

ANALISA PENANGANAN SEDIMENTASI DENGAN SEPASANG *JETTY* PADA MUARA SUNGAI SERAYU

Novi Andhi Setyo Purwono¹⁾, Iwan Rustendi¹⁾, Fauzan Angga Musthafa¹⁾, dan Rizka Riadianto¹⁾

1) Program Studi Teknik Sipil, Universitas Wijayakusuma, Purwokerto, Jawa Tengah
novi_andhisp@yahoo.com

ABSTRACT

The estuary functions as a discharge from the river, especially when it floods into the sea. The movement of currents from the sea and also the flow of water from upstream causes sedimentation problems in the estuary. Jetty building planning is required for handling sediment at the estuary of the Serayu River, which is planned with 35721 m² construction area of a pair. Wind data analysis for 10 years is carried out using software WRPLOT, AUTOCAD, and Google Earth. Concrete quality for making tetrapod using concrete (f'c) 31.2 MPa. The tetrapods used have a weight, width, height of 7.6 tons, 2.69 m, and 2.24 m, respectively. Geotextiles used in the jetty building design are 44781.68 m long. Security of the Serayu River estuary requires two pairs of the jetty, the jetty to the right of the estuary requires 778 m length and 34.6 m width, while the jetty to the left of the estuary requires 560 m length and 34.6 m width. The budget plan for the construction of a jetty for handling sediment at the estuary of the Serayu River is IDR 438,708,114,000.00.

Keywords: jetty, estuary, sedimentation

ABSTRAK

Muara sungai berfungsi sebagai pembuangan debit sungai terutama pada waktu banjir ke laut. Pergerakan arus dari laut dan juga aliran air dari hulu menyebabkan permasalahan sedimentasi pada muara. Perencanaan bangunan jetty diperlukan untuk penanganan sedimen muara Sungai Serayu, dimana direncanakan dengan luas bangunan sepasang jetty 35721 m². Analisa data angin selama 10 tahun dilakukan dengan menggunakan program komputer WRPLOT, AUTOCAD, dan Google Earth. Mutu beton untuk pembuatan tetrapod menggunakan beton (f'c) 31.2 MPa. Tetrapod yang digunakan mempunyai berat, lebar, tinggi berturut-turut 7.6 ton, 2.69 m, dan 2.24 m. Geotekstil yang digunakan pada perencanaan bangunan jetty sepanjang 44781.68 m. Pengamanan muara Sungai Serayu memerlukan dua pasang jetty, jetty di sebelah kanan muara diperlukan panjang 778 m dan lebar 34.6 m sedangkan jetty di sebelah kiri muara diperlukan panjang 560 m dan lebar 34.6 m. Perhitungan rencana anggaran biaya pembangunan bangunan jetty untuk penanganan sedimen muara Sungai Serayu sebesar Rp 438,708,114,000.00.

Kata kunci: jetty, muara sungai, sedimen

1 PENDAHULUAN

Muara Sungai Serayu terletak di wilayah Kabupaten Cilacap, tepatnya di Kecamatan Adipala dan Kecamatan Kesugihan. Menurut Triatmodjo (1999), muara sungai berfungsi sebagai pembuangan debit sungai terutama pada waktu banjir ke laut. Letak muara sungai yang berada di ujung hilir menyebabkan debit aliran dimuara lebih besar daripada sungai di wilayah hulu. Pasir yang melintas di depan muara akan terdorong oleh gelombang masuk ke muara kemudian diendapkan. Transpor sedimen sepanjang pantai juga sangat berpengaruh terhadap pembentukan endapan dimuara.

Pada musim penghujan air banjir dapat mengerosi endapan sedimen sehingga sedikit demi sedikit muara sungai dapat terbuka kembali. Pada saat musim kemarau debit aliran sungai mengecil, sedangkan gelombang dari arah laut besar dan sedimen dari arah saluran sungai serayu terhambat dimuara sehingga terjadi pengikisan dibagian tepi. Selama proses penutupan dan pembukaan kembali biasanya disertai dengan proses membeloknya muara sungai dalam arah yang sama dengan arah transpor sedimen sepanjang pantai.

Identifikasi perubahan transport sedimen atau perubahan garis pantai selain menggunakan model juga dapat menggunakan bantuan citra satelit dengan resolusi sedang (Aryastana, Ardantha, & Candrayana, 2018; Aryastana, Ardantha, & Rahadiani, 2018; Aryastana et al., 2018; Ardantha et al., 2019). Permasalahan yang sering dijumpai adalah banyaknya endapan dimuara sungai sehingga tampang alirannya menjadi kecil yang dapat mengganggu pembuangan debit sungai ke laut.

