

Pemodelan Spasial Genangan Banjir Akibat Kenaikan Genangan Air Laut (Rob) di Kota Padang

Arjun Suanda, Dwi Marsiska Driptufany*, Defwaldi, Fajrin, Ilham Armi

Teknik Geodesi, Institut Teknologi Padang

Abstrak: Beberapa daerah di Indonesia saat sekarang ini banyak yang berpotensi mengalami genangan akibat kenaikan muka air laut, salah satunya adalah Kota Padang. Kota Padang merupakan pusat administrasi dan kawasan utama penggerak ekonomi di Sumatera Barat. Secara topografi Kota Padang terdiri atas daerah pantai dan dataran rendah, sehingga naiknya permukaan air laut akan mengakibatkan sebagian daerah di pesisir Kota Padang yang tingginya hampir sama dengan permukaan laut diprediksikan akan tergenang. Untuk mengetahui serta melihat dampak kenaikan muka laut yang akan terjadi dilakukan dengan menggunakan pendekatan secara spasial. Penelitian ini menggunakan pendekatan spasial melalui pengolahan titik tinggi di lokasi pengamatan dan pengolahan data kedalaman laut untuk mendapatkan nilai harmonik pasang surut dari tahun 2021 sampai 2023, yang diolah menggunakan aplikasi MIKE21. Kemudian diolah untuk mendapatkan nilai rata-rata MSL (*Mean Sea Level*) serta nilai maksimum bulanan dan tahunan. Dalam pembuatan model genangan dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan $WD = Con (Con ("DEM" \leq "tinggi\ genangan" - 1, 0))$. Hasil yang didapat pada penelitian ini luas genangan eksisting akibat dari air pasang Kecamatan Padang Barat sebesar 12,229 hektar dengan tinggi genangan 0,749 meter, Kecamatan Padang Utara 831,1893 hektar dengan tinggi genangan 0,675 meter, dan Padang Selatan 831,1893 hektar dengan tinggi genangan 0,654 meter. Luas prediksi genangan pada tahun 2030 di Kecamatan Padang Barat mencapai 17,812 Ha, Kecamatan Padang Selatan 0,744 Ha, Padang Utara 18,877 Ha dan mengalami peningkatan pada tahun 2070 untuk kecamatan Padang Barat 27,515 Ha, Padang Selatan 1,368 Ha, dan Padang Utara 26,650 Ha.

Kata Kunci: SIG, MIKE21, Delft3D, Pasang Surut, Banjir Rob

DOI:

<https://doi.org/10.47134/aero.v1i2.2356>

*Correspondence: Dwi Marsiska

Driptufany

Email: dwidayana@gmail.com

Received: 28-03-2024

Accepted: 15-04-2024

Published: 30-04-2024



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-ShareAlike (CC BY SA) license (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

Abstract: Several areas in Indonesia today have the potential to experience inundation due to sea level rise, one of which is Padang City. Padang City is the center of administration and the main economic driver area in West Sumatra. Topographically, Padang City consists of coastal and lowland areas, so that rising sea levels will cause some areas on the coast of Padang City which are almost the same height as sea level are predicted to be inundated. To find out and see the impact of sea level rise that will occur, a spatial approach is used. This research uses a spatial approach through processing high points at the observation location and processing sea depth data to obtain harmonic tidal values from 2021 to 2023, which are processed using the MIKE21 application. Then processed to get the average value of MSL (*Mean Sea Level*) and the maximum monthly and annual values. In making the inundation model, calculations are carried out using the equation $WD = Con (Con ("DEM" \leq "inundation\ height" - 1, 0))$. The results obtained in this study are the existing inundation area due to tidal water in West Padang Subdistrict of 12.229 hectares with an inundation height of 0.749 meters, North Padang Subdistrict of 831.1893 hectares with an inundation height of 0.675 meters, and South Padang 831.1893 hectares with an inundation height of 0.654 meters. The predicted inundation area in 2030 in West Padang sub-district reached 17.812 Ha, South Padang sub-district 0.744 Ha, North Padang 18.877 Ha and increased in 2070 for West Padang sub-district 27.515 Ha, South Padang 1.368 Ha, and North Padang 26.650 Ha.

Keywords: SIG, MIKE21, Delft3D, Tidal, Rob Flooding

Pendahuluan

Banjir rob adalah gejala alam yang terjadi pada saat kondisi bulan penuh atau bulan purnama. Pada saat itu gaya gravitasi bulan terhadap bumi sangat kuat sehingga gerak air laut ke arah pantai lebih kuat ketimbang pada hari-hari biasa (Imam, 2022). Jadi dapat disimpulkan, rob adalah istilah untuk menyebut luberan air laut ke daratan ketika air laut pasang. Banjir rob menggenangi bagian daratan pantai atau bagian tempat yang lebih rendah dari muka air laut pasang tinggi (*high level water*) (Rasyda et al., 2015).

Menurut kepala BMKG Stasiun Klimatologi Maritim Teluk Bayur Padang, Syafrizal bahwasanya Ada dua daerah yang berpotensi terjadinya banjir rob yaitu pesisir Padang dan pesisir Kabupaten Pesisir Selatan. "Berdasarkan rekam kejadian sebelumnya, terdapat potensi rob di wilayah pesisir Kota Padang tepatnya di sekitar kawasan Padang Barat,". Dengan kutipan artikel tersebut maka alasan yang mendasari pengambilan lokasi penelitian di Kota Padang adalah, karena kota padang berpotensi mengalami genangan akibat kenaikan muka air laut, yang nantinya dapat menggenangi daerah pemukiman penduduk, dan tentunya dapat merugikan maupun mengganggu aktivitas di daerah yang tergenang tersebut, maka perlu adanya penelitian ini agar mengetahui daerah-daerah mana saja yang berpotensi tergenang supaya ada penanggulangan nantinya dari instansi terkait. Maka dari itu dilihat dari latar belakang di atas diperlukan adanya kajian kerentanan banjir rob di Kota Padang yang nantinya akan menghasilkan peta kerentanan banjir rob. Pada penelitian ini digunakan teknologi Sistem Informasi dan Geografis (SIG) untuk menganalisis dan menyajikan data. diharapkan dapat dijadikan acuan untuk mengetahui daerah yang paling rentan terkena banjir rob untuk merumuskan upaya mitigasi bencana banjir rob di wilayah pesisir Kota Padang sehingga dapat mengurangi dampak yang ditimbulkan akibat terjadinya bencana banjir rob di pesisir kota padang.

Penelitian dengan pembahasan banjir rob telah dilakukan oleh beberapa peneliti, diantaranya Syahputra (2016) tentang Kajian Kerentanan Wilayah Pesisir terhadap Kenaikan Muka Air Laut untuk Menentukan Upaya Adaptasi dan Mitigasi di Kabupaten Siduarjo. Penelitian ini menganalisa dampak kenaikan muka air laut terhadap fisik, lingkungan, dan ekonomi berdasarkan luas lahan yang tergenang. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Syafitri & Rochani (2021) tentang Analisis Penyebab Banjir Rob di Kawasan Pesisir. Banjir rob di kawasan pesisir menjadi permasalahan yang sangat susah untuk diselesaikan khususnya kota-kota besar Indonesia, penyebab dari terjadinya banjir rob hingga dampak yang di timbulkan bagi wilayah tergenang (Sagala et al., 2021; Shrestha et al., 2020; Sri Suharyo & Adrianto, 2018; Sanjaka et al., 2013;). Penyebab terjadi banjir rob di kawasan pesisir didominasi oleh penurunan muka tanah dan kenaikan muka air laut pada saat terjadi pasang surut air laut. Dampak yang ditimbulkan dari banjir rob sangat

merugikan masyarakat dan pemerintah (Mike et al., 2018; Rahmanto et al., 2018; Kalyanapu et al., 2009).

