

PENGARUH KENAIKAN MUKA AIR LAUT TERHADAP KEBERADAAN PULAU-PULAU KECIL

Studi Kasus di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka, Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu

(The Impact of Sea Level Rise on Small Islands Existence: Case Study in Panggang Island and Pramuka Island, Administration District of Kepulauan Seribu)

Herianto¹, Baba Barus², Vincentius P. Siregar³, Nadia Shalehah⁴

¹Program Studi Ilmu Perencanaan Wilayah, FP-IPB, Bogor

²Departemen Ilmu Tanah dan Sumber Daya Lahan, FP-IPB, Bogor

³Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK-IPB, Bogor

⁴Pusat Pemetaan Kelautan dan Lingkungan Pantai, BIG, Bogor

Jl. Raya Darmaga, Gd. Andi Hakin Nasoetion, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

E-mail: leeherianto@apps.ipb.ac.id

Diterima: 07 Desember 2022; Direvisi: 17 Februari 2023; Disetujui untuk Dipublikasikan: 5 April 2023

ABSTRAK

Kenaikan muka air laut merupakan salah satu akibat yang disebabkan oleh pemanasan global. Pemanasan global mempercepat cairnya gletser di permukaan bumi yang menyebabkan kenaikan muka air laut. Kenaikan muka air laut menyebabkan pesisir dan pulau-pulau kecil yang elevasinya relatif rendah terhadap muka air laut secara perlahan akan terendam. Pulau Panggang dan Pulau Pramuka memiliki ketinggian relatif rendah terhadap muka air laut, sehingga pulau-pulau tersebut rentan terhadap dampak kenaikan muka air laut. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui perubahan luas pulau dan wilayah terdampak akibat kenaikan muka air laut. Metode yang digunakan yaitu melakukan pengolahan data pasang surut untuk referensi, menghitung luas pulau, melakukan interpolasi kenaikan muka air laut untuk mendapatkan nilai kenaikan muka air laut dan melakukan model kenaikan muka air laut dan dampaknya terhadap luas Pulau Pramuka dan Pulau Panggang tahun 2050 dan 2100. Hasil pengolahan pasang surut menghasilkan nilai *Highest Astronomical Tide* (HAT) 1,85 m, *Mean Sea Level* (MSL) 1,36 m, dan *Lowest Astronomical Tide* (LAT) 0,81 m terhadap nol palem, dengan tipe pasang surutnya harian tunggal. Luas Pulau Panggang dan Pulau Pramuka pada tahun 2021 yaitu 15,09 ha dan 23,41 ha. Berdasarkan hasil interpolasi, terjadi kenaikan muka air laut di lokasi kajian sebesar 2,55 cm per tahun. Luas Pulau Panggang dan Pulau Pramuka yang berada di bawah HAT pada tahun 2050 yaitu seluas 7,53 ha dan 3,76 ha. Luas pulau yang berada di bawah HAT tahun 2100 menjadi 14,95 ha untuk Pulau Panggang dan 23,27 ha untuk Pulau Pramuka.

Kata kunci: muka air laut, pasang surut, perubahan iklim, pulau-pulau kecil

ABSTRACT

Sea level rise is one of the impacts of global warming. Global warming accelerates glaciers melting on the Earth's surface, which causes sea level rise. Sea level rise causes coastal and small islands, where the elevation is relatively low, to be submerged slowly. Panggang Island and Pramuka Island have relatively low elevations relative to sea level, making them vulnerable to the impacts of sea level rise. This study aims to determine the changes in the area of the island and the affected regions in the spatial utilization zone due to sea level rise. This research processed tidal data as reference, calculated the islands' area, interpolated the rise of sea level to obtain the increasing value of the sea level, and modeled the sea level rise and the impact to the extended area of Pramuka and Panggang Island in 2050 and 2100. The tidal data processing resulted in Highest Astronomical Tide (HAT) 1.85 m, Mean Sea Level (MSL) 1.36 m, Lowest Astronomical Tide (LAT) 0.81 m to zero tidal staff with tidal type diurnal. The total area of Panggang and Pramuka Island in 2021 are 15.09 ha and 23.41 ha, respectively. Based on the sea level interpolation, the sea level of the study area rises at 2.55 cm per year. The total area of Panggang and Pramuka Island under the HAT in 2050 will be 7.53 ha and 3.76 ha, respectively. In 2100, the total area will increase to 14.95 ha and 23.27 ha for Panggang and Pramuka Island, respectively.

Keywords: sea level rise, tides, climate change, small islands

PENDAHULUAN

Pemanasan global menjadi salah satu penyebab naiknya permukaan laut, dimana dapat mengakibatkan pulau-pulau kecil menghadapi

ancaman yang sangat nyata dari dampak perubahan iklim (Nurse et al., 2014). Kondisi tersebut terlihat semakin nyata dengan mencairnya lapisan es dan kandungan panas laut meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi gas

rumah kaca (Nerem et al., 2018). Kenaikan muka air laut menyebabkan berkurangnya wilayah daratan yang disebabkan karena tenggelamnya kawasan pesisir (Sitianingsih et al., 2018). Tenggelamnya kawasan pesisir dapat disebabkan oleh faktor alami ataupun akibat aktivitas manusia (antropogenik) (Handiani et al., 2019).

Dampak yang ditimbulkan dari pencairan gunung-gunung es bukan hanya mengakibatkan naiknya permukaan air laut, tetapi juga menghilangkan atau menenggelamkan pulau-pulau kecil suatu negara (Karlina & Viano, 2020). Indonesia sebagai negara kepulauan dapat mengalami dampak kenaikan muka air laut, karena kemungkinan yang dapat terjadi adalah adanya pulau kecil yang tenggelam sehingga dapat mengakibatkan kerugian yang besar (Mulyani, 2021). Eksistensi pulau-pulau kecil sangat dipengaruhi oleh faktor endogen (gempa bumi) maupun eksogen (abrasi, erosi, atau peningkatan permukaan air laut) (Prabowo & Salahudin, 2016). Pengelolaan wilayah pesisir merupakan tantangan global, mengingat adanya peningkatan ancaman dan tekanan baik dari aktivitas manusia maupun perubahan iklim (Brooks et al., 2020). Bukti nyata tenggelamnya pulau telah berhasil direkam dalam survei lapangan di 5 pulau oleh Ramdhan et al. (2019), yaitu Pulau Nyamuk Besar/Nirwana, Pulau Tala, Pulau Nusi, Pulau Ubi dan Pulau Dapur. Pulau-pulau tersebut teridentifikasi sebagai pulau yang tenggelam di Teluk Jakarta.