Beberapa studi perencanaan jetty sebagai bangunan pengendali sedimen antara lain perencanaan jetty dengan menggunakan material geobag untuk menangani penumpukan sedimen pada muara Tukad Pangi, Kabupaten Badung, Provinsi Bali (Werdi & Eryani, 2020). Selain itu, perencanaan jetty dengan material bronjong juga dilakukan untuk mengatasi penutupan sedimen pada muara Tukad Melangit di Kabupaten Klungkung (Suryawan, Eryani, & Rahadiani, 2019). Jetty juga direncanakan untuk menanggulangi permasalahan sedimen pada muara Sungai Batu Putih Kabupaten Aceh Barat (Riandi, Ikhsan, & Amir, 2015). Perencanaan 2 buah jetty juga dilakukan pada proyek Offshore Site

Development Kilang Bontang, Kalimantan Timur (Muchlisoh, 2016).

Jetty adalah bangunan tegak lurus pantai yang diletakan pada satu atau kedua sisi muara sungai yang berfungsi untuk mencegah terjadinya luapan sungai oleh endapan sedimen pantai. Pembangunan jetty di muara Sungai Serayu diharapkan dapat mengurangi pengikisan tanah disekitar muara sungai dan mengurangi endapan sedimen dimulut sungai, untuk itu perlu dilakukan kajian pembangunan jetty di muara Sungai Serayu.

2 KAJIAN PUSTAKA

2.1 Angin

Triatmodjo 1999 menyatakan bahwa angin merupakan sirkulasi yang kurang lebih sejajar dengan permukaan bumi. Angin terjadi akibat adanya perubahan atau pun perbedaan suhu antara suatu tempat dengan tempat yang lain. Dalam perhitungan ini digunakan kecepatan angin maksimum, dimaksudkan agar dapat diperoleh kondisikondisi gelombang yang ekstrim. Angin maksimum yang digunakan, terlebih dahulu dikoreksi untuk mendapatkan factor stress-angin (*wind-stress factor*).

2.2 Fetch

Coastal Engineering Research Center 2006, menyatakan bahwa *Fetch*

adalah daerah pembangkit gelombang laut yang dibatasi oleh daratan yang mengelilingi laut tersebut. Daerah *fetch* adalah daerah dengan kecepatan angin konstan. Sedangkan jarak *fetch* merupakan jarak tanpa rintangan dimana angin sedang bertiup. Arah *fetch* diambil arah tenggara, arah selatan dan arah barat daya, yang besarnya dapat dihitung sebagai berikut (Anonim, 2006):

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

dimana:

F_{eff} : *fetch* efektif

X_i : panjang segmen *fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *fetch*.

α : deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan 6° sampai dengan 42° pada kedua sisi dari arah angin.

2.3 Mawar Gelombang

Coastal Engineering Research Center 2006, menyatakan bahwa *Waverose* menggambarkan frekuensi kejadian pada tiap arah mata angin dan kelas ketinggian gelombang pada lokasi dan waktu yang telah ditentukan. *Waverose* menghasilkan nilai tinggi gelombang air laut dalam satuan centimeter (cm) atau meter (m).

2.4 Peramalan Tinggi dan Periode Gelombang

Coastal Engineering Research Center 1984 menyatakan bahwa metode yang digunakan untuk perhitungan gelombang berdasarkan data angin dan medan pembangkitan gelombang adalah metode SMB 1984 (Anonim, 1984). Metode SMB 1984, nilai tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode puncak gelombang (T_s) merupakan fungsi dari kecepatan angin (U_A), durasi angin (t), dan panjang *fetch* (F), dimana:

$$(H_s, T_s) = f(U_A, F, t) \dots\dots\dots (2)$$

Nilai U_A adalah faktor *stress* angin (m/s) yang didefinisikan sebagai:

$$U_A = 0.71U10^{1,23} \dots\dots\dots (3)$$

Fetch efektif, model parametrik yang diekspresikan adalah sebagai berikut:

$$\frac{gt \min}{U_A} = 68.80 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (4)$$

