

# STUDI PERENCANAAN JETTY SEBAGAI BANGUNAN PELINDUNG MUARA DALAM MENYELESAIKAN PERMASALAHAN MUARA SUNGAI AIR HITAM BENGKULU

(Design Analysis of Coastal Protection of Sungai Hitam Estuary in Bengkulu Province)

M Gilang Indra Mardika<sup>1</sup>, Julita Hayati<sup>1</sup>, Reynaldi Kurniawan<sup>1</sup>, Indri Rahmandhani Fitriana<sup>1</sup>, Tera Melya Patrice Sihombing<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan Institut Teknologi Sumatera  
E-mail: [m.indra@si.itera.ac.id](mailto:m.indra@si.itera.ac.id)

Diterima 10 Juli 2024, Disetujui 20 Oktober 2024

## ABSTRAK

Salah satu muara di Provinsi Bengkulu yaitu Muara Sungai Air Hitam terdapat permasalahan pendangkalan dan pergeseran muara berdasarkan pemantauan citra satelit *Google Earth* setiap tahunnya. Penyebabnya yaitu material sedimen yang tinggi dan terjadinya fenomena *longshore current*. Upaya mengatasinya secara struktural adalah perancangan bangunan *jetty* dengan tipe panjang karena fungsi muara menyebabkan perlunya tetap terbuka. Bangunan ini memiliki tujuan yaitu menjaga stabilitas muara dan mengendalikan aliran sungai. Metode yang dipakai dalam pengolahan data penelitian yaitu metode *Admiralty* dalam pengolahan data pasang surut dan metode *Hindcasting* dari CERC dalam pengolahan data angin. Hasil analisis memberikan ukuran panjang *jetty* 270 m dengan lebar antar *jetty* 200 m. *Jetty* kiri dan kanan memiliki lebar puncak 3 m dan bangunan tertingginya 4 m dari muka air laut dengan parameter tinggi pasang surut kondisi HHWL, MSL, dan LLWL yaitu 78.21 m, 0.04 m, dan -78.36 m. Analisis gelombang pecah didapatkan tingginya 2.50 m pada kedalaman -3.22 m yang dipakai untuk analisis dimensi bangunan. Material bangunan yang digunakan dengan 1:2 kemiringan bangunan pada kedua *jetty* adalah *tetrapod* untuk lapisan pertama dan kedua, batu *boulder* untuk inti lapisan. Digunakan 0.5–2 ton berat *tetrapod* untuk kedua sisi *jetty*, 0.44-16.71 kg dan 0.18-16.71 kg berat batu *boulder* untuk kedua sisi *jetty*, serta *toe protection* digunakan batu *boulder* yang beratnya 43.69-157.28 kg dan 18.39-157.28 kg untuk kedua sisi *jetty*. Berdasarkan *study literatur* dan kondisi muara, hasil desain ini dapat menjaga stabilitas muara dan pengendalian aliran sungai secara efektif.

**Kata Kunci:** *Jetty, Pendangkalan, Pergeseran, Muara, Gelombang.*

## ABSTRACT

One of the estuaries in Bengkulu Province, the Air Hitam River Estuary, has gradation and estuary drift problems based on *Google Earth* satellite observations annually. The cause is the occurrence of high sediment material and the phenomenon of *longshore currents*. The structural solution is the design of a *jetty* structure with a long type because the estuarine condition causes the need to remain open. This coastal protection aims to maintain estuary stability and regulate the stream flow. The methods used in the research methods are the *Admiralty* method in the processing of tidal data and the *Hindcasting* method from CERC in the processing of wind data. The results of the analysis provide a *jetty* length of 270 m with a width of 200 m between *jetties*. The left and right *jetties* have a peak width of 3 m and the highest building is 4 m from sea level with high tidal parameters of HHWL, MSL, and LLWL conditions are 78.21 m, 0.04 m, and -78.36 m, respectively. The breaking wave analysis derived a height of 2.50 m at a depth of -3.22 m which is utilized for infrastructure dimension analysis. The coastal protection materials used with a 1:2 building slope on both *jetties* are *tetrapods* for the first and second layers, and *boulders* for the core layer. Used 0.5-2 tons weight of *tetrapods* for both sides of the *jetty*, 0.44-16.71 kg and 0.18-16.71 kg weight of *boulder stones* for both sides of the *jetty*, and *toe protection* used *boulder stones* weighing 43.69-157.28 kg and 18.39-157.28 kg for both sides of the *jetty*. Based on the literature study and estuary conditions, this design is capable of maintaining estuary stability and control river flow effectively.

**Keywords:** *Jetty, Agradation, Drift, Estuary, Wave.*

## PENDAHULUAN

Salah satu muara yang berada di Bengkulu yaitu Muara Sungai Air Hitam mempunyai urgensi permasalahan yang perlu diperhatikan dan dapat berpotensi terjadinya banjir (Fauzi, et al., 2022). Muara sungai merupakan bagian akhir atau hilir dari sungai di suatu DAS sungai (Mashuri, et al., 2023). Berdasarkan penelusuran dari Citra Satelit *Google Earth*, adanya pendangkalan dan pergeseran stabilitas muara tiap tahunnya yang dapat ditinjau pada **Gambar 1** untuk tahun 2014 dan **Gambar 2** untuk tahun 2024. Pergeseran muara diukur dengan menitikkan pin berkoordinat *decimal degrees*  $-3.748664^{\circ}$  *latitude* dan  $102.255000^{\circ}$  *longitude* di *Google Earth* pada Muara Sungai Air Hitam di tahun 2024, kemudian ditelusuri di tahun 2014 dengan titik yang sama mengalami pergeseran muara. Jauhnya pergeseran terjadi sebesar 256 m berdasarkan pengukuran *google earth*. Dugaan sementara terkait pergeseran muara yaitu arah dominan gelombang laut terjadi secara sejajar garis pantai (Pratama, et al., 2023). Potensi terjadinya pendangkalan muara dapat diakibatkan pertemuan antara arus laut yang tinggi dengan arus sungai yang rendah (Pawitra, et al., 2022). Oleh karena itu, menyebabkan sedimen tidak

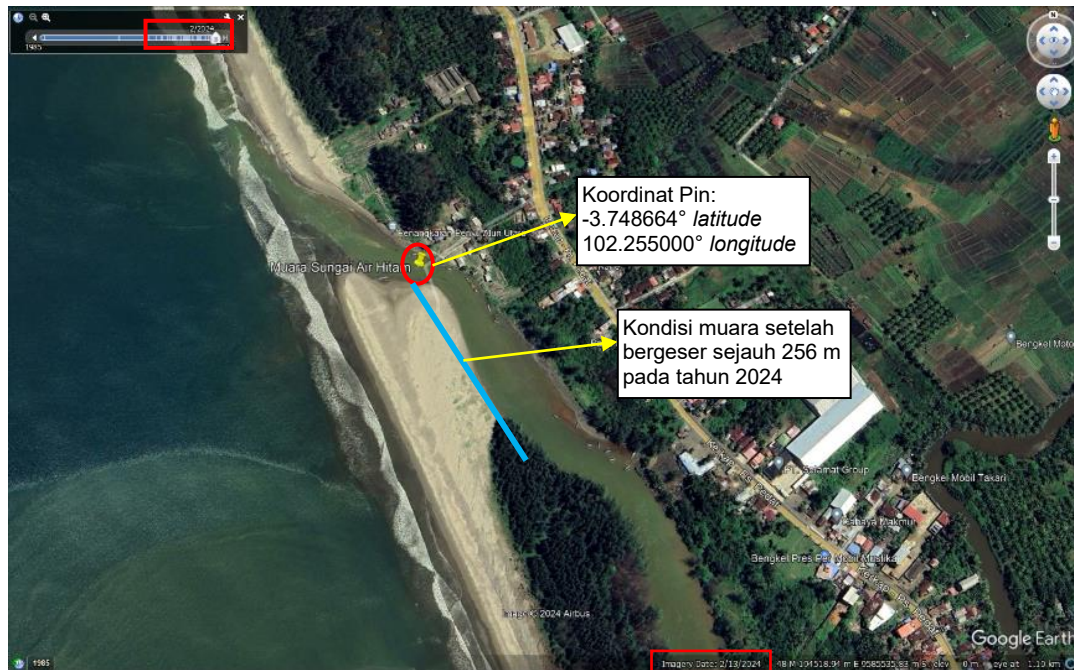
terbuang dengan baik. Peristiwa aggradasi atau penumpukan sedimen di mulut muara dapat menyebabkan potensi banjir dan terkikisnya dinding sungai saat musim hujan. Permasalahan dan potensi kerusakan pada Muara Sungai Air Hitam perlu ditindaklanjuti secara struktural dengan membangun pengaman pantai yaitu *jetty* dalam upaya menjaga stabilitas muaranya (Pemerintah, 2010). Struktur *jetty* dirancang dalam upaya mengatasi permasalahan muara sungai akibat sedimen (Ikhwani, et al., 2018). Penelitian ini memiliki tujuan yang akan dicapai yaitu:

- Mengkaji data angin dengan menentukan arah dominan angin dalam lokasi penelitian.
- Menganalisis data pasang surut untuk menentukan tinggi pasang surut dengan metode *admiralty*.
- Menganalisis *hindcasting* atau peramalan gelombang dengan hasil periode dan tinggi gelombang yang perlu didapatkan.
- Menganalisis tinggi dan periode gelombang yang dihasilkan dari transformasi gelombang.
- Mengkaji *layout jetty* di muara dan menganalisis perancangan dimensi *jetty*.