Perbedaan penelitian pada penelitian terdahulu adalah penelitian ini menggunakan pemodelan secara spasial menggunakan aplikasi Arcgis dan *MIKE21* dalam penerapan aplikasi *MIKE21* untuk mendapatkan nilai *survoace elevation* selanjutnya menggunakan bantuan aplikasi *Delft3D* sebagai analisis perhitungan pasang surut untuk memperoleh konstanta harmonik yaitu nilai amplitudo dan nilai kelambatan fase antara lain adalah *S*, *M2*, *S2*, *N2*, *K2*, *K1*, *O1*, *P1*, *M4*, *MS* untuk mencari nilai *HHWL*, *MSL*, dan *LLWL* serta tipe pasut pada wilayah perairan (Tanjung, 2016). Metode yang di gunakan pada pengaplikasiannya menggunakan metode *least square methods*, sehingga diperoleh konstanta harmonik pasang surut, tipe pasang surut dan kecenderungan kenaikan muka air laut (Pahleviannur, 2024; Kreibich, 2022; Rentschler, 2022; Wing, 2022). Setelah itu dilakukan prediksi kenaikan muka air laut yang kemudian hasilnya dijadikan acuan laju kenaikan muka laut rata-rata per tahun dan dijadikan sebagai input model genangan (Pahleviannur, 2024; Abedi, 2022; Islam, 2021; Tellman, 2021).

Sebagai perhitungan eksisting pasang surut per 40 tahun yaitu dari tahun 2030, dan 2070 (Pahleviannur et al., 2023). Sedangkan aplikasi Arcgis digunakan sebagai pemodelan banjir rob untuk mengetahui tinggi genangan dan luas genangan menggunakan *tools Raster calculator* untuk mempermudah perhitungan dalam pengolahan data pasang surut yang telah didapat sebelumnya sebagai acuan dalam pembuatan prediksi genangan pertahun, untuk selanjutnya data genangan yang telah didapat di *overlay* dengan data bangunan untuk mengetahui berapa rumah yang tergenang selama periode pasang surut per tahun (Pahleviannur et al., 2023; Bates, 2021; Merz, 2021; Nicholls, 2021; Zheng, 2021).

Maka dari itu tujuan dari penelitian ini adalah Memodelkan eksisting genangan, luas genangan dan kedalaman yang terdampak banjir rob, Mengidentifikasi banyak bangunan yang tergenang di kawasan pesisir pantai yang terdampak banjir rob, Memprediksi luasan genangan hingga tahun 2070.

Metode

A. Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan metode survei data sekunder dan primer. Survei data sekunder dalam penelitian ini adalah studi literatur dan koleksi data instansi terkait, data primer diperoleh dengan metode survei dan wawancara.

B. Pengolahan Data

1. Data Kedalaman Laut

Data tersebut diolah menggunakan aplikasi MIKE21 untuk menyimulasikan pasang surut, dalam pengolahannya menggunakan metode hidrodinamika yang dimana menggunakan perhitungan numerik untuk memodelkan simulasi muka air yang hasilnya berupa *Surface Elevation*, Analisa Harmonik data pasang surut pada penelitian ini selanjutnya di olah di *Software Delft3D* yang dimana aplikasi tersebut menganalisis data dengan perhitungan metode *least square* untuk mendapatkan nilai konstanta harmonik *M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, M4, MS* untuk mencari nilai *HHWL, MSL, dan LLWL* serta tipe pasut pada wilayah perairan. Yang selanjutnya nilai – nilai tersebut digunakan untuk mencari tinggi genangan dan prediksi genangan:

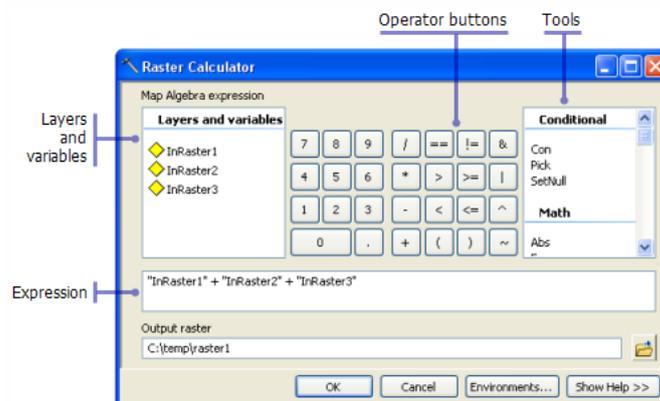
$$\text{Tinggi genangan 2023} = \text{HHWL 2023} - \text{MSL 2023} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Prediksi Genangan} = \text{Tinggi Genangan 2023} + (\text{kenaikan muka laut} * (\text{t1} - \text{t0})) \dots\dots(2)$$

Keterangan: t1 = Tahun awal, t0 = Tahun akhir

2. Data Spot Hight

Spot High diolah dari data ketinggian permukaan tanah yang diinterpolasi menggunakan metode kringing dengan alasan metode kringing dalam pengolahan memiliki nilai RMSE paling kecil dari pada metode interpolasi lain, jadilah data DEM yang untuk selanjutnya data hasil interpolasi di-*export* ke dalam bentuk *reaster* untuk dilakukan perhitungan nilai hasil interpolasi untuk pemodelan genangan menggunakan perhitungan metode *raster calculator*. Tampilan *interface raster calculator* seperti gambar di bawah ini:



Gambar 1. Ilustrasi *Raster Calculator*

yang dimana dalam formula dalam pembuatan genangan banjir rob yang di pakai seperti berikut:

$$\text{BanjirRob} = \text{CON}([\text{RasterDEM}] \leq [\text{PasangTertinggi}], 1, 0) \dots\dots\dots(3)$$

maka raster luasan banjir pasang akan muncul. Angka “1” pada raster menunjukkan daerah tergenang, sedangkan angka “0” menunjukkan daerah yang tidak tergenang banjir.

C. Identifikasi Bangunan Yang Terdampak Banjir Rob

Dalam penelitian ini, untuk mengetahui penggunaan bangunan mana saja yang terdampak banjir dan seberapa luasnya dilakukan dengan analisis *overlay* dengan metode *intersect*. Teknik analisis *overlay* dilakukan dengan cara meletakkan sebuah peta beserta seluruh atribut di dalamnya di atas sebuah peta lain untuk kemudian ditampilkan hasilnya. Untuk meng-*overlay* data dibutuhkan data poligon atau *vector* maka data *raster* Pemodelan banjir dikonversi ke *vector* terlebih dahulu, lalu ditempelkan dengan data *shp* bangunan maka nanti hasilnya berupa peta bangunan yang terdampak banjir rob. Peta yang dihasilkan diperoleh dengan operasi *add field* pada tiap indikator yang telah di-*overlay* dengan peta bangunan yang terdampak dan peta administratif.

