

Analisis Spasial Area Genangan Banjir Rob Setelah Pembangunan Tanggul di Kabupaten Pekalongan, Jawa Tengah

Daffa Dinan Ihsani El-Fath*, Warsito Atmodjo, Muhammad Helmi, Sugeng Widada dan Baskoro Rochaddi

Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Sudarto, SH, Tembalang, Kota Semarang, Kode Pos 50275 Telp/fax (024) 7474698
*Email: dinan.daffa@gmail.com

Abstrak

Banjir rob merupakan bencana yang banyak terjadi di daerah pesisir Pulau Jawa, salah satunya Kabupaten Pekalongan yang diakibatkan karena adanya kenaikan muka laut dan penurunan muka tanah. Banjir rob di Kabupaten Pekalongan ini sudah dilakukan mitigasi yaitu dengan membangun tanggul setinggi 3 meter. Adanya kenaikan muka laut dan penurunan muka tanah menyebabkan tanggul ini akan tenggelam. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan analisa spasial area genangan rob tahun 2020 sampai 2030 setelah dibangunnya tanggul, dan memprediksi tanggul dapat menahan genangan rob sampai genangan tersebut melewati batas ketinggian dari tanggul dalam tahun 2020 sampai 2030. Data pengukuran ketinggian tanggul didapatkan menggunakan alat ukur meteran. Metode pengolahan data yang digunakan adalah metode least square untuk pengolahan pasang surut, metode regresi linier untuk pengolahan kenaikan muka air laut, metode InSAR untuk pengolahan data topografi muka tanah, metode DInSAR untuk pengolahan penurunan muka tanah, dan metode analisis spasial untuk mengetahui luas genangan banjir rob. Hasil data pengukuran ketinggian tanggul memiliki nilai antara 2,6 sampai 2,9 meter dengan nilai error sebesar 7,46%. Hasil pengolahan pasang surut didapatkan nilai HHWL sebesar 203,36 cm dan MSL sebesar 161,25 cm dengan tipe pasang surut condong harian ganda. Nilai kenaikan muka laut sebesar 6,81 mm/tahun. Nilai topografi muka tanah sebesar 0 sampai 5,96 meter. Nilai penurunan muka tanah sebesar 25,13 sampai 40,49 cm/tahun. Luas genangan banjir rob tahun 2020 sebesar 1081,93 hektar dan diprediksi semakin meluas menjadi 7389,47 hektar tahun 2030 dan tanggul diprediksi seluruhnya tenggelam.

Kata kunci: Banjir Rob, Kenaikan Muka Laut, Penurunan Muka Tanah, Tanggul Penahan Rob, Kabupaten Pekalongan

Abstract

Tidal flood is a disaster that often occurs in coastal areas of Java Island, one of which is Pekalongan Regency which is caused by sea level rise and land subsidence. This tidal flood in Pekalongan Regency has been mitigated, namely by building a 3 meter high embankment. The sea level rise and land subsidence causes this embankment to sink. The purpose of this study is to conduct a spatial analysis of the tidal inundation area in 2020 to 2030 after the construction of the embankment, and to predict that the embankment can withstand tidal inundation until the inundation passes the height limit of the embankment in 2021 until 2030. The measurement data of the embankment elevation is obtained using a measuring instrument. The data processing method used is the least square method for tidal processing, linear regression method for processing sea level rise, InSAR method for processing land surface topography data, DInSAR method for processing land subsidence, and spatial analysis method for knowing the area and area. tidal flood. The results of the embankment elevation measurement data have a value between 2.6 to 2.9 meters with an error value of 7.46%. The results of tidal processing obtained HHWL values of 203.36 cm and MSL of 161.25 cm with double daily inclined tides. The value of sea level rise is 6.81 mm/year. The topographic value of the land surface is 0 to 5.96 meters. The value of land subsidence is 25.13 to 40.49 cm/year. The area of the 2020 tidal flood inundation is 1081.93 hectares and is predicted to expand to 7389.47 hectares in 2030 and the embankment is predicted to sink entirely.

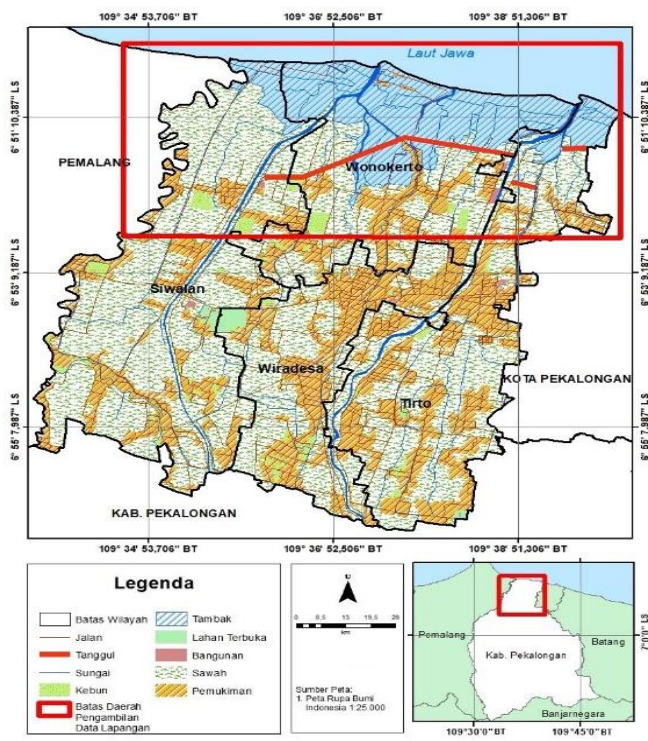
Keywords: Tidal Flood, Sea Level Rise, Land Subsidence, Tidal Flood Barrier, Pekalongan Regency.

PENDAHULUAN

Banjir rob merupakan suatu bencana yang yang terjadi di daerah pesisir yang diakibatkan karena adanya kenaikan muka air laut. Kenaikan rata-rata permukaan laut di pantai utara Jawa mencapai 6-10 milimeter per tahun (Kartika dan Helmi, 2019). Penurunan muka tanah juga menjadi salah satu faktor yang menyebabkan banjir rob (Nashrullah *et. al.*, 2013). Kabupaten Pekalongan terdiri dari empat wilayah kecamatan yaitu: Siwalan, Wonokerto, Tirto dan Wiradesa. Banjir rob di Kabupaten Pekalongan sudah dilakukan penanggulangan mitigasi yaitu dengan membangun tanggul setinggi 3 meter (Kartika dan Helmi, 2019). Namun adanya faktor penurunan muka tanah dan kenaikan muka laut, tanggul tersebut akan tenggelam.

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan analisa spasial area genangan rob tahun 2020 sampai 2030 setelah dibangunnya tanggul dan memprediksi tanggul dapat menahan genangan rob sampai genangan tersebut melewati batas ketinggian dari tanggul dalam tahun 2020 sampai 2030.