**Gambar 1.** Kondisi Muara Air Hitam di Tahun 2014

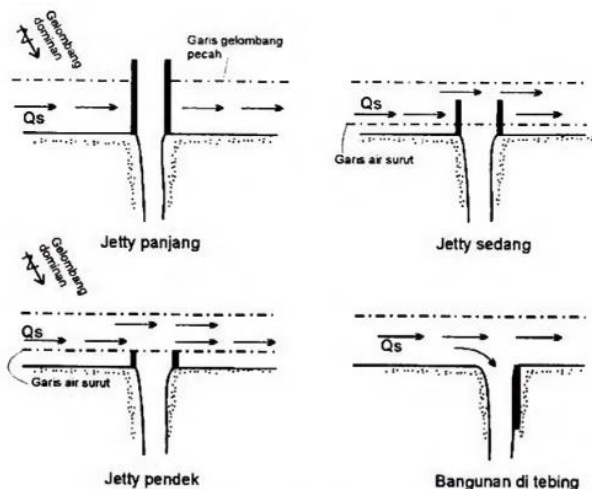
Sumber: *Google Earth*, 2024



**Gambar 2.** Kondisi Muara Air Hitam di Tahun 2024  
Sumber: Google Earth, 2024

### Jetty

Bangunan ini adalah bangunan pantai yang dipakai untuk mengatasi permasalahan muara seperti pendangkalan dan pergeseran muara akibat sedimentasi (Irawan & Dharmita, 2019). Tata letak bangunan *jetty* yaitu tegak lurus di kedua sisi pantai (muara) (Farni, 2020). Terdapat 3 jenis bangunan *jetty* yaitu *jetty* panjang, *jetty* pendek, dan *jetty* sedang serta dapat dilihat pada **Gambar 3**. Penggunaan jenis *jetty* didasarkan dari fungsi muaranya (Werdi & Eryani, 2020). Apabila muara diharuskan selalu terbuka, maka diperlukan *jetty* panjang. Jika boleh tertutup, *jetty* pendek cukup dalam mengatasi permasalahan muara (Triatmodjo, 1999). Pembeda dari jenis *jetty* tersebut adalah panjang *jetty*-nya. *Jetty* panjang letak ujung bangunan di gelombang pecah dan setelahnya. *Jetty* sedang letak ujung bangunan berada di gelombang pecah sampai MAS (Muka Air Surut) (Syamsudin, et al., 2004). *Jetty* pendek berada di MAS untuk ujung *jetty*-nya.



**Gambar 3.** Tipe-tipe *Jetty*  
Sumber: Triatmodjo, 1999

### Fetch

Daerah pembangkitan gelombang oleh hembusan angin dengan kecepatan dan arah yang konstan dan terbatas oleh penghalang daratan atau *obstacle* disebut fetch (Chandra, et al., 2021). Kajian data angin yang dipakai akan ditentukan arah-arah angin dengan *Windrose* atau sebaran arah angin yang membentuk bunga digunakan untuk menentukan dominan dari arah angin pada titik pengambilan data angin.

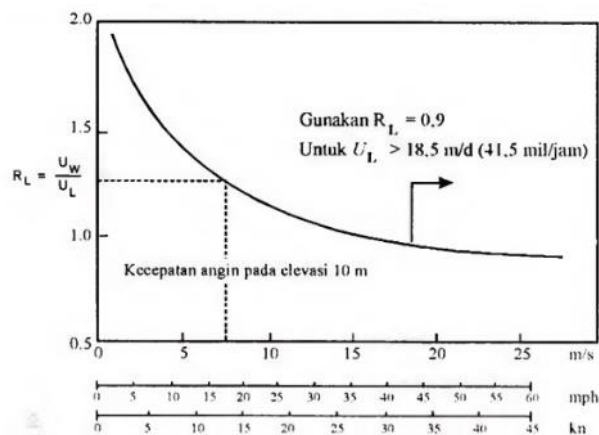
### Koreksi Data Angin

Perlunya koreksi ini karena adanya perbedaan pengukuran data angin di permukaan laut dengan daratan dan upaya meningkatkan akurasi dalam analisis peramalan gelombang (Triatmodjo, 1999). Adapun 3 tahap koreksi data angin yaitu:

1. Koreksi Durasi
2. Koreksi Lokasi

Analisis koreksi data angin ini, ditentukan oleh grafik pada **Gambar 4** (Triatmodjo, 1999).

Upaya dalam mempermudah koreksi ini, dapat dicari persamaan regresinya dari grafik tersebut.



**Gambar 4.** Grafik Nilai RL

Sumber: Triatmodjo, 1999

3. Koreksi Terhadap Tegangan Angin yaitu  $U_A$  adalah  $0,71 U^{1,23}$ .

### Hindcasting

*Hindcasting* merupakan metode yang dipakai dalam prediksi tinggi dan periode gelombang dengan menggunakan data angin *historis* di suatu lokasi (Pokaton, et al., 2013). Metode ini berdasarkan buku pedoman *Shore Protection Manual* (SPM) oleh *US Army Corps of Engineering* (CERC, 1984).

### Gelombang Representatif

Gelombang representatif adalah gelombang tunggal terwakili dari suatu spektrum gelombang di suatu perairan (Farni, 2020). Tinggi gelombang representatif bisa ditentukan dengan rata-rata dari pengurutan data tertinggi ke terendah pada data tinggi gelombang (Triatmodjo, 1999). Sedangkan banyaknya data yang digunakan pada gelombang representatif ini berdasarkan fungsi dan jenis bangunan yang dipakai.  $H_1$  atau 1% untuk jenis bangunan kaku yakni dinding beton atau kaisan.  $H_1$ - $H_{10}$  untuk jenis bangunan semi kaku yakni sel turap baja. Sedangkan bangunan flexibel yakni bangunan dengan susunan tumpukan batu atau *tetrapod* menggunakan rata-rata data tertinggi gelombang dari 5% sampai 33% atau  $H_5$ - $H_{33}$ .

### Periode Ulang

Periode ulang adalah kemungkinan suatu data akan terjadi dengan besaran tertentu dan muncul minimal satu kali pada kala ulang tertentu. Periode kala ulang ditentukan dari jenis struktur bangunan dan nilai area konservasi yang dipakai (Maulidin & Tarigan, 2016). Berdasarkan CERC (1992 dalam Triatmodjo 1999), distribusi frekuensi yang dipakai dalam prediksi periode ulang yaitu *Fisher-Tippett Type I* (Gumbel) dan *Weibull* (Log-Pearson III).

Interval keyakinan perlu dilakukan setelah periode ulang karena pendeknya pencatatan gelombang dan ketidakpastian probabilitas gelombang ekstrim (Triatmodjo, 1999). Berikut persamaan yang digunakan dan **Tabel 1** & **Tabel 2** adalah nilai koefisien yang dibutuhkan dalam perhitungannya.

**Tabel 1.** Koefisien Standar Deviasi

| Distribusi       | $\alpha_1$ | $\alpha_2$ | k     | e   | $\epsilon$ |
|------------------|------------|------------|-------|-----|------------|
| FT-1             | 0.64       | 9.0        | 0.93  | 0.0 | 1.33       |
| Weibull (k=0.75) | 1.65       | 11.4       | -0.63 | 0.0 | 1.15       |
| Weibull (k=1.0)  | 1.92       | 11.4       | 0.00  | 0.3 | 0.90       |
| Weibull (k=1.4)  | 2.05       | 11.4       | 0.69  | 0.4 | 0.72       |
| Weibull (k=2.0)  | 2.24       | 11.4       | 1.34  | 0.5 | 0.54       |

Sumber: Triatmodjo, 1999

**Tabel 2.** Batas Tingkat Interval Keyakinan

| Tingkat Keyakinan (%) | Batas Interval Keyakinan $H_{sr}$ | Probabilitas Terlampaui (%) |
|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 80                    | $1.28\alpha_r$                    | 10.0                        |
| 85                    | $1.44\alpha_r$                    | 7.5                         |
| 90                    | $1.65\alpha_r$                    | 5.0                         |
| 95                    | $1.96\alpha_r$                    | 2.5                         |
| 99                    | $2.58\alpha_r$                    | 0.5                         |

Sumber: Triatmodjo, 1999

### The Goodness of Fit Test

Disebut juga uji kecocokan data yaitu pengujian tersebut dilakukan untuk menentukan apakah data digunakan telah menggambarkan distribusi data yang dipakai (Soewarno, 1995). 2 metode pengujian ialah Uji *Chi-Square* dan Uji *Smirnov-Kolmogorov*.

### Deformasi Gelombang

Deformasi gelombang adalah rambatan gelombang dari *offshore* menuju pantai tetapi selama perambatan mengalami perubahan karakteristik gelombangnya (Fauzi, et al., 2024). Perubahan tersebut dapat diakibatkan oleh kedalaman laut (*Shoaling* dan Refraksi), dan *obstacle* (Difraksi dan Refleksi) (Triatmodjo, 1999). Berikut persamaan gelombang ekuivalen akibat *shoaling* dan difraksi.