Nilai kecepatan angin dikonversi dari satuan *knot* menjadi m/s (1 *knot* = 0.514 m/s), kemudian menghitung kecepatan angin di laut dengan menggunakan grafik hubungan antara kecepatan angin di laut (U_w) dan di darat (U_L).

$$U_w = U_L \times R_L \dots\dots\dots (5)$$

Setelah mendapatkan nilai R_L dari grafik SPM 1984 *Coastal Engineering Research Center 1984* dalam, maka dapat dicari nilai tinggi signifikan dan nilai

periode signifikan dengan menggunakan data kecepatan angin maksimum dan *fetch* efektif. Tinggi gelombang signifikan (H_s):

$$H_{rms} = \sqrt{\frac{\sum n H_0^2}{\sum n}} \dots\dots\dots (6)$$

Hubungan tinggi gelombang signifikan dengan tinggi gelombang *root mean square*.

$$H_s = 1.42 \times H_{rms} \dots\dots\dots (7)$$

Periode gelombang signifikan (T_s), dihitung dengan rumus periode gelombang *root mean square* (T_{rms}).

$$T_{rms} = \sqrt{\frac{\sum n T_0^2}{\sum n}} \dots\dots\dots (8)$$

Hubungan periode gelombang signifikan dengan periode gelombang *root mean square* dihitung dengan rumus:

$$T_s = 1.42 \times T_{rms} \dots\dots\dots (9)$$

Periode ulang gelombang pada analisis ini menggunakan metode *Gumbel (Fisher Tippett Type I)* dan metode *Weibull*. Berikut adalah analisis periode gelombang dengan data angin 10 tahun:

2.4.1 Periode ulang Metode Gumbel (Fisher Tippett Type I)

Menghitung probabilitas bahwa $H(m)$ tidak terlampaui atau ($H_s < H_{sm}$) dengan rumus:

$$P_{(H_s \leq H_{sm})} = 1 - \frac{m-0,44}{Nt+0,12} \dots\dots\dots (10)$$

dimana:

$P_{(H_s \leq H_{sm})}$: probabilitas dari tinggi gelombang representatif ke-m yang tidak dilampaui.

H_{sm} : tinggi gelombang urutan ke-m

m : nomorurut tinggi gelombang signifikan : 1,2,3,...N

NT : jumlah kejadian gelombang selama pencatatan

Tinggi gelombang signifikan untuk periode ulang dihitung dari fungsi distribusi probabilitas, dimana \hat{A} dan B adalah perkiraan dari parameter skala dan lokal yang diperoleh dari analisis regresi linear (Triatmodjo, 1999):

$$H_{sr} = \hat{A} yr + B \dots\dots\dots (11)$$

$$yr = -\ln \left\{ -\ln \left(1 - \frac{1}{LTr} \right) \right\} \dots\dots\dots (12)$$

$$y_m = -\ln \{ -\ln P(H_s \leq H_{sm}) \} \dots\dots\dots (13)$$

Beberapa nilai di atas dapat dihitung parameter \hat{A} dan \hat{B} berdasarkan data H_{sm} dan y_m dengan menggunakan rumus berikut (Triatmodjo, 1999):

$$\hat{A} = \frac{n \sum H_{sm} y_m - \sum H_{sm} \sum y_m}{n \sum y_m^2 - (\sum y_m)^2} \dots\dots\dots (14)$$

$$\hat{B} = H_{sm} - \hat{A} y_m \dots\dots\dots (15)$$

2.4.2 Metode Weibull

Metode *Weibull* untuk hitungan perkiraan tinggi gelombang ekstrim dilakukan dengan cara yang sama seperti

metode *Fisher Tippet Type I*, hanya persamaan dan koefisien yang digunakan disesuaikan dengan metode *Weibull*. Rumus probabilitas yang digunakan adalah sebagai berikut (Triatmodjo, 1999):

$$P_{(H_s \leq H_{sm})} = 1 - \frac{m - 0,22 - \frac{0,27}{\sqrt{k}}}{NT + 0,2 + \frac{0,23}{\sqrt{k}}} \dots\dots\dots (16)$$

dimana:

$P_{(H_s \leq H_{sm})}$: Probabilitas dari tinggi gelombang representatif ke-m yang tidak dilampaui

H_{sm} : Tinggi gelombang urutan ke-m

m : Nomorurut tinggi gelombang signifikan: 1,2,3,...N

NT : Jumlah kejadian gelombang selama pencatatan

k : Parameter bentuk, pada analisis ini dipakai k = 2.