Penelitian ini mengkaji wilayah pesisir Kabupaten Pekalongan, Jawa Tengah dengan batasan wilayah 109° 34' 29,165" BT sampai 109° 40' 7,470" BT dan 6° 50' 13,560" LS sampai 6° 52' 42,645" LS (Gambar 1). Pengumpulan data lapangan dilakukan 2 kali, yaitu dilakukan selama 3 hari pada tanggal 2 November – 4 November 2020 di Kabupaten Pekalongan, Jawa Tengah, dan selama 3 hari pada 19 – 21 April 2021. Pengolahan dan analisis data dilakukan pada Desember 2020 hingga Juni 2021 di Laboratorium Pusat Kajian Mitigasi Bencana Pesisir dan Laut (CoREM), UPT Laboratorium Terpadu, Universitas Diponegoro, Semarang, Jawa Tengah.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

MATERI DAN METODE

Survei Pengamatan Ketinggian Tanggul

Survei pengamatan ketinggian tanggul dilakukan menggunakan meteran untuk menghitung ketinggian tanggul dari dasar permukaan tanah sebanyak 21 titik dan dikonversi menjadi raster dengan software ArcGIS yang kemudian digabungkan dengan raster topografi. Data survei ketinggian tanggul dilakukan validasi dengan data ketinggian tanggul dari Badan Perencanaan Pembangunan Wilayah Pekalongan tahun 2020 dengan metode Mean Absolute Percentage Error (MAPE) dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Nilai MAPE} = \frac{\sum (\frac{y-y'}{y})}{n} \times 100 \% \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

- y : Data ketinggian tanggul BAPPEDA
- y' : Data survei ketinggian tanggul
- n : Jumlah data survei

Survei Pengamatan Genangan Banjir Rob dengan Metode Wawancara Mendalam

Metode yang digunakan adalah dengan metode wawancara mendalam (*In-depth Interviewed*) (Adams dan Cox, 2008) yang digunakan sebagai validasi hasil analisa spasial genangan rob tahun 2020 sebanyak 43 titik di sekitar genangan rob berdasarkan hasil analisa spasial tersebut. Survei pengamatan genangan rob, dibagi menjadi 3 kriteria, yaitu titik aman dari genangan rob yang berarti daerah tersebut tidak terkena genangan banjir rob, titik yang tergenang rob yang berarti daerah tersebut masih terkena genangan banjir rob, dan titik genangan rob terjauh yang berarti merupakan batas terjauh genangan banjir rob tersebut dari garis pantai.

Pasang Surut dengan Metode Least Square

Metode analisis data pasang surut Badan Informasi Geospasial stasiun Pekalongan November 2020 menggunakan metode kuadrat terkecil (*Least Square*) (Hasibuan *et. al.*, 2015) dengan menggunakan program *ERGTide*, *ERGRAM*, dan *gERGELV* untuk menentukan komponen pasang surut, HHWL, LLWL, dan MSL. Komponen pasang surut digunakan untuk menentukan *formzahl* dan tipe pasang surut. Rumus *formzahl* sebagai berikut:

$$F = \frac{(AK1+AO1)}{(AM2+AS2)} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

- O1 : amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan
- K1 : amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik matahari
- M2 : amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan
- S2 : amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik matahari

Topografi Muka Tanah dengan Metode Interferometry SAR (InSAR)

Pengolahan data topografi muka tanah dilakukan di perangkat lunak *SNAP* dengan data Citra Sentinel 1-A SLC rekaman 29 September 2020 dan 11 Oktober 2020. Metode *InSAR* dilakukan untuk mendapatkan data *Digital Surface Model (DSM)* (Sunu *et. al.*, 2019), yang dilakukan validasi dengan titik tinggi survei lapangan tahun 2020 yang dilakukan oleh *MercyCorps* dengan cara diinterpolasi dengan metode *Topo to Raster* menghasilkan data *Digital Terrain Model (DTM)*. Hasil *raster* pengolahan topografi selanjutnya dilakukan penggabungan dengan *raster* hasil pengolahan data ketinggian tanggul.

Penurunan Muka Tanah dengan Metode Differential Interferometry SAR (DInSAR)

Pengolahan data penurunan muka tanah dilakukan di perangkat lunak *SNAP* dengan data Citra Sentinel 1-A SLC rekaman 17 Februari 2017 dan 22 September 2020. Hasil dari metode *DInSAR* dilakukan proses perhitungan laju penurunan muka tanah setiap tahun dengan *raster calculator* di perangkat lunak *ArcGIS 10.3* dengan rumus berikut:

$$\text{Kecepatan PMT} = \frac{\text{Nilai PMT} * 365}{\text{Selang waktu akuisisi pasangan citra (dalam hari)} \dots\dots\dots(3)$$

Kenaikan Muka Laut dengan Metode ROMS

Data yang digunakan merupakan data observasi wilayah dari CMEMS tahun 1993 – 2019 dan data proyeksi dari InaROMS pada koordinat 109° 34' 30" BT sampai 109° 40' 30" BT dan 6° 49' 30" LS sampai 6° 51' 30" LS dengan metode ROMS skrip *IndoSLR-VI.2*. Nilai kenaikan muka air laut setelah didapatkan, selanjutnya dilakukan perhitungan regresi linier dengan persamaan berikut:

$$y = ax + b \dots\dots\dots(4)$$

Nilai y variabel tak bebas yaitu tinggi muka air laut, x variabel bebas yaitu tahun ke i, a koefisien merupakan indikator kenaikan tinggi muka laut, dan b nilai konstanta persamaan.

Pemetaan Wilayah Genangan Rob Tahun 2020 dengan Metode *Spatial Analyst*

Proses pembentukan analisa spasial banjir rob dilakukan dengan menggunakan metode *Spatial Analyst* dengan perangkat *Raster Calculator* yang terdapat pada *software ArcGIS 10.3* (Marfai *et al.*, 2011) dengan persamaan berikut:

$$WD = \text{Con}(\text{Con}([DEM] \leq \text{Elevasi}, \text{Elevasi}), \text{Con}([DEM] \leq \text{Elevasi}, \text{Elevasi}) - [DEM], 0) \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:

- WD* : Kedalaman air genangan banjir rob
- DEM* : Data ketinggian tanah
- Elevasi* : HHWL – MSL

Hasil analisa spasial tersebut divalidasi dengan hasil survei genangan rob terjauh dengan metode *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)* dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Nilai MAPE} = \frac{\sum (\frac{y'}{y})}{n} \times 100 \% \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

- y* : Jarak survei genangan terjauh dari garis pantai
- y'* : Jarak survei genangan terjauh dari hasil analisa spasial genangan
- n* : Jumlah data survei

Pemetaan Prediksi Wilayah Genangan Rob Tahun 2021 – 2030 dengan Metode *Spatial Analyst*

Metode ini mengasumsikan bahwa penurunan muka tanah dan kenaikan muka air laut dianggap terjadi secara linier. Metode *Spatial Analyst* dilakukan dengan perangkat *Raster Calculator* yang terdapat pada *software ArcGIS 10.3* dengan rumus sebagai berikut:

$$WD = \text{Con}(\text{Con}([DEM-PMTt] \leq ((\text{HHWL-MSL}) + \text{SSHt}), ((\text{HHWL-MSL}) + \text{SSHt})), \text{Con}([DEM-PMTt] \leq ((\text{HHWL-MSL}) + \text{SSHt}) ((\text{HHWL-MSL}) + \text{SSHt}) - [DEM-PMTt], 0) \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan:

- WD* : Kedalaman air genangan banjir rob
- DEM* : Data ketinggian tanah
- PMTt* : Penurunan muka tanah tahun t
- SSHt* : *Sea Surface Height* tahun t

