



Jambura Geoscience Review

p-ISSN 2623-0682 | e-ISSN 2656-0380

Department of Earth Science and Technology, Universitas Negeri Gorontalo



Pemodelan Banjir Rob Wilayah Jakarta Utara Menggunakan Sistem Informasi Geografis

Indah Ferdiani Zuhriah¹, Bambang Setiadi³ , Seftiawan Samsu Rijal^{1,2} ¹ Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Malang 65145, Indonesia² Laboratorium Eksplorasi Sumberdaya Hayati Laut, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Malang 65145, Indonesia³ Pusat Penelitian Geoteknologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Bandung 40135, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 8 May 2022

Accepted: 23 June 2022

Published: 12 July 2022

Keywords:

Geographic Information System; Inundation Height; Land Use; Tidal Flood

Corresponding author:

Seftiawan Samsu Rijal

Email: seftiawan.sr@ub.ac.id

Read online:



Scan this QR code with your smart phone or mobile device to read online.

ABSTRACT

Rising sea levels originating from high tides and inundating land are known as tidal flooding. The cases of tidal floods are increasing day by day, especially in areas directly adjacent to the high seas. One of the areas that are prone to tidal flooding is North Jakarta. This study aims to determine the areas affected by the tidal flood and the extent of the area affected by the tidal flood in the Jakarta City area. This research can be used to take preventive action for residents to face the tidal flood disaster. The tidal flood height modelling was obtained based on the value of Mean Sea Level (MSL), Higher High Water Level (HHWL), and the trend of global rising tides. The result of this study is a map of areas affected by tidal flooding, where the lowest is at an altitude of 0.4 m in Penjaringan and Cilincing. At the height of this tidal flood, the impact was approximately 54 hectares of residential areas, 59 hectares of buildings, and 146 hectares of agricultural activities. The highest area affected by the tidal flood is at an altitude of 1.96 m which inundates the coastal District of Penjaringan, Cilincing, Pademangan, and Tanjung Priok Port. The height of the highest tidal flood impacts 983 ha of residential areas, 493 ha of buildings, and 830 ha of the agricultural sector were inundated. At the height of the tidal flood, which is almost 2 m high, it is necessary to carry out careful disaster mitigation efforts for the local government.

How to cite: Zuhriah, I. F., Setiadi, B., & Rijal, S. S. (2022). Pemodelan Banjir Rob Wilayah Jakarta Utara Menggunakan Sistem Informasi Geografis. *Jambura Geoscience Review*, 4(2), 136-144. doi:<https://doi.org/10.34312/jgeosrev.v4i2.14196>

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi kenaikan muka air laut yang tinggi karena pengaruh iklim, musim, dan tatanan geologi yang unik (Triana & Wahyudi, 2020). Perubahan iklim yang terjadi karena pemanasan global semakin mendorong percepatan kenaikan muka air laut tersebut. (Case et al., 2007) menyatakan bahwa salah satu dampak perubahan iklim yang paling terlihat di Indonesia adalah signifikansi kenaikan muka air laut selama beberapa tahun terakhir. Kejadian ini akan berakibat fatal terutama bagi lingkungan perkotaan yang berbatasan langsung dengan laut (Cazenave & Cozannet, 2014). Kombinasi kenaikan muka air laut dan penurunan muka tanah (*land subsidence*) akan mengakibatkan suatu wilayah tergenang banjir rob dengan lebih cepat.

Banjir rob atau banjir pasang air laut adalah pola fluktuasi muka air laut yang dipengaruhi oleh gaya tarik benda-benda angkasa, terutama oleh bulan dan matahari terhadap berat jenis air laut di bumi (Shidik et al., 2019). Fenomena ini juga dikenal dengan naiknya muka air laut yang sedang

pasang dan menggenangi daratan. Banjir rob dapat menyebabkan berbagai kerusakan yang dapat merugikan manusia maupun lingkungan sekitar (Ikhsyan et al., 2017).

Survei terestrial sebagai metode investigasi untuk menanggulangi banjir rob telah dilakukan oleh (Abidin et al., 2011; Gumilar et al., 2013). Akan tetapi, kekurangan pada metode ini adalah pelaksanaannya membutuhkan waktu yang lama, cakupan wilayahnya sempit dan perlu melibatkan banyak tenaga kerja. Sistem Informasi Geografis (SIG) hadir sebagai solusi untuk pemodelan kebencanaan yang cepat, tepat, akurat, mencakup area yang luas dan tidak memerlukan banyak tenaga kerja, selain itu SIG mampu mengkombinasikan berbagai macam data spasial seperti data survey dan citra satelit hingga data non spasial seperti data tabular bahkan peraturan hukum sebagai pembatasan kriteria suatu kondisi atau penetapan wilayah (Tomaszewski, 2014). Hal ini membuat SIG unggul dan layak digunakan dalam seluruh siklus kebencanaan, termasuk penanggulangan banjir rob.

