

## PREDIKSI GELOMBANG EKSTRIM DI KEPULAUAN SERIBU UNTUK APLIKASI KELAUTAN DAN PERIKANAN

### *EXTREME WAVE PREDICTION IN SERIBU ISLANDS FOR MARINE AND FISHERIES APPLICATIONS*

Johan Risandi<sup>1</sup>, Widodo S. Pranowo<sup>1,2</sup>, & Candra D. Puspita<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pusat Riset Kelautan, Ancol Timur, Jakarta Utara.

<sup>2</sup>Prodi Hidrografi, Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan laut, Ancol Timur, Jakarta Utara

e-mail : [johanrisandi@kkp.go.id](mailto:johanrisandi@kkp.go.id)

Diterima tanggal: 18 Oktober 2021 ; diterima setelah perbaikan: 02 Desember 2021 ; Disetujui tanggal: 15 Desember 2021

### ABSTRAK

Pengetahuan karakteristik gelombang diperlukan dalam rangka mitigasi dan management pesisir. Kepulauan seribu merupakan kepulauan yang terletak diperairan laut Jawa dimana sebagian besar merupakan wilayah administrasi Provinsi DKI Jakarta. Sumberdaya laut yang beraneka ragam dan jumlah penduduk hampir 30 ribu orang menjadikan kegiatan kelautan dan Perikanan di Kepulauan Seribu memiliki nilai ekonomis penting bagi provinsi tersebut. Studi ini mengkaji karakteristik gelombang dan potensi gelombang ekstrim pada perairan di sekitar Kepulauan Seribu berdasar data gelombang tahun 2010-2020 ERA 5 serta mendiskusikan pemanfaatannya untuk bidang kelautan dan perikanan. Hasil analisa menunjukkan perairan kepulauan seribu tergolong tenang dengan tinggi gelombang signifikan rata-rata di lokasi penelitian sebesar 0,5 m dengan periode pendek berkisar 5 detik yang dominan dari arah Barat. Analisa Gumbel menunjukkan dalam jangka waktu yang panjang, terdapat kemungkinan gelombang besar lebih dari 2 meter. Prediksi gelombang ekstrim diperlukan untuk kepentingan mitigasi bencana pesisir seperti rob serta sebagai input dalam perhitungan bangunan pantai di Kepulauan Seribu. Disamping itu, desain dan penempatan kegiatan budidaya sangat membutuhkan informasi tersebut.

**Kata kunci:** Gelombang ekstrim, metode Gumbel, ERA5, Kepulauan Seribu.

### ABSTRACT

*The knowledge on wave characteristic is essential for coastal mitigation and management. Kepulauan Seribu is an archipelago located on the Java Sea in which most of the islands are part of DKI Jakarta province. The diverse of marine resource with almost 30 thousands inhabitants caused marine and fisheries activities across the region became economically important for the province. This study examined the characteristic of waves and the probability of extreme waves on Kepulauan Seribu region based on ERA 5 wave data from 2010-2020, and further discussed the application for marine and fisheries sectors. The result showed the region was relatively calm with the average significant wave height of 0.5 m and short wave period of ~5 s that propagated from the West. A long term Gumbel analysis exhibited the probability of extreme waves of more than 2 m heights to occurred. Extreme wave predictions were required for coastal hazard, e.g., coastal flooding, mitigation and for designed marine structures within the Kepulauan Seribu. Moreover, the information is very useful for the design and application of mariculture operations.*

**Keywords:** extreme waves, Gumbel method, ERA5, Kepulauan Seribu,

## PENDAHULUAN

Pesisir pantai merupakan wilayah rentan terhadap bahaya yang datang dari daratan dan laut, baik karena pengaruh manusia, dimana mayoritas (>50%) manusia mendiami kawasan tersebut, maupun dari alam. Diantara faktor pemicu dari alam, gelombang ekstrim merupakan salah satu ancaman yang perlu diwaspadai. Jenis ancaman yang teridentifikasi akibat gelombang pada pesisir pantai meliputi ancaman banjir dan rob (Wolf, 2009), erosi pantai atau abrasi (Achiari et al., 2015), kerusakan bangunan pantai (Veldman et al., 2011), maupun kesulitan mendapatkan air bersih akibat intrusi air laut yang berlebihan (Catwright et al., 2002). Untuk itu, pengetahuan karakteristik gelombang diperlukan dalam rangka mitigasi dan management pesisir.