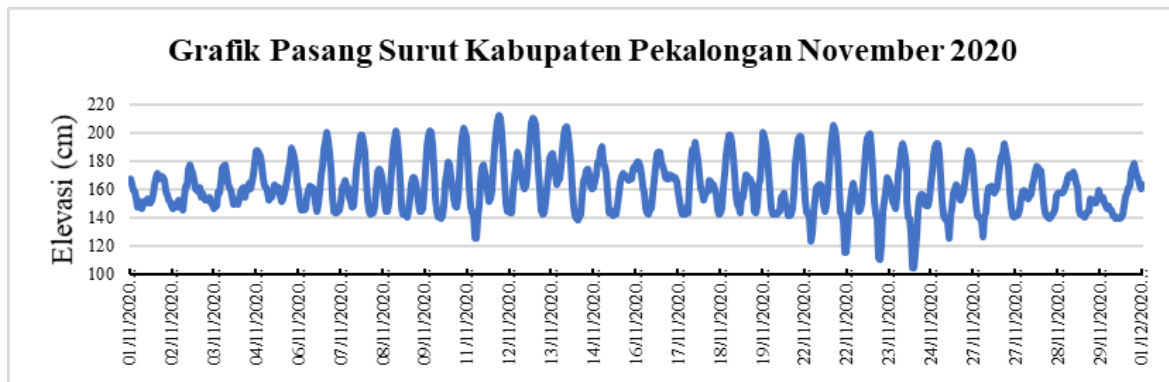
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pasang Surut

Kedudukan muka air MSL sebesar 1,61 m, HHWL sebesar 2,03 m, dan LLWL sebesar 1,26 m. Tipe pasang surut tersebut condong harian ganda dengan nilai *formzhal* sebesar 0,82. Hal ini diperkuat oleh Febriani *et al.*, (2017), yang mengatakan bahwa tipe pasang surut di Pekalongan adalah condong ke harian ganda (Gambar 2).

Tabel 1. Komponen pasang surut

	M₂	S₂	N₂	K₂	K₁	O₁	P₁	M₄
Amplitudo (cm)	12,56	8,71	5,66	3,62	13,8	3,9	4,94	0,67
Beda Fasa	-63,21	-53,67	247,65	-23,09	193,65	53,61	21,02	223,1



Gambar 2. Grafik pasang surut Kabupaten Pekalongan bulan November 2020

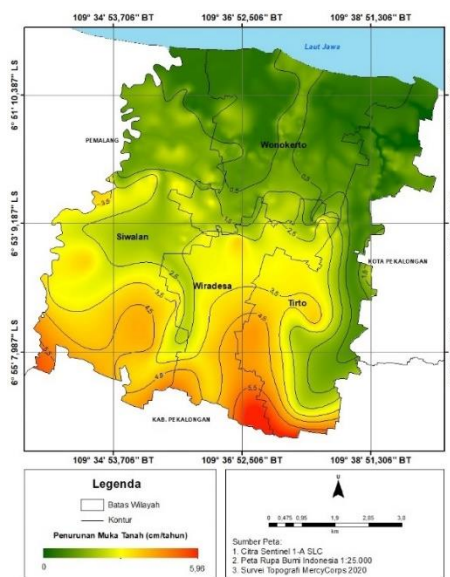
Topografi Muka Tanah

Kecamatan Siwalan memiliki topografi dengan elevasi muka tanah sekitar 0 sampai 4,47 meter, Kecamatan Wonokerto sekitar 0 sampai 2,12 meter, Kecamatan Tirto sekitar 0 sampai 5,13 meter dan Kecamatan Wiradesa sekitar 0,03 sampai 5,96 meter. Daerah pesisir memiliki elevasi muka tanah yang relatif rendah. Hal ini diperkuat oleh Iskandar *et. al.* (2020), yang mengatakan bahwa pada daerah pesisir Kabupaten Pekalongan memiliki nilai elevasi muka tanah yang relatif rendah.

Daerah pesisir di Kecamatan Wonokerto memiliki nilai elevasi muka tanah yang lebih tinggi dari daerah pesisir pada Kecamatan Siwalan dan Tirto, seperti yang terlihat pada peta topografi dengan perbedaan elevasi tersebut berkisar 0,5 – 1 meter. Hal ini dikarenakan pada pesisir Kecamatan Wonokerto masih terdapat pemukiman yang melakukan peninggian tanah. Hal ini diperkuat oleh Reviana dan Rudiarto (2020), bahwa masyarakat pesisir Kabupaten Pekalongan telah melakukan peninggian muka tanah untuk mencegah adanya genangan banjir rob. Elevasi topografi muka tanah tersaji pada Tabel 2 dan Gambar 3.

Tabel 2. Topografi Muka Tanah per Kecamatan

Kecamatan	Elevasi Muka Tanah (m)	Warna	Kontur (m)
Siwalan	0 - 4,47	Hijau – Merah	0,5 – 5,5
Wonokerto	0 - 2,12	Hijau – Kuning	0,5 – 1,5
Tirto	0 - 5,13	Hijau – Merah	0,5 – 5,5
Wiradesa	0,03 - 5,96	Kuning – Merah	1,5 – 5,5



Gambar 3. Kondisi topografi muka tanah

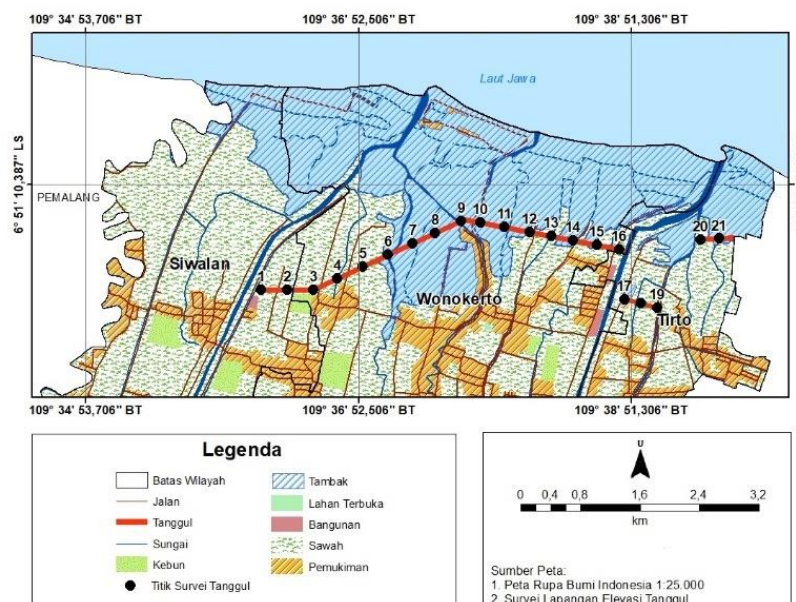
Ketinggian Tanggul

Hasil pengamatan ketinggian tanggul sebanyak 21 titik. Hasil pengamatan ketinggian tanggul divalidasi dengan data ketinggian tanggul dari BAPPEDA Pekalongan. Hal ini tersaji pada Tabel 3.