SIG berbasis pengolahan data raster untuk pemodelan spasial banjir rob telah dibahas oleh beberapa peneliti terdahulu seperti (Marfai & King, 2007) memodelkan bahwa pada tahun 2020 atau 13 tahun sejak penelitian tersebut dilakukan maka pesisir Semarang Utara akan berada dibawah muka air sedalam 1,5 – 2 m apabila penurunan muka tanah terjadi secara linear terhadap perjalanan waktu dan tidak ada program untuk melindungi wilayah tersebut dari penurunan tanah. Penelitian dari (Denicko Roynaldi & Maryono, 2019) dengan metode serupa telah membenarkan prediksi Marfai & King, 2007 dan menyatakan bahwa tinggi banjir rob di Semarang Utara mencapai 1,27 m dan mengaitkannya dengan sampah yang dibawa oleh banjir rob yaitu sekitar 70 ribu kg. Pada wilayah Jakarta Utara, terdapat penelitian (Ward et al., 2011) yang juga berbasis SIG mengklaim bahwa dalam siklus perulangan kejadian banjir rob setiap 100 tahun sekali, maka Jakarta akan merugi sekitar 4 miliar Euro.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini bertujuan untuk melakukan pemodelan banjir rob terhadap penggunaan lahan berdasarkan kenaikan tinggi muka air laut skala lokal maupun global dengan memanfaatkan data spasial bebas akses yang tersedia dengan menggunakan pendekatan SIG. Penelitian dilakukan di Daerah Khusus Ibukota (DKI) Jakarta. DKI Jakarta sebagai Ibu Kota Negara menjadi pusat pelaksanaan fungsi administrasi pemerintahan dan perekonomian, sehingga memicu pesatnya pembangunan dan pengembangan berbagai fasilitas dan sarana pendukung. Beban pembangunan yang terjadi di DKI Jakarta mengakibatkan permukaan tanah di kota ini selalu menurun setiap tahunnya (Abidin et al., 2011), bahkan menjadi kota dengan penurunan muka tanah tercepat di dunia (Colven, 2020). Penurunan muka tanah disertai dengan percepatan kenaikan muka air laut membuat DKI Jakarta terancam banjir rob pada sisi utara yang berbatasan langsung dengan Laut Jawa. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah diketahuinya wilayah yang tergenang banjir rob dalam beberapa model tinggi genangan beserta penggunaan lahan yang terkena dampak banjir rob tersebut.

2. METODE

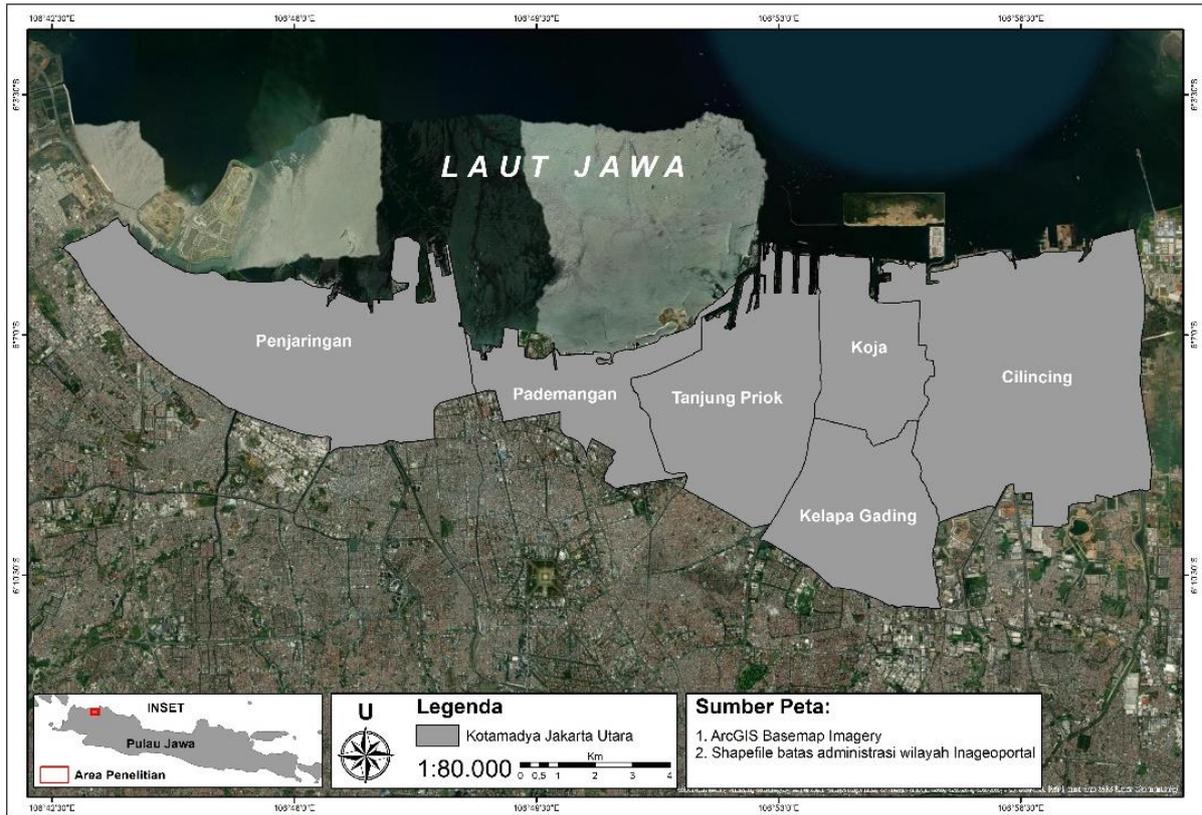
Proses pemodelan banjir rob pada berbagai ketinggian dilakukan menggunakan data elevasi DEMNAS, data pasang surut air laut dan informasi geospasial dasar berupa batas administrasi, garis pantai dan penggunaan lahan pada lokasi daerah penelitian terkait.