Kepulauan seribu terletak diperairan utara Jawa yang sebagian besar merupakan wilayah administrasi Provinsi DKI Jakarta. Jumlah pulau di wilayah tersebut lebih dari seratus, dengan gugusan kepulauan membentang dari Teluk Jakarta sampai ~150 km dari garis pantai kota Jakarta.

Topografi kepulauan seribu secara umum landai dengan ketinggian maksimum sekitar 2 meter diatas permukaan laut. Dasar perairan berupa pasir dengan terumbu karang dengan beberapa bagian pulau terdapat ekosistem mangrove dan padang lamun (Daniel & Santosa, 2013). Perairan Kepulauan Seribu mempunyai tipe pasang surut campuran cenderung harian ganda dengan tunggang pasang surut kurang

dari 1 m (Mustikasari et al., 2019). Sumberdaya laut yang beraneka ragam dan jumlah penduduk hampir 30 ribu orang 2019 menjadikan sektor kelautan dan Perikanan di Kepulauan Seribu memiliki nilai ekonomis penting bagi DKI Jakarta.

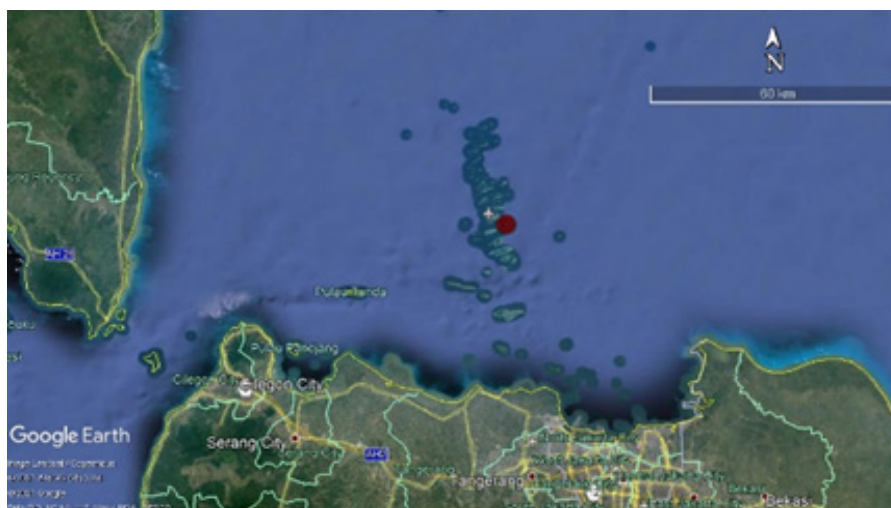
Akan tetapi, dengan wilayah yang dikelilingi lautan, kegiatan di Kepulauan Seribu harus mampu beradaptasi dengan kondisi laut yang dinamis, khususnya gelombang laut yang menjadikan daerah tersebut rentan terhadap bahaya pesisir. Studi ini mengkaji karakteristik gelombang dan potensi gelombang ekstrim pada perairan di sekitar Kepulauan Seribu berdasar data gelombang tahun 2010-2020. Lebih lanjut, pemanfaatan hasil kajian untuk kegiatan kelautan dan perikanan secara umum dibahas di studi ini.