Kenaikan muka air laut di perairan Indonesia sangat beragam dengan kenaikan muka air laut tertinggi berada di Selat Sunda sebesar 27,06 mm/tahun sedangkan kenaikan terendah berada di Laut Flores sebesar 1,83 mm/tahun (Mayasari & Handoko, 2009). Kenaikan muka air laut merupakan salah satu penyebab terjadinya perubahan garis pantai (Darmiati et al., 2020) dengan indikasi adanya perubahan posisi garis pantai ke wilayah darat (Kisnarti & Prasita, 2012). Dampak utama dari kenaikan muka air laut adalah terjadinya perubahan pada kondisi fisik lingkungan (Dasanto et al., 2020). Berdasarkan data resmi yang dirilis oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) jumlah pulau yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia adalah sebanyak 17.000 pulau (BIG, 2021a). Sebagian besar pulau di Indonesia merupakan pulau kecil dengan luasan kurang dari 2.000 km² (RI, 2020).

Hilangnya ekosistem mangrove dan adanya kenaikan muka air laut serta besarnya energi gelombang laut yang menghempas ke daratan mengakibatkan bencana di wilayah pesisir, salah satunya adalah banjir rob (Handiani et al., 2019). Hal tersebut sesuai dengan yang disampaikan oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) bahwa Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu memiliki ancaman gelombang ekstrim dan abrasi dengan tingkat ancaman tinggi (BNPB, 2021). Elevasi pulau yang relatif rendah memerlukan adanya pengelolaan wilayah pesisir secara berkelanjutan untuk mengantisipasi adanya

ancaman bencana akibat kenaikan permukaan air laut, hal tersebut perlu dijadikan pertimbangan dalam pengambilan keputusan untuk melindungi wilayah pesisir (Meilianda et al., 2019). Perubahan luas Pulau Panggang dan Pulau Pramuka yang berada di bawah HAT berdampak terhadap penduduk yang tinggal di pulau-pulau tersebut. Hal tersebut dikarenakan jumlah penduduk yang tinggal di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka tergolong sudah padat. Oleh sebab itu maka perlu dilakukan mitigasi bencana agar dampak kenaikan muka air laut dapat diminimalisir. Tujuan dari tulisan ini yaitu untuk menganalisis perubahan luas pulau dan luas zona pemanfaatan terdampak kenaikan muka air laut di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka.

METODE

Lokasi Penelitian

Pulau Panggang secara geografis terletak pada posisi 106°36'04,00" BT, 05°44'17,00" LS, pulau pramuka terletak pada posisi 106°36'50,00" BT, 05°44'44,00" LS. Pulau Panggang dan Pulau Pramuka berada di Kelurahan Pulau Panggang, Kecamatan Kepulauan Seribu Utara, Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu. Pulau Panggang dan Pulau Pramuka merupakan pulau-pulau kecil yang berada di Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu yang merupakan kawasan Taman Nasional Kepulauan Seribu (TNKpS) (Afifah et al., 2019). Berdasarkan Perda No. 1 Tahun 2014 tentang rencana detail tata ruang dan rencana zonasi, Pulau Panggang dan Pulau Pramuka dialokasikan sebagai zona perumahan.

Berdasarkan Peraturan Gubernur Nomor 31 Tahun 2022 tentang Rencana Detail Tata Ruang (RDTR), pemanfaatan ruang di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka dibagi menjadi beberapa zona yang meliputi zona bahu jalan, zona pelayanan umum, zona kantor, zona perlindungan setempat, zona perumahan, zona ruang terbuka hijau dan zona transportasi.

Rata-rata elevasi Pulau Panggang dan Pulau Pramuka terhadap *mean sea level* yaitu 1,2 m dan 1,5 m. Tipe pasang surut di wilayah Pulau Panggang dan Pulau Pramuka yaitu *diurnal* atau harian tunggal (Suhery et al., 2017).

Jumlah penduduk yang tinggal di kedua pulau tersebut sebanyak 7.129 jiwa dengan rincian 5.864 jiwa tinggal di Pulau Panggang dan 1.265 jiwa tinggal di Pulau Pramuka (BPS Kabupaten Kepulauan Seribu, 2021).

Berdasarkan data iklim tahun 2021 menunjukkan bahwa suhu tertinggi yaitu 35,0° C dan suhu terendah 21,6° C, dengan rata-rata suhu bulanan berkisar antara 25,7-30,7° C. Lokasi penelitian disajikan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Lokasi penelitian.

Data Penelitian

Data spasial yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data garis pantai tahun 2021 skala 1:5.000, data *Digital Elevation Model (DEM)* tahun 2021 dan data pasang surut tahun 2021 yang didapatkan dari Badan Informasi Geospasial (BIG), Peta Rencana Detail Tata Ruang (RDTR) wilayah Pulau Panggang dan Pulau Pramuka tahun 2022 yang diakses di <https://jakartasatu.jakarta.go.id/>.

Selain data spasial dibutuhkan juga data non spasial yang berupa data kenaikan muka air laut berdasarkan hasil penelitian sebelumnya tahun 2009. Data kenaikan muka air laut yang diamati di beberapa lokasi di Indonesia diinterpolasi untuk mengetahui kenaikan muka air laut di lokasi kajian.

Data pasang surut diperoleh dari BIG hasil survei tahun 2021 selama 57 hari. Data pasang surut digunakan untuk mengetahui nilai tipe pasang surut, nilai *Highest Astronomical Tide (HAT)*, *Mean Sea Level (MSL)* dan *Lowest Astronomical Tide (LAT)*. Data Garis pantai HAT digunakan sebagai dasar untuk menghitung luas Pulau Panggang dan Pulau Pramuka pada tahun 2021. Nilai HAT digunakan sebagai referensi ketinggian untuk data DEM yang sebelumnya masih direferensikan terhadap MSL.

Metode Penelitian

Metode penelitian secara keseluruhan disajikan melalui diagram alir ada **Gambar 2**.

Pengolahan Data Pasang Surut

Pengamatan pasang surut dilakukan selama 15 atau 29 piantan dengan 1 piantan = 25 jam (Putra et al., 2019). Stasiun pasang surut terletak di dermaga Pulau Pramuka dengan menggunakan peralatan *veleport*. Data yang diperoleh berupa nilai ketinggian air laut per 5 menit. Data diolah dengan menggunakan metode *Least Square* dan diprediksi selama 18,6 tahun. Hal ini dikarenakan periode yang diperlukan untuk bulan untuk berputar dan kembali ke posisi semula, yaitu 18,6 tahun (Hicks, 2006). Hasil yang diperoleh berupa nilai tinggi air pada saat pasang tertinggi, tinggi muka air laut rata-rata, tinggi muka air laut surut terendah. Nilai tinggi air pada saat pasang tertinggi digunakan referensi

terhadap nilai ketinggian DEM Pulau Panggang dan Pulau Pramuka. Data pasang surut diolah dengan menggunakan metode *least square*. Data pasang surut disusun berdasarkan urutan waktu dan tinggi kedudukan air (dd/mm/yyyy hh:mm:ss, *Heigth (m)*). **Tabel 1** menyajikan contoh hasil pengolahan data pasang surut pada bulan Mei dan Juli 2021.