2.1. Lokasi Penelitian

Kegiatan penelitian pemodelan banjir rob ini dilakukan di Kotamadya Jakarta Utara Provinsi DKI Jakarta, yang memiliki luas sekitar 7.133,51 km². Kota ini meliputi enam kecamatan, yaitu Penjaringan, Pademangan, Tanjung Priok, Koja, Cilincing dan Kelapa Gading. Wilayah daratan Kotamadya Jakarta Utara membentang dari barat ke timur sepanjang 35 km, menjorok ke darat antara 4 – 10 km dan terletak pada 106° 20' 00" bujur timur serta 06° 10' 00" lintang selatan. Tinggi permukaan Kotamadya Jakarta Utara diatas muka air laut adalah berkisar 0 – 20 m (BPS, 2021; Putra, D.R dan Marfai, 2012). Gambar 1 menunjukkan wilayah penelitian.

2.2. Data Elevasi dan Pasang Surut

Dukungan data ketinggian wilayah penelitian yang memiliki akurasi tinggi diperlukan untuk melakukan pemodelan secara tepat. Data ketinggian yang digunakan adalah data DEM (*Digital Elevation Model*) yaitu representasi digital dari topografi permukaan bumi (Balasubramanian, 2017).



Gambar 1. Wilayah penelitian

Saat ini terdapat sejumlah sumber data DEM yang dapat diakses secara bebas, antara lain: SRTM (*Space Shuttle Radar Topography Mission*) dengan resolusi 30 m, ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) dengan resolusi 30 m untuk wilayah Amerika Serikat dan 90 m untuk wilayah lain dan JAXA Global 3D World yang memiliki resolusi 30 m. Selain itu, untuk Indonesia, pemerintah menyediakan data yang dapat digunakan secara gratis yang bernama DEMNAS yang memiliki resolusi 8 m. DEMNAS atau *Digital Elevation Model Nasional* merupakan data elevasi nasional yang dapat diunduh secara bebas akses melalui <https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/#/>. Data DEMNAS dihitung menggunakan teknik *Synthetic Aperture Radar Interferometry* (IFSAR) dari data citra SAR satelit TERRASAR-X (resolusi 5 m) dan ALOS PALSAR (resolusi 11.25 m), dengan menambahkan data *Masspoint* hasil *stereoplotting* (BIG, 2022). Tabel 1 menampilkan spesifikasi detail data DEMNAS yang digunakan.

Selain data DEM, diperlukan juga data pasang surut permukaan air laut sesuai dengan kurun waktu yang diteliti. Data pasang surut yang digunakan adalah pada kurun waktu Januari-Desember 2020 didapatkan secara bebas akses dari <http://tides.big.go.id/>. Berdasarkan Buku Prediksi Pasang Surut (Sofian, 2015), data tersebut dihitung dengan menggunakan metode perhitungan *least square estimation* didasarkan pada persamaan harmonik dengan Persamaan 1.

$$T(t) = Z_0 + \sum_{n=1}^M f_n H_n \cos[\sigma_n t - g_n + (v_n + u_n)] \quad (1)$$

dimana: $T(t)$ adalah tinggi muka air pada waktu t ; Z_0 adalah tinggi muka air rata-rata dari suatu datum yang ditentukan; n adalah jumlah seri komponen pasang surut, mulai dari 1 hingga M , pembentuk superposisi yang hendak dihitung dalam analisa harmonik; f_n adalah faktor koreksi nodal untuk komponen harmonik ke n , yang besarnya tergantung pada parameter p dan n ; H_n

Tabel 1. Spesifikasi DEMNAS

Resolusi	Datum	Sistem Koordinat	Format
0,27 arcsecond atau setara dengan +/- 8 m	EGM2008	Geografis	Geotiff 2

Sumber: (BIG, 2022)

adalah amplitude rata-rata komponen harmonik selama satu periode nodal 18.6 tahun; σ_n adalah kecepatan sudut dari gelombang komponen pasang surut; t adalah waktu yang dinyatakan dalam *Greenwich Mean Time* (GMT). Awal dari setiap hari dihitung dari waktu tengah malam GMT; V_n adalah bagian dari fasa di Greenwich dari komponen pasang surut setimbang ke n pada waktu $t=0$ yang berubah secara tetap sebelum dikoreksi; u_n adalah faktor koreksi phase dari variasi nodal yang besarnya bergantung pada posisi titik nodal dan variasi p dan n ; g_n adalah keterlambatan fase antara gelombang harmonik ke- n terhadap kondisi setimbang di equilibrium Greenwich.