## BAHAN DAN METODE

Studi berlokasi di kepulauan seribu DKI Jakarta. Data gelombang diperoleh dari ERA 5 pada koordinat 5,67° Lintang Selatan/106,6° Bujur Timur (Gambar 1) yang berupa data tinggi gelombang signifikan, periode dan arah rata-rata gelombang tiap jam dari tahun 2010-2020. Pada studi ini, dilakukan analisa statistik gelombang dan juga prediksi kondisi gelombang ekstrim di lokasi tersebut dengan menggunakan metode distribusi Gumbel (Gumbel, 1941). Bentuk umum distribusi Gumbel diberikan pada persamaan 1 dan 2.

$$P(H;a,b)=exp[-exp\{-\frac{H-b}{a}\}] \dots\dots\dots 1)$$

$$H_{TR}=g-b \ln[\ln(1/P)] \dots\dots\dots 2)$$



Gambar 1. Lokasi penelitian di Kepulauan Seribu, Jakarta Indonesia. Lokasi observasi ERA5 ditunjukkan oleh titik merah. (Sumber gambar dari Google Earth Pro)

Figure 1. The location of study in Seribu Island Jakarta Indonesia. The observed ERA5 is shown by the red dot. (Source of image is Google Earth Pro)

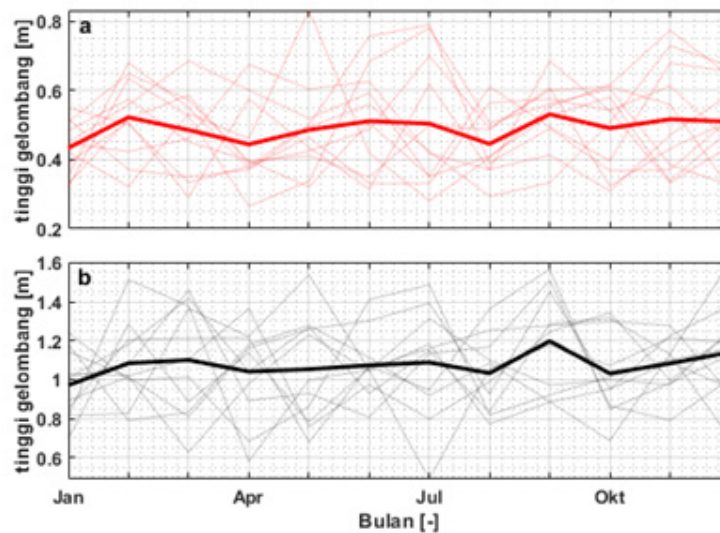
dimana,

- P : fungsi probabilitas Gumbel,
- H : tinggi gelombang signifikan,
- b : parameter skala dan
- g : parameter lokasi.
- $H_{TR}$  : gelombang periode ulang tertentu.

Penjelasan detail tentang metode estimasi Gumbel dapat ditemukan pada banyak literatur (misalkan Cooray, 2010; Hanson & Larson, 2008; Persson *et al.*, 2010). Analisa tinggi gelombang dilakukan hingga periode ulang 200 tahun dengan interval keyakinan 80% berdasar pada Triatmodjo (1999).