D. Uji Validitas

Uji Validitas atau kesahihan adalah menunjukkan sejauh mana suatu alat ukur mampu mengukur apa yang ingin diukur. Suatu instrumen yang valid atau sah mempunyai validitas yang tinggi. Sebaliknya instrumen yang kurang valid berarti memiliki validitas rendah (Arikunto, 2017). Dalam melakukan uji Validitas hasil Estimasi Banjir Kota Padang dengan menggunakan uji validitas *r-square* dengan menggunakan rumus berikut ini:

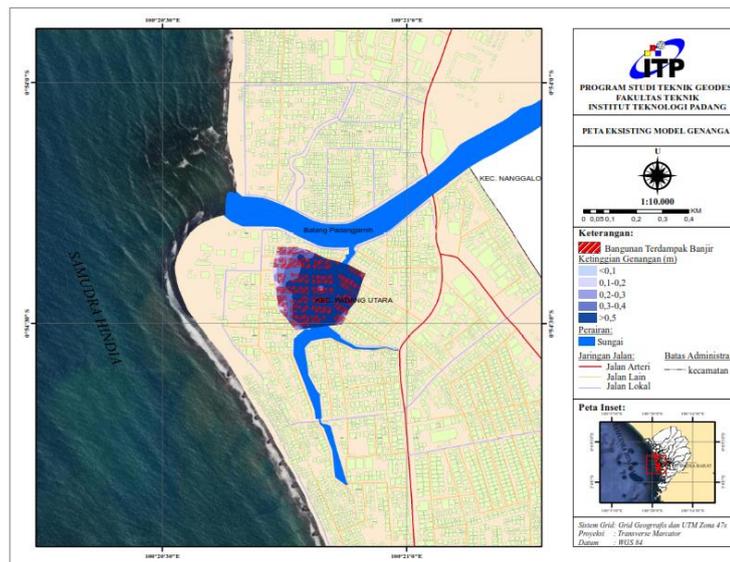
$$R\ Square = r^2 = \left(\frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n \sum x^2 (\sum x)^2] [n \sum y^2 (\sum y)^2]}} \right)^2 \dots\dots\dots (4)$$

Uji validitas dengan menggunakan perhitungan r-squared ini dilakukan untuk mengetahui tingkat validitas data hasil analisa banjir. Uji validitas dilakukan dengan membandingkan nilai Y (model/Prediksi) dengan X (Observasi/rill). Hasil uji validitas yang nilainya antara 0,6 – 1 maka data Valid.

Hasil dan Pembahasan

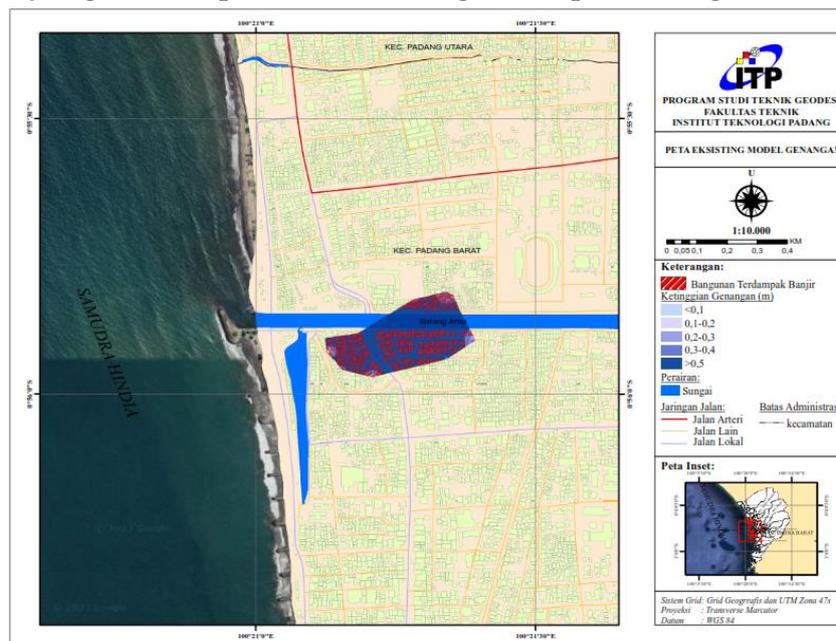
A. Hasil Sebaran Eksisting Genangan, Luas Genangan dan Tinggi Genangan Banjir Rob

Model genangan yang dibuat menggunakan asumsi bahwa selama periode nilai kenaikan muka air laut bersifat konstan dan pengaruh dari faktor lain diabaikan Berikut merupakan hasil genangan:



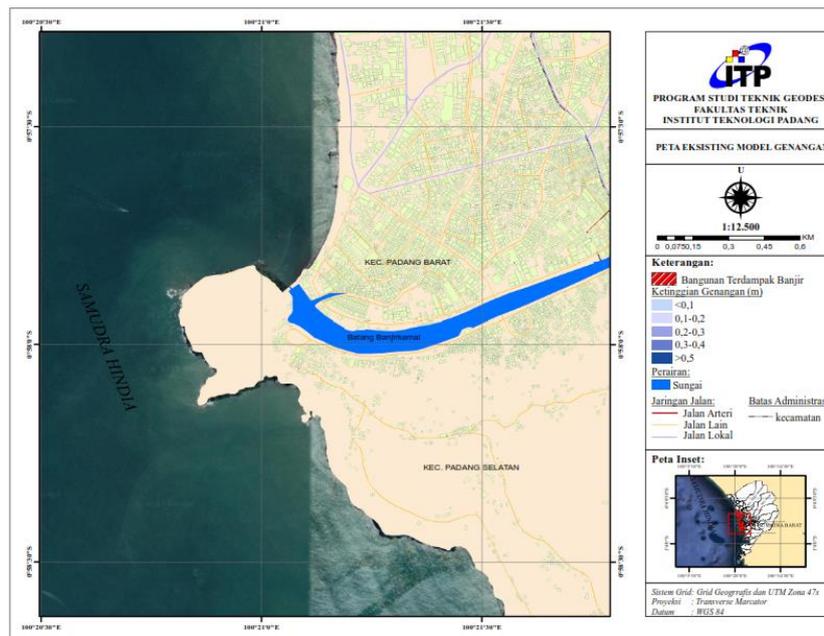
Gambar 2. Eksisting genangan, segmen 1(Padang Utara)

Dari gambar hasil di atas bahwa genangan banjir terjadi di wilayah hilir sungai Batang Padang di Kelurahan Ulak Karang Kecamatan Padang Utara dengan ketinggian genangan yang beragam, namun tinggi genangan yang lebih dari 50 centimeter disimbolkan dengan warna biru tua, tergolong lebih dominan yang hal ini disebabkan oleh saluran drainase yang terendap dan tidak mengalir ke pembuangan akhir air drainase.



Gambar 3. Eksisting genangan, segmen 2 (Padang Barat)

Dari gambar model di atas bahwa genangan banjir terjadi di wilayah hilir sungai Batang Arau di daerah Kelurahan Purus, Kecamatan Padang Barat dengan ketinggian genangan rata-rata lebih dari 50 centimeter.