Data pasang surut yang didapatkan dari <http://tides.big.go.id/> tersebut kemudian diolah menggunakan metode admiralty untuk mendapatkan nilai *Mean Sea Level* (MSL) dan *Highest High-Water Level* (HHWL), sebagai basis prediksi ketinggian banjir rob. MSL dan HHWL dihitung dengan Persamaan 2 (Iskandar et al., 2020) dan Persamaan 3 (Salnuddin et al., 2015).

$$MSL = Z_0 \quad (2)$$

dimana: MSL adalah nilai rata-rata muka air laut; Z_0 adalah nilai Z_0 .

dan

$$HHWL = MSL + (M2 + S2 + K2 + K1 + O1 + P1) \quad (3)$$

dimana: HHWL adalah nilai muka air laut tertinggi; MSL adalah nilai MSL; M2 adalah komponen utama bulan (semi diurnal); S2 adalah komponen utama matahari (semi diurnal); K2 adalah komponen bulan (luni-solar semi-diurnal); K1 adalah komponen bulan (luni-solar diurnal); O1 adalah komponen utama bulan (diurnal); P1 adalah komponen utama matahari (*principal solar diurnal*).

Selain menggunakan nilai MSL dan HHWL, prediksi ketinggian banjir rob juga dilakukan dengan menggunakan nilai tren kenaikan muka air laut yang terjadi secara global. (Kasbullah & Marfai, 2014) menyatakan bahwa berdasarkan laporan *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), kenaikan rata – rata muka air laut tertinggi global adalah sebesar 6 mm atau setara dengan 0,6 cm per tahun. Nilai tertinggi dari MSL atau HHWL yang berhasil dihitung akan ditambahkan dengan kenaikan rata – rata muka air laut tertinggi global.

2.3. Informasi Geospasial Dasar (IGD)

Informasi Geospasial Dasar (IGD) yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) meliputi batas administrasi, garis pantai dan penggunaan lahan. Batas administrasi digunakan untuk mengetahui batas wilayah penelitian, kemudian garis pantai sebagai pemisah antara batas darat dan laut saat pengolahan data dilakukan. Adapun data penggunaan lahan berfungsi sebagai informasi objek terdampak banjir rob pada setiap skenario tinggi genangan. Penggunaan lahan yang terdapat pada wilayah penelitian antara lain area permukiman, bangunan, kebun, ladang, dan sawah.

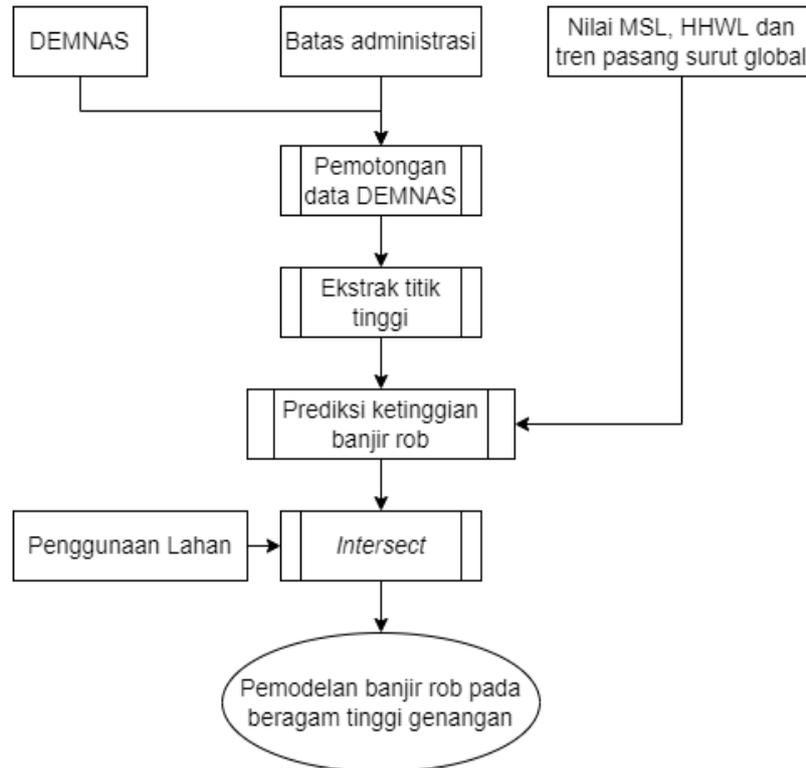
2.4. Metode Pengolahan Data

Metode pengolahan data dimulai dengan menyiapkan data DEMNAS dan batas administrasi wilayah penelitian. Data DEMNAS dipotong sesuai area kajian agar penelitian lebih fokus dan mengurangi beban komputasi dan memori komputer. DEMNAS yang telah dipotong kemudian diekstrak menjadi titik tinggi area penelitian. Model prediksi wilayah yang tergenang banjir rob didapatkan dari *layer* data titik tinggi yang memiliki ketinggian kurang dari estimasi banjir rob berdasarkan masing – masing nilai MSL, HHWL dan tren kenaikan muka air laut global. Secara matematis pemodelan prediksi ini mengacu pada Persamaan 4 (El-fath et al., 2022; Novita et al., 2021).

$$Z = \text{"layer"} \leq x \quad (4)$$

dimana: Z adalah model prediksi wilayah yang tergenang banjir rob; *layer* adalah data titik tinggi; x adalah ketinggian banjir rob yang diprediksi (nilai masing – masing dari MSL, HHWL dan tren kenaikan air laut global).

Apabila nilai Z telah diketahui maka hasil prediksi ketinggian banjir rob dilakukan proses tumpang susun yang saling berpotongan (*intersect*) dengan data penggunaan lahan dari IGD. Hal



Gambar 2. Diagram alir pengolahan data.