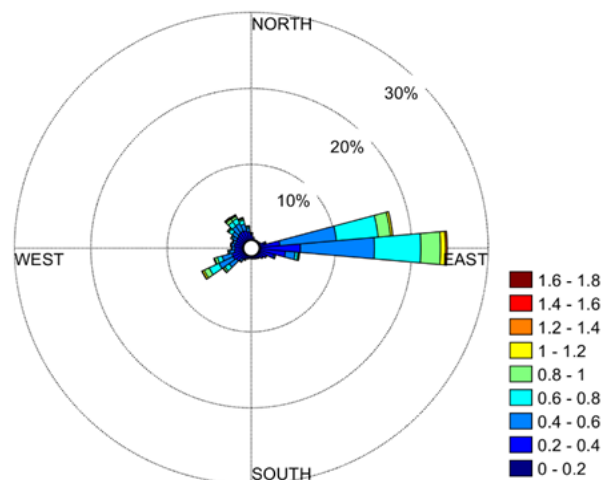
## HASIL DAN PEMBAHASAN

.Hasil analisa menunjukkan perairan kepulauan seribu tergolong tenang dengan gelombang rata-rata di lokasi penelitian sebesar 0,5 m. Gambar 2a menunjukkan variasi gelombang rata-rata bulan berdasar data ERA5 tahun 2010-2020. Pada bulan Desember sampai Februari dan Juni sampai Agustus, gelombang rata-rata bulanan menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibanding bulan-bulan lain (Gambar 2b) yang kemungkinan dipengaruhi oleh keberadaan angin Monsun Barat dan Timur. Hal tersebut juga terlihat pada gelombang maksimum bulanan yang dapat mencapai lebih dari



Gambar 2. Tinggi gelombang (a) rata-rata dan (b) maksimum di perairan Kepulauan Seribu dari data ERA5 tahun 2010-2020. Garis tebal menunjukkan rata-rata bulanan seluruh tahun sedangkan garis tipis menunjukkan data bulanan.

*Figure 2. (a) Average and (b) maximum wave height of Seribu Islands from ERA5 data from 2010-2020. The thick lines show the monthly average for the whole years whereas the thin lines show the monthly average.*



Gambar 3. Mawar gelombang di Kepulauan Seribu 2010-2020.

*Figure 3. Wave rose of Seribu Island from 2010 to 2020.*

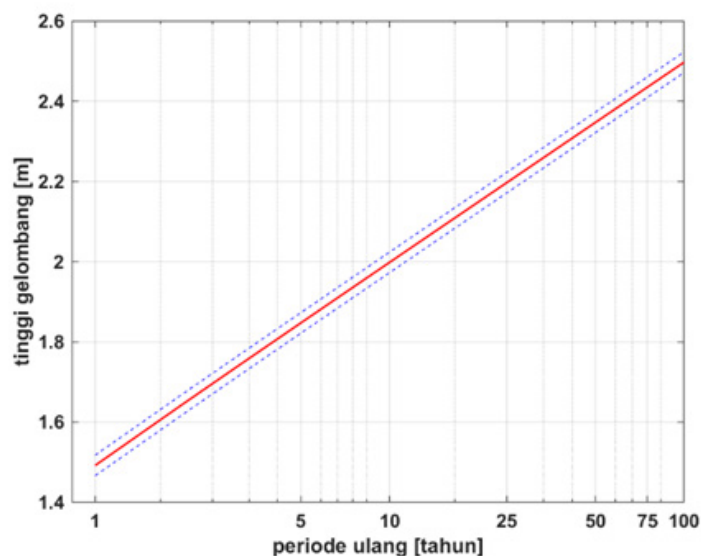
1,5 m pada periode terjadinya angin Monsun (Gambar 2b). Arah gelombang menurut data 11 tahun dominan datang dari Timur (Gambar 3) sebagaimana disebutkan di dalam berbagai literatur, misalnya Siregar dkk, 2017. Relatif tenangnya perairan dengan gelombang dilokasi mempunyai tinggi signifikan dan periode rata-rata 0,5 m dan ~5 detik (gelombang angin) mengindikasikan pendeknya jarak seret gelombang (fetch) dari arah Barat (dimana arah gelombang dominan datang, Gambar 3) yang berbatasan dengan pulau Sumatra. Dampaknya, pada lokasi penelitian, gelombang yang terjadi akibat angin kemungkinan belum sepenuhnya terbentuk dan gelombang dengan periode yang lebih panjang (swell) terjadi minimal.