### Gelombang Pecah

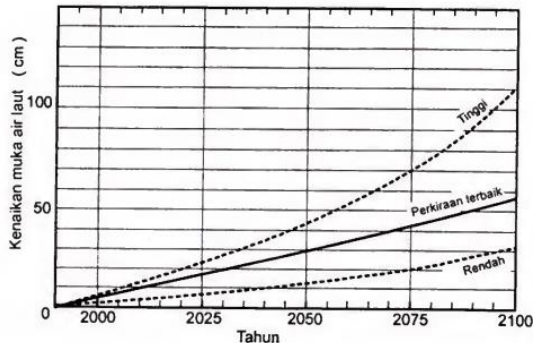
Gelombang laut merupakan naik turunnya permukaan laut secara periodik dan dapat terbangkitkan oleh gesekan angin dengan permukaan laut atau disebut *capillary wave* (Trusina, et al., 2023). Sedangkan gelombang dengan kondisi amplitudo dan kemiringan yang maksimal, kemudian gelombang mengalami ketidakstabilan dan akhirnya pecah. Gelombang tersebut disebut gelombang pecah (CERC, 1984). Gelombang representatif dan gelombang rencana merupakan parameter dalam perhitungan gelombang pecah (Ichsan, et al., 2017). Tinggi dan kedalaman gelombang saat kondisi pecah digunakan persamaan berikut (Triatmodjo, 1999).

### Pasang Surut

Pasang surut adalah perubahan elevasi muka air laut secara berkala dengan data pencatatan ketinggian maksimum dan minimum muka air laut (Riandi, et al., 2015). Metode *admiralty* menjadi metode yang dipakai pada penelitian ini dengan konstanta harmonik sebagai parameter perhitungan dan beberapa skema yang

digunakan (Supriyadi, et al., 2018). *Output* dari pasang surut yang digunakan adalah *Highest High Water Level* (HHWL). Sedangkan untuk mengetahui tipe pasang surut dengan menentukan nilai bilangan *Formzahl* (Mardika & Pratama, 2021).

### Design Water Level



**Gambar 5.** Sea Level Rise

Sumber: Triatmodjo, 1999

Puncak rencana muka air laut atau DWL dipengaruhi oleh beberapa faktor ialah pasang surut atau nilai HHWL, *sea level rise* (SLR), *wave set-up* (Sw), tsunami dan *storm surge* (Triatmodjo, 1999). *Storm surge* dan tsunami jarang sekali dipakai karena sulitnya ketersediaan data (Mardika, et al., 2024). Sedangkan nilai *sea level rise* (SLR) dapat ditentukan dari grafik **Gambar 5** berdasarkan umur rencana bangunan (Triatmodjo, 1999).

### Dimensi Bangunan Jetty

Penentuan ukuran bangunan *jetty* berdasarkan buku teknik pantai dari triatmodjo (1999) yaitu dengan serangan gelombang dua sisi untuk *jetty*.

#### 1. Elevasi Puncak Bangunan

Perhitungan tinggi puncak *jetty* adalah jumlah dari *design water level* (DWL), *Run Up*, *Free Board* (Triatmodjo, 2006). Nilai *Run Up* ditentukan dari nilai *irribaren* dari grafik di buku teknik pantai dari triatmodjo (1999). Sedangkan nilai tinggi jagaan dipakai 0,5 meter (Harryando, et al., 2017).

#### 2. Berat Batu Pelindung

Perhitungan dipakai untuk menentukan berat batu dengan persamaan *Hudson*.  $K_D$  merupakan nilai koefisien stabilitas batu,  $Cot \theta$  dan  $\gamma_r$  adalah nilai

kemiringan bangunan dan berat jenis batu ( $\text{ton/m}^3$ ). Material pelindung bisa menggunakan batu *boulder*, batu pecah, *tetrapod*, beton, bronjong, ponton, dsb (Igwe & Ajoko, 2020).

#### 3. Diameter Batu Pelindung

Persamaan ini dipakai untuk menentukan diameter batu dengan parameter berat dan berat jenis batu.

#### 4. Lebar Puncak dan Tebal Lapis Bangunan

Menurut buku teknik pantai triatmodjo (1999) nilai  $n$  di lebar puncak mengikuti banyaknya lapisan bangunan, sedangkan di tebal lapis digunakan minimal 2.  $K_\Delta$  merupakan koefisien lapis batu.

#### 5. Jumlah Butir Batu

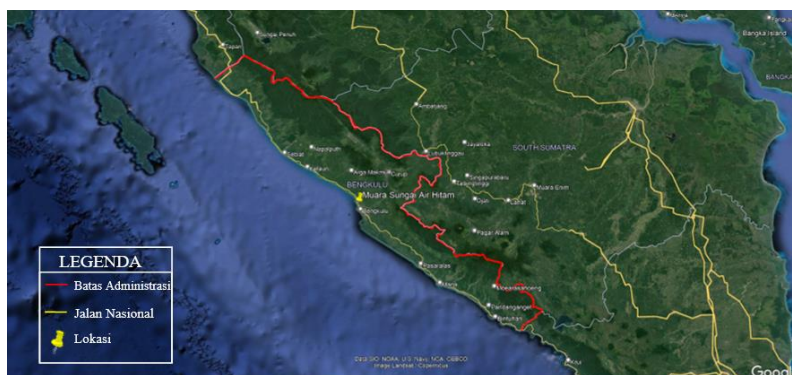
Banyakan butir batu dapat dihitung per  $10\text{m}^2$  dengan salah satu parameter  $P$  merupakan angka porositas batu.

#### 6. Pelindung Kaki

Bagian ini diperlukan untuk menjaga stabilitas bangunan dari runtuhnya lapisan tanah dibawah bangunan akibat gerusan arus dan gelombang (Triatmodjo, 1999).

## METODE

Penelitian ini merupakan penelitian yang memakai metode kuantitatif atau penelitian dengan menganalisis beberapa kumpulan data atau sampel tertentu. Lingkup penelitian ini hanya merencanakan bangunan pantai yaitu *jetty* dengan *output*-nya berupa dimensi dan propertis batu, tinggi-lebar-panjang bangunan dan besarnya gelombang pada lokasi penelitian. Perancangan bangunan ini berlokasi di Bengkulu atau lebih tepatnya di Muara Sungai Air Hitam, Kecamatan Muara Bangkahulu, Kabupaten Bengkulu Tengah. Lokasi tersebut dapat dilihat pada peta di **Gambar 6**. Muara tersebut merupakan hilir dari Sungai Air Hitam dan menjadi jalur lintas perkapalan. Berdasarkan fungsi tersebut, dapat dikatakan muara perlu tetap terbuka dan *jetty* tipe panjang yang cocok pada lokasi penelitian. Lokasi penelitian secara geografis berkoordinat  $102.255007^\circ$  Bujur Timur dan  $-3.748653^\circ$  Lintang Selatan.



**Gambar 6.** Lokasi Perancangan Jetty di Muara Air Hitam

Pengumpulan data yang dilakukan yaitu data yang diambil oleh instansi tertentu dan terpercaya. Berikut uraian mengenai data yang dipakai.

#### 1. Topografi

Data ini adalah kumpulan data *relief* daratan dari lokasi penelitian. Dapat data ini dari *website* resmi yaitu [tanahair.indonesia.go.id](http://tanahair.indonesia.go.id).

#### 2. Bathymetri

Kondisi permukaan laut atau data *bathymetri* yang sama didapatkan seperti data topografi. Data ini diambil pada daerah laut di lokasi penelitian.

#### 3. Pasang Surut

Tinggi muka air laut dari naik turunnya akibat benda langit dinamakan pasang surut (Wulandari, et al., 2022). Data ini berupa data historis atau data lampau

tinggi muka air laut yang dicatat per jam setiap harinya. Pengumpulan data tersebut bisa diakses dan didapatkan dari *website* Sistem Referensi Geospasial Indonesia (SRGI).

#### 4. Angin (*Wind*)

Data angin yang dipakai adalah data yang dicatat oleh instansi tertentu setiap satu jam selama 10 tahun terakhir. Instansi atau *website* yang menyediakan data historis dan dipakai pada penelitian ini yaitu *Climate Data Store* (CDS).

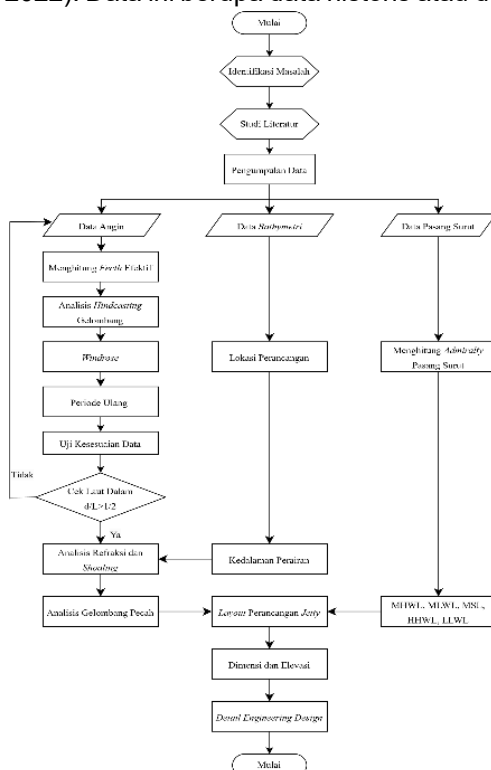
Pengolahan data dan langkah-langkah penelitian ini dijelaskan pada **Gambar 7**. *Output* pada penelitian ini langkah penelitian yaitu dimensi bangunan *jetty*.

Arah dominan dari distribusi angin akan dipakai dalam menganalisis gelombang representatif dengan **Tabel 3** adalah nilai *fetch* efektif arah barat laut.