Gambar 4. Eksisting genangan, segmen 3 (Padang Selatan)

Dari gambar di atas bahwa genangan banjir rob di hilir sungai Batang Banjir Kamal di Kelurahan Batang Arau, Kecamatan Padang Selatan tidak terjadi genangan akibat dari air pasang. Untuk total luas wilayah yang tergenang adalah 16,310 Ha atau 0.74% dari total 3 Kecamatan Penelitian di Kota Padang. Luas wilayah genangan eksisting didapat dari hasil pemodelan data eksisting yang diambil langsung kelapangan dengan menggunakan alat *Geodetic Titan* untuk mengetahui batas genangan yang pernah terjadi dengan mengambil koordinat batas genangan tersebut, berikut merupakan luas genangan eksisting dari hasil model gambar 3 sampai gambar 4 di atas.

Tabel 1. Luas genangan Eksisting

Kecamatan	Luas Wilayah (Ha)	Luas Genangan (Ha)	% Luas Genangan
Padang Utara	831.1893	8.068	0.97%
Padang Barat	554.473	8.242	1.49%
Padang Selatan	831.1893	0	0.00%

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa untuk di wilayah Padang Barat dengan luasan administrasi 554,473 Ha, yang tergenang banjir rob mencapai 8.242 Ha atau 1,49%, untuk wilayah Padang Utara dengan luasan administrasi 831.190 Ha, yang tergenang banjir rob seluas 8.068 Ha atau 0.97%, dan Padang Selatan dengan luas wilayah administrasi 831.1894 Ha di wilayah tersebut tidak terdapat banjir rob.

B. Hasil Bangunan Eksisting Terdampak Banjir Rob

Bangunan terdampak banjir rob didapat dari hasil *overlay* bangunan dengan luas genangan yang terdampak banjir rob pada Kecamatan penelitian. Berikut merupakan hasil bangunan terdampak banjir rob pada Kecamatan Padang Utara.

Tabel 2. Bangunan Terdampak Banjir Kec. Padang Utara

Padang Utara					
Tinggi Genangan (m)	<0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	>0,5
Banyak Bangunan Tergenang	0	18	72	107	262
Total Bangunan	823				

Dari tabel 2 di atas bahwa genangan banjir yang terjadi di wilayah hilir sungai Batang Padang di Kelurahan Ulak Karang Kecamatan Padang Utara dengan ketinggian kurang dari 0,1 m tidak ada bangunan yang tergenang, dan terdapat 18 bangunan yang terdampak banjir dengan ketinggian genangan 0,1 sampai 0,2 meter, 72 bangunan yang terdampak banjir dengan ketinggian genangan 0,2 sampai 0,3 meter, 107 bangunan terdampak banjir dengan tinggi genangan 0,3 sampai 0,4 meter, dan terdapat 262 bangunan terdampak banjir rob dengan ketinggian genangan lebih dari 0,5 meter atau 50 centimeter yang naik sampai ke bangunan warga.

Tabel 3. Bangunan Terdampak Banjir Kec. Padang Barat

Padang Barat					
Tinggi Genangan (m)	<0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	>0,5
Banyak Bangunan Tergenang	1	3	10	45	225
Total Bangunan	284				

Dari tabel 4.3 di atas bahwa genangan banjir yang terjadi di wilayah hilir sungai Batang Arau di Kelurahan Purus Atas Kecamatan Padang Utara dengan ketinggian kurang dari 0,1 m terdapat 1 bangunan yang tergenang, dan terdapat 3 bangunan yang terdampak banjir dengan ketinggian genangan 0,1 sampai 0,2 meter, 10 bangunan yang terdampak banjir dengan ketinggian genangan 0,2 sampai 0,3 meter, 45 bangunan terdampak banjir dengan tinggi genangan 0,3 sampai 0,4 meter, dan terdapat 225 bangunan terdampak banjir rob dengan ketinggian genangan lebih dari 0,5 meter atau 50 centimeter yang naik sampai ke bangunan warga.

Selanjutnya data eksisting digunakan sebagai pendekatan simulasi tahun 2021 hingga 2023 dalam menentukan genangan prediksi hingga tahun 2070 dengan analisis pasang surut yang mana hasil pasang surut dapat dipaparkan pada poin-poin di bawah:

1. Harmonik Pasang Surut

Data pasang surut air laut harian yang didapat dari pengolahan MIKE21 selama tahun 2021-2023, data diambil pada tiga titik pengamatan yaitu:

Tabel 4. Titik Pengamatan Pengambilan Data Pasang Surut

Titik Pengamatan	Lintang	Bujur
Padang Barat	0° 55' 47.028" S	-100° 20' 45.456" W
Padang Utara	0° 54' 12.276" S	-100° 20' 12.689" W
Padang Selatan	0° 57' 37.814" S	-100° 20' 40.517" W

Data pasang surut kemudian diolah menggunakan *software Delf3D* untuk memperoleh konstanta harmonik yaitu nilai amplitudo antara lain adalah S_0, M_2, S_2, K_1, O_1 nilai amplitudo berikut merupakan nilai yang umum digunakan dalam perhitungan selama 1 siklus pasang surut untuk mencari nilai HHWL, MSL, dan LLWL serta tipe pasut pada wilayah perairan Kota Padang. Hasil pengolahan data pasang surut diperoleh nilai konstanta harmonik pasang surut berdasarkan tiga titik lokasi pengamatan perhitungan konstanta harmonik pasut dan hasil perhitungan sebagai berikut:

Tabel 5. Konstanta Harmonik Pasut 2021 Padang Barat

	<i>MSL</i>	<i>K1</i>	<i>O1</i>	<i>M2</i>	<i>S2</i>
A (m)	0,00184	0,145	0,045	0,342	0,148

$$F = \frac{O_1 + K_1}{M_2 + S_2} = \frac{0,045 + 0,145}{0,342 + 0,148} = 0,387755102 \text{ (Campuran ganda)}$$

Dimana nilai MSL adalah 0,0018404m

$$\begin{aligned} \text{HHWL} &= \text{MSL} + A (K_1 + O_1 + M_2 + S_2) \\ &= 0,00184 + (0,145 + 0,045 + 0,342 + 0,148) \\ &= 0,7768404 \end{aligned}$$

Dengan nilai formzhal yang didapat di atas maka tipe pasut pada titik pengamatan padang barat dengan nilai 0,387755102 yang artinya $0,25 < F < 1,5$ merupakan tipe campuran ganda yang dimana terjadi 2 x pasang sehari dengan perbedaan tinggi dan interval yang berbeda. Berikut merupakan hasil perhitungan konstanta harmonik dari tiga titik lokasi pengamatan pasut:

Tabel 6. Konstanta harmonik pasang surut 2021 - 2023

Kecamatan	Tahun	Amplitudo (m)				
		<i>MSL</i>	<i>K1</i>	<i>O1</i>	<i>M2</i>	<i>S2</i>
Padang Barat		0,0018	0,145	0,045	0,342	0,148
Padang Selatan	2021	0,0056	0,144	0,077	0,348	0,154
Padang utara		0,0099	0,14	0,062	0,318	0,138
Padang Barat		0,0044	0,155	0,079	0,355	0,169
Padang Selatan	2022	0,0004	0,152	0,076	0,356	0,165
Padang utara		0,0005	0,154	0,076	0,36	0,168
Padang Barat		0,0079	0,152	0,09	0,339	0,168
Padang Selatan	2023	0,018	0,138	0,052	0,324	0,14
Padang utara		0,0124	0,135	0,061	0,342	0,137