Prediksi gelombang ekstrim dengan berbagai periode ulang (1-100 tahun) ditunjukkan pada Gambar 4. Hasil

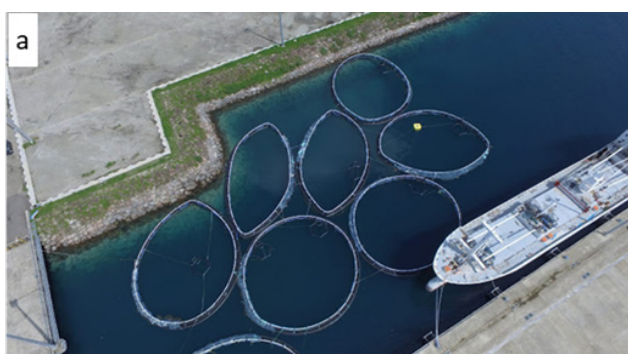
perhitungan menunjukkan dalam jangka waktu yang panjang, terdapat kemungkinan gelombang besar lebih dari 2 meter yang mungkin berpengaruh pada kegiatan kelautan dan perikanan di Kepulauan Seribu.

Bagi pemerintah provinsi DKI dan masyarakat Kepulauan seribu yang kebanyakan tinggal di pesisir pantai, prediksi gelombang ekstrim diperlukan untuk kepentingan mitigasi bencana pesisir seperti rob yang sering terjadi di pesisir pantai kepulauan seribu (Gambar 5a).

Selain pengaruh pasang surut, rob dapat diperparah terjadi akibat naiknya muka air laut di dekat garis pantai (setup) pada saat gelombang tinggi (Risandi etal, naskah diterima). Pada Kepulauan Seribu yang mempunyai kontur landai, kenaikan muka air beberapa



Gambar 4. Gelombang periode ulang di Kepulauan Seribu. Sumbu x- dengan skala logaritmik.  
*Figure 4. Wave return period of Seribu Island. x- axis is logarithmic scale .*



Gambar 5 (a) Kerusakan pada karamba apung (di Pangandaran) dan (b) rob di Pulau Pari, Jakarta. Sumber foto: Intronews (2018) dan Tirto (2020).

*Figure 5. (a) Failure on floating net cage (Pangandaran) and (b) coastal flooding in Pulau Pari, Jakarta. Source of images: Intronews (2018) and Tirto (2020).*

centimeter kemungkinan akan menyebabkan genangan yang jauh masuk ke daratan.

Selain itu, di Kepulauan Seribu yang mengandalkan transportasi laut untuk berhubungan dengan dunia luar, desain bangunan pantai di daerah tersebut perlu mempertimbangkan kondisi gelombang ekstrim hasil prediksi, yang disebut juga gelombang rencana, untuk tingkat keamanan, kekuatan dan keekonomisannya. Sebagai contoh dermaga yang dibangun dilokasi harus dapat menahan energi gelombang dengan periode ulang tertentu. Hal yang perlu diperhatikan adalah titik observasi pada kajian ini berada di lepas pantai sehingga faktor-faktor deformasi gelombang yang terjadi di perairan dangkal seperti gelombang pecah diabaikan. Untuk bangunan pantai seperti pemecah gelombang dengan umur struktur yang lama, gelombang rencana yang dibutuhkan pada desain bisa mencapai 100 tahun (chairunnisa dkk 2019).

Pada studi ini, sumber data diperoleh dari ERA 5 yang merupakan hasil reanalisa model atmosfer dari ECMWF. Beberapa literatur, misalnya Bruno et al, 2020; Hisaki, 2020; Shi et al, 2020, menyebutkan adanya perbedaan antara karakteristik gelombang ERA 5 dan pengukuran lapangan. Hal tersebut, kemungkinan disebabkan oleh beberapa hal, misalkan grid ERA5 yang kasar (30km) sehingga perhitungan pada proses pembentukan gelombang yang lebih kompleks tidak bisa dilakukan. Kumar et al 2005 juga menyebutkan estimasi karakteristik swell pada data ERA5 juga kurang akurat, sehingga berakibat pada akurasi tinggi gelombang signifikan total (yaitu gabungan antara gelombang angin dan swell). Oleh karena itu, untuk analisa yang lebih detail, diperlukan data gelombang hasil pengukuran yang spesifik pada lokasi studi.