$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \dots \dots \dots (1)$$

**Tabel 3.** Nilai *Fetch* Efektif Dari Arah Barat Laut

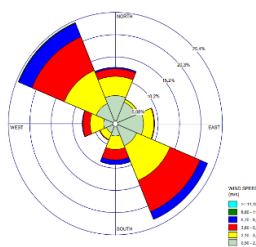
| $\alpha$ | Cos    | $X_i$ (Km) | $X_i \cos \alpha$ (Km) | $F_{eff}$ (Km) |
|----------|--------|------------|------------------------|----------------|
| 36       | 0.809  | 23.460     | 18.980                 | 119.084        |
| 30       | 0.866  | 26.190     | 22.681                 |                |
| 24       | 0.914  | 30.010     | 27.415                 |                |
| 18       | 0.951  | 35.600     | 33.858                 |                |
| 12       | 0.978  | 44.640     | 43.665                 |                |
| 6        | 0.995  | 61.190     | 60.855                 |                |
| 0        | 1.000  | 200.000    | 200.000                |                |
| -6       | 0.995  | 200.000    | 198.904                |                |
| -12      | 0.978  | 200.000    | 195.630                |                |
| -18      | 0.951  | 195.390    | 185.827                |                |
| -24      | 0.914  | 165.100    | 150.826                |                |
| -30      | 0.866  | 166.180    | 143.916                |                |
| -36      | 0.809  | 200.000    | 161.803                |                |
| Jumlah   | 13.511 | 1769.220   | 1608.937               |                |



**Gambar 7.** Diagram Alir Penelitian Perancangan *Jetty* di Muara Air Hitam

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan data angin diawali dengan pendistribusian arah datang angin menggunakan *software* WRPLOT. Hasil menunjukkan angin dengan arah barat laut lebih dominan sebesar 38.30% dan diagramnya dapat ditinjau pada **Gambar 8**.



**Gambar 8.** Distribusi Data Angin (2014-2023)

Hasil di atas merupakan parameter dalam analisis *hindcasting* atau peramalan gelombang dari data angin. Diperlukan koreksi data angin sebelum peramalan gelombang yang dapat digunakan pada persamaan (2)-(7). Adanya koreksi lokasi memerlukan nilai dari grafik **Gambar 4**, maka nilainya bisa ditentukan dengan persamaan (6) yang didapatkan dari regresi *polynomial order* 4. Berikut sampel hasil *hindcasting* pada **Tabel 4**.

$$T_1 = \frac{1609}{U_f} \dots \dots \dots (2)$$

$$U_{3600} = \frac{U_f}{c} \dots \dots \dots (3)$$

(untuk  $1 < t_1 \leq 3600$  det)

$$c = 1,277 + 0,296 \tanh \left( 0,9 \log \left( \frac{45}{t} \right) \right) ;$$

..... (4)

(untuk  $3600 < t_1 \leq 3600$  det)

$$C = -0,15 \log t_1 + 1,5334 ; \dots\dots\dots(5)$$

$$RL = (8 \times 10^{-6} \times U_f^4) - (6 \times 10^{-4} \times U_f^3) + (0.0162 \times U_f^2) - (0.2117 \times U_f) + 2.1445 \dots\dots\dots(6)$$

**Tabel 4.** Hindcasting Gelombang Tahun 2014 di Tanggal 1 Bulan Januari

| No. | U <sub>f</sub> (m/s) | U <sub>3600</sub> | U <sub>w</sub> (m/s) | U <sub>L</sub> (m/s) | U <sub>a</sub> (m/s) | Feff (m)  | $68,8 \left( \frac{g \cdot F}{U_a^2} \right)^{\frac{2}{3}}$ | Kondisi        | H <sub>m</sub> (m) | T <sub>m</sub> (s) |
|-----|----------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------|-------------------------------------------------------------|----------------|--------------------|--------------------|
| 1   | 0.55                 | 0.58              | 1.17                 | 0.58                 | 0.86                 | 1332.62   | 46579.17                                                    | Tidak Sempurna | 0.016              | 0.653              |
| 2   | 0.45                 | 0.47              | 0.97                 | 0.47                 | 0.68                 | 196457.80 | 1777038.127                                                 | Sempurna       | 0.012              | 0.577              |
| 3   | 0.85                 | 0.89              | 1.75                 | 0.89                 | 1.41                 | 196457.80 | 673568.40                                                   | Sempurna       | 0.049              | 1.195              |
| 4   | 1.22                 | 1.26              | 2.39                 | 1.26                 | 2.08                 | 196457.80 | 402057.858                                                  | Sempurna       | 0.107              | 1.760              |
| 5   | 1.61                 | 1.64              | 3.01                 | 1.64                 | 2.76                 | 200000.00 | 278664.682                                                  | Sempurna       | 0.189              | 2.338              |
| 6   | 2.57                 | 2.58              | 4.37                 | 2.58                 | 4.36                 | 200000.00 | 151315.974                                                  | Sempurna       | 0.472              | 3.696              |
| 7   | 3.22                 | 3.19              | 5.16                 | 3.19                 | 5.34                 | 200000.00 | 115469.19                                                   | Sempurna       | 0.708              | 4.527              |
| 8   | 2.72                 | 2.71              | 4.55                 | 2.71                 | 4.58                 | 200000.00 | 141670.553                                                  | Sempurna       | 0.521              | 3.883              |
| 9   | 1.42                 | 1.46              | 2.72                 | 1.46                 | 2.43                 | 196699.38 | 326121.202                                                  | Sempurna       | 0.147              | 2.061              |
| 10  | 0.18                 | 0.19              | 0.40                 | 0.19                 | 0.23                 | 21288.61  | 1707168.892                                                 | Sempurna       | 0.001              | 0.196              |
| 11  | 0.58                 | 0.61              | 1.23                 | 0.61                 | 0.92                 | 113631.75 | 832105.249                                                  | Sempurna       | 0.021              | 0.776              |
| 12  | 0.90                 | 0.94              | 1.84                 | 0.94                 | 1.50                 | 21288.61  | 141162.141                                                  | Sempurna       | 0.056              | 1.270              |
| 13  | 0.89                 | 0.93              | 1.82                 | 0.93                 | 1.48                 | 21288.61  | 143074.38                                                   | Sempurna       | 0.055              | 1.258              |
| 14  | 1.19                 | 1.22              | 2.34                 | 1.22                 | 2.02                 | 21288.61  | 94986.199                                                   | Sempurna       | 0.101              | 1.710              |
| 15  | 0.90                 | 0.93              | 1.83                 | 0.93                 | 1.49                 | 21288.61  | 142306.502                                                  | Sempurna       | 0.055              | 1.263              |
| 16  | 1.00                 | 1.03              | 2.01                 | 1.03                 | 1.67                 | 21288.61  | 122021.331                                                  | Sempurna       | 0.069              | 1.417              |
| 17  | 1.13                 | 1.17              | 2.24                 | 1.17                 | 1.91                 | 21288.61  | 101971.174                                                  | Sempurna       | 0.091              | 1.621              |
| 18  | 0.97                 | 1.00              | 1.95                 | 1.00                 | 1.62                 | 21288.61  | 127805.378                                                  | Sempurna       | 0.065              | 1.369              |
| 19  | 0.67                 | 0.70              | 1.40                 | 0.70                 | 1.07                 | 21288.61  | 220873.08                                                   | Sempurna       | 0.028              | 0.908              |
| 20  | 0.56                 | 0.58              | 1.18                 | 0.58                 | 0.87                 | 21288.61  | 291041.724                                                  | Sempurna       | 0.019              | 0.738              |

Gelombang representatif menurut triatmodjo (1999) dipakai H<sub>5</sub>-H<sub>33</sub> untuk bangunan fleksibel yaitu bangunan dari tumpukan batu (Amanatullah, 2023).. Pada penelitian ini menggunakan H<sub>5</sub> yaitu rata-rata dari 5% banyaknya data dari urutan data gelombang tertinggi dengan gelombang arah barat laut dan hasilnya dapat dilihat pada **Tabel 5**. Dipakainya rata-rata tersebut karena penelitian ini menggunakan bangunan bermaterial batuan yang ditumpuk.

**Tabel 5.** H<sub>5</sub> Gelombang dari Arah Barat Laut

| Tahun | n    | n (5%) | H <sub>5</sub> (m) | T <sub>5</sub> (s) |
|-------|------|--------|--------------------|--------------------|
| 2014  | 2229 | 112    | 1.936              | 6.699              |
| 2015  | 1322 | 67     | 1.864              | 6.470              |
| 2016  | 3110 | 156    | 2.076              | 6.695              |
| 2017  | 2628 | 132    | 2.252              | 6.961              |
| 2018  | 1773 | 89     | 1.985              | 6.685              |
| 2019  | 1047 | 53     | 1.951              | 6.645              |
| 2020  | 1974 | 99     | 1.815              | 6.644              |
| 2021  | 2318 | 116    | 2.089              | 6.868              |
| 2022  | 2886 | 145    | 2.051              | 6.796              |
| 2023  | 2148 | 108    | 2.100              | 6.864              |

Nilai distribusi gelombang representatif tersebut akan diuji kesesuaian datanya terhadap keakurasi datanya. Distribusi tersebut merupakan statistik data lampau, maka uji statistik dapat dilakukan dengan Uji *Smirnov-Kolmogorov* dan Uji *Chi Square* (Sujatmoko, 2020). Sebelum dilakukan pengujian data, ditentukan sebaran data yang memenuhi.