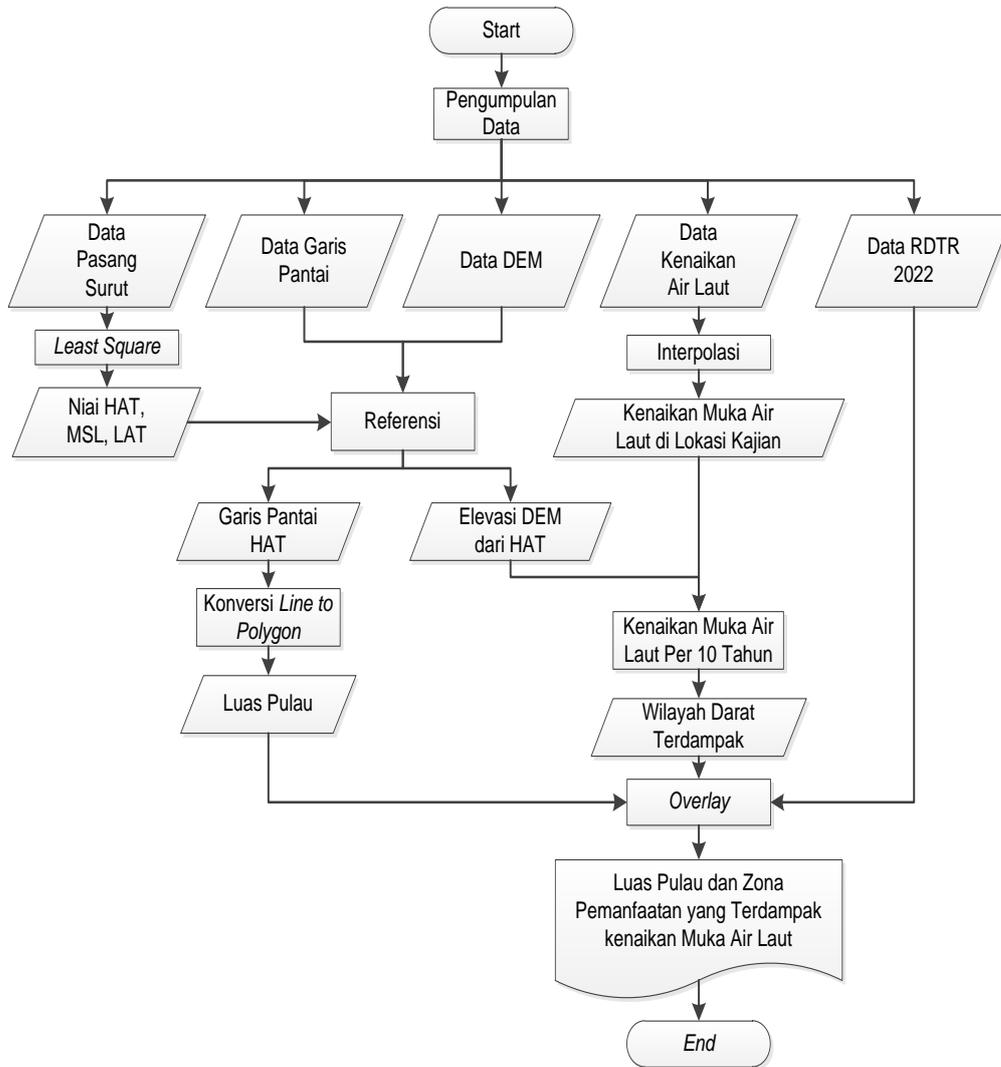
Perhitungan Luas Pulau

Pulau merupakan daratan yang terbentuk secara alami, selalu dikelilingi air dan tidak tenggelam pada saat pasang tinggi (UNCLOS, 1982). Pembentukan pulau dengan menggunakan data garis pantai dari BIG hasil survei tahun 2021 (BIG, 2021b) yang terdiri atas 3 garis pantai yaitu garis pantai air surut terendah (LAT), garis pantai muka air laut rata-rata (MSL), garis pantai pasang tertinggi (HAT). Selanjutnya dipilih garis pantai HAT atau garis pantai pasang tertinggi untuk menghitung luas pulau dengan metode konversi *line to polygon*. *Feature* pulau yang berupa poligon selanjutnya dihitung luasnya dalam satuan hektar (ha).

Perhitungan Kenaikan Muka Air Laut

Ancaman dan bencana terhadap pulau kecil dapat berbeda-beda tergantung pada karakteristik dan tipologi pulau tersebut (Mutaqin et al., 2022). Penentuan kenaikan muka air laut dilakukan dengan menggunakan metode interpolasi data hasil penelitian sebelumnya. Data kenaikan muka air laut di masing-masing stasiun disajikan pada **Tabel 2**. Perhitungan kenaikan muka air laut setiap 10 tahun untuk mengetahui wilayah pulau (darat) yang posisinya berada di bawah nilai HAT. Sehingga dapat diketahui seberapa luas Pulau Panggang dan Pulau Pramuka mulai tahun 2021 sampai tahun 2100. Peta Rencana Detail Tata Ruang (RDTR) yang berformat gambar dilakukan *georeferencing* dan didigitasi untuk mendapatkan peta RDTR format vektor selanjutnya dilakukan *topology*. Data peta RDTR di-*overlay* dengan area yang terdampak kenaikan muka air laut sampai tahun 2050 sehingga diperoleh luasan zona pemanfaatan yang terdampak di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka.

Metode interpolasi yang digunakan adalah *Spline*, *Natural Neighbor*, *Krigging* dan *Invers Distance Weighted (IDW)*. Pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak *Geographic Information System (GIS)*. Raster yang terbentuk dari metode interpolasi selanjutnya diambil nilai elevasinya dengan menggunakan metode *add surface information*. Karena merupakan salah satu bencana, maka kenaikan muka air laut yang tertinggi yang diambil. Kenaikan muka air laut dihitung kenaikannya pada tahun 2030, 2040, 2050, 2060, 2070, 2080, 2090 dan 2100 dengan nilai hasil interpolasi kenaikan air laut yang dipilih yaitu nilainya mendekati kenaikan muka air laut di lokasi terdekat.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

Tabel 1. Hasil pengolahan data pasang surut.

dd/mm/yyyy	hh:mm:ss	Height (m)
26/05/2021	13:54:00	1,278
26/05/2021	13:59:00	1,287
26/05/2021	14:04:00	1,291
26/05/2021	14:09:00	1,296
26/05/2021	14:14:00	1,305
26/05/2021	14:19:00	1,307
26/05/2021	14:24:00	1,314
26/05/2021	14:29:00	1,323
26/05/2021	14:34:00	1,326
22/07/2021	8:38:00	0,907
22/07/2021	8:43:00	0,912
22/07/2021	8:48:00	0,917
22/07/2021	8:53:00	0,920
22/07/2021	8:58:00	0,924
22/07/2021	8:43:00	0,912
22/07/2021	8:48:00	0,917
22/07/2021	8:53:00	0,920
22/07/2021	8:58:00	0,924

Sumber: BIG (2021b)

Tabel 2. Kenaikan muka air laut.