Secara umum, pengetahuan tentang gelombang sangat bermanfaat bagi perikanan budidaya laut. Gelombang yang terlalu besar kemungkinan akan berakibat negatif pada keberhasilan budidaya laut. Sebagai contoh, energi gelombang yang tinggi akan dapat mengakibatkan terjadi pengadukan pada kolom air yang mengakibatkan suspensi sedimen dasar yang tinggi dan berbahaya bagi biota. Lebih lanjut, emanaftaan prediksi gelombang ekstrim juga diperlukan untuk sektor perikanan budidaya yang banyak dilakukan di perairan Kepulauan Seribu, misalnya desain dan penempatan lokasi karamba apung. Karamba apung perlu memperhatikan kondisi gelombang ekstrim pada lokasi budidaya disamping faktor-faktor lain seperti arus, kimia dan lainnya (Adipyu dkk, 2013; Noor, 2015; Ngabito dan Auliyah, 2018). Gelombang yang

terlalu besar akan berpotensi merusak karamba seperti ditunjukkan pada Gambar 5b. Selain itu, gelombang tinggi akan dapat mengganggu komoditas yang dibudidayakan (Balai Budidaya Laut, 2010).

## KESIMPULAN DAN SARAN

PStudi ini menganalisa kemungkinan terjadinya gelombang ekstrim di perairan Kepulauan Seribu dengan menggunakan data sekunder ERA5 tahun 2010-2020. Peairan Kepulauan Seribu tergolong tenang dengan rata-rata gelombang kurang dari 1 m, dengan periode yang pendek ~5 detik dengan arah penjalaran dominan menuju ke timur.

Lebih lanjut, analisa Gumbel menunjukkan adanya kemungkinan terjadinya gelombang dengan tinggi lebih dari 2 m yang perlu diwaspadai karena berpotensi memicu bahaya pantai. Oleh karena itu, perencanaan pesisir dan mitigasi bahaya pantai perlu memperhatikan faktor gelombang ekstrim untuk meminimalisir potensi kerugian dengan biaya seekonomis mungkin. Akan tetapi, karena sumber data berasal dari ERA5 merupakan reanalisa hasil model global, analisa lebih lanjut perlu dilakukan melalui obervasi lapangan dalam jangka panjang.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu terlaksananya seluruh kegiatan penelitian sampai selesai.

## DAFTAR PUSTAKA

- Achiari, H., Wulandari, N., Yustiani, M.Y. and Harlan, D. (2015). Study erosion and coastal destruction at Pondok-Bali, North Coast-West Java of Indonesia. In Conference paper, The IIER: ICNSE-2015.
- Adipu, Y., Lumenta, C. and Sinjal, H.J. (2013). Kesesuaian lahan budidaya laut di perairan Kabupaten Bolaang Mongondow Selatan, Sulawesi Utara. Jurnal Perikanan dan Kelautan Tropis, 9(1), pp.19-26.
- Balai Budidaya Laut Ambon. (2010). Petunjuk teknis budidaya laut:pembesaran Bubara (*Caranx sp*) di Karamba Jaring Apung. Ambon.