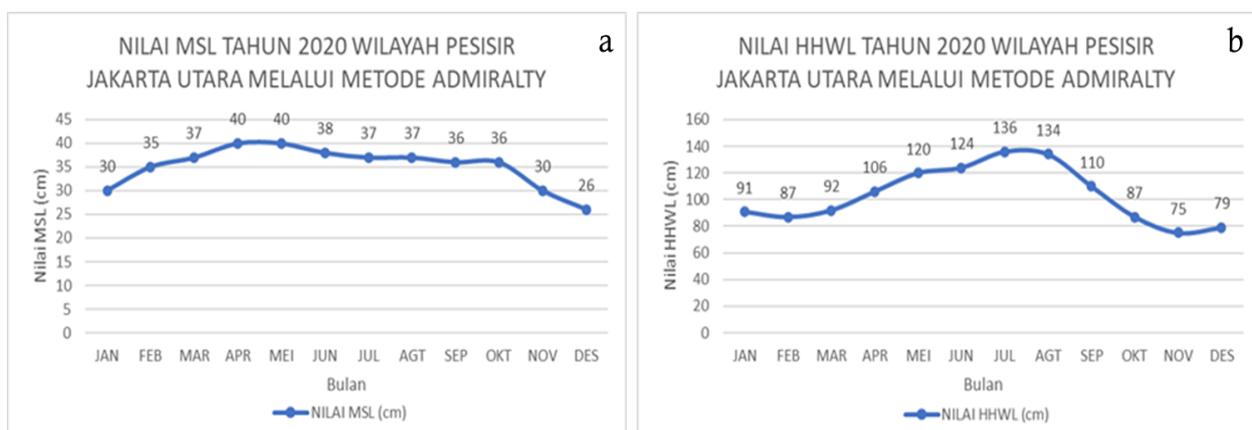
ini dilakukan untuk mengetahui luasan dan kelas penggunaan apa saja yang terdampak banjir rob pada setiap skenario prediksi tinggi genangan. Gambar 2 menunjukkan diagram alir proses pengolahan data pemodelan banjir rob pada beragam ketinggian genangan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini membahas tentang hasil pengolahan data pasang surut berdasarkan MSL dan HHWL serta pemodelan tinggi genangan dan dampak banjir rob.

3.1. Pasang Surut

Pasang surut pada wilayah penelitian dinilai berdasarkan MSL dan HHWL (Gambar 3). Pada periode pengamatan Januari – Desember 2020, diketahui bahwa rentang nilai MSL berada pada rentang 26 – 40 cm. MSL terendah terjadi pada bulan Desember 2020 sedangkan MSL tertinggi terjadi pada bulan April dan Mei 2020. Sedangkan, pada nilai HHWL diketahui bahwa fluktuasi terjadi pada rentang tinggi muka air laut sekitar 75 – 136 cm. HHWL terendah terjadi pada bulan



Gambar 3. Hasil perhitungan pasang surut. (a) MSL dan (b) HHWL.

Tabel 2. Dampak banjir rob pada penggunaan lahan

No	Penggunaan Lahan	Luas (Ha)		
		Tinggi genangan 0,4 m	Tinggi genangan 1,36 m	Tinggi genangan 1,96 m
1	Pemukiman	54	357	983
2	Bangunan	59	257	493
3	Agraris (kebun, sawah dan ladang)	146	729	830
Total		259	1343	2306