Sta.	Latitude	Longitude	Kenaikan muka air laut (mm)
1	2 LU	98 BT	5,4
2	4 LU	99 BT	11,2
3	4 LU	107 BT	5,8
4	8 LS	102 BT	13,15
5	6,125 LS	105,25 BT	27,06
6	5 LS	111 BT	6,08
7	7,5 LS	114 BT	5,58
8	2,5 LS	119 BT	2,12
9	5 LS	121,75 BT	1,83
10	4 LS	127 BT	4,42
11	2 LS	130 BT	6,95
12	1 LU	130 BT	11,95
13	8 LS	137 BT	7,332
14	3 LU	138 BT	13,93

Sumber: Mayasari dan Handoko (2009)

Penentuan Area Terdampak Kenaikan Muka Air Laut

Data *Digital Elevation Model* (DEM) menggunakan data dari BIG hasil survei tahun 2021 yang ketinggiannya direferensikan terhadap HAT dengan memberikan koreksi sebesar 0,49 m. Data ini digunakan untuk mendapatkan elevasi Pulau Panggang dan Pulau Pramuka terhadap muka air laut pasang tertinggi. Area ketinggian diklasifikasikan menjadi sembilan dengan interval disesuaikan kenaikan muka air laut pada tahun 2021, 2030, 2040, 2050, 2060, 2070, 2080, 2090, dan 2100 dengan menggunakan metode *reclassify* sesuai dengan kenaikan muka air laut. Hasil *reclassify* selanjutnya dibentuk menjadi poligon dengan metode *raster to polygon*. Poligon yang terbentuk dihitung luasnya yang terdampak kenaikan muka air laut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengolahan data pasang surut di stasiun dermaga Pulau Pramuka dari data selama 57 hari yang dimulai dari tanggal 26 Mei 2021 sampai 22 Juli 2021 menghasilkan nilai MSL sebesar 1,36 m di atas nol palem. Konstanta harmonik yang dihasilkan sebanyak 37 konstanta dengan nilai fomalnya yaitu 5,66 termasuk tipe pasang surut *diurnal* atau harian tunggal. Nilai konstanta harmonik ini dapat digunakan untuk mengetahui sifat dan karakter pasut di suatu tempat dari hasil pengamatan pasut dalam kurun waktu tertentu (Dwiyuliani et al., 2020). Nilai *Frequency*, *Amplitudo* dan *Phase* disajikan pada **Tabel 3**.

Nilai konstanta harmonik selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk melakukan prediksi selama 18,6 tahun. Hasil prediksi selama 18,6 tahun diperoleh nilai LAT 0,81m, MSL 1,36 m dan HAT 1,85 m di atas nol palem, plot prediksi pasang surut disajikan dalam **Gambar 3**. Nilai yang digunakan sebagai koreksi ketinggian terhadap data DEM yaitu selisih antara nilai HAT terhadap MSL yaitu 0,49 m. Referensi yang digunakan untuk menghitung ketinggian daratan yang sebelumnya direferensikan terhadap MSL sehingga perlu diubah referensinya terhadap HAT. Data DEM yang digunakan merupakan data *Digital Terrain Model* (DTM) yang disurvei menggunakan lidar dan foto udara.

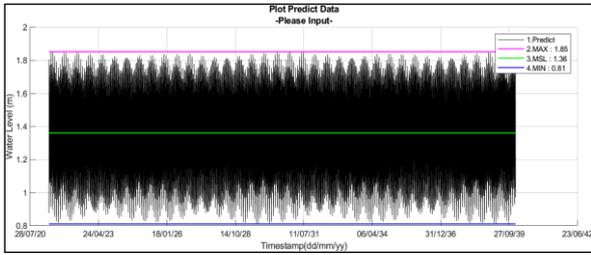
Hasil perhitungan luas Pulau Panggang dan Pulau Pramuka diperoleh dari data garis pantai pasang tertinggi yang dirubah ke poligon. Luas Pulau Panggang dan Pulau Pramuka masing-masing 15,09 ha dan 23,41 ha. Area Pulau Panggang dan Pulau Pramuka dapat dilihat pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**.

Berdasarkan kenampakan dari foto udara, kawasan terbangun di Pulau Panggang lebih padat dibandingkan dengan Pulau Pramuka. Kenaikan muka air laut akan membawa dampak yang serius terhadap wilayah yang elevasinya relatif rendah terhadap muka air laut, terutama yang

dimanfaatkan untuk permukiman di kedua pulau tersebut. Wilayah pesisir yang terdampak kenaikan permukaan air laut memiliki konsekuensi yang dapat merugikan bagi manusia (Hirschfeld & Hill, 2022), seperti seringnya terjadi banjir, erosi pantai, kerusakan infrastruktur dan hilangnya habitat laut. Hasil interpolasi kenaikan muka air laut di lokasi kajian dari 14 data di wilayah Indonesia dengan metode *Spline* dapat dilihat pada **Gambar 6**. Nilai kenaikan muka air laut setiap tahun yaitu 25,47 mm/th.

Tabel 3. Konstanta harmonik.

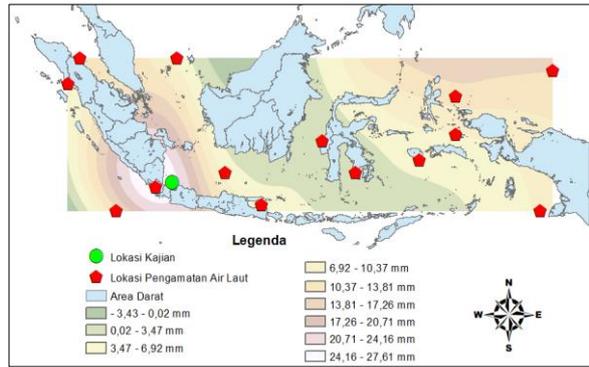
Const	Freq	Ampl	Phase
MM	0,00	0,02	234,36
MSF	0,00	0,00	62,64
ALP1	0,03	0,00	87,41
2Q1	0,04	0,01	22,47
Q1	0,04	0,04	88,99
O1	0,04	0,13	121,00
NO1	0,04	0,00	204,26
K1	0,04	0,28	138,65
J1	0,04	0,03	211,16
OO1	0,04	0,01	182,99
UPS1	0,05	0,00	95,63
EPS2	0,08	0,00	270,55
MU2	0,08	0,00	201,17
N2	0,08	0,02	324,89
M2	0,08	0,04	8,85
L2	0,08	0,00	349,32
S2	0,08	0,04	284,30
ETA2	0,09	0,00	106,05
MO3	0,12	0,00	327,16
M3	0,12	0,01	212,83
MK3	0,12	0,01	351,32
SK3	0,13	0,01	333,23
MN4	0,16	0,00	122,73
M4	0,16	0,01	125,20
SN4	0,16	0,00	52,26
MS4	0,16	0,01	171,33
S4	0,17	0,00	75,64
2MK5	0,20	0,00	316,02
2SK5	0,21	0,00	344,09
2MN6	0,24	0,00	235,10
M6	0,24	0,00	287,19
2MS6	0,24	0,00	22,62
2SM6	0,25	0,00	222,59
3MK7	0,28	0,00	257,12
M8	0,32	0,00	278,20
3MK7	0,28	0,00	257,12
M8	0,32	0,00	278,20