**Tabel 6.** Nilai Parameter Sebaran Distribusi

| Syarat                    | H(s)              | Log H(s)                       |
|---------------------------|-------------------|--------------------------------|
| Cs                        | 0.252             | 0.098                          |
| Ck                        | 0.090             | -0.071                         |
| Sd                        | 0.128             | 0.028                          |
| Hr                        | 2.012             | 0.303                          |
| Cv                        | 0.064             | 0.091                          |
| 3Cv + Cv <sup>2</sup> = 3 | 0.195             | 0.282                          |
| Metode                    | Normal dan Gumbel | Log Normal dan Log Pearson III |

Penentuan sebaran distribusi bergantung dengan nilai Cs, Ck dan Cv. Berdasarkan hasil dari parameter nilai tersebut pada **Tabel 6**. Sebaran distribusi yang memenuhi syarat yaitu metode *Gumbel* atau *Fisher Tippet Type I* dengan koefisien *skewness* nya lebih kecil sama dengan 1,1396 dan koefisien *kurtosis* lebih kecil sama dengan 5,4002. Satu metode yang memenuhi juga yaitu metode *Log Pearson III* atau *Weibull* dengan nilai Cs nya tidak sama dengan 0.

Metode yang memenuhi syarat sebaran distribusi, dilakukan pengujian kecocokan data untuk melihat keakurasi data dan menentukan metode yang akan dipakai ke perhitungan selanjutnya. Hasil pengujian kedua metode tersebut dapat dilihat pada **Tabel 7** dengan hasil kedua metode itu memenuhi syarat dan dilanjutkan ke tahap selanjutnya.

**Tabel 7.** Hasil Uji Kecocokan Data

| Metode                    | Weibull                          | Fisher Tippet Type I             |
|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
|                           | $X^2 = 5.9915$                   | $X^2 = 5.9915$                   |
| <i>Chi-Square</i>         | $((EF-OF)^2/EF) = 1$             | $((EF-OF)^2/EF) = 1$             |
|                           | $X^2 < ((EF-OF)^2/EF)$           | $X^2 < ((EF-OF)^2/EF)$           |
| <i>Smirnov-Kolmogorov</i> | $\Delta_{max} = 0.2020$          | $\Delta_{max} = 0.2020$          |
|                           | $\Delta_{kritis} = 0.40925$      | $\Delta_{kritis} = 0.40925$      |
|                           | $\Delta_{max} < \Delta_{kritis}$ | $\Delta_{max} < \Delta_{kritis}$ |
| Keterangan                | Memenuhi                         | Memenuhi                         |

Kedua metode yang memenuhi sebaran dan pengujian, dilakukan analisis statistik periode ulang dengan menggunakan kala ulang dan umur rencana bangunan 50 tahun. Hasil periode ulang akan dilakukan analisis interval keyakinan sebesar 90% untuk *cover* ketidakpastian gelombang (Triatmodjo, 1999). Berdasarkan persamaan (7)-(14) dalam penentuan periode dan interval keyakinan, didapatkan nilai metode kuadrat terkecil untuk A dan B yaitu 0.106 dan 1.955 untuk metode *Fisher Tippet Type I* dan untuk metode *Weibull* yaitu 0.236 dan 1.801. Didapatkan tinggi gelombang rencana ( $H_{sr}$ ) dengan parameter nilai sebelumnya serta **Tabel 1 dan Tabel 2** yaitu 2.60 m untuk metode *Weibull* dan 2.64 m untuk metode *Fisher Tippet Type I*. Dikarenakan kedua metode memenuhi semua pengujian, maka penentuan metode yang dipakai adalah hasil yang tertinggi (metode *Fisher Tippet Type I*). Selanjutnya dilakukan pengecekan gelombang laut dalam sebagai ketepatan data yang digunakan karena persamaan *hindcasting* yang dipakai untuk gelombang laut dalam ( $d/L > 0.5$ ). Penentuan nilai tersebut dipengaruhi oleh periode gelombang dan dapat dicari dengan regresi terhadap grafik data gelombang dipakai pada **Tabel 5**. Berikut persamaan dan regresi yang digunakan.

$$H_{sr} = \hat{A}y_r + \hat{B} \dots \dots \dots (7)$$

$$y_r = -\ln \left\{ -\ln \left( 1 - \frac{1}{L \cdot Tr} \right) \right\} \dots \dots \dots (8)$$

$$y_r = \left\{ \ln (L \cdot Tr) \right\}^{\frac{1}{k}} \dots \dots \dots (9)$$

(9) Untuk *Fisher-Tippet Type I*

(10) Untuk *Weibull*

Nilai  $\hat{A}$  dan  $\hat{B}$  adalah nilai yang dihasilkan dari metode kuadrat terkecil atau regresi linier.

$$\alpha_r = \alpha_{nr} \alpha_{Hs} \dots \dots \dots (10)$$

$$\sigma_{nr} = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[ 1 + \sigma \left( y_r - c + \varepsilon \ln v \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (11)$$

$$\alpha = \alpha_1 e^{\alpha_2 N^{1.3 + k \sqrt{-\ln v}}} \dots \dots \dots (12)$$

$$v = \frac{N}{N_T} \dots \dots \dots (13)$$

$$H_{sr} = \alpha_r \cdot x \dots \dots \dots (14)$$

Keterangan:

$\alpha_{nr}$  = Standar deviasi yang dinormalkan

$\alpha_{Hs}$  = Standar deviasi gelombang signifikan

$x$  = Tingkat Keyakinan

**Tabel 8.** Hasil Regresi Data Gelombang Representatif

| Trendline                 | Ts    | L       | d/L  | R    |
|---------------------------|-------|---------|------|------|
| <i>Exponensial</i>        | 7.36  | 84.52   | 0.43 | 0.76 |
| <i>Linier</i>             | 7.34  | 83.94   | 0.43 | 0.76 |
| <i>Polynomial Order 2</i> | 7.51  | 87.99   | 0.41 | 0.76 |
| <i>Polynomial Order 3</i> | 4.94  | 38.06   | 0.95 | 0.80 |
| <i>Polynomial Order 4</i> | 28.05 | 1227.42 | 0.03 | 0.83 |
| <i>Polynomial Order 5</i> | 10.14 | 160.40  | 0.22 | 0.91 |

Kelima regresi di atas, dikatakan regresi yang baik yaitu nilai determinan (R) mendekati satu. Akan tetapi hasil d/L pada **Tabel 8**, yang termasuk laut dalam hanya regresi *Polynomial Order 3*. Nilai regresi tersebut yang akan digunakan untuk perhitungan periode pada perhitungan selanjutnya. Berikut persamaan regresinya.

$$T = -13.235x^3 + 81.375x^2 - 165.31x + 117.7 \dots \dots \dots (15)$$

Persamaan periode (15) digunakan untuk perhitungan deformasi gelombang. Hasil deformasi penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 9** dengan 2 transformasinya yaitu *shoaling* dan *refraksi*. Menurut triatmodjo (2006), pada gelombang laut dalam tidak terjadi pendangkalan atau *shoaling*, maka nilai koefisiennya dibuat 1 untuk pengalihan tinggi gelombang ekuivalen.

**Tabel 9.** Hasil Tinggi Gelombang Setelah Deformasi Gelombang

| d   | ao    | sin ao | cos ao | Ho   | To    | Lo     | To'  | Lo'   | Co    | d/Lo   | d/L    | L     | C    | sin α | α     | cos α | Kr   | Ks   | H'O  |
|-----|-------|--------|--------|------|-------|--------|------|-------|-------|--------|--------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|------|
| 36  | 83.59 | 0.99   | 0.11   | 2.64 |       |        | 4.94 | 38.06 | 7.70  | 0.9460 | 0.9460 | 38.05 | 7.70 | 0.99  | 83.58 | 0.11  | 1.00 | 1.00 | 2.64 |
| 31  | 75.3  | 0.97   | 0.25   | 2.64 |       |        | 4.95 | 38.26 | 7.73  | 0.8102 | 0.8102 | 38.26 | 7.73 | 0.97  | 75.28 | 0.25  | 1.00 | 1.00 | 2.64 |
| 26  | 30.24 | 0.50   | 0.86   | 2.64 |       |        | 4.97 | 38.53 | 7.75  | 0.6748 | 0.6751 | 38.51 | 7.75 | 0.50  | 30.23 | 0.86  | 1.00 | 1.00 | 2.64 |
| 24  | 18.2  | 0.31   | 0.95   | 2.64 |       |        | 4.97 | 38.56 | 7.76  | 0.6223 | 0.6228 | 38.53 | 7.75 | 0.31  | 18.18 | 0.95  | 1.00 | 1.00 | 2.64 |
| 21  | 57.22 | 0.84   | 0.54   | 2.64 |       |        | 4.97 | 38.59 | 7.76  | 0.5442 | 0.5454 | 38.51 | 7.74 | 0.84  | 57.03 | 0.54  | 1.00 | 1.00 | 2.63 |
| 20  | 41.05 | 0.66   | 0.75   | 2.63 |       |        | 5.05 | 39.83 | 7.88  | 0.5021 | 0.5039 | 39.69 | 7.85 | 0.65  | 40.87 | 0.76  | 1.00 | 1.00 | 2.62 |
| 18  | 51.23 | 0.78   | 0.63   | 2.62 |       |        | 5.09 | 40.49 | 7.95  | 0.4446 | 0.4478 | 40.20 | 7.89 | 0.77  | 50.72 | 0.63  | 0.99 | 0.94 | 2.46 |
| 16  | 40.87 | 0.65   | 0.76   | 2.46 |       |        | 6.43 | 64.59 | 10.04 | 0.2477 | 0.2746 | 58.27 | 9.06 | 0.59  | 36.18 | 0.81  | 0.97 | 0.93 | 2.22 |
| 11  | 13.35 | 0.23   | 0.97   | 2.22 | 4.939 | 38.055 | 6.96 | 75.49 | 10.85 | 0.1457 | 0.1797 | 61.20 | 8.80 | 0.19  | 10.79 | 0.98  | 1.00 | 0.91 | 2.02 |
| 6   | 25.35 | 0.43   | 0.90   | 2.02 |       |        | 6.73 | 70.68 | 10.50 | 0.0849 | 0.1276 | 47.01 | 6.98 | 0.28  | 16.54 | 0.96  | 0.97 | 0.95 | 1.86 |
| 5   | 51.67 | 0.78   | 0.62   | 1.86 |       |        | 6.58 | 67.61 | 10.27 | 0.0740 | 0.1177 | 42.48 | 6.45 | 0.49  | 29.54 | 0.87  | 0.84 | 1.00 | 1.57 |
| 4   | 20.34 | 0.35   | 0.94   | 1.57 |       |        | 7.55 | 88.96 | 11.78 | 0.0450 | 0.0888 | 45.03 | 5.96 | 0.18  | 10.13 | 0.98  | 0.98 | 1.04 | 1.59 |
| 3.3 | 21.34 | 0.36   | 0.93   | 1.59 |       |        | 7.36 | 84.46 | 11.48 | 0.0391 | 0.0822 | 40.13 | 5.45 | 0.17  | 9.96  | 0.98  | 0.97 | 1.07 | 1.66 |
| 3   | 12.07 | 0.21   | 0.98   | 1.66 |       |        | 7.00 | 76.40 | 10.92 | 0.0393 | 0.0825 | 36.38 | 5.20 | 0.10  | 5.72  | 1.00  | 0.99 | 1.07 | 1.76 |
| 2   | 11.93 | 0.21   | 0.98   | 1.76 |       |        | 6.68 | 69.53 | 10.41 | 0.0288 | 0.0698 | 28.67 | 4.29 | 0.09  | 4.89  | 1.00  | 0.99 | 1.14 | 1.98 |
| 1   | 9.92  | 0.17   | 0.99   | 1.98 |       |        | 6.68 | 69.60 | 10.42 | 0.0144 | 0.0485 | 20.60 | 3.08 | 0.05  | 2.92  | 1.00  | 0.99 | 1.35 | 2.66 |