- Bruno, M.F., Molfetta, M.G., Totaro, V. and Mossa, M. (2020). Performance assessment of ERA5 wave data in a swell dominated region. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(3), p.214.
- Cartwright, N., Nielsen, P. and Jessen, O.Z. (2003). Swash zone and near-shore watertable dynamics. In *Coastal Engineering 2002: Solving Coastal Conundrums* (pp. 1006-1015).
- Cooray, K. (2010). Generalized Gumbel distribution. *Journal of Applied Statistics*, 37(1), pp.171-179.
- Daniel, D. and Santosa, L.W. (2013). Karakteristik oseanografis dan pengaruhnya terhadap distribusi dan tutupan terumbu karang di wilayah Gugusan Pulau Pari, Kabupaten Kep. Seribu, DKI Jakarta. *Jurnal Bumi Indonesia*, 3(2).
- Gumbel, E.J. (1941). The return period of flood flows. *The annals of mathematical statistics*, 12(2), pp.163-190.
- Hanson, H. and Larson, M. (2008). Implications of extreme waves and water levels in the southern Baltic Sea. *Journal of Hydraulic Research*, 46(S2), pp.292-302.
- Hisaki, Y. (2020). Intercomparison of assimilated coastal wave data in the northwestern pacific area. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(8), p.579.
- Intronews (2018). Delapan KJA Offshore Buatan Norwegia Rusak: Tadinya akan Diresmikan Presiden untuk Budidaya Kakap Putih. <http://www.intronews.my.id/2018/05/delapan-kja-offshore-buatan-norwegia.html>. Diakses 10 Juli 2021
- Kumar, V.S., and Naseef, M. (2015). Performance of ERA-Interim wave data in the nearshore waters around India. *J. Atmos. Oceans Technology* 2015, 32, 1257–1269.
- Mustikasari, E. and Rustam, A. (2019). Karakteristik fisis air laut dan dinamika Perairan Kepulauan Seribu. *Jurnal Riset Jakarta*, 12(2).
- Ngabito, M. and Auliyah, N. (2018). Kesesuaian lahan budidaya ikan kerapu (*Epinephelus* Sp.) sistem keramba jaring apung di Kecamatan Monano. *Jurnal Galung Tropika*, 7(3), pp.204-219.
- Noor, N.M. (2015). Analisis kesesuaian Perairan Ketapang, Lampung Selatan sebagai lahan budidaya rumput laut *Kappapycus alvarezii*. *Maspari Journal: Marine Science Research*, 7(2), pp.91-100.
- Persson, K., Stockholm, S. and Rydén, J. (2010). Exponentiated Gumbel distribution for estimation of return levels of significant wave height.
- Risandi, J., Pranowo, WS., Kuswardani, ARTD, Husrin, S., Solihuddin, T., and Akhwady, R. Accepted. Wave driven Setup across the North Coast Region of West Java. The 3rd International Conference on Maritime Sciences and Advanced Technology (MSAT). Pangandaran Integrated Aquarium and Marine Research Institute (PIAMARI) – August 5 & 6, 2021
- Shi, H., Cao, X., Li, Q., Li, D., Sun, J., You, Z. and Sun, Q. (2021). Evaluating the Accuracy of ERA5 Wave Reanalysis in the Water Around China. *Journal of Ocean University of China*, 20(1), pp.1-9.
- Siregar, S.N., Sari, L.P., Purba, N.P., Pranowo, W.S. and Syamsuddin, M.L. (2017). Pertukaran massa air di Laut Jawa terhadap periodisitas monsun dan Arlindo pada tahun 2015. *DEPIK Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan*, 6(1), pp.44-59.
- Tirto (2020). Banjir rob di Pulau Pari, pemerintah didesak atasi perubahan iklim. <https://tirto.id/banjir-rob-di-pulau-pari-pemerintah-didesak-atasi-perubahan-iklim-f7a1>. Diakses 10 Juli 2021
- Veldman, A.E., Luppés, R., Bunnik, T., Huijsmans, R.H., Duz, B., Iwanowski, B., Wemmenhove, R., Borsboom, M.J., Wellens, P.R., van der Heiden, H.J. and van der Plas, P. (2011), January. Extreme wave impact on offshore platforms and coastal constructions. In *International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering* (Vol. 44397, pp. 365-376).
- Wolf, J. (2009). Coastal flooding: impacts of coupled wave–surge–tide models. *Natural Hazards*, 49(2), pp.241-260.