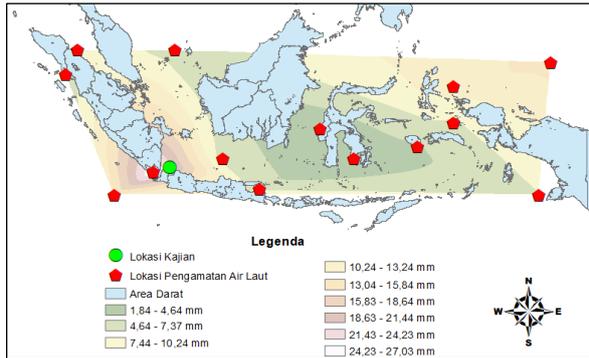
Gambar 3. Grafik prediksi pasang surut.

Hasil interpolasi kenaikan muka air laut di lokasi kajian dari 14 data di wilayah indonesia dengan metode *Natural Neighbor* dapat dilihat pada Gambar 7. Nilai kenaikan muka air laut setiap tahun berdasar interpolasi dengan metode *Natural Neighbor* yaitu 22,07 mm/tahun. Hasil interpolasi kenaikan muka air laut di lokasi kajian dari 14 data di wilayah indonesia dengan metode *Krigging* dapat dilihat pada Gambar 8. Nilai kenaikan muka air laut setiap tahun yaitu 20,71 mm/th.

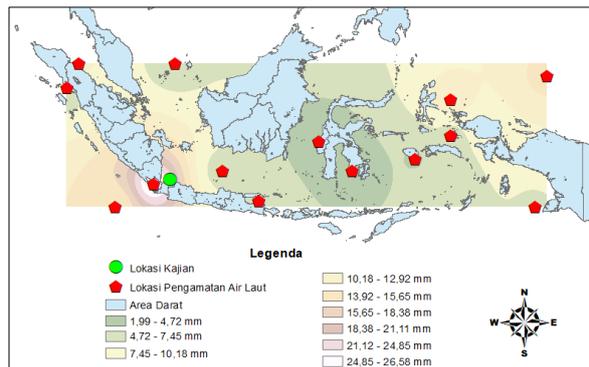
Hasil interpolasi kenaikan muka air laut di lokasi kajian dari 14 data di wilayah indonesia dengan metode metode metode IDW dapat dilihat pada Gambar 9. Nilai kenaikan muka air laut setiap tahun berdasar interpolasi dengan metode IDW yaitu 22,70 mm/tahun. Rekapitulasi hasil interpolasi dengan menggunakan 4 (empat) metode disajikan pada Tabel 4.



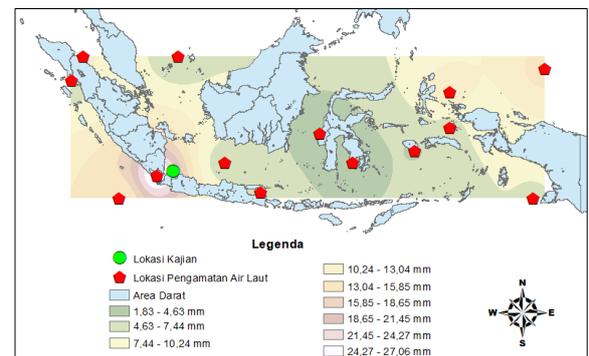
Gambar 6. Interpolasi dengan metode spline.



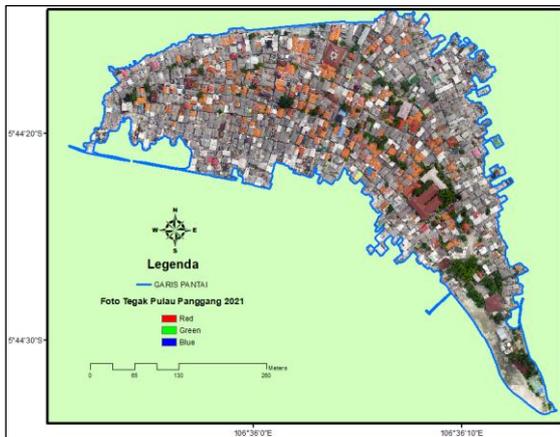
Gambar 7. Interpolasi dengan metode natural neighbor.



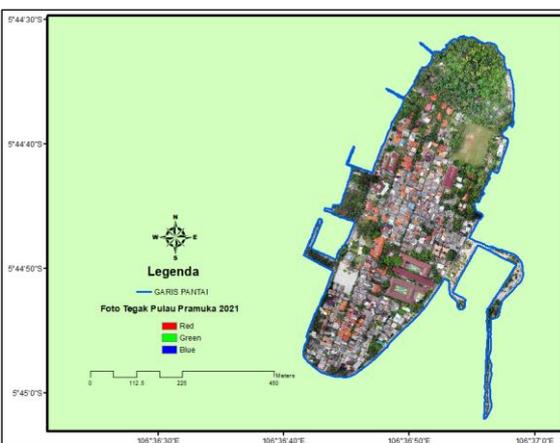
Gambar 8. Interpolasi dengan metode krigging.



Gambar 9. Interpolasi dengan metode IDW.



Gambar 4. Foto udara Pulau Panggang Tahun 2021.



Gambar 5. Foto udara Pulau Pramuka Tahun 2021.

Tabel 4. Metode interpolasi dan hasil.

No	Metode Interpolasi	Kenaikan Air Laut (mm/th)
1	Spline	25,47
2	Natural Neighbor	22,07
3	Krigging	20,71
4	IDW	22,70

Kenaikan muka air laut di lokasi kajian menggunakan nilai 25,47 mm/tahun yang diperoleh dengan metode interpolasi *spline*. Metode ini diambil karena kenaikan muka air laut merupakan suatu bencana sehingga diambil yang acamannya paling besar. Pada tahun 2021 luas Pulau Panggang dan Pulau Pramuka yang berada di atas HAT yaitu 15,09 ha dan 23,41 ha. Ketinggian Pulau Panggang dan Pulau Pramuka diatas HAT pada tahun 2021 ditunjukkan pada **Gambar 10** dan **Gambar 11**.

Hasil perhitungan kenaikan muka air laut pada tahun 2030, 2040 dan 2050 terjadi kenaikan sebesar 0,74 m. Dampak yang ditimbulkan terhadap Pulau Panggang dan Pulau Pramuka yaitu area pulau yang berada di bawah HAT seluas 7,53 ha dan 3,76 ha. Wilayah Pulau Panggang dan Pulau Pramuka yang terdampak kenaikan muka air laut pada tahun 2050 dan wilayah yang masih berada diatas HAT dapat dilihat pada **Gambar 12** dan **Gambar 13**.