| d   | αo    | sin αo | cos αo | Ho   | To | Lo | To'  | Lo'   | Co   | d/Lo   | d/L    | L    | C    | sin α | α    | cos α | Kr   | Ks   | H'0  |
|-----|-------|--------|--------|------|----|----|------|-------|------|--------|--------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|
| 0.1 | 14.47 | 0.25   | 0.97   | 2.66 |    |    | 4.64 | 33.61 | 7.24 | 0.0030 | 0.0219 | 4.56 | 0.98 | 0.03  | 1.94 | 1.00  | 0.98 | 1.92 | 5.02 |

Gelombang pecah didasarkan gelombang yang merambat dr laut dalam (Triatmodjo, 1999). Penelitian ini menggunakan gelombang deformasi pada kedalaman 20 yang masih termasuk gelombang laut dalam sebesar 2.62 m. Tinggi gelombang pecah merupakan perbandingan  $d_b$  per  $H_b$  sebesar 1.28 yang menghasilkan tingginya sebesar 2.50 m yang terjadi pada kedalaman -3.22 m. Sedangkan **Tabel 10** menunjukkan hasil tinggi gelombang pecah per STA bangunan, dimana *jetty* yang dirancang ujungnya sampai gelombang pecah dengan *layout* bangunannya dapat dilihat di **Gambar 9**. Pengukuran panjang sampai kedalaman -3.22 m adalah 270 m.

**Tabel 10.** Tinggi Gelombang Pecah per STA

| STA | Kanan  |        | Kiri   |        |
|-----|--------|--------|--------|--------|
|     | db (m) | Hb (m) | db (m) | Hb (m) |
| 0   | 0.00   | 0      | 0.00   | 0      |
| 50  | -0.70  | 0.60   | -1.00  | 0.80   |
| 100 | -1.00  | 0.80   | -1.90  | 1.60   |

| STA | Kanan  |        | Kiri   |        |
|-----|--------|--------|--------|--------|
|     | db (m) | Hb (m) | db (m) | Hb (m) |
| 150 | -1.70  | 1.40   | -2.40  | 1.90   |
| 200 | -2.30  | 1.90   | -2.70  | 2.20   |
| 250 | -2.90  | 2.30   | -3.10  | 2.50   |
| 270 | -3.22  | 2.50   | -3.22  | 2.50   |

Kenaikan muka air laut secara berkala atau pasang surut merupakan salah satu parameter yang dipakai dalam perhitungan dimensi *jetty* yaitu tinggi puncak bangunan. Data pasang surut yang diolah dengan metode *admiralty* akan diperoleh nilai konstanta harmonik yang kemudian akan dihitung nilai tinggi pasang dan surutnya serta hasilnya bisa dilihat pada **Tabel 11**. Dikarenakan data pasang surut yang dipakai data selama satu tahun, dicari nilai HHWL tertingginya selama satu tahun tersebut. Nilai HHWL tertinggi terjadi pada bulan Januari sebesar 78.21 cm. Sedangkan jenis pasang surutnya yaitu campuran harian ganda karena nilai bilangan *Formzahl* nya berada di 0.26 dan 1.5.

**Tabel 11.** Pasang Surut Selama Tahun 2023 di Muara Air Hitam

|          | Jan    | Feb    | Mar    | Apr    | May    | Jun    | Jul    | Aug    | Sep    | Oct    | Nov    | Dec    |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Zo       | -0.07  | -0.06  | -0.02  | 0.01   | 0.03   | 0.04   | 0.02   | 0.02   | 0.03   | 0.03   | 0.01   | -0.01  |
| MSL      | -0.07  | -0.06  | -0.02  | 0.01   | 0.03   | 0.04   | 0.02   | 0.02   | 0.03   | 0.03   | 0.01   | -0.01  |
| HHWL     | 78.21  | 75.88  | 76.61  | 77.06  | 77.40  | 77.52  | 76.45  | 75.73  | 76.18  | 75.95  | 75.85  | 76.55  |
| LLWL     | -78.36 | -75.99 | -76.64 | -77.04 | -77.35 | -77.44 | -76.41 | -75.70 | -76.12 | -75.89 | -75.83 | -76.57 |
| MHWL     | 61.67  | 59.47  | 60.66  | 60.95  | 60.62  | 59.72  | 58.96  | 59.24  | 60.15  | 60.01  | 59.66  | 59.98  |
| MLWL     | -61.82 | -59.59 | -60.69 | -60.92 | -60.56 | -59.64 | -58.91 | -59.20 | -60.09 | -59.95 | -59.63 | -60.00 |
| FORMZAHL | 0.44   | 0.42   | 0.45   | 0.45   | 0.43   | 0.41   | 0.41   | 0.43   | 0.43   | 0.42   | 0.42   | 0.43   |



**Gambar 9.** Layout Tampak Atas Bangunan *Jetty* di Muara Air Hitam Bengkulu

Semua parameter perhitungan telah dilakukan, berikut perhitungan dimensi bangunan *jetty*. Pertama penentuan fluktuasi muka air laut rencana atau DWL merupakan hasil penjumlahan *sea level rise* sebesar 41 cm yang akan terjadi pada tahun 2073, HHWL tertinggi yaitu 78.21 cm, dan *wave set-up* ( $S_w$ ) sebesar 34 cm. Maka nilai DWL menurut persamaan (16) yaitu 1.53 cm. Hasil tersebut akan dipakai untuk menghitung elevasi

puncak. Hasil elevasi puncak dapat ditinjau pada **Tabel 12** untuk setiap STA dengan tinggi jagaan sebesar 0.5 m dan kemiringan bangunan 1:2. Nilai elevasi di tabel berikut adalah nilai yang telah di *roundup* ke atas.

$$DWL = HHWL + S_w + SLR \dots \dots \dots (16)$$

$$S_w = 0,19 \left[ 1 - 2,82 \sqrt{\frac{H_b}{g \times T^2}} \right] \times H_b \dots \dots \dots (17)$$

$$Ir = \frac{\tan \theta}{\left(\frac{H}{L_o}\right)^{1/2}} \dots\dots\dots(18)$$

**Tabel 12.** Tinggi Puncak Bangunan di Setiap STA

| STA | Bilangan<br><i>Irribaren</i> |      | <i>Ru</i> (m) |      | Elevasi<br>Puncak (m) |      |
|-----|------------------------------|------|---------------|------|-----------------------|------|
|     | Kanan                        | Kiri | Kanan         | Kiri | Kanan                 | Kiri |
|     |                              |      |               |      |                       |      |
| 50  | 4.45                         | 3.85 | 0.53          | 0.70 | 3.00                  | 3.00 |
| 100 | 3.85                         | 2.82 | 0.70          | 1.31 | 3.00                  | 4.00 |
| 150 | 2.91                         | 2.50 | 1.22          | 1.52 | 4.00                  | 4.00 |
| 200 | 2.50                         | 2.32 | 1.52          | 1.72 | 4.00                  | 4.00 |
| 250 | 2.27                         | 2.18 | 1.79          | 1.88 | 4.00                  | 4.00 |
| 270 | 2.18                         | 2.18 | 1.85          | 1.85 | 4.00                  | 4.00 |

Berdasarkan material dipakai yaitu *boulder* dan *tetrapod*, berat jenisnya yaitu 2.65 ton/m<sup>3</sup>, *tetrapod* sebesar 2.4 ton/m<sup>3</sup>, dan berat jenis air laut 1.03 ton/m<sup>3</sup>. Nilai K<sub>D</sub> bagian lengan dan kepala *tetrapod* sebesar 7 dan 4.5, dan nilai K<sub>D</sub> batu *boulder* sebesar 2 dan 1.6. **Tabel 13** merupakan hasil analisis berat batu yang dipakai, dimana untuk *tetrapod* dilakukan pembulatan ke atas dan menyesuaikan ketersediaannya.