Tinggi gelombang signifikan untuk periode ulang dihitung dari fungsi distribusi probabilitas dengan rumus:

$$H_{sr} = \hat{A} y_m + \hat{B} \dots\dots\dots (17)$$

Parameter \hat{A} dan \hat{B} dihitung dengan menggunakan persamaan 14 dan 15. Setelah dilakukan perhitungan masing-masing model distribusi, kemudian dilakukan perhitungan kala ulang tinggi gelombang untuk tiap arah mata angin.

2.5 Gelombang Pecah

Coastal Engineering Research Center 2006 menyatakan Menghitung tinggi gelombang pecah dan kedalaman gelombang pecah. Gelombang menjalar dari tempat yang dalam menuju ke tempat yang makin lama makin dangkal, pada suatu lokasi tertentu gelombang tersebut akan pecah. Panjang gelombang di laut dalam

$$L_0 = 1.56 T^2 \dots\dots\dots (18)$$

Cepat rambat gelombang:

$$C_0 = \frac{156}{10} \dots\dots\dots (19)$$

Untuk menghitung koefisien refleksi, dihitung terlebih dahulu arah datang gelombang yang dihitung dengan persamaan berikut:

$$\sin \sigma_1 = \left\{ \frac{C_1}{C_0} \right\} \sin \sigma_0 \dots\dots\dots (20)$$

Koefisien refleksi:

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \sigma_0}{\cos \sigma_1}} \dots\dots\dots (21)$$

Tinggi gelombang di laut dalam ekuivalen dihitung dengan persamaan:

$$H'_0 = K_r \times H_0 \dots\dots\dots (21)$$

Hitung tinggi gelombang pecah:

$$\frac{H'_0}{gT^2} \dots\dots\dots (22)$$

Untuk nilai H'_0/gT^2 dari grafik penentuan tinggi gelombang pecah. Sehingga tinggi gelombang pecah adalah $H_b =$ grafik penentuan tinggi gelombang

pecah $\times H'_0$. Setelah tinggi gelombang diperoleh selanjutnya dihitung kedalaman gelombang pecah d_b dengan grafik penentuan kedalaman gelombang. Dengan grafik penentuan kedalaman gelombang maka, kedalaman gelombang pecah adalah $d_b =$ grafik penentuan kedalaman gelombang \times tinggi gelombang pecah.

2.6 Bangunan Jetty dari Tumpukan Batu dan Tumpukan Tetrapod

Triatmodjo (1999) menyatakan bahwa bangunan jetty dari dinding tumpukan batu sangat populer karena berbagai keuntungan yang terdapat pada struktur ini. Dinding tumpukan batu dibangun berlapis dengan lapisan paling luar terdiri dari batu lindung yang paling berat/besar, sedangkan makin ke dalam ukuran batunya semakin kecil.

Dasar perencanaan konstruksi ini adalah lapis luar akan menerima gaya (dari gelombang dan arus) yang paling besar, sehingga ukurannya harus direncanakan sedemikian berat hingga masih stabil. Untuk menentukan berat lapis lindung dapat di pergunakan rumus Hudson sebagai berikut ini:

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (SR-1)^3 \cot(\theta)} \dots\dots\dots (23)$$

dimana:

W = berat batu lapis luar (ton)

K_D = koefisien stabilitas batu

γ_r = berat jenis batu, $\gamma_r = 2.65$
ton/m³

H = tinggi gelombang rencana
(m)

SR = rapat massa relatif, $SR = \frac{\gamma_r}{\gamma_w}$

γ_w = berat jenis air laut 1.03
ton/m³

θ = sudut lereng sisi bangunan

Rumus tebal lapis pelindung berikut:

$$t = n \times k\Delta \times (w/\gamma_r)^{1/3} \dots\dots\dots (24)$$

dimana:

t = tebal lapis (m)

n = jumlah lapis

$k\Delta$ = koefisien lapis

Untuk menghitung lebar puncak jetty dan jumlah butir batu tiap satu luasan menggunakan rumus:

$$B = n \times k\Delta \times \left(\frac{w}{\gamma_r}\right)^{1/3} \dots\dots\dots (25)$$

$$N = A \times n \times k\Delta \times \left(1 - \frac{p}{100}\right) \times \left(\frac{\gamma_r}{w}\right)^{2/3} \dots\dots (26)$$

dimana:

B = lebar puncak (m