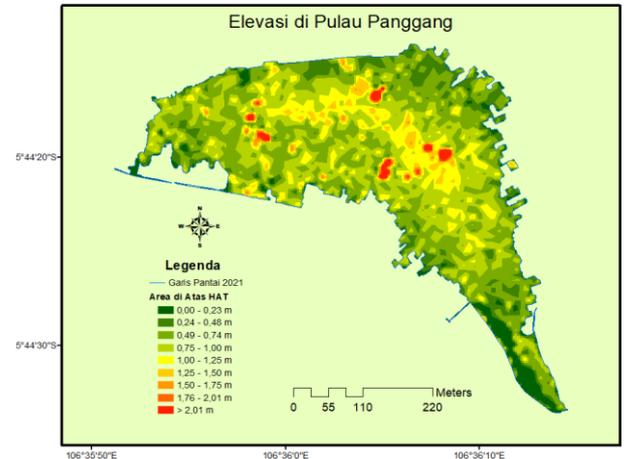
Zona pemanfaatan berdasarkan Pemprov DKI Jakarta (2022) yang terdampak yaitu zona perumahan. Hal ini dikarenakan luas zona untuk perumahan memiliki porsi yang paling luas dibandingkan dengan zona lainnya. Wilayah zona pemanfaatan di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka yang terdampak adanya kenaikan permukaan air laut sampai tahun 2050 disajikan pada **Gambar 14** dan **Gambar 15**.

Berdasarkan hasil perhitungan proyeksi kenaikan air laut dan elevasi di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka, didapatkan nilai luasan pulau-pulau tersebut mulai tahun 2021 sampai tahun 2100 yang disajikan pada **Tabel 5**. Hasil perhitungan kenaikan muka air laut pada tahun 2030, 2040, 2050, 2060, 2070, 2080, 2090 dan 2100 terjadi kenaikan sebesar 2,01 m. Apabila tidak ada campur tangan manusia dalam melindungi Pulau Panggang dan Pulau Pramuka dan faktor geologi yang menyebabkan perubahan pulau, maka dampak yang ditimbulkan terhadap Pulau Panggang dan Pulau Pramuka yaitu area pulau yang berada di bawah HAT masing-masing seluas 14,95 ha dan 23,27 ha. Pada tahun 2100 masih terdapat wilayah yang elevasinya berada di atas HAT yaitu seluas 0,14 ha di Pulau Panggang dan 0,14 ha di Pulau Pramuka.

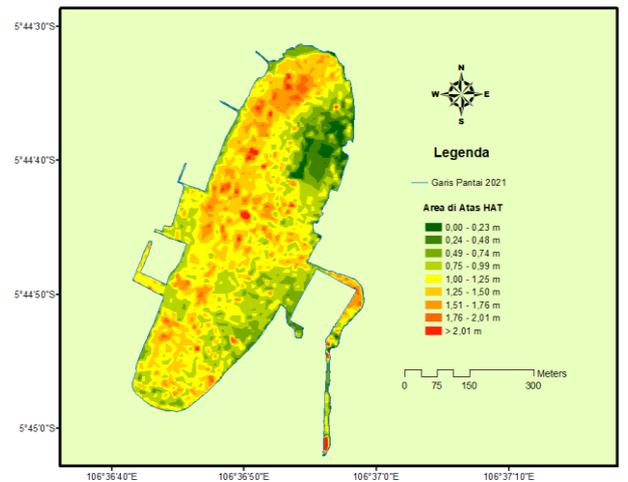
Pada tahun 2050 wilayah zona pemanfaatan di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka yang terdampak kenaikan muka air laut disajikan pada **Tabel 6**. Zona pemanfaatan berdasarkan Pemprov DKI Jakarta (2022), yang terdiri dari bahu jalan, pelayanan umum, perkantoran, perlindungan setempat, perumahan, ruang terbuka hijau dan area transportasi akan terdampak oleh kenaikan seluas 6,86 ha di Pulau Panggang dan 3,21 ha di Pulau Pramuka.

Kenaikan permukaan laut menimbulkan ancaman signifikan bagi pulau kecil di negara berkembang karena padatnya konsentrasi penduduk, aset dan infrastruktur di wilayah pesisir (Hirschfeld & Hill, 2022).

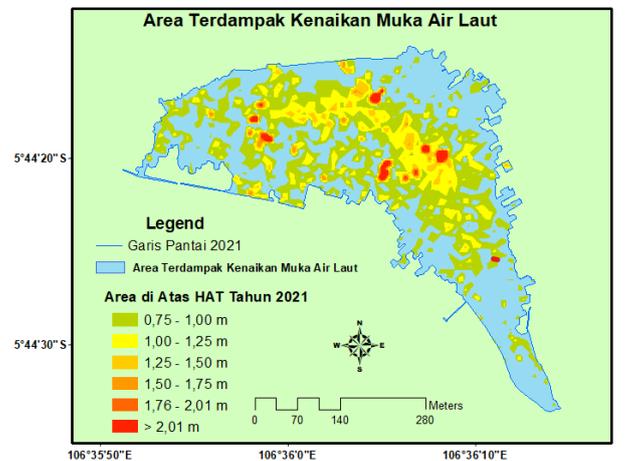
Kenaikan muka air laut tidak hanya berdampak terhadap pulau-pulau kecil namun juga mengancam kawasan pesisir pulau besar. Sebagai contoh, pesisir utara Banten terdampak kenaikan muka air laut dengan kenaikan muka air laut setinggi 0,25 m, mengakibatkan wilayah terdampak seluas 598,49 ha di Kecamatan Kaseman Kota Serang atau hampir 10% dari total wilayahnya yaitu 6.239,09 ha (Azhari et al., 2022).



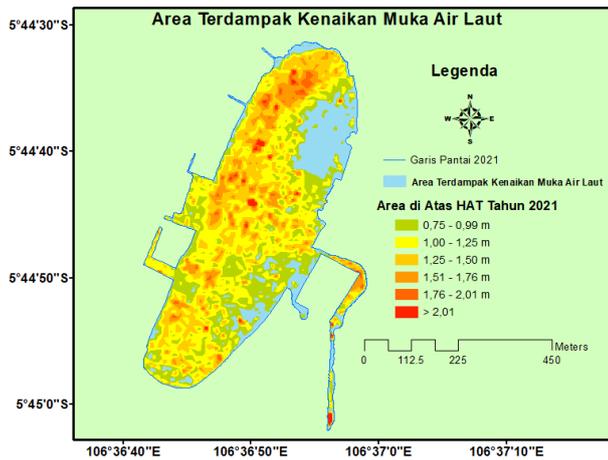
Gambar 10. Kondisi aktual Pulau Panggang Tahun 2021.