Tabel 3. Tabel titik ketinggian tanggul

Titik	Ketinggian (m)	Kecamatan	Koordinat X	Koordinat Y	Validasi (m)	Panjang (m)
1	2,9	Siwalan	109° 36' 9,783" BT	6° 51' 56,145" LS	3	487,5
2	2,9		109° 36' 21,193" BT	6° 51' 56,138" LS	3	
3	2,7		109° 36' 32,565" BT	6° 51' 56,130" LS	3	
4	2,9	Wonokerto	109° 36' 42,984" BT	6° 51' 51,295" LS	3	4663,28
5	2,8		109° 36' 54,129" BT	6° 51' 46,122" LS	3	
6	2,8		109° 37' 5,289" BT	6° 51' 40,942" LS	3	
7	2,8		109° 37' 15,951" BT	6° 51' 35,994" LS	3	
8	2,7		109° 37' 25,589" BT	6° 51' 31,521" LS	3	
9	2,6		109° 37' 37,118" BT	6° 51' 26,170" LS	3	
10	2,6		109° 37' 45,531" BT	6° 51' 26,929" LS	3	
11	2,7		109° 37' 55,841" BT	6° 51' 28,899" LS	3	
12	2,7		109° 38' 6,864" BT	6° 51' 31,006" LS	3	
13	2,8		109° 38' 16,235" BT	6° 51' 32,797" LS	3	
14	2,8		109° 38' 25,874" BT	6° 51' 34,639" LS	3	
15	2,9		Tirto	109° 38' 36,369" BT	6° 51' 36,645" LS	
16	2,9	109° 38' 46,032" BT		6° 51' 38,491" LS	3	
17	2,9	109° 38' 48,327" BT		6° 52' 0,266" LS	3	
18	2,8	109° 38' 55,341" BT		6° 52' 2,127" LS	3	
19	2,9	109° 39' 2,597" BT		6° 52' 4,053" LS	3	
20	2,6	109° 39' 21,380" BT		6° 51' 34,358" LS	3	
21	2,6	109° 39' 29,694" BT	6° 51' 33,849" LS	3		

Nilai *MAPE* survei ketinggian tanggul Kabupaten Pekalongan sebesar 7,46% dan menurut Maricar (2019) nilai ini dapat dikatakan sangat baik. Titik pengamatan ketinggian tanggul ditandai dengan titik berwarna hitam disertai dengan nomor titik, tersaji pada Gambar 4.



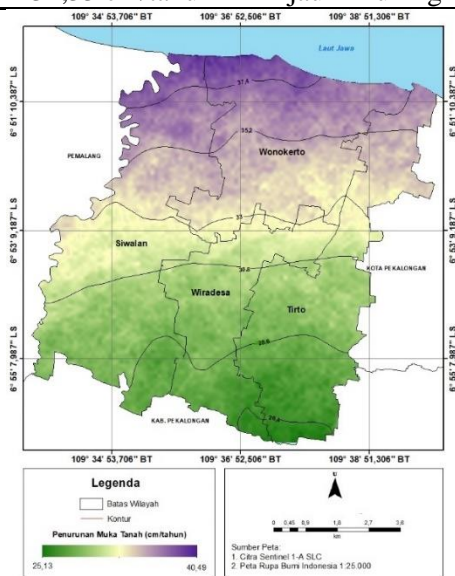
Gambar 4. Titik pengukuran ketinggian tanggul

Penurunan Muka Tanah

Kecamatan Siwalan memiliki nilai penurunan muka tanah 26,63 – 39,96 cm/tahun, Kecamatan Wonokerto sekitar 32,24 – 40,49 cm/tahun, Kecamatan Tirto sekitar 25,13 – 37,86 cm/tahun, dan Kecamatan Wiradesa memiliki nilai penurunan muka tanah sekitar 25,21 – 34,33 cm/tahun (Tabel 4). Penurunan muka tanah per tahun semakin mendekati ke daerah pesisir semakin besar. Penurunan muka tanah di Kabupaten Pekalongan disebabkan oleh jenis tanah di daerah tersebut berupa *alluvial* (Iskandar *et. al.*, 2020) yang merupakan lempung tanah muda dan mudah mengakibatkan permukaan tanah semakin turun (Khoirunisa *et al.*, 2015). Pola penurunan muka tanah semakin besar mengarah ke barat laut dari lokasi penelitian (Gambar 5). Hal ini dikarenakan jenis tanah alluvial yang berbeda-beda pada lokasi tersebut. Terdapat beberapa jenis tanah alluvial, yaitu alluvial kelabu tua, alluvial coklat kelabu, dan alluvial hidromorf (Dariah *et. al.*, 2004).

Tabel 4. Nilai Penurunan Muka Tanah per Tahun

Kecamatan	Penurunan Muka Tanah	Warna	Kontur
Siwalan	26,63 – 39,96 cm/tahun	Hijau – Ungu	28,6 – 37,4 cm/tahun
Wonokerto	31,43 – 40,49 cm/tahun	Kuning – Ungu	33 – 37,4 cm/tahun
Tirto	25,13 – 37,86 cm/tahun	Hijau – Ungu	26,4 – 35,2 cm/tahun
Wiradesa	25,21 – 34,33 cm/tahun	Hijau – Kuning	26,4 – 33 cm/tahun



Gambar 5. Penurunan muka tanah

Kenaikan Muka Laut

Didapatkan nilai elevasi muka air laut yang cenderung meningkat setiap tahunnya pada tahun 1993 sampai tahun 2019 seperti pada Tabel 5.

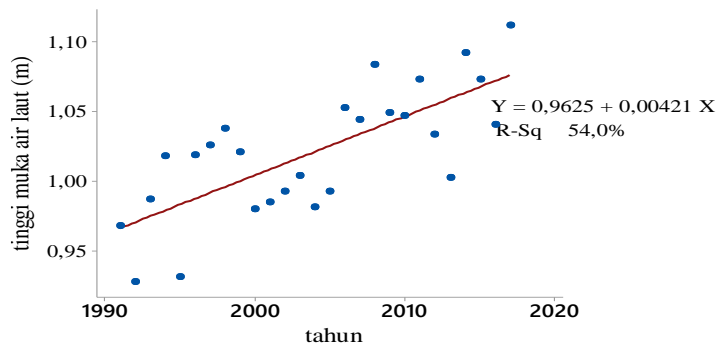
Tabel 5. Nilai Elevasi Muka Laut

Tahun	Elevasi Muka Laut (m)	Tahun	Elevasi Muka Laut (m)	Tahun	Elevasi Muka Laut (m)
1993	0,968	2002	0,98	2011	1,049
1994	0,928	2003	0,985	2012	1,047
1995	0,987	2004	0,993	2013	1,073
1996	1,018	2005	1,004	2014	1,034
1997	0,932	2006	0,982	2015	1,003
1998	1,019	2007	0,993	2016	1,092
1999	1,026	2008	1,053	2017	1,073
2000	1,038	2009	1,044	2018	1,041
2001	1,021	2010	1,084	2019	1,112

Hal ini diperkuat oleh Kartika dan Helmi (2019) yang mengatakan bahwa elevasi muka laut akan terus mengalami kenaikan setiap tahun akibat pemanasan global. Nilai regresi linier dari kenaikan muka laut adalah sebagai berikut:

$$Y = 0,00421 x - 0,9625 \dots \dots \dots (8)$$

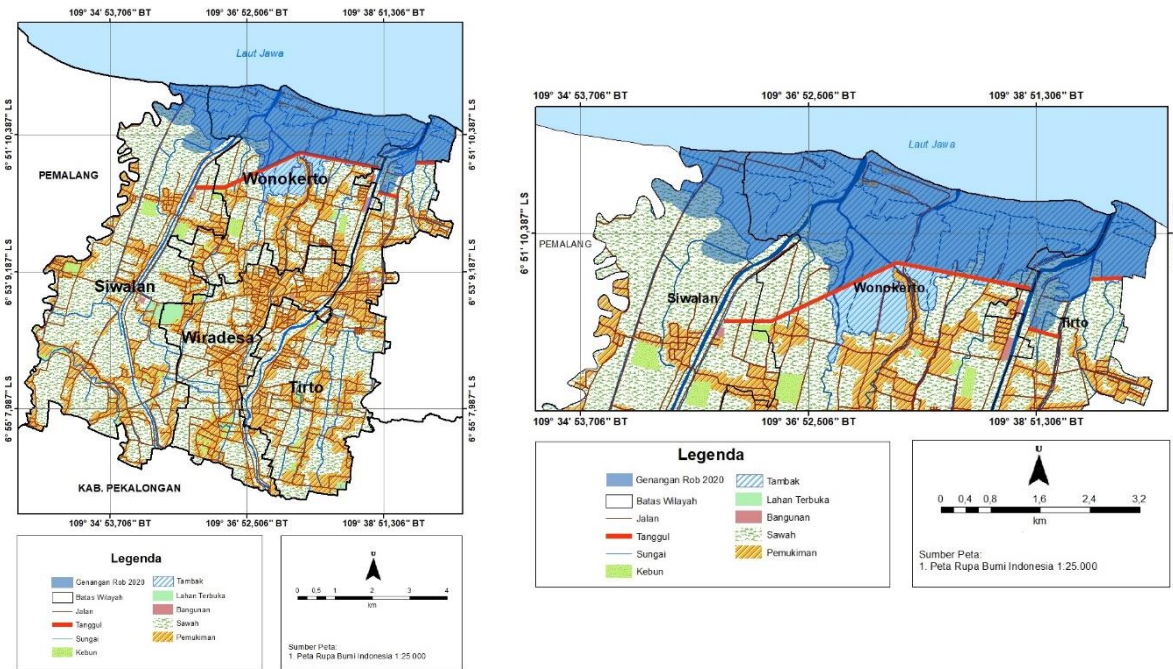
Nilai kenaikan muka air laut sebesar 0,00421 meter/tahun atau 4,21 mm/tahun. Menurut Iskandar *et. al.* (2020), kenaikan muka laut di perairan Laut Jawa Kabupaten Pekalongan sebesar 4,3 mm/tahun. Menurut Novita *et. al.* (2021), kenaikan muka laut pada daerah tersebut sebesar 3,8 mm/tahun. Grafik kenaikan muka air laut tahun 1993 – 2019 di Perairan Kabupaten Pekalongan tersaji pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik laju kenaikan muka air laut Kabupaten Pekalongan

Genangan Rob Tahun 2020

Luas genangan rob di Kabupaten Pekalongan adalah 1081,93 hektar. Luas genangan rob di Kecamatan Siwalan sebesar 169,62 hektar, Kecamatan Wonokerto sebesar 760,93 hektar, Kecamatan Tirto sebesar 151,38 hektar, dan Kecamatan Wiradesa belum tergenang oleh banjir rob. Genangan rob di Kecamatan Siwalan, Wonokerto, dan Tirto belum melewati ketinggian tanggul, yang artinya tanggul sepanjang 6147,01 meter belum tenggelam (Gambar 7 dan Tabel 6).



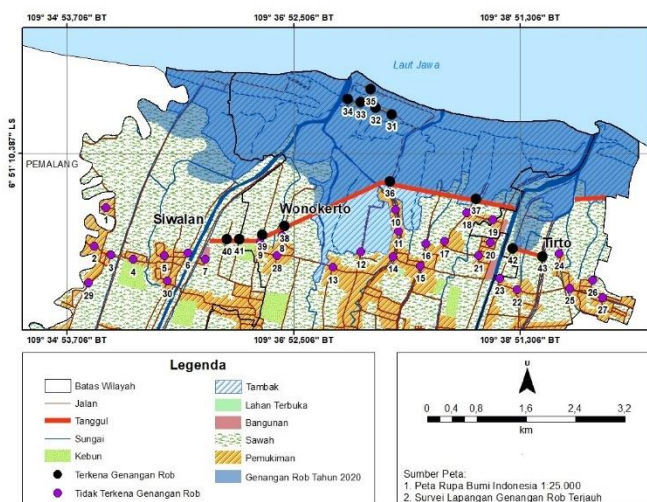
Gambar 7. Peta genangan banjir rob tahun dan tanggul terdampak genangan rob 2020

Tabel 6. Luas genangan rob 2020

Kecamatan	Luas Genangan (ha)	Luas Daerah (ha)	Panjang Tanggul Tenggelam (m)	Persentase Genangan Terhadap Luas Daerah (%)	
				Kecamatan	Kab. Pekalongan
Siwalan	169,62	2836,16	0	5,98	0,19
Wonokerto	760,93	2000,1	0	38,04	0,85
Tirto	151,38	2124,81	0	7,12	0,17
Wiradesa	0	1364,86	-	0	0
TOTAL	1081,93	8325,93	0	Persentase Total	1,21 %

Genangan Rob Terjauh

Hasil survei genangan rob didapatkan sebanyak 13 titik hasil survei masih tergenang oleh banjir rob. Dari 13 titik yang masih tergenang banjir rob, sebanyak 8 titik menjadi genangan rob terjauh. Berdasarkan peta titik yang masih tergenang oleh banjir rob ditandai dengan titik berwarna hitam, sedangkan titik yang aman dari genangan banjir rob ditandai dengan titik berwarna ungu, tersaji pada Gambar 8.



Gambar 8. Lokasi survei genangan banjir rob terjauh

Genangan rob terjauh diketahui sebanyak 8 titik. Genangan rob terjauh diukur jaraknya ke hasil analisa spasial genangan rob tahun 2020 tegak lurus dengan garis pantai. Hasil jarak tersebut tersaji pada Tabel 7.