**Tabel 13.** Berat Armor Tiap Lapis

| STA | Lapis Jetty Kanan |       |       | Lapis Jetty Kiri |       |       |
|-----|-------------------|-------|-------|------------------|-------|-------|
|     | Pertama           | Kedua | Inti  | Pertama          | Kedua | Inti  |
|     | (ton)             | (ton) | (Kg)  | (ton)            | (ton) | (Kg)  |
| 50  | 0.50              | 0.50  | 0.18  | 0.50             | 0.50  | 0.44  |
| 100 | 0.50              | 0.50  | 0.44  | 0.50             | 0.50  | 2.87  |
| 150 | 0.50              | 0.50  | 2.34  | 1.00             | 0.50  | 5.84  |
| 200 | 1.00              | 0.50  | 5.84  | 1.00             | 0.50  | 9.07  |
| 250 | 1.00              | 0.50  | 10.36 | 2.00             | 0.50  | 13.30 |
| 270 | 2.00              | 0.50  | 16.71 | 2.00             | 0.50  | 16.71 |

Hasil diameter setiap material dan lapisan yang digunakan tertuang di **Tabel 14** dengan diameter *tetrapod* berdasarkan beratnya yang terdapat lampiran buku teknik pantai triatmodjo (1999).

**Tabel 14.** Diameter Material Bangunan di Tiap Lapis

| STA | Lapis Jetty Kanan |       |      | Lapis Jetty Kiri |       |      |
|-----|-------------------|-------|------|------------------|-------|------|
|     | Pertama           | Kedua | Inti | Pertama          | Kedua | Inti |
|     | (ton)             | (ton) | (m)  | (ton)            | (ton) | (m)  |
| 50  | 0.27              | 0.27  | 0.04 | 0.27             | 0.27  | 0.05 |
| 100 | 0.27              | 0.27  | 0.05 | 0.27             | 0.27  | 0.10 |
| 150 | 0.27              | 0.27  | 0.10 | 0.34             | 0.27  | 0.13 |
| 200 | 0.34              | 0.27  | 0.13 | 0.34             | 0.27  | 0.15 |
| 250 | 0.34              | 0.27  | 0.16 | 0.43             | 0.27  | 0.17 |
| 270 | 0.43              | 0.27  | 0.18 | 0.43             | 0.27  | 0.18 |

Proses perhitungan ini hampir sama dalam menghitung tebal lapis bangunan. Hasilnya dapat ditinjau pada **Tabel 15** untuk lebar puncak dan **Tabel 16** untuk tebal lapis. Hal yang membedakan kedua perhitungan tersebut adalah jumlah lapis yang digunakan.

**Tabel 15.** Lebar Puncak Tiap Lapisan

| STA | Lebar Jetty Kanan |             |            | Lebar Jetty Kiri |             |            |
|-----|-------------------|-------------|------------|------------------|-------------|------------|
|     | Lapis Pertama     | Lapis Kedua | Inti Lapis | Lapis Pertama    | Lapis Kedua | Inti Lapis |
|     | (m)               | (m)         | (m)        | (m)              | (m)         | (m)        |
| 50  | 2.00              | 1.90        | 0.20       | 2.00             | 1.90        | 0.20       |
| 100 | 2.00              | 1.90        | 0.20       | 2.00             | 1.90        | 0.40       |
| 150 | 2.00              | 1.90        | 0.30       | 3.00             | 1.90        | 0.40       |
| 200 | 3.00              | 1.90        | 0.40       | 3.00             | 1.90        | 0.50       |
| 250 | 3.00              | 1.90        | 0.50       | 3.00             | 1.90        | 0.60       |
| 270 | 3.00              | 1.90        | 0.60       | 3.00             | 1.90        | 0.60       |

**Tabel 16.** Tebal Setiap Lapisan Bangunan

| STA | Jetty Kanan   |             |            | Jetty Kiri    |             |            |
|-----|---------------|-------------|------------|---------------|-------------|------------|
|     | Lapis Pertama | Lapis Kedua | Inti Lapis | Lapis Pertama | Lapis Kedua | Inti Lapis |
|     | (m)           | (m)         | (m)        | (m)           | (m)         | (m)        |
| 50  | 1.30          | 1.30        | 0.10       | 1.30          | 1.30        | 0.20       |
| 100 | 1.30          | 1.30        | 0.20       | 1.30          | 1.30        | 0.30       |
| 150 | 1.30          | 1.30        | 0.20       | 1.60          | 1.30        | 0.30       |
| 200 | 1.60          | 1.30        | 0.30       | 1.60          | 1.30        | 0.40       |
| 250 | 1.60          | 1.30        | 0.40       | 2.00          | 1.30        | 0.40       |
| 270 | 2.00          | 1.30        | 0.40       | 2.00          | 1.30        | 0.40       |

Dimensi terakhir yaitu pelindung kaki atau *toe protection*. Sebelum masuknya perhitungan kebutuhan batu lindung, ditentukan dahulu tinggi dan lebar *toe protection* dan kemudian menentukan nilai parameter perhitungan berat pelindung kaki yang dihasilkan pada **Tabel 17**. Tinggi dan lebar *toe protection* yang digunakan sebesar 1r dari tebal lapis dan 3H dari tinggi gelombang pecah (Triatmodjo, 1999). Hasil perhitungan *toe protection* tertuangkan di **Tabel 18** yang dicari menggunakan persamaan (26) dan parameter **Tabel 17**.

**Tabel 17.** Parameter Penentuan Nilai Ns<sup>3</sup>

| STA | ds    |       | d1    |      | d1/ds |      |
|-----|-------|-------|-------|------|-------|------|
|     | Kanan | Kiri  | Kanan | Kiri | Kanan | Kiri |
|     |       |       |       |      |       |      |
| 50  | -0.70 | -1.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00  | 0.00 |
| 100 | -1.00 | -1.90 | 0.00  | 0.6  | 0.00  | 0.32 |
| 150 | -1.70 | -2.40 | 0.4   | 0.8  | 0.24  | 0.33 |
| 200 | -2.30 | -2.70 | 0.7   | 1.1  | 0.30  | 0.41 |
| 250 | -2.90 | -3.10 | 1.3   | 1.1  | 0.45  | 0.35 |
| 270 | -3.22 | -3.22 | 1.22  | 1.22 | 0.38  | 0.38 |

**Tabel 18.** Berat Batu *Toe Protection*

| STA | Ns3   |       | W (ton) |       | W (Kg) |        |
|-----|-------|-------|---------|-------|--------|--------|
|     | Kanan | Kiri  | Kanan   | Kiri  | Kanan  | Kiri   |
|     |       |       |         |       |        |        |
| 50  | 8.00  | 8.00  | 0.018   | 0.044 | 18.39  | 43.59  |
| 100 | 8.00  | 45.00 | 0.044   | 0.051 | 43.59  | 51.08  |
| 150 | 30.00 | 46.00 | 0.062   | 0.102 | 62.30  | 101.56 |
| 200 | 42.00 | 72.00 | 0.111   | 0.101 | 111.23 | 100.73 |
| 250 | 90.00 | 52.00 | 0.092   | 0.205 | 92.08  | 204.66 |
| 270 | 68.00 | 68.00 | 0.157   | 0.157 | 157.28 | 157.28 |

Semua dimensi dan kebutuhan berat per satu batu telah dihitung, dilanjutkan analisis jumlah kebutuhan batu pelindung per 10 m<sup>2</sup>. Hasil yang ditunjukkan pada **Tabel 19** merupakan hasil kebutuhan batu *boulder* per 10m<sup>2</sup> di lapisan inti, dan *tetrapod* di lapisan pertama dan kedua.

**Tabel 19.** Total Butir Batu dan *Tetrapod* Setiap 10m<sup>2</sup>

| STA | Jetty Kanan   |             |            | Jetty Kiri    |             |            |
|-----|---------------|-------------|------------|---------------|-------------|------------|
|     | Lapis Pertama | Lapis Kedua | Inti Lapis | Lapis Pertama | Lapis Kedua | Inti Lapis |
| 50  | 30            | 30          | 7462       | 30            | 30          | 4198       |
| 100 | 30            | 30          | 4198       | 30            | 30          | 1050       |
| 150 | 30            | 30          | 1371       | 19            | 30          | 745        |
| 200 | 19            | 30          | 745        | 19            | 30          | 555        |
| 250 | 19            | 30          | 508        | 12            | 30          | 430        |
| 270 | 12            | 30          | 370        | 12            | 30          | 379        |

## KESIMPULAN

Hasil perhitungan yang telah dilakukan beserta analisisnya, dapat diberi kesimpulan yang menjawab permasalahan pada penelitian ini bahwa data angin penelitian berlokasi di Perairan Bengkulu dengan koordinat -3.78 *Latitude* dan 102.18 *Longitude*. Sedangkan arah angin dominan berdasarkan *software* WRPLOT yaitu arah barat laut dengan persentase 38.30% dan kecepatannya 5.70-8.80 m/s. Analisis *hindcasting* yang dilakukan menghasilkan nilai tertinggi dari tinggi dan periode gelombang yaitu 2.719 m dan 8.307 s pada Januari 2023.

Transformasi gelombang diawali pada titik lokasi penelitian dan kedalaman -36 m. Hasil yang diberikan pada kedalaman -36 m sampai -20 m merupakan gelombang laut dalam, kedalaman -19 m sampai -3 m termasuk laut transisi dan laut dangkal berada di kedalaman -3 m sampai bibir pantai. Sedangkan gelombang pecah terjadi di kedalaman -3.22 m dengan tinggi gelombangnya yaitu 2.50 m dan gelombang 0.60 m terjadi di garis pantai.