Gambar 11. Kondisi aktual Pulau Pramuka Tahun 2021.



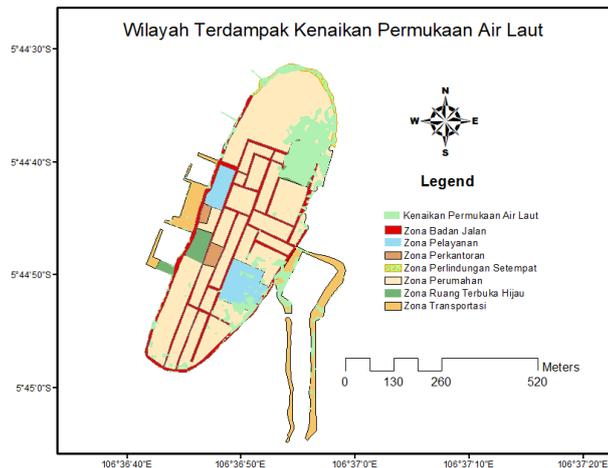
Gambar 12. Kondisi Pulau Panggang tahun 2050.



Gambar 13. Kondisi Pulau Pramuka Tahun 2050.



Gambar 14. Zona pemanfaatan di Pulau Panggang yang terdampak kenaikan permukaan air laut sampai tahun 2050 (modifikasi).



Gambar 15. Zona pemanfaatan di Pulau Pramuka yang terdampak kenaikan permukaan air laut sampai tahun 2050 (modifikasi).

Selain di wilayah Banten kenaikan muka air laut juga mengancam Wilayah Lampung dengan kenaikan 0,60 m, akan mengakibatkan 11,87 ha di Kecamatan Telukbetung Selatan akan terdampak (Ariawan, 2022). Masalah lebih penting yaitu jika kenaikan air laut mengancam keberadaan pulau yang digunakan sebagai referensi penarikan garis pangkal maka akan mempengaruhi wilayah

teritorial negara yang bersangkutan (Ersya & Novianti, 2020).

Oleh karena itu dibutuhkan komitmen bersama yang bersifat global, regional dan lokal yang mendukung keberlanjutan wilayah pesisir terutama pulau-pulau kecil sehingga keberlanjutan ekosistem dan kondisi sosial dan budayanya terjaga dengan baik.

Tabel 5. Perubahan luas Pulau Panggang dan Pulau Pramuka hingga tahun 2100.

Tahun	Pulau Panggang		Pulau Pramuka	
	Luas (ha)	Posisi di bawah HAT (ha)	Luas (ha)	Posisi di bawah HAT (ha)
2021	15,09	0,64	23,41	0,44
2030	14,45	1,61	22,97	1,06
2040	12,84	5,28	21,91	2,26
2050	7,56	5,03	19,65	5,07
2060	2,53	1,83	14,58	7,14
2070	0,70	0,42	7,44	4,96
2080	0,28	0,10	2,48	1,90
2090	0,18	0,04	0,58	0,44
2100	0,14		0,14	
Jumlah		14,95		23,27

Tabel 6. Zona pemanfaatan terdampak kenaikan permukaan air laut sampai tahun 2050.

No	Kode	Zona	Luas Terdampak (ha)	
			P. Panggang	P. Pramuka
1	BJ	Bahu Jalan	0,38	0,41
2	SPU	Pelayanan Umum	0,11	0,19
3	KT	Perkantoran	0,10	0,00
4	PS	Perlindungan Setempat	0,63	0,22
5	R-1	Perumahan	5,43	1,47
6	RTH	Ruang Terbuka Hijau	0,03	0,88
7	TR	Transportasi	0,18	0,45
Total Luas Terdampak			6,86	3,21

KESIMPULAN

Hasil pengolahan data pasang surut di lokasi kajian memiliki tipe pasang surut harian tunggal (*diurnal*) dengan nilai HAT 1,85 m, MSL 1,36 m dan LAT 0,81 m di atas nol palem. Kenaikan muka air laut di wilayah Pulau Panggang dan Pulau Pramuka berdasarkan hasil interpolasi yaitu sebesar 2,55 cm per tahun. Kenaikan muka air laut memiliki dampak terhadap keberadaan Pulau Panggang dan Pulau Pramuka. Jika tidak ada campur tangan dari manusia untuk melindungi pulau tersebut, maka luas Pulau Panggang dan Pulau Pramuka pada tahun 2050 yaitu 7,65 ha dan 19,56 ha.

Dampak dari kenaikan muka air laut terhadap zona permukiman di Pulau Panggang seluas 5,43 ha dan di Pulau Pramuka 1,47 ha. Adanya ancaman nyata dari bencana kenaikan permukaan air laut ini menunjukkan betapa pentingnya mengambil