Pada tabel di atas dapat ditarik kesimpulan bahwasanya pasang surut di kecamatan penelitian rata-rata muka air laut (MSL) sangat bervariasi setiap tahunnya, rata – rata muka air laut tertinggi ada pada Padang Utara dengan nilai 0,0124 m pada tahun 2023 serta yang terendah di Padang Selatan dengan nilai 0,0004 m pada tahun 2022. Dan komponen konstanta harmonik sangat dipengaruhi oleh nilai M2. Yang berarti disebabkan oleh bulan pada setiap tahunnya. Selanjutnya dari nilai konstanta harmonik mencari tipe pasang surut (Formzahl), hasil tipe pasang surut dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut:

Tabel 7. Tipe Pasang Surut

	Tipe pasut		
	2021	2022	2023
Padang Barat	0,38776	0,44656	0,47732
Padang Selatan	0,44024	0,43762	0,40948
Padang Utara	0,44298	0,43561	0,40919

Dilihat dari tabel di atas bahwasanya rata-rata tipe pasang surut di lokasi penelitian adalah tipe pasang surut campuran ganda yang dimana nilai bentuknya adalah $0,25 < F < 1,5$ fenomena terjadi dua kali pasang sehari dengan perbedaan tinggi dan interval yang berbeda.

2. Hasil Highest High Level (HHWL)

Perhitungan air tertinggi dimaksudkan untuk menentukan tinggi genangan dengan pengurangan air tertinggi (HHWL) dikurang dengan rata-rata muka air (MSL), hasil tinggi genangan dapat dilihat pada tabel 7 di atas, contoh perhitungan air tertinggi atau pasang air dapat dilihat pada poin (a). Berikut merupakan tabel serta hasil perhitungan HHWL:

Tabel 8. Hasil Highest High Water Level (m)

Tahun	2021	2022	2023
Padang Barat	0,68184	0,76237	0,75695
Padang Selatan	0,72864	0,74937	0,67196
Padang Utara	0,66785	0,76344	0,68742

Dari gambar di atas dapat diketahui air tertinggi atau air pasang terjadi pada tahun 2023 di kecamatan padang barat dengan nilai 0.757 m, maka dari itu untuk wilayah padang barat nilai ini nantinya digunakan dalam perhitungan prediksi kenaikan genangan laut untuk mengetahui tinggi genangan hingga tahun 2070.

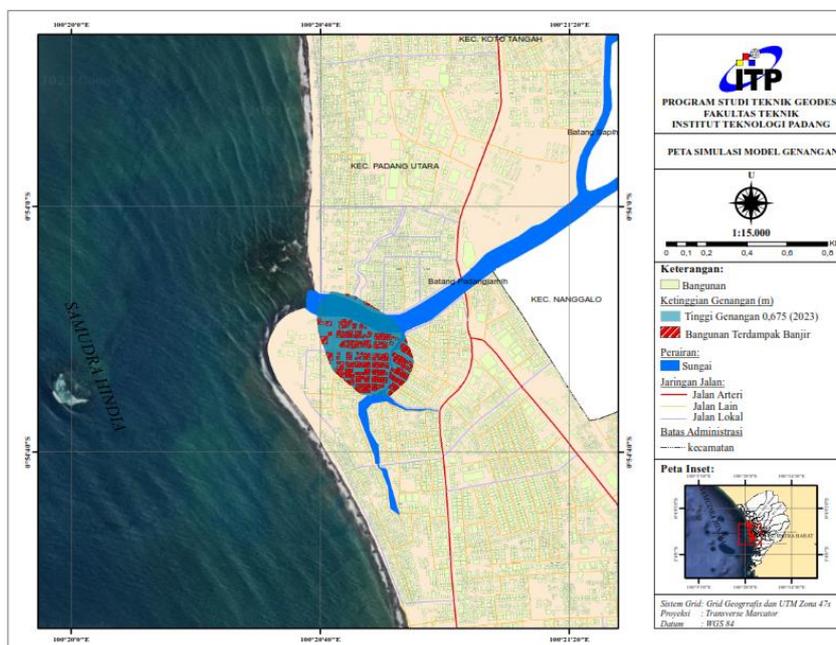
3. Tinggi Genangan

Tinggi genangan di kota padang dalam 3 tahun terakhir sangat bervariasi dengan rata-rata tinggi genangan yaitu 0,7112 m atau 71,120 cm, Berikut tabel dan grafik tinggi genangan eksisting dari tahun 2021 - 2023 di kecamatan penelitian:

Tabel 9. Tinggi Genangan

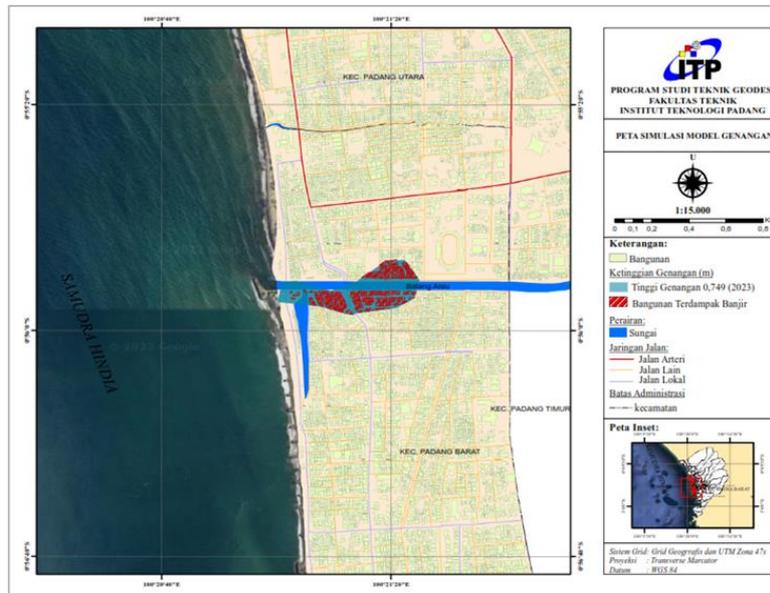
Tinggi Genangan (m)			
	2021	2022	2023
Padang Barat	0,6800	0,7580	0,7490
Padang Selatan	0,7230	0,7456	0,6540
Padang Utara	0,6580	0,7580	0,6750

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa genangan tertinggi terjadi pada tahun 2022 di Kecamatan Padang Barat dan Padang Utara dan Padang Selatan dengan tinggi genangan yang sama mencapai 0,7580 m dan yang terendah pada tahun 2021 di Kecamatan Padang Utara dengan ketinggian mencapai 35,8 cm. selanjutnya data hasil genangan dibuatkan model genangan tahun acuan yaitu tahun 2023 nantinya sebagai perhitungan validasi untuk wilayah eksisting genangan yang terdampak akibat dari kenaikan muka air laut. Berikut merupakan hasil *Tools Raster Calculator* sebagai model simulasi genangan pada Tahun 2023:



Gambar 5. Simulasi Genangan Segmen1 (Padang Utara Tahun 2023)

Dari gambar di atas didapat dari model simulasi genangan menggunakan *Tools Raster Calculator* dalam penulisannya dapat dilihat pada rumus (5) di atas. Diketahui dari gambar di atas model genangan yang dibuat menggunakan asumsi bahwa selama periode nilai kenaikan muka air laut bersifat konstan dan pengaruh dari faktor lain diabaikan. Tinggi genangan pada Tahun 2023 pada Kecamatan Padang Utara mencapai 0,675 dengan banyak bangunan yang terdampak banjir sebanyak 439 bangunan, dengan luasan dapat dilihat pada tabel 10 di bawah:



Gambar 6. Simulasi Genangan Segmen2 (Padang Barat tahun 2023)

Diketahui dari gambar di atas model genangan yang dibuat menggunakan asumsi bahwa selama periode nilai kenaikan muka air laut bersifat konstan dan pengaruh dari faktor lain diabaikan. Tinggi genangan pada Tahun 2023 pada Kecamatan Padang Barat mencapai 0,749 dengan banyak bangunan yang terdampak banjir sebanyak 304 bangunan, dengan luasan dapat dilihat pada tabel 10 di bawah:



Gambar 7. Simulasi Genangan Segmen3 (Padang Selatan tahun 2023)

Dari gambar di atas Tinggi genangan pada tahun 2023 pada Kecamatan Padang Selatan mencapai 0,654 dan tidak ada bangunan yang terdampak banjir akibat dari kenaikan muka air laut (Rob) dengan luasan dapat dilihat pada tabel 4.10 di bawah:

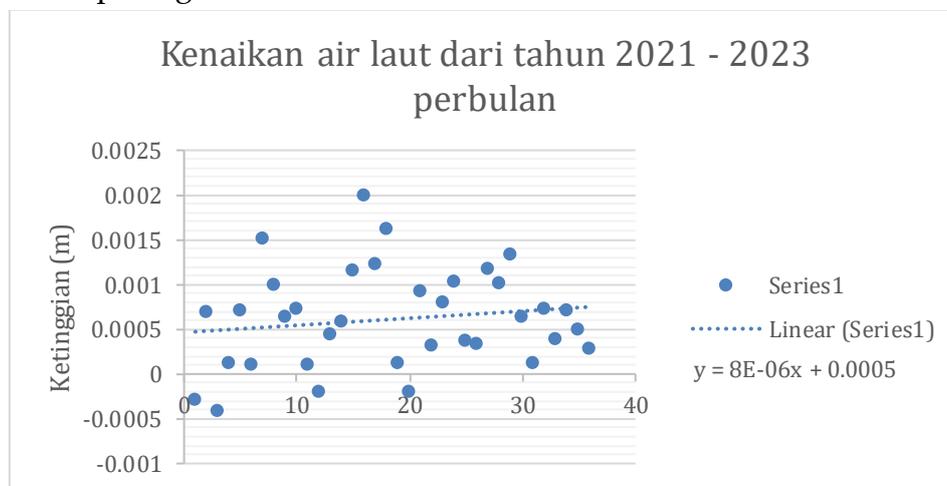
Tabel 10. Luas Model Genangan Simulasi Tahun 2023

Kecamatan	Luas Wilayah (Ha)	Luas Genangan (Ha)	% Luas Genangan
Padang Utara	831,1893	17,387	2,09%
Padang Barat	554,473	12,243	2,21%
Padang Selatan	831,1893	-	0,00%
Total	2216,852	29,615841	1,3%

Pada tabel di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa luas genangan akibat dari naiknya muka air laut ke daratan yang paling terdampak yaitu padang utara dengan luasan genangan mencapai 17,387 hektar atau 2,09% dari total luas Kecamatan Padang Utara, Kecamatan Padang Barat dengan luasan kecamatannya mencapai 554,473 hektar dengan luasan yang tergenang akibat dari naiknya muka air laut mencapai 12,243 hektar, untuk Kecamatan Padang Selatan tidak terdapat model genangan di wilayah tersebut dikarenakan tinggi genangan pada Kecamatan tersebut masih tergolong rendah yaitu 0,564 meter.

C. Prediksi Genangan

Prediksi genangan dengan menggunakan tren dari tinggi kenaikan muka air laut dalam 3 tahun terakhir diambil dengan nilai per bulan, Metode proyeksi yang digunakan adalah metode proyeksi menggunakan rumus excel. Grafik kenaikan muka air laut rata-rata dapat dilihat pada gambar 8 berikut:

**Gambar 8.** Grafik Kenaikan Muka Air Laut Perbulan

Berdasarkan gambar di atas diperoleh rumus rata-rata regresi linier berganda yang dimana $y = 8E-06x + 0,0005$. Dengan x menyatakan tahun yang pasutnya akan diprediksi, sedangkan y sebagai ketinggian MSL pada tahun yang bersangkutan. Maka diperoleh

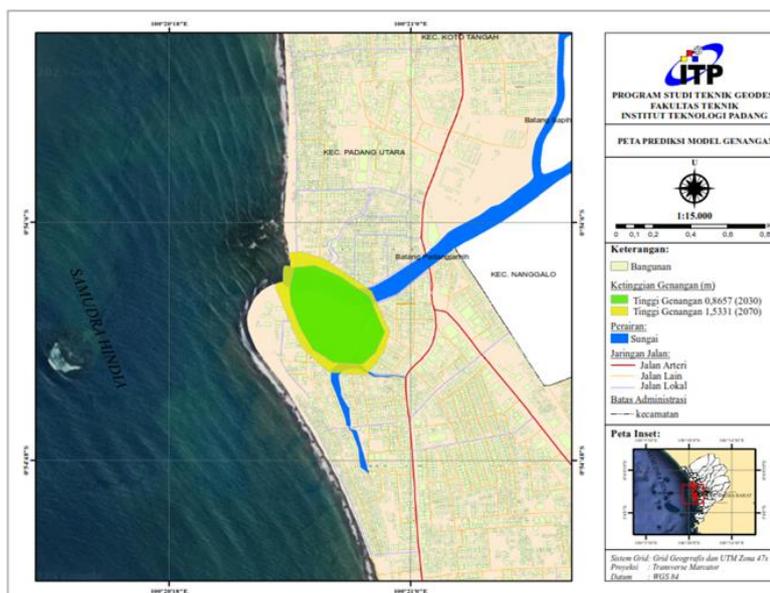
kenaikan muka air laut per tahun di kota padang adalah sebesar 0,016684 atau 16,684 mm/tahun. Setelah nilai kenaikan per tahun diketahui maka nilai tersebut selanjutnya digunakan dalam perhitungan prediksi kenaikan genangan sampai tahun 2070.

