banjir rob. Namun, pemukiman di atas tanah ini telah berkembang pesat ditambah dengan pertumbuhan penduduk industri di Pekalongan yang semakin memperparah terjadinya penurunan muka tanah. penurunan muka tanah yang cukup signifikan ini berdampak besar pada kondisi morfologi pantai di sekitarnya dan berdampak pada terjadinya banjir rob di Pekalongan (Kartika *et al.*, 2019). Menurut Koch *et al.*, (2019), perubahan penggunaan lahan yang disertai dengan penurunan muka tanah menunjukkan adanya hubungan antara wilayah padat penduduk dengan luas area terendam banjir dan tingkat penurunan muka tanah.

Prediksi tahun 2023, 2030, 2040 dan 2050 menunjukkan hasil valid. Hal ini berkaitan dengan hasil *tracking* lapangan tahun 2023 yang menunjukkan bahwa genangan air di Kota Pekalongan masih terjadi di tepi sungai yang belum selesai pembangunan tanggul sungainya dan pada area kolam retensi. Meskipun banjir rob tidak mengakibatkan korban jiwa, dampak dan kerusakan yang ditimbulkan sangat besar bagi masyarakat setempat. Dampak lain yang tak kalah penting adalah menurunnya kepercayaan masyarakat terhadap pihak yang berwenang. Hal ini berkaitan dengan kebijakan pemerintah, seperti pembangunan tanggul sebagai upaya mitigasi terhadap banjir rob di Kota Pekalongan (Marfai *et al.*, 2013). Upaya – upaya yang telah dilakukan yaitu seperti pembangunan tanggul, pembuatan sistem peringatan dini, pembentukan lembaga pusat pelayanan kebencanaan, serta sosialisasi informasi penting terkait banjir rob. Menurut Laporan RPJMD Kota Pekalongan 2021 - 2026 yang disusun oleh Pemerintah Kota Pekalongan (2021), upaya yang dilakukan masih banyak celah dan sejauh ini luasan banjir masih 38.28% dari luas Kota Pekalongan.

Menurut Peraturan Wali Kota Pekalongan Nomor 23 Tahun 2024 (2025), upaya penanganan banjir rob secara terintegrasi juga menjadi agenda percepatan ekonomi kawasan sebagaimana dijabarkan dalam Peraturan Presiden Nomor 19 Tahun 2019, antara lain (1) Pengendalian Banjir Sistem Sungai Loji/ Pekalongan/ Kupang. (2) Pengendalian Banjir Sistem Sungai Sengkarang. (3) Pengendalian Banjir dan Rob. (4) Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Regional Petanglong Sistem Kali Boyo untuk melayani Kabupaten Batang dan Kota Pekalongan dengan kapasitas rencana sebesar 450 liter/detik. Pemerintah Provinsi Jawa Tengah dalam beberapa tahun terakhir melaksanakan Pembangunan Tanggul Pantai dan Tanggul Sungai di Kota Pekalongan.



Gambar 5. Luasan genangan banjir rob di Kota Pekalongan

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan laju kenaikan muka air laut rata-rata Kota Pekalongan sebesar 4,05 mm/tahun dan laju penurunan muka tanah pada tahun 2018 hingga 2022 dengan nilai maksimum dan minimum sebesar 4,710 cm dan -9,328 m. Hasil pemodelan spasial genangan banjir rob tahun 2021 seluas 94,830 hektar, pada tahun 2022 tidak ada genangan banjir rob, prediksi genangan banjir rob pada tahun 2023, 2030, 2040 dan 2050 seluas 3,269 hektar, 95,595 hektar, 42,834 hektar dan 249,494 hektar.