tindakan dalam mengatasi masalah dan mengurangi dampak negatifnya. Pemerintah dapat meningkatkan investasi pada sistem pengendalian bencana dan memperkuat infrastruktur untuk melindungi wilayah-wilayah yang rentan terhadap kenaikan muka air laut. Upaya yang lebih besar harus dilakukan oleh seluruh masyarakat dan dunia untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan memperlambat perubahan iklim yang menyebabkan kenaikan muka air laut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Badan Informasi Geospasial (BIG) yang telah berkontribusi dalam memberikan data dan aplikasi yang digunakan dalam jurnal ini dan Pusbindiklatren BAPPENAS yang telah memberikan biaya dalam penelitian ini, beserta semua pihak yang telah berpartisipasi dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Afifah, A.N., Sabila, F. & Hardi, O.S. (2019). Analisis karakteristik habitat penyu sisik Taman Nasional Kepulauan Seribu, Provinsi DKI Jakarta. *Jurnal Siliwangi Seri Sains dan Teknologi*, 5(1), 23-27.
- Ariawan, I. (2022). Model prediktif genangan kenaikan muka air laut di Kecamatan Telukbetung Barat dan Telukbetung Selatan. *Jurnal Georaflesia*, 7(2), 182-195. DOI: <https://doi.org/10.32663/georaf.v7i2.3200>.
- Azhari, D.R., Lestari, D.A. & Arifin, W.A. (2022). Pemodelan spasial genangan banjir rob, Studi kasus: Pesisir Utara Banten (Kecamatan Kasemen). *Jurnal Georaflesia: Artikel Ilmiah Pendidikan Geografi*, 7(2), 173-181. DOI: <https://doi.org/10.32663/georaf.v7i2.3201>.
- BIG (Badan Informasi Geospasial). (2021a). Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 51 Tahun 2021 tentang Nama Rupa Bumi Baku Tahun 2021. Badan Informasi Geospasial. Bogor.
- BIG (Badan Informasi Geospasial). (2021b). Data Garis Pantai. Belum dipublikasikan. Badan Informasi Geospasial. Bogor.
- BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana). (2021). *Indeks Resiko Bencana Indonesia Tahun 2021*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana. Jakarta.
- BPS (Badan Pusat Statistik) Kabupaten Kepulauan Seribu. Badan Pusat Statistik Kabupaten Kepulauan Seribu. Jakarta.
- Brooks, K., Barclay, K., Grafton, R.Q. & Gollan, N. (2020). Transforming coastal and marine management: Deliberative democracy and integrated management in New South Wales, Australia. *Marine Policy*, 139, 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104053>.
- Darmiati, Nurjaya, I.W. & Atmadipoera, A.S. (2020). Analisis perubahan garis pantai di Wilayah Pantai Barat Kabupaten Tanah Laut Kalimantan Selatan. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(1), 211-222. DOI: <https://doi.org/http://doi.org/10.29244/jitkt.v12i1.22815>.
- Dasanto, B.D., Sulistiyanti, S., Anria, A. & Boer, R. (2020). Dampak perubahan iklim terhadap kenaikan muka air laut di Wilayah Pesisir Pangandaran. *Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan Rumusan Kajian Strategis Bidang Pertanian dan Lingkungan*, 7(2), 82-94. DOI: <https://doi.org/10.29244/kjebijakan.v7i2.28039>.
- Dwiyuliani, I., Atmawidjaja, R.R. & Apriyanti, D. (2020). Penentuan komponen konstanta harmonik pasut dengan data satelit altimetri di Perairan Laut Bagian Selatan Pulau Jawa. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Geodesi*, 1(1), 1-10.
- Ersya, D. & Novianti. (2020). Pulau hilang: wilayah teritorial berkurang? *Uti Possidetis: Journal of International Law*, 1(2), 148-168. DOI: <https://doi.org/10.22437/up.v1i2.9936>.
- Handiani, D.N., Darmawan, S., Heriti, A. & Aditya, Y.D. (2019). Kajian kerentanan pesisir terhadap kenaikan muka air laut di Kabupaten Subang. *Jurnal Kelautan Nasional*, 14(3), 145-154. DOI: <https://doi.org/10.15578/jkn.v14i3.7583>
- Hicks, S.D. (2006). *Understanding tides*. National Oceanic and Atmospheric Administration National Ocean Service (NOAA). U.S. Department Of Commerce. Washington D.C. USA.
- Hirschfeld, D. & Hill, K.E. (2022). The landscape of sea-level rise adaptation resources: Applying grounded theory in California. *Climate Services*, 28, 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2022.100332>.
- Karlina, W.R. & Viano, A.S. (2020). Pengaruh naiknya permukaan air laut terhadap perubahan garis pangkal pantai akibat perubahan iklim. *Jurnal Komunikasi Hukum (JKH) Universitas Pendidikan Ganesha*, 6(2), 575-586. DOI: <https://doi.org/10.23887/jkh.v6i2.28203>.
- Kisnarti, E.A. & Prasita, V.D. (2012). Kajian pasang surut dalam penentuan dampak kenaikan muka laut di Pantai Timur Surabaya. *Prosiding Seminar Nasional ke II: Hasil-Hasil Penelitian Perikanan dan Kelautan, Faultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Diponegoro*, 3, 44-51.
- Mayasari, O.S. & Handoko, E.Y. (2009). Analisa sea level rise dari data satelit altimetri topex / poseidon dan data sea surface temperature menggunakan software brat 2.0.0 (Studi kasus: Perairan Indonesia). *Jurnal Geoid*, 5(1), 39-47. DOI: <http://dx.doi.org/10.12962/j24423998.v5i1.7329>.
- Meilianda, E., Pradhan, B., Syamsidik, Comfort, L.K., Alfian, D., Juanda, R., ... & Munadi, K. (2019). Assessment of post-tsunami disaster land use/land cover change and potential impact of future sea-level rise to low-lying coastal areas: A case study of Banda Aceh coast of Indonesia. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 41, 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101292>.
- Mulyani, A.S. (2021). Antisipasi terjadinya pemanasan global dengan deteksi dini suhu permukaan air menggunakan data satelit. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil dan Lingkungan*, 2(1), 22-29. DOI: <https://doi.org/10.33541/cen.v2i1.2807>.
- Mutaqin, B.W., Amanatulloh, D.A., Waskita, T.B., Marfai, M.A., Isnain, M.N., Alwi, M. & Khomarudin, M.R. (2022). Analisis geomorfologi dan oseanografi untuk identifikasi tipologi pulau kecil di Kepulauan Maluku Utara dan Karimunjawa. *Jurnal Pendidikan Geografi*, 9(1), 1-16. DOI: <https://doi.org/10.20527/jpg.v9i1.12459>.
- Nerem, R.S., Beckley, B.D., Fasullo, J.T., Hamlington, B.D., Masters, D. & Mitchum, G.T. (2018). Climate-change-driven accelerated sea-level rise detected in the altimeter era. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(9), 2022-2025. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1715111115>.

- <https://doi.org/10.1073/pnas.1717312115>.
- Nurse, L.A., Mclean, R.F., Agard, J., Briguglio, L.P., Duvat-Magnan, V., N., ... & Webb, A. (2014). *Small islands*. Cambridge University Press. USA.
- Pemprov (Pemerintah Provinsi) DKI Jakarta. (2022), Peraturan Gubernur Nomor 31 Tahun 2022 (DKI Jakarta, 2022) tentang Rencana Detail Tata Ruang Wilayah Perencanaan Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta. Pemerintah Provinsi) DKI Jakarta. Jakarta.
- Prabowo, H.H. & Salahudin, M. (2016). Potensi tenggelamnya pulau-pulau kecil terluar wilayah NKRI. *Jurnal Geologi Kelautan*, 14(2), 115-122. DOI: <http://dx.doi.org/10.32693/jgk.14.2.2016.356>.
- Ramadhan, M., Amri, S.N. & Priyambodo, D.G. (2019). Survey Identifikasi pulau-pulau tenggelam di Teluk Jakarta. *Jurnal Riset Jakarta*, 12(1), 1-6. DOI: <https://doi.org/10.37439/jurnaldrd.v12i1.4>.
- RI (Republik Indonesia). (2023). Undang-Undang Nomor 6 Tahun 2023 tentang Penetapan Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022 tentang Cipta Kerja menjadi Undang-Undang.
- Setianingsih, W., Sasmito, B. & Bashit, N. (2018). Analisis sea level rise di Laut Utara Jawa terhadap perubahan garis pantai wilayah Demak pada tahun 2006-2016. *Jurnal Geodesi Undip*, 7(2), 53-64. DOI: <https://doi.org/10.14710/jgundip.2018.20657>.
- Suhery, N., Damar, A. & Effendi, H. (2017). Coral reef ecosystem vulnerability index to oil spill: Case of Pramuka Island and Belanda Island in Seribu Islands. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 9(1), 67-89. DOI: <https://doi.org/10.29244/jitkt.v9i1.17918>.
- UNCLOS (United Nations Convention on the Law of the Sea). (1982). The United Nations Convention on the Law of the Sea (A historical perspective). United Nations Division for Ocean Affairs and the Law of the Sea. [15 September 2022].