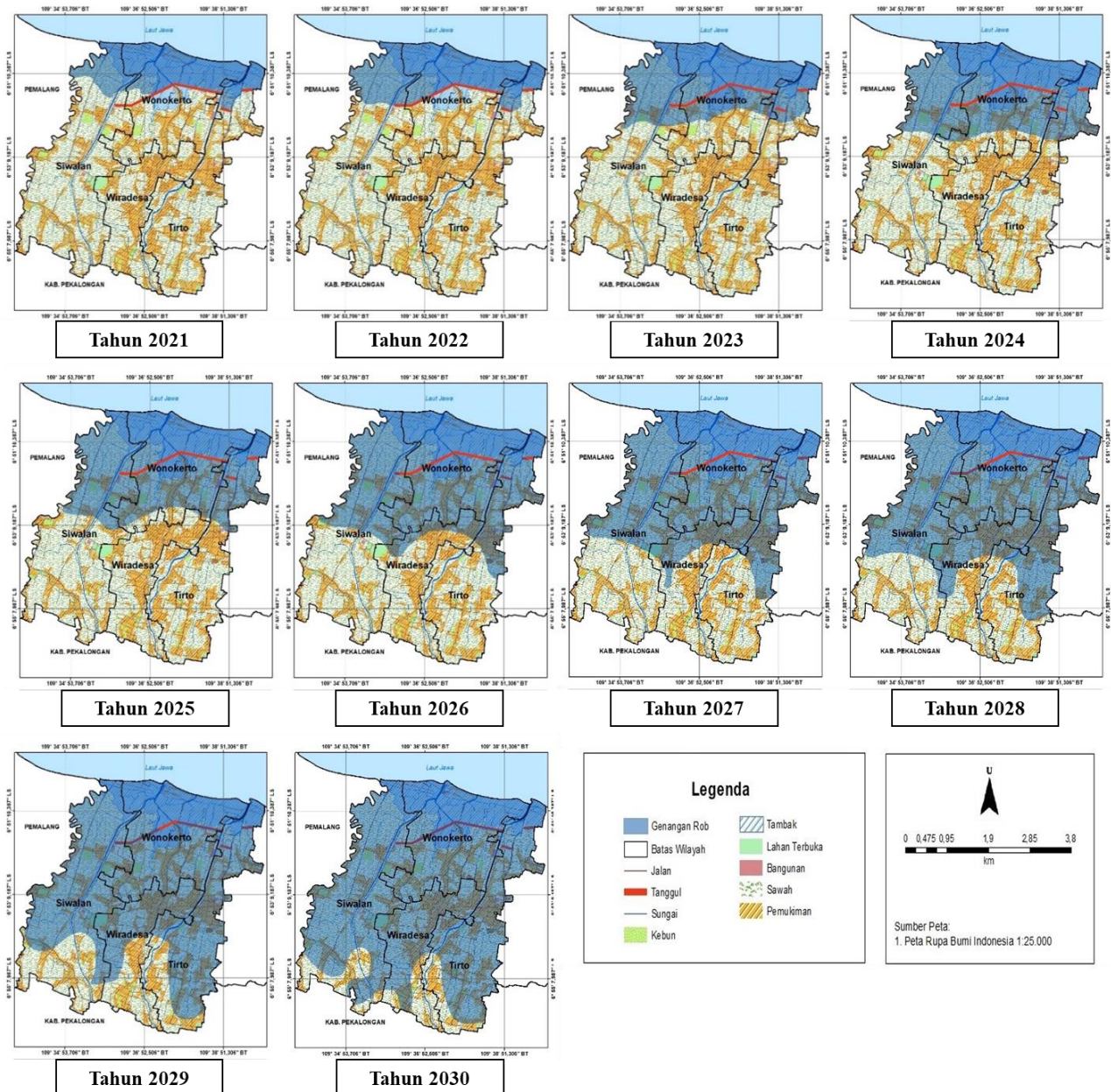
Tabel 7. Jarak genangan rob terjauh

Titik	Kecamatan	Jarak dari Genangan Rob	Jarak dari Garis Pantai	Titik	Kecamatan	Jarak dari Genangan Rob	Jarak dari Garis Pantai
36	Wonokerto	0 m	1291,22 m	40	Siwalan	1047,41 m	2740,41 m
37	Wonokerto	0 m	1268,38 m	41	Siwalan	1307,2 m	2744,45 m
38	Wonokerto	884,15 m	2557,59 m	42	Tirto	0 m	2182,14 m
39	Wonokerto	1253,27 m	2655,73 m	43	Tirto	1068,16 m	2089,87 m

Nilai *MAPE* dari hasil survei genangan rob terjauh sebesar 27,34 % dan menurut Maricar (2019) nilai ini dapat dikatakan baik. Hal ini disebabkan karena genangan rob terjauh pada hasil analisa spasial terletak di daerah tambak dan hasil survei genangan rob terjauh pada sekitar tanggul rob yang mengakibatkan kesulitan dalam membedakan antara genangan rob dan tambak. Hal ini juga disebabkan karena pada saat survei genangan rob terjauh, pada daerah sebelah utara dari tanggul tidak terjangkau dengan baik karena akses jalan yang sulit.

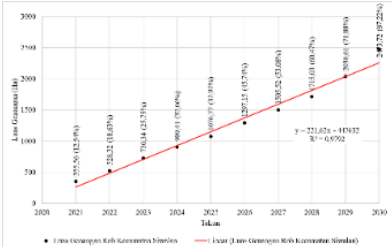
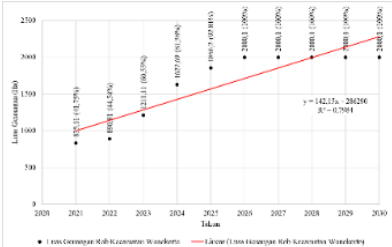
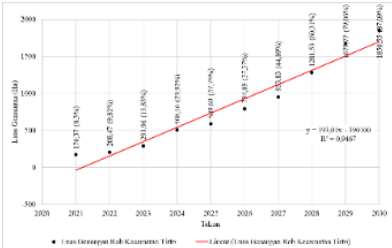
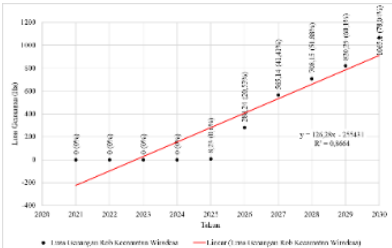
Prediksi Genangan Rob Tahun 2021 – 2030

Genangan rob di Kecamatan Siwalan bertambah dari 355,56 hektar pada tahun 2021 sampai 2473,72 hektar pada tahun 2030. Genangan rob di Kecamatan Wonokerto bertambah dari 835,11 hektar pada tahun 2021 sampai seluruh daerah Kecamatan Wonokerto tergenang rob sebesar 2000,1 hektar pada tahun 2026. Genangan rob di Kecamatan Tirto bertambah dari 176,37 hektar pada tahun 2021 sampai 1850,55 hektar pada tahun 2030. Genangan rob di Kecamatan Wiradesa bertambah dari 8,23 hektar pada tahun 2025 yang merupakan tahun pertama kecamatan tersebut mulai tergenang sampai 1065,1 hektar pada tahun 2030 (Gambar 9 dan Tabel 8).

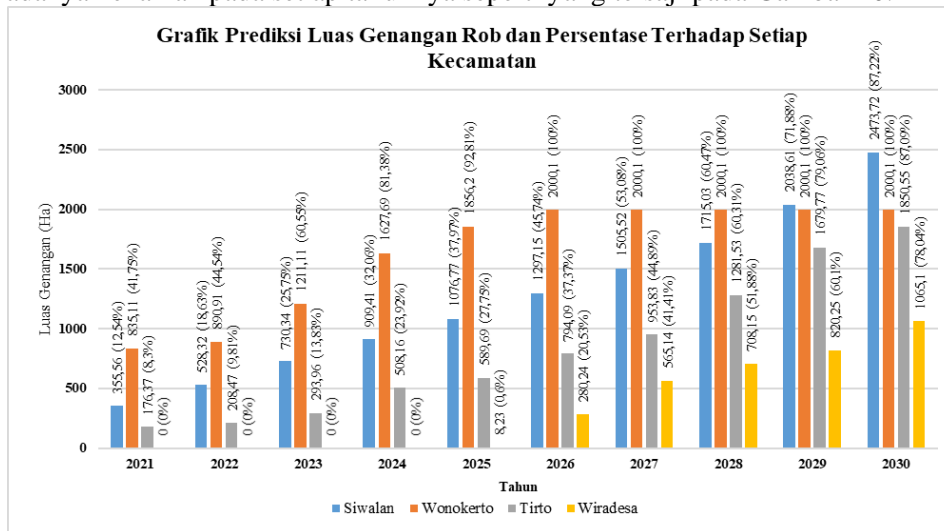


Gambar 9. Peta prediksi luas genangan rob 2021 – 2030

Tabel 8. Tabel Prediksi Luas Genangan Rob 2021 - 2030

Kecamatan	Tahun	Luas Genangan (Ha)	Persentase (%)		Regresi Linier
			Terhadap Kecamatan	Terhadap Kab. Pekalongan	
Siwalan	2021	355,56	12,54	0,4	 $y = 221,62x - 447632$ $R^2 = 0,9792$
	2022	528,32	18,63	0,59	
	2023	730,34	25,75	0,82	
	2024	909,41	32,06	1,02	
	2025	1076,77	37,97	1,21	
	2026	1297,15	45,74	1,45	
	2027	1505,52	53,08	1,69	
	2028	1715,03	60,47	1,92	
	2029	2038,61	71,88	2,28	
	2030	2473,72	87,22	2,77	
Wonokerto	2021	835,11	41,75	0,94	 $y = 142,15x - 286290$ $R^2 = 0,7984$
	2022	890,91	44,54	1	
	2023	1211,11	60,55	1,36	
	2024	1627,69	81,38	1,82	
	2025	1856,2	92,81	2,08	
	2026	2000,1	100	2,24	
	2027	2000,1	100	2,24	
	2028	2000,1	100	2,24	
	2029	2000,1	100	2,24	
	2030	2000,1	100	2,24	
Tirto	2021	176,37	8,3	0,2	 $y = 193,01x - 390100$ $R^2 = 0,9467$
	2022	208,47	9,81	0,23	
	2023	293,96	13,83	0,33	
	2024	508,16	23,92	0,57	
	2025	589,69	27,75	0,66	
	2026	794,09	37,37	0,89	
	2027	953,83	44,89	1,07	
	2028	1281,53	60,31	1,44	
	2029	1679,77	79,06	1,88	
	2030	1850,55	87,09	2,07	
Wiradesa	2021	0	0	0	 $y = 126,28x - 255431$ $R^2 = 0,8664$
	2022	0	0	0	
	2023	0	0	0	
	2024	0	0	0	
	2025	8,23	0,6	0,01	
	2026	280,24	20,53	0,31	
	2027	565,14	41,41	0,63	
	2028	708,15	51,88	0,79	
	2029	820,25	60,1	0,92	
	2030	1065,1	78,04	1,19	