Data pasang surut yang dipakai berkoordinat kan102.2577 *Latitude* dan -3.7590 *Longitude* dengan pengolahan menggunakan metode *admiralty*. Hasil pengolahan tersebut selama 1 tahun 2023 yaitu 78.21 m untuk HHWL, 61.67 m untuk MHWL, 0.04 m untuk MSL, -61.82 m untuk MLWL, -78.36 m untuk LLWL, dan tipe pasang surut adalah campuran condong harian ganda dengan bilangan *Formzahl* 0.45.

*Layout* bangunan *jetty* ini berkoordinat kan195071.49 *Latitude* dan 9585203.36 *Longitude* untuk bagian kiri, sedangkan *jetty* bagian kanan berkoordinat kan195105.57 *Latitude* dan 9585100.28 *Longitude*. Panjang bangunan ini yaitu 270 m dengan material *tetrapod* untuk lapisan pertama dan kedua, dan material batu *boulder* untuk lapisan inti. Kemiringan bangunan *jetty* yang dipakai yaitu 1:2 dengan lebar puncak dan elevasi tertinggi bangunan sama untuk kedua sisi yaitu 3 m dan 4 m. Berat *tetrapod*

digunakan dari 0.5 – 2 ton sedangkan batu *boulder* yaitu 0.44-16.71 kg untuk sisi kiri dan 0.18-16.71 kg untuk sisi kanan. *Toe Protection* menggunakan berat baru *boulder* yaitu 43.69-157.28 kg dan 18.39-157.28 kg.

Penelitian ini hanya memberikan *output* berupa dimensi dan *layout* bangunan *jetty*. Oleh karena itu untuk menyempurnakan dan melanjutkannya, penulis memberikan saran untuk peneliti selanjutnya dalam menganalisis daya dukung tanah, sebaran sedimen pasca dibangunnya *jetty*, dan menganalisis arus gelombang serta *backwater* gelombang.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada semua pihak yang sudah berkontribusi dan membantu dalam proses penyelesaian penelitian ini dan terimakasih kepada Institut Teknologi Sumatera (ITERA) dalam menyediakan *research grant* melalui “Pendanaan Penelitian ITERA Tahun 2024” dengan nomor kontrak 1539cd/IT9.2.1/PT.01.03/2024.

## REFERENSI

- Amanatullah, S., 2023. Perencanaan Jetty di Pantai Bahagia Batam Sebagai Upaya Pencegahan Abrasi Pantai. *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil*, 7(2), pp. 265-274.
- CERC, 1984. *Shore Protection Manual (SPM '84)*. Research Center ed. Washington: US Army Coastal Engineering.
- Chandra, P. G. P. O., Yojana, C. A. & Bagiarta, I. K. Y., 2021. Perencanaan Bangunan Jetty dari Bahan Bronjong di Muara Sungai Sungga Pantai Jasri Kabupaten Karangasem. *Paduraksa*, 10(1), pp. 182-194.
- Farni, I., 2020. Pengaman Muara Pantai Salido Kabupaten Pesisir Selatan. *Jurnal Rekayasa*, 10(02), pp. 126-141.
- Farni, I., 2020. Perencanaan Muara dan Pantai Salido Kabupaten Pesisir Selatan. *Jurnal Rekayasa*, 10(2), pp. 126-141.
- Fauzi, M. A. R., Mardika, M. G. I., Fatkhurrozi, M. & Martino, A. F. H., 2024. Study Re-Analysis of High Wave Deformation in Re-Design Coastal Revetment Protection of Rajabasa Beach Kalianda. *Journal of Science and Appliacative Technology*, 8(1), pp. 24-37.
- Fauzi, Y., Mayasari, Z. M. & Fachri, H. T., 2022. Pemodelan Potensi Bencana Banjir di Daerah Perkotaan Menggunakan SIG. *Geomatika*, 28(1), pp. 21-28.
- Harryando, D., Nugroho, D. & Hariadi, 2017. Studi Tinggi Muka Air Rencana Dan Elevasi Puncak Breakwater Di Pantai Marina Ancol Jakarta. *Jurnal Oseanografi*, 6(1), pp. 39-46.
- Ichsan, M. N., Anesya, V., P, P. N. & Nugroho, H., 2017. Perencanaan Perlindungan Pantai Tanjung Nipah, Kalimantan Tengah. *Jurnal Teknik Sipil*, 6(2), p. 308.

- Igwe, I. S. & Ajoko, T. J.**, 2020. Analysis and Design of a Steel Floating Pontoon for Use as Jetty in the Coastal of Nigeria. *European Journal of Engineering Research and Science*, 5(6), pp. 1014-1015.
- Ikhwan, H., Ramadhan, S., Ayu, M. & Wibowo, R. K.**, 2018. Perancangan Struktur Pantai di Muara Sungai Sedati, Sidoarjo, Jawa Timur Sebagai Upaya Mengatasi Pendangkalan. Volume IV, pp. 326-331.
- Irawan, Y. & Dharmita, S.**, 2019. Jetty Sebagai Alternatif Pengaman Muara Sungai Air Bengkulu. *Majalah Teknik Simes*, 3(2), pp. 25-33.
- Mardika, M. G. I., Mashuri & Hakim, D. R.**, 2024. Studi modeling dan mapping inundasi tsunami menggunakan software Delft3D studi kasus Pantai Labuan Jukung Lampung. *PADURAKSA*, 13(1), pp. 54-63.
- Mardika, M. G. I. & Pratama, M. I.**, 2021. Analisis Pasang Surut Menggunakan Metode Least Square di Wilayah Perairan Muara Sungai Poso. *Journal of Infrastructure Planning and Design (JIPAD)*, 1(1), pp. 1-8.
- Mashuri, Mardika, M. G. I. & Sariyah, H.**, 2023. Studi Pemodelan Banjir 1-D (Satu Dimensi) DAN 2-D (Dua Dimensi) Menggunakan HEC-RAS 5.0.7 (Studi Kasus: Sungai Way Sulan). *Jurnal Infrastruktur*, 9(1), pp. 33-40.
- Maulidin, R. & Tarigan, A. P. M.**, 2016. Analisa Dimensi dan Stabilitas Bangunan Pengaman (Jetty) Muara Lamteh di Kecamatan Peukan Bada Kabupaten Aceh Besar. pp. 1-10.
- Pawitra, M. D., Indrayanti, E., Yusuf, M. & Zainuri, M.**, 2022. Sebaran Sedimen Dasar Perairan dan Pola Arus Laut Di Muara Sungai Loji, Pekalongan. *Indonesia Journal of Oceanography*, p. 22.
- Pemerintah**, 2010. *Pedoman Pelaksanaan Konstruksi Bangunan Pengaman Pantai*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.
- Pokaton, K. Y., Tawas, H. J., Jasin, M. I. & Mamoto, J. D.**, 2013. Perencanaan Jetty di Muara Sungai Ranoyapo Amurang. *Jurnal Sipil Statik*, 1(6), pp. 434-443.
- Pratama, D. P., Atmodjo, W. & Wirasatya, A.**, 2023. Pengaruh Arus Sejajar Pantai (*Longshore Current*) Terhadap Proses Perubahan Garis Pantai di Pantai Marunda, Jakarta Utara. *Indonesia Journal of Oceanography*, 5(2), pp. 108-117.
- Riandi, I., Ikhsan, M. & Amir, A.**, 2015. Perencanaan Ulang Jetty Di Muara Batu Putih Meulaboh. *Jurnal Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Teuku Umar*, 1(1), pp. 97-197.
- Soewarno**, 1995. *Hidrologi (Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data)*. Jilid 1 ed. Bandung: N O V A.
- Sujatmoko, B. ., S. C. D. d. S. M.**, 2020. Analisa Statistika Untuk Curah Hujan Harian Pada DAS Kampar Berdasarkan AIC (Akaike Information Criterion). 29 5.p. 3.
- Supriyadi, E., Siswanto & Pranowo, W. S.**, 2018. Analisis Pasang Surut Di Perairan Pameungpeuk Belitung, dan Sarmi Berdasarkan Metode Admiralty. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 19(1), pp. 29-38.
- Syamsudin, Yuwono, N., Hoedhijatmoko & Riandini, F.**, 2004. Perbaikan Muara Sungai dengan Jeti. In: *Pedoman Konstruksi dan Bangunan*. s.l.:Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, pp. 1-38.
- Triatmodjo, B.**, 1999. *Teknik Pantai*. 5 ed. Yogyakarta: Beta Offset.
- Triatmodjo, B.**, 2006. *Perencanaan Bangunan Pantai*. 2nd ed. Yogyakarta: Beta Offset.
- Trusina, et al.**, 2023. Studi Perencanaan Jetty pada Muara Pembuangan Air (Stormwater Outfall) di PT Perta Arun Gas, Lhokseumawe. *Jurnal Teknik Sipil*, 15(2), pp. 36-46.
- Werdi, N. M. K. & Eryani, I. G. A. P.**, 2020. Alternatif Perencanaan Jetty di Muara Tukad Pangi Kabupaten Badung. *PADURAKSA*, 9(1), pp. 102-112.
- Wulandari, S. J. et al.**, 2022. Perbandingan Penerapan Hasil Metode Admiralty dan Least Square untuk Peramalan Pasang Surut di Selat Bintang, Kepulauan Riau. *Jurnal Kelautan*, 15(3), pp. 258-269.