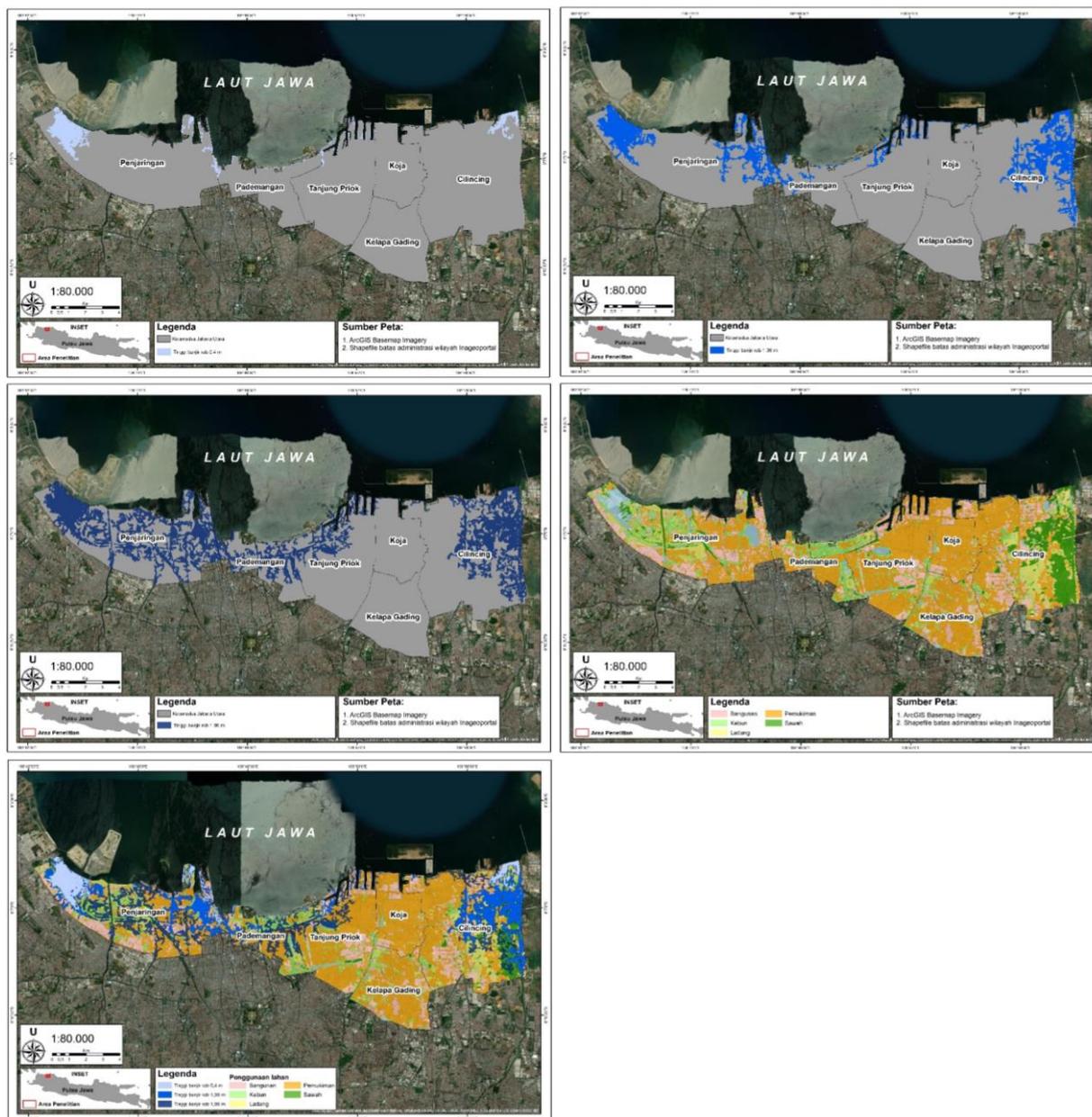
November 2020 dan HHWL tertinggi terjadi pada bulan Juli 2020. Secara umum, HHWL terus mengalami peningkatan sejak bulan Februari hingga Juli 2020 kemudian berangsur turun pada bulan Agustus hingga Desember 2020. Berdasarkan perhitungan tersebut dapat diketahui pola yang terjadi adalah pada setiap pertengahan tahun (April – Juni) muka air laut akan mencapai nilai tertinggi sedangkan pada setiap akhir tahun (November dan Desember) muka air laut akan mencapai nilai terendah untuk perhitungan MSL dan HHWL. Variabilitas tinggi muka air laut dalam perhitungan metode admiralty yang digunakan pada penelitian ini dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti posisi bulan terhadap bumi, jarak antara bulan dengan bumi dan jarak antara bumi dan matahari dalam masing – masing lintasan orbit (Dina ‘Amalina et al., 2019). Variasi nilai HHWL (pasang tertinggi) dan LLWL (pasang terendah) yang terjadi pada pasang purnama mengakibatkan nilai MSL berubah – ubah. Selain itu juga bergantung pada tipe pasang surut seperti tipe harian (tunggal), setengah harian (semi diurnal/ganda), campuran condong tunggal, dan campuran condong ganda.

3.2. Pemodelan Tinggi Genangan dan Dampak Banjir Rob

Pemodelan tinggi genangan banjir rob didasarkan pada nilai tertinggi yang didapatkan dari perhitungan pasang surut berdasarkan MSL dan HHWL (bagian 3.1) yaitu 0,4 m dan 1,36 m. Selain itu, pemodelan tinggi genangan juga memperhatikan tren kenaikan rata – rata muka air laut global yang telah ditambahkan dengan nilai HHWL yaitu 1,96 m.

Dampak banjir rob semakin meluas seiring dengan semakin tingginya model tinggi genangan (Gambar 4). Pada tinggi genangan 0,4 m, kecamatan yang tergenang hanya sebagian Penjaringan dan Cilincing, namun pada tinggi genangan 1,36 m, kecamatan yang tergenang bertambah menjadi Penjaringan, Cilincing dan Pademangan. Adapun pada pemodelan tinggi genangan 1,96 m maka banjir rob telah menjangkau 4 kecamatan yaitu Penjaringan, Cilincing, Pademangan dan Tanjung Priok. Penelitian serupa sekitar 10 tahun lalu telah dilakukan oleh (Putra, D.R dan Marfai, 2012) dengan skenario tinggi pasang surut sebesar 2,5 m namun hanya menggenangi 3 kecamatan yaitu Penjaringan, Pademangan, dan Cilincing. Berdasarkan hal ini dapat diketahui bahwa jumlah kecamatan yang terdampak banjir rob selama jeda waktu 10 tahun semakin bertambah walaupun tinggi genangan menurun. Kemungkinan penambahan wilayah yang tergenang walaupun tinggi genangan menurun salah satunya dapat diakibatkan oleh penurunan muka tanah (*land subsidence*) di Jakarta yang mencapai 60 mm per tahun (Bott et al., 2021). Apabila kejadian penurunan muka air tanah ini diasumsikan konstan dan tanpa dibersamai dengan aksi nyata penanggulangan bencana sebagaimana prediksi (Marfai & King, 2007) yang terjadi di pesisir Semarang Utara maka pesisir Jakarta Utara suatu saat akan tenggelam. Hal ini akan diperparah oleh abainya penduduk lokal yang menolak untuk relokasi walaupun mereka memahami konsekuensi dari penurunan muka air tanah (Bott et al., 2021). Penurunan tanah pada wilayah pesisir memang bukan merupakan bencana yang langsung terlihat secara fisik layaknya siklon dan tsunami, namun hal tersebut dapat dirasakan seiring berjalannya waktu, (Esteban et al., 2020) menganalisis bahwa faktor tersebut menjadi penguat bagi warga pesisir lokal untuk menolak relokasi dan memilih untuk beradaptasi.