Setelah didapat tren rata-rata dari kenaikan muka air laut maka selanjutnya analisa prediksi kenaikan muka air laut dengan menggunakan perhitungan matematis tahun terakhir titik lokasi pengamatan yaitu di padang barat tahun 2023, sebagai acuan dalam prediksi genangan 2030, 2070 menggunakan perhitungan rumus (2). Berikut merupakan hasil perhitungan prediksi genangan:

Tabel 11. Prediksi Genangan

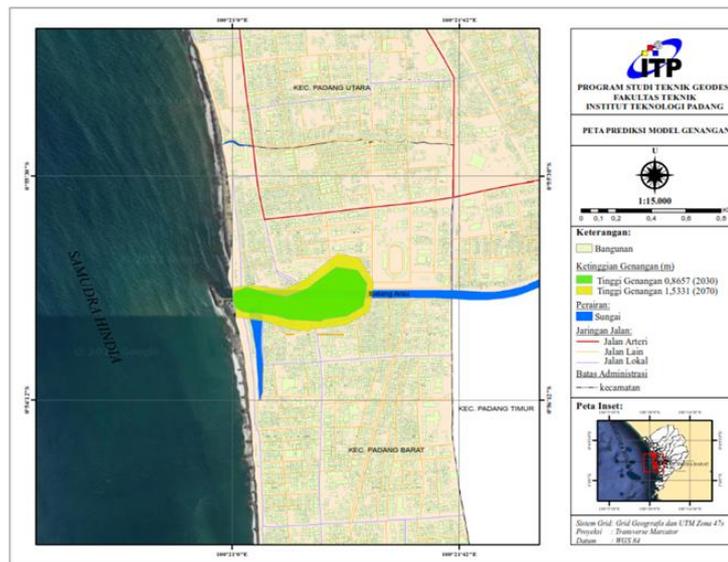
Tahun prediksi	2030	2070
Tinggi Genangan	0,8657	1,5331

Dari tabel di atas dapat diketahui terjadi peningkatan tinggi genangan hingga tahun 2070 hal ini disebabkan oleh peningkatan kenaikan muka air laut di lokasi pengamatan seperti yang diketahui pada gambar 8 di atas peningkatan air laut sebesar 16,684 mm/tahun. Yang dimana peningkatan tinggi prediksi genangan dari tahun 2030 hingga 2070 sebesar 0,66736 meter. Nantinya angka prediksi genangan ini akan dibuat model genangan menggunakan *Tools Raster Calculator* dengan penulisan seperti rumus (3) di atas, dengan tinggi genangan yang telah di dapat sebelumnya. Model genangan tahun prediksi dapat dilihat pada gambar berikut:



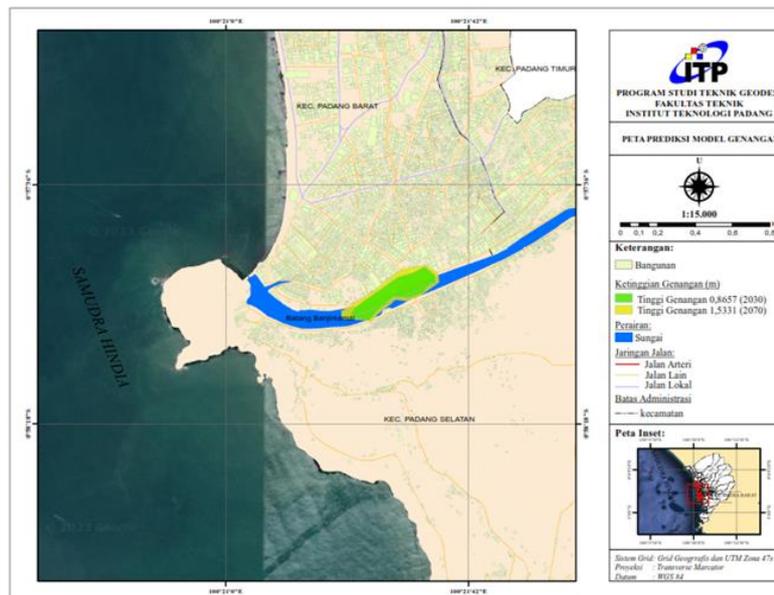
Gambar 9. Prediksi Genangan Tahun 2030 dan 2070 Segmen1 Padang Padang Utara

Dari gambar segmen satu di atas dapat dilihat model genangan yang terjadi di hilir sungai Batang Padang Kecamatan Padang Utara yang mengalami peningkatan luas genangan dari tahun 2020 sampai tahun 2070.



Gambar 10. Prediksi Genangan Tahun 2030 dan 2070 Segmen 2 Padang Barat

Dari gambar segmen dua di atas dapat dilihat model genangan yang terjadi di hilir sungai Batang Harau Kecamatan Padang Barat. Dari tahun 2030 terjadi peningkatan tinggi genangan yang diakibatkan oleh pengaruh dari pasang air naik hingga tahun 2070 sebesar 0,66736 meter atau 66,736 cm.



Gambar 11. Prediksi Genangan Tahun 2030 dan 2070 Segmen 3 Padang Selatan

Pada gambar 11 di atas model genangan di hilir sungai Batang Banjir Kamal Kecamatan Padang Selatan yang mana sebelumnya pada tahun 2023 lokasi ini tidak terjadi genangan akibat dari pasang air naik hingga dengan perhitungan prediksi untuk tahun 2030 hingga tahun 2070 didapatkan tinggi genangan setinggi 0,865 m pada tahun 2030 dan pada tahun 2070 setinggi 1,533 m. Berikut untuk melihat detail luasan yang terancam banjir rob dapat diligat pada tabel 12 berikut:

Luas Prediksi Banjir Rob (Ha)					
Kecamatan	Luas (2030)	Persentase	Luas (2070)	Persentase	Luas wilayah
Kec. Padang Barat	17,812	3,21%	27,513	4,96%	554,472992
Kec. Padang Selatan	0,744	0,09%	1,368	0,16%	831,189303
Kec. Padang Utara	18,877	2,27%	26,650	3,21%	831,189303

D. Uji Validitas

Uji validitas dilakukan dengan menggunakan observasi langsung kelapangan untuk mewawancarai langsung ke warga sekitar tentang kebenaran terjadinya banjir rob dengan pertanyaan yang telah disediakan dan mengambil koordinat dengan menggunakan GPS Geodetik untuk mengambil koordinat batas – batas waktu terjadinya banjir rob dengan bantuan dari warga sekitar. Yang nantinya data yang diperoleh berupa luas genangan serat batas-batas rumah warga yang terdampak banjir selanjutnya data tersebut dilakukan perhitungan *r-squared* untuk mengetahui tingkat validitas data hasil analisa banjir. Uji validitas dilakukan dengan analisis pada Microsoft Excel yang mana membandingkan nilai Y (model/Prediksi) dengan X (Observasi/rill) seperti yang dipaparkan pada rumus (6). Uji validitas hasil estimasi bangunan terdampak banjir dilakukan dengan uji akurasi menggunakan model perhitungan statistik yaitu model *r squared* sebagai berikut:

Tabel 12. Validasi Luas Genangan Eksisting

Kecamatan	Luas Genangan (y)	Observasi(x)
Padang Utara	17,387	8,068
Padang Barat	12,229	8,242
Padang Selatan	0	0
Total	29,616	16,310
	Uji Validasi R <i>Squared</i>	Keterangan
<i>R Square</i>	0,906	Valid

Hasil uji validitas yang nilainya antara 0,6 - 1 maka data Valid. Dapat dilihat pada tabel 12 bahwa nilai model *r squared* yaitu sebesar 0,906 atau 90% artinya bahwa hasil uji validitas luas genangan eksisting banjir di wilayah penelitian yaitu valid atau dapat diterima. Untuk selanjutnya uji validitas pada bangunan yang terdampak banjir rob seperti tabel berikut:

Tabel 13. Validasi Eksisting Bangunan yang Tergenan

Kecamatan	Jumlah bangunan tergenang (y)	Observasi (x)
Padang Barat	304	284
Padang Utara	439	459
Padang Selatan	0	0
	Uji Validasi R Squared	Keterangan
R Square	0.993	Valid

Hasil uji validitas yang nilainya antara 0,6 - 1 maka data Valid. Dapat dilihat pada tabel 13 bahwa nilai model *r squared* yaitu sebesar 0.993 atau 99% artinya bahwa hasil uji validitas penduduk terdampak banjir di wilayah penelitian yaitu valid atau dapat diterima.