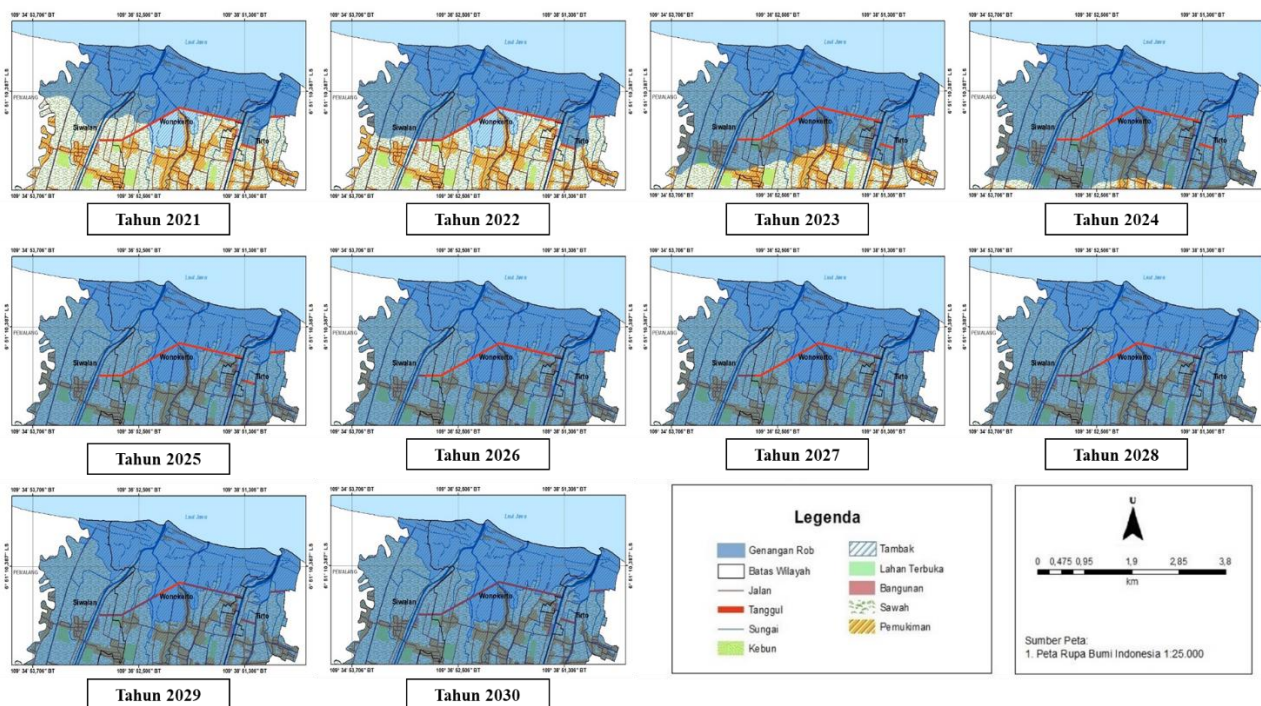
Grafik prediksi luas genangan rob dan persentase terhadap setiap kecamatan di Kabupaten Pekalongan menunjukkan adanya kenaikan pada setiap tahunnya seperti yang tersaji pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Prediksi Luas Genangan Rob beserta Persentase Terhadap Setiap Kecamatan di Kabupaten Pekalongan

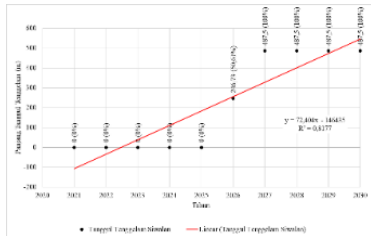
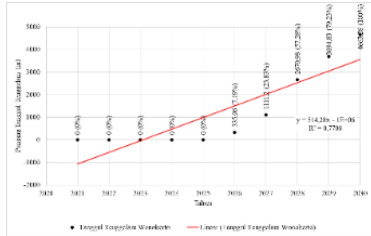
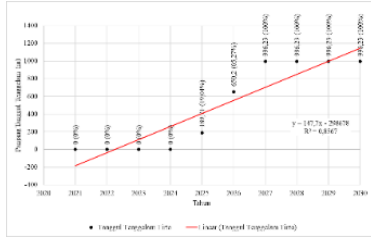
Prediksi Tanggul Terdampak Genangan Rob Tahun 2021 - 2030

Prediksi tanggul Kabupaten Pekalongan mulai tenggelam sepanjang 189,71 meter pada tahun 2025 sampai seluruhnya tenggelam sepanjang 6147,01 meter pada tahun 2030. Pada tahun 2026 tanggul di Kecamatan Siwalan mulai tenggelam sepanjang 246,73 meter dan pada tahun 2027 hingga 2030 tanggul tersebut seluruhnya tenggelam sepanjang 487,5 meter. Pada tahun 2026 tanggul di Kecamatan Wonokerto mulai tenggelam sepanjang 335,06 meter dan pada tahun 2030 tanggul tersebut seluruhnya tenggelam sepanjang 4663,28 meter. Pada tahun 2025 tanggul di Kecamatan Tirto mulai tenggelam sepanjang 189,71 dan pada tahun 2027 hingga 2030 tanggul tersebut seluruhnya tenggelam sepanjang 996,23 meter (Gambar 11 dan Tabel 9).