Banjir rob juga memiliki dampak pada penggunaan lahan (Tabel 2). Kelas penggunaan lahan yang digunakan oleh peneliti terdahulu bervariasi bergantung pada tujuan penelitian dan kondisi wilayah penelitian. Penelitian oleh (Kasbullah & Marfai, 2014) hanya menggunakan satu kelas penggunaan lahan yaitu lahan pertanian sawah di pesisir Pekalongan utara dengan tujuan untuk mengestimasi dampak banjir rob pada pertanian, sedangkan penelitian oleh (Iskandar et al., 2020)



Gambar 4. Model tinggi genangan banjir rob dan dampaknya pada penggunaan lahan.

yang juga dilakukan di pesisir Pekalongan utara menggunakan lima kelas penggunaan lahan yaitu industry, pemukiman, sawah padi/palawija, tanah terbuka dan tambak. Pemilihan kelas ini dikarenakan kelima kelas tersebut ditemukan pada wilayah penelitian. Pada penelitian ini penggunaan lahan yang terdampak dapat dikelompokkan menjadi 3 yaitu pemukiman, bangunan dan agraris (kebun, sawah dan ladang) disesuaikan dengan penggunaan lahan yang ditemukan pada wilayah penelitian. Semakin tinggi model genangan maka semakin luas pula penggunaan lahan yang tergenang. Pada tinggi genangan 0,4 m dan 1,36 m penggunaan lahan yang terdampak paling luas adalah agraris yakni seluas 146 Ha dan 729 Ha, adapun pada tinggi genangan 1,96 m penggunaan lahan yang paling terdampak adalah pemukiman seluas 983 Ha. Berdasarkan hal ini dapat diketahui bahwa walaupun pemukiman bukan merupakan wilayah yang paling tergenang pada ketinggian terendah, namun seiring dengan naiknya tinggi genangan maka pemukiman akan menjadi salah satu wilayah yang paling terancam. Statistik kependudukan mencatat bahwa jumlah penduduk di 6 kecamatan pada Kota Jakarta Utara mencapai 2.250.587 orang dengan kepadatan penduduk sekitar 16.361 orang per Km² (BPS, 2021). Inilah jumlah jiwa yang berada dalam ancaman banjir rob apabila siklus pengurangan risiko bencana tidak dilakukan di Jakarta Utara.

4. KESIMPULAN

Prediksi wilayah terdampak banjir rob menghasilkan model tinggi genangan mulai dari 0,4 hingga 1,96 m. Pada model tinggi genangan 1,96 m, empat dari enam kecamatan di Kotamadya Jakarta Utara terdampak banjir rob. Secara umum, semakin tinggi genangan banjir rob maka akan semakin luas pula kelas penggunaan lahan yang tergenang. Permukiman merupakan kelas penggunaan lahan yang paling berisiko apabila banjir rob dengan ketinggian maksimal terjadi. Implikasi dari hal ini adalah jumlah nyawa yang harus dievakuasi ke tempat yang lebih aman. Hal ini perlu diantisipasi dengan kesiapan dan kesiagaan untuk mengurangi risiko bencana banjir rob. Penelitian ini telah memodelkan banjir rob dengan data sekunder bebas akses. Survei lapangan atau pengolahan citra radar interferometri layak diuji coba untuk mencari data awal tinggi genangan yang lebih presisi. Selain itu, dampak lain dari banjir rob pada kerugian fisik, sosial, ekonomi, dan lingkungan juga dapat diteliti pada penelitian berikutnya.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya (FPIK UB) dan Pusat Penelitian Geoteknologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional atas terlaksananya kegiatan penelitian melalui program Praktik Kerja Lapang (PKL) dan penyusunan publikasi ini.