Simpulan

Berdasarkan seluruh proses analisis yang telah dilakukan untuk menghasilkan pemodelan banjir akibat gelombang pasang di wilayah penelitian, dapat disimpulkan bahwa, luas genangan eksisting akibat dari air pasang Kecamatan padang Barat sebesar 12,229 hektar dengan tinggi genangan 0,749 meter, Kecamatan Padang Utara 831,1893 hektar dengan tinggi genangan 0,675 meter, dan Padang Selatan 831,1893 hektar dengan tinggi genangan 0,654 meter.

Banyaknya bangunan terdampak banjir untuk Kecamatan Padang Barat 304 rumah, Padang Utara 439 rumah, Padang Selatan tidak ada bangunan yang terdampak akibat dari pasang air naik. Luas prediksi genangan pada tahun 2030 di Kecamatan Padang Barat mencapai 17,812 Ha, Kecamatan Padang Selatan 0,744 Ha, Padang Utara 18,877 Ha dan mengalami peningkatan pada tahun 2070 untuk kecamatan Padang Barat 27,515 Ha, Padang Selatan 1,368 Ha, dan Padang Utara 26,650 Ha.

Daftar Pustaka

- Abedi, R. (2022). Flash-flood susceptibility mapping based on XGBoost, random forest and boosted regression trees. *Geocarto International*, 37(19), 5479–5496. <https://doi.org/10.1080/10106049.2021.1920636>
- Arikunto, S. (2017). *Pengembangan Instrumen Penelitian dan Penilaian Program*. Pustaka Pelajar.
- Bates, P. D. (2021). Combined Modeling of US Fluvial, Pluvial, and Coastal Flood Hazard Under Current and Future Climates. *Water Resources Research*, 57(2). <https://doi.org/10.1029/2020WR028673>
- Imam, M. U. H. N. U. R., & others. (2022). *Arahan mitigasi bencana banjir rob di kawasan pesisir kecamatan balusu kabupaten barru*.

- Islam, A. R. M. T. (2021). Flood susceptibility modelling using advanced ensemble machine learning models. *Geoscience Frontiers*, 12(3). <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.09.006>
- Kalyanapu, A. J., Burian, S. J., & McPherson, T. N. (2009). Effect of land use-based surface roughness on hydrologic model output. *Journal of Spatial Hydrology*, 9(2), 51–71.
- Kreibich, H. (2022). The challenge of unprecedented floods and droughts in risk management. *Nature*, 608(7921), 80–86. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04917-5>
- Merz, B. (2021). Causes, impacts and patterns of disastrous river floods. *Nature Reviews Earth and Environment*, 2(9), 592–609. <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00195-3>
- Mike, P., Kejadian, D., & Rob, B. (2018). *Pemodelan mike21 dalam kejadian banjir rob menjelang gerhana bulan di pesisir semarang*. 5(3), 1–8.
- Nicholls, R. J. (2021). A global analysis of subsidence, relative sea-level change and coastal flood exposure. *Nature Climate Change*, 11(4), 338–342. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-00993-z>
- Pahleviannur, M. R. (2024). Book Review: Indigenous knowledge and disaster risk reduction: Insight toward perception, response, adaptation and sustainability by Gopal Krishna Panda, Uday Chatterjee and Snigdharani Panda. *Journal of Planning Literature*, 08854122241231713. <https://doi.org/10.1177/08854122241231713>
- Pahleviannur, M. R. (2024). Book review: The Urban Rehabilitation of Post-Disaster Scapes. *Urban Studies*.
- Pahleviannur, M. R., Ayuni, I. K., Widiastuti, A. S., Umaroh, R., Aisyah, H. R., Afiyah, Z., Azzahra, I., Chairani, M. S., Dhafita, N. A., & Rohmah, N. L. (2023). Kerentanan Sosial Ekonomi terhadap Bencana Banjir di Hilir DAS Citanduy Bagian Barat Kabupaten Pangandaran Jawa Barat. *Media Komunikasi Geografi*, 24(2), 189–205.
- Pahleviannur, M. R., Hizbaron, D. R., & Muta'ali, L. (2023). Spatial Distribution Analysis of Disaster-Vulnerable Groups in Bantul Regency, Yogyakarta. *Tunas Geografi*, 12(2).
- Rahmanto, M. R., Susetyo, C., & others. (2018). *Pemodelan Spasial Genangan Banjir Akibat Gelombang Pasang di Wilayah Pesisir Kota*. 7(1), 3–7.
- 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(2001), 379–385.
- Rentschler, J. (2022). Flood exposure and poverty in 188 countries. *Nature Communications*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-30727-4>
- Sagala, H. A., Pasaribu, R. P., & Ulya, F. K. (2021). Pemodelan Pasang Surut dengan Menggunakan Metode Flexible Mesh untuk Mengetahui Genangan Rob di Pesisir Karawang. *Pelagicus*, 2(3), 141. <https://doi.org/10.15578/plgc.v2i3.10341>
- Sanjaka, P. A., Widada, S., Prasetyawan, I. B., & others. (2013). *Pemodelan Inundasi (Banjir Rob) di Pesisir Kota Semarang Dengan Menggunakan Model Hidrodinamika*. 2, 353–360.
- Shrestha, A., Bhattacharjee, L., Baral, S., & Thakur, B. (2020). Understanding Suitability of MIKE 21 and HEC-RAS for 2D Floodplain Modeling. *May*. <https://doi.org/10.1061/9780784482971.024>

- Sri Suharyo, O., & Adrianto, D. (2018). Studi Hasil Running Model Arus Permukaan Dengan Software Numerik Mike 21/3 (Guna Penentuan Lokasi Penempatan Stasiun Energi Arus Selat Lombok-Nusapenida). *Applied Technology and Computing Science Journal*, 1(1), 30–38. <https://doi.org/10.33086/atcsj.v1i1.8>
- Syafitri, A. W., & Rochani, A. (2021). *Analisis Penyebab Banjir Rob di Kawasan Pesisir Studi Kasus : Jakarta Utara, Semarang Timur, Kabupaten Brebes, Pekalongan*. 1(1), 16–28.
- Syahputra, R. F. (2016). *Kajian Kerentanan Wilayah Pesisir terhadap Kenaikan Muka Air Laut untuk Menentukan Upaya Adaptasi dan Mitigasi di Kabupaten Sidoarjo* (pp. 1–166).
- Tanjung, A. (2016). Pola Arus Pasang Surut dan Gelombang di Perairan Teluk Bayur Kota Padang Provinsi Sumatera Barat. *Oleh Sastrawan Barus 1), Afrizal Tanjung 2) Dan Musrifin Ghalib 2)*.
- Tellman, B. (2021). Satellite imaging reveals increased proportion of population exposed to floods. *Nature*, 596(7870), 80–86. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03695-w>
- Wing, O. E. J. (2022). Inequitable patterns of US flood risk in the Anthropocene. *Nature Climate Change*, 12(2), 156–162. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01265-6>
- Zheng, G. (2021). Increasing risk of glacial lake outburst floods from future Third Pole deglaciation. *Nature Climate Change*, 11(5), 411–417. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01028-3>