DAFTAR PUSTAKA

- Andari, L., Sugianto, D. N., Wirasatriya, A., & Ginanjar, S. 2023. Identification of sea level rise and land subsidence based on Sentinel 1 data in the coastal city of Pekalongan, Central Java, Indonesia. *Jurnal Kelautan Tropis*, 26(2): 329–339. <https://doi.org/10.14710/jkt.v26i2.18324>.
- Cahyadi, M. N., Jaelani, L. M., & Dewantoro, A. H. 2016. Studi kenaikan muka air laut menggunakan data satelit Altimetri Jason-1 (studi kasus : Perairan Semarang). *Geoid*, 11(2): 176-183. <https://doi.org/10.12962/j24423998.v11i2.1263>.
- Dinas Pekerjaan Umum Penataan Ruang Kerja. 2023. Inventarisasi Data Luas Genangan Kota Pekalongan Tahun 2023.
- Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kota Pekalongan. 2021. Sinergi penanggulangan banjir dan rob serta penataan infrastruktur lainnya (Materi Presentasi Kepala Dinas PU Kota Pekalongan).
- El-Fath, D. D. I., Atmodjo, W., Helmi, M., Widada, S., & Rochaddi, B. 2022. Analisis spasial area genangan banjir rob setelah pembangunan tanggul di Kabupaten Pekalongan, Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(1): 96–110. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v4i1.13254>
- Handoko, E. Y., Yuwono, & Ariani, R. 2019. Analisis kenaikan muka air laut Indonesia Tahun 1993-2018 menggunakan data Altimetri. *Geoid*, 15(1): 58–64. <https://doi.org/10.12962/j24423998.v15i1.3958>
- Hermialingga, S., Purwiyanto, A.IS., & Iskandar, I. 2020. Analisis pemodelan data pasang surut menggunakan TPXO 7.1 di Pelabuhan Tanjung Priok, Jakarta Utara. *Jurnal Kelautan Nasional*, 15(2): 85-90.
- Husna, T. A., Astuti, W., & Andini, I. 2025. Identifikasi karakteristik kawasan permukiman pesisir dalam menghadapi bencana banjir rob di Pantai Utara Kota Pekalongan. *Jurnal Perencanaan Wilayah, Kota, dan Pemukiman*. 7(1): 70–88. <https://doi.org/10.20961/desa-kota.v7i1.83737.70-88>
- Ichsari, L. F., Handoyo, G., Setiyono, H., Ismanto, A., Marwoto, J., Yusuf, M., & Rifai, A., 2020. Studi komparasi hasil pengolahan pasang surut dengan 3 metode (Admiralty, Least Square Dan Fast Fourier Transform) di Pelabuhan Malahayati, Banda Aceh. *Indonesian Journal of Oceanography*, 2(2): 121–128. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v2i2.7985>
- Kartika, F.D.S., Helmi, M., & Amirudin. 2019. Meta-analysis of community's adaptation pattern with tidal flood in Pekalongan City, Central Java, Indonesia. *E3S Web of Conferences*, 125: 09001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912509001>
- Koch, M., Gaber, A., Darwish, N., Bateman, J., Gopal, S., & Helmi, M. 2019. Estimating land subsidence in relation to urban expansion in Semarang City, Indonesia, using Insar and Optical Change Detection Methods. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS 2019 – Proceedings*. doi: 10.1109/IGARSS.2019.8897970
- Maharlika, A. R., Hadi, S. P., Kismartini, & Hoya, A. L. 2020. Tidal flooding and coastal adaptation responses in Pekalongan City. *E3S Web of Conferences*, 202; 06027. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020206027>
- Marfai, M. A., Cahyadi, A., Kasbullah, A. A., Hudaya, L. A., & Tarigan, D. R. 2014. Dampak bencana banjir pesisir dan adaptasi masyarakat terhadapnya di Kabupaten Pekalongan. *Pekan Ilmiah Tahunan Ikatan Geografi Indonesia (PIT IGI) 2014*
- Nadya., & Salim, A. 2023. Pengaruh sea level rise di wilayah perkotaan Indonesia. *Riset Sains dan Teknologi Kelautan*, 6(1): 52-55. <https://doi.org/10.62012/sensistek.v6i1.24248>
- Peraturan Wali Kota Pekalongan Nomor 23 Tahun 2024, 2025. RKPD Rencana Kerja Pemerintah Daerah Kota Pekalongan Tahun 2025. Kota Pekalongan.
- Perdinan, Ryco, F. A., Syafararisa, D. P., Suvany, A., Sabilla, C. J., Revia, M., & Ikrom, M. 2023. tidal flood hazard assessment in Pekalongan City, Central Java. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1266: 012058. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1266/1/012058>

- Putra, F. H., & Pratomo, D. G. 2019. Analisis arus dan transpor sedimen menggunakan pemodelan hidrodinamika 3 dimensi (studi kasus: Teluk Ambon, Kota Ambon, Maluku). *Jurnal Teknik ITS*, 8: 2031–9271.
- Riyatmoko, A., Sanjoto, T. B., & Juhadi. 2022. Impact of the rob flood disaster in north pekalongan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1089: 012016. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1089/1/012016>
- Sarah, D., Soebowo, E., & Satriyo, N. A. 2021. Review of the land subsidence hazard in Pekalongan delta, Central Java: insights from the subsurface. *Rudarsko-geološko-Naftni Zbornik*, 36(4): 13. <https://doi.org/10.17794/rgn.2021.4.13>.
- Sarah, D., Soebowo, E., Sudrajat, Y., Satriyo, N.A., & Putra, M. H. Z. 2023. Mapping the environmental impacts from land subsidence hazard in Pekalongan City and its correlation with the subsurface condition. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1201: 012044. doi:10.1088/1755-1315/1201/1/012044.
- Sidiq, T. P., Adiwijaya, R. F., Nugroho, E.O., Gumilar, I., & Abidin, H. Z. 2023. Long term subsidence rate in Pekalongan city observed by SAR Interferometry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1276: 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1276/1/012014>
- Widada, S., Zainuri, M., Yulianto, G., Satriadi, A., & Wijaya, Y. J. 2020. Estimation of land subsidence using sentinel image analysis and its relation to subsurface lithology based on resistivity data in the coastal area of Semarang City, Indonesia. *Journal of Ecological Enineering*, 21: 47–56. <https://doi.org/10.12911/22998993/127394>
- Zainuri, M., Helmi, M., Novita, M. G. A., Kusumaningrum, H. P., & Koch, M. 2022. An improve performance of geospatial model to access the tidal flood impact on land use by evaluating sea level rise and land subsidence parameters. *Journal of Ecological Enineering*, 23: 1–11. <https://doi.org/10.12911/22998993/144785>.