6. REFERENSI

- Abidin, H. Z., Andreas, H., Gumilar, I., Fukuda, Y., Pohan, Y. E., & Deguchi, T. (2011). Land subsidence of Jakarta (Indonesia) and its relation with urban development. *Natural Hazards*, 59(3), 1753–1771. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9866-9>
- Balasubramanian, A. (2017). Digital Elevation Model (DEM) in GIS. *ResearchGate*, September. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23976.47369>
- BIG. (2022). *DEMNAS*.
- Bott, L.-M., Schöne, T., Illigner, J., Haghshenas Haghghi, M., Gisevius, K., & Braun, B. (2021). Land subsidence in Jakarta and Semarang Bay – The relationship between physical processes, risk perception, and household adaptation. *Ocean & Coastal Management*, 211, 105775. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105775>
- BPS. (2021). *Kota Jakarta Utara Dalam Angka 2021* (p. 473). BPS.
- Case, M., Ardiansyah, F., & Spector, E. (2007). Climate Change in Indonesia Implications for Humans and Nature. *Energy*, 1–13.
- Cazenave, A., & Cozannet, G. Le. (2014). Sea level rise and its coastal impacts. *Earth's Future*, 2(2), 15–34. <https://doi.org/10.1002/2013ef000188>
- Colven, E. (2020). Subterranean infrastructures in a sinking city: the politics of visibility in Jakarta. *Critical Asian Studies*, 52(3), 311–331. <https://doi.org/10.1080/14672715.2020.1793210>
- Denicko Roynaldi, A., & Maryono, M. (2019). Estimation of Waste Generation from Tidal Flood in North Semarang Sub-District. *E3S Web of Conferences*, 125(201 9), 1–9. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912507019>
- Dina 'Amalina, A., Atmodjo, W., & Setiyo Pranowo, W. (2019). Karakteristik Pasang Surut di Teluk Jakarta Berdasarkan Data 253 Bulan. *Jurnal Riset Jakarta*, 12(1), 25–36. <https://doi.org/10.37439/jurnaldrd.v12i1.7>
- El-fath, D. D. I., Atmodjo, W., Helmi, M., Widada, S., Rochaddi, B., Rob, B., Laut, K. M., Tanah, P. M., & Rob, T. P. (2022). Analisis Spasial Area Genangan Banjir Rob Setelah Pembangunan Tanggul di Kabupaten Pekalongan, Jawa Tengah. *Jurnal of Oceanography*, 04(01), 96–110. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v4i1.13254>
- Esteban, M., Takagi, H., Jamero, L., Chadwick, C., Avelino, J. E., Mikami, T., Fatma, D., Yamamoto, L., Thao, N. D., Onuki, M., Woodbury, J., Valenzuela, V. P. B., Crichton, R. N., & Shibayama, T. (2020). Adaptation to sea level rise: Learning from present examples of land subsidence. *Ocean & Coastal Management*, 189, 104852. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104852>
- Gumilar, I., Abidin, H. Z., Sidiq, T. P., Andreas, H., Maiyudi, R., Gamal, M., & Fukuda, Y.

- (2013). Mapping And Evaluating The Impact Of Land Subsidence In Semarang (Indonesia). *Indonesian Journal of Geospasial*, 2(2), 26–41.
- Ikhsyan, N., Muryani, C., & Rintayati, P. (2017). Analisis Sebaran, Dampak Dan Adaptasi Masyarakat Terhadap Banjir Rob Di Kecamatan Semarang Timur Dan Kecamatan Gayamsari Kota Semarang. *Jurnal GeoEco*, 3(2), 145–156.
- Iskandar, S. A., Helmi, M., Muslim, M., Widada, S., & Rochaddi, B. (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), 271–282. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v2i3.8668>
- Kasbullah, A. A., & Marfai, M. A. (2014). Pemodelan Spasial Genangan Banjir Rob dan Penilaian Potensi Kerugian Pada Lahan Pertanian Sawah Padi Studi Kasus Wilayah Pesisir Kabupaten Pekalongan. *Geoedukasi*, III(2), 83–91.
- Marfai, M. A., & King, L. (2007). Monitoring land subsidence in Semarang, Indonesia. *Environmental Geology*, 53(3), 651–659. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0680-3>
- Novita, M. G., Helmi, M., Widiaratih, R., Hariyadi, H., & Wirasatriya, A. (2021). Mengkaji Area Genangan Banjir Pasang Terhadap Penggunaan Lahan Pesisir Tahun 2020 Menggunakan Metode Geospasial di Kabupaten Pekalongan, Provinsi Ja. *Indonesian Journal of Oceanography*, 3(3), 237–249. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v3i3.11449>
- Putra, D.R dan Marfai, A. (2012). Identifikasi Dampak Banjir Genangan (Rob) Terhadap Lingkungan Permukiman Di Kecamatan Pademangan Jakarta Utara. *Jurnal Bumi Indonesia*, 1(1), 1–10.
- Salnuddin, Nurjaya, I. W., Jaya, I., & Natih, N. M. N. (2015). Perhitungan tunggang air pasang surut berdasarkan kearifan lokal masyarakat. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 7(1), 347–364.
- Shidik, A. N., Utari, D., & Atmika, M. (2019). Analisis Faktor Penyebab Banjir Rob dan Staregi Penanggulannya Dengan Pembangunan Breakwater di Wilayah Semarang Utara, Jawa Tengah, Indonesia. In *Prosiding Seminar Nasional Kebumihan ke-12* (pp. 559–575).
- Sofian, I. (2015). *Prediksi Pasang Surut 2015 Zona B*. BIG.
- Tomaszewski, B. (2014). Geographic information systems (GIS) for disaster management. In *Geographic Information Systems (GIS) for Disaster Management*. <https://doi.org/10.1201/b17851>
- Triana, K., & Wahyudi, A. J. (2020). Sea level rise in Indonesia: The drivers and the combined impacts from land subsidence. *ASEAN Journal on Science and Technology for Development*, 37(3), 115–121. <https://doi.org/10.29037/AJSTD.627>
- Ward, P. J., Marfai, M. A., Yulianto, F., Hizbaron, D. R., & Aerts, J. C. J. H. (2011). Coastal inundation and damage exposure estimation: a case study for Jakarta. *Natural Hazards*, 56(3), 899–916. <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9599-1>