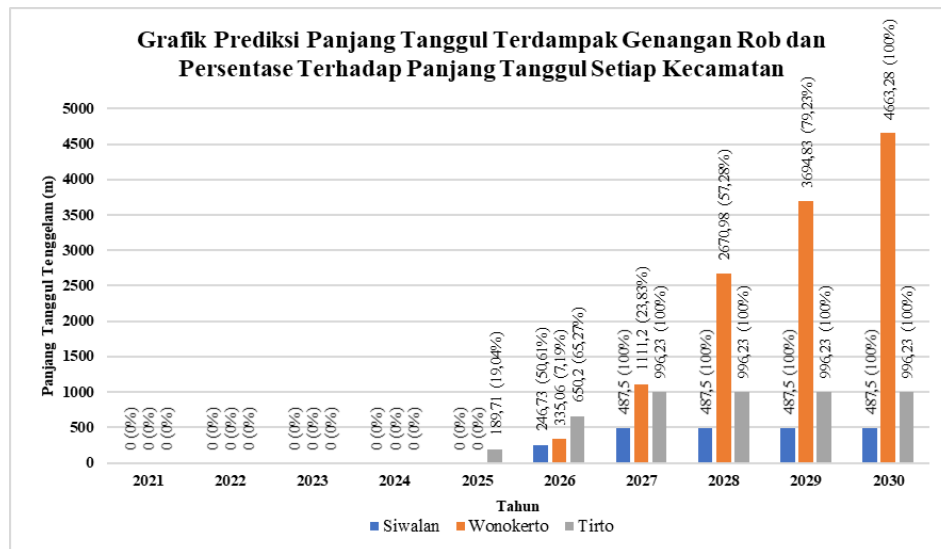


Gambar 11. Peta prediksi tanggul terdampak genangan rob 2021 – 2030

Tabel 9. Tabel prediksi tanggul terdampak genangan rob 2021 - 2030

Kecamatan	Tahun	Panjang Tanggul Total (m)	Panjang Tanggul Tenggelam (m)	Persentase Tanggul Tenggelam (%)	Regresi Linier
Siwalan	2021	487,5	0	0	 $y = 72,404x - 146435$ $R^2 = 0,8177$
	2022		0	0	
	2023		0	0	
	2024		0	0	
	2025		0	0	
	2026		246,73	50,61	
	2027		487,5	100	
	2028		487,5	100	
	2029		487,5	100	
	2030		487,5	100	
Wonokerto	2021	4663,28	0	0	 $y = 514,28x - 1E+06$ $R^2 = 0,7706$
	2022		0	0	
	2023		0	0	
	2024		0	0	
	2025		0	0	
	2026		335,06	7,19	
	2027		1111,2	23,83	
	2028		2670,98	57,28	
	2029		3694,83	79,23	
	2030		4663,28	100	
Tirto	2021	996,23	0	0	 $y = 147,7x - 298678$ $R^2 = 0,8567$
	2022		0	0	
	2023		0	0	
	2024		0	0	
	2025		189,71	19,04	
	2026		650,2	65,27	
	2027		996,23	100	
	2028		996,23	100	
	2029		996,23	100	
	2030		996,23	100	

Grafik prediksi tanggul terdampak genangan rob dan persentase terhadap panjang tanggul setiap kecamatan dan persentase terhadap panjang tanggul total Kabupaten Pekalongan menunjukkan adanya kenaikan pada setiap tahunnya seperti yang tersaji pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Prediksi Panjang Tanggul Terdampak Genangan Rob beserta Persentase Terhadap Panjang Tanggul Setiap Kecamatan di Kabupaten Pekalongan

KESIMPULAN

Luas genangan rob di Kabupaten Pekalongan terus bertambah dari 1081,93 hektar pada tahun 2020 sampai 7389,47 hektar pada tahun 2030. Genangan rob di Kecamatan Siwalan bertambah dari 169,62 hektar pada tahun 2020 sampai 2473,72 hektar pada tahun 2030, di Kecamatan Wonokerto bertambah dari 760,93 hektar pada tahun 2020 sampai seluruh daerah Kecamatan Wonokerto tergenang rob sebesar 2000,1 hektar pada tahun 2026, di Kecamatan Tirto bertambah dari 151,38 hektar pada tahun 2020 sampai 1850,55 hektar pada tahun 2030, dan di Kecamatan Wiradesa bertambah dari 8,23 hektar pada tahun 2025 sampai 1065,1 hektar pada tahun 2030.

Panjang tanggul mulai tenggelam karena genangan rob sepanjang 189,71 meter pada tahun 2025 sampai seluruhnya tenggelam sepanjang 6147,01 meter pada tahun 2030. Pada tahun 2026 tanggul di Kecamatan Siwalan mulai tenggelam sepanjang 246,73 meter dan pada tahun 2027 hingga 2030 tanggul tersebut seluruhnya tenggelam sepanjang 487,5 meter. Pada tahun 2026 tanggul di Kecamatan Wonokerto mulai tenggelam sepanjang 335,06 meter dan pada tahun 2030 tanggul tersebut seluruhnya tenggelam sepanjang 4663,28 meter. Pada tahun 2025 tanggul di Kecamatan Tirto mulai tenggelam sepanjang 189,71 dan pada tahun 2027 hingga 2030 tanggul tersebut seluruhnya tenggelam sepanjang 996,23 meter.

DAFTAR PUSTAKA

- Adams, A. and L. C. Anna. 2008. Questionnaires In-Depth Interviews and Focus Groups. Research Methods for Human Computer Interaction. Cambridge: Cambridge University Press.
- Dariah, A., Subagyo, C. Tafrakesnato dan S. Marwanto. 2004. Kepekaan Tanah Terhadap Erosi. Jakarta: Balitbangtan.
- Febriani, D. N., M. Helmi dan Hariyadi. 2017. Kajian Genangan Banjir Pasang di Kecamatan Pekalongan Utara, Kota Pekalongan. *Jurnal Oseanografi*. 6 (4): 579 – 587.
- Hasibuan, R. D., H. Surbakti dan R. Sitepu. 2015. Analisis Pasang Surut dengan Menggunakan Metode Least Square dan Penentuan Periode Ulang Pasang Surut dengan Metode Gumbel di Perairan Boom Baru dan Tanjung Buyut. *Maspari Journal*. 7 (1): 35 – 48.
- Iskandar, S. A., M. Helmi, Muslim, S. Widada, dan B. Rochaddi. 2020. Analisis Geospasial Area Genangan Banjir Rob dan Dampaknya pada Penggunaan Lahan Tahun 2020 -2025 di Kota Pekalongan Provinsi Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography*. 2 (3).

- Kartika, F. D. S. dan M. Helmi. 2019. Meta-Analysis of Community's Adaptation Pattern with Tidal Flood in Pekalongan City, Central Java, Indonesia. *E3S Web of Conferences*. 125.
- Khoirunisa, R., B. D. Yuwono dan A. P. Wijaya. 2015. Analisis Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Tahun 2015 Menggunakan Perangkat Lunak Gamit 10.5. *Jurnal Geodesi Undip*. 4 (4).
- Marfai, M. A., A. Cahyadi dan A. A. Kasbullah. 2011. Dampak Bencana Banjir Pesisir dan Adaptasi Masyarakat Terhadapnya di Kabupaten Pekalongan. Makalah dalam Pekan Ilmiah Tahunan Ikatan Geograf Indonesia.
- Maricar, M. A. 2019. Analisa Perbandingan Nilai Akurasi Moving Average dan Exponential Smoothing untuk Sistem Peramalan Pendapatan pada Perusahaan XYZ. *Jurnal Sistem dan Informatika*. 13 (2).
- Nashrullah, S., Aprijanto, J. M. Pasaribu, M. K. Hazarika dan L. Samarakoon. 2013. Study on Flood Inundation in Pekalongan, Central Java. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*. 10 (2): 76 – 83.
- Novita, M. G., M. Helmi, R. Widiaratih, Hariyadi dan A. Wirasatriya. 2021. Mengkaji Area Genangan Banjir Pasang Terhadap Penggunaan Lahan Pesisir Tahun 2020 Menggunakan Metode Geospasial di Kabupaten Pekalongan. *Indonesian Journal of Oceanography*. 3 (3): 14 – 26.
- Reviana, C. E. dan I. Rudiarto. 2021. Kajian Ketahanan Masyarakat yang Terdampak Banjir Rob di Wilayah Pesisir Kabupaten Pekalongan. *Teknik PWK (Perencanaan Wilayah Kota)*. 9 (4): 251-263.
- Sunu, H. A.; B. D. Yuwono; dan A. Suprayogo. 2019. Analisis Ketelitian DSM Kota Semarang dengan Metode InSAR Menggunakan Citra Sentinel-1. *Jurnal Geodesi Undip*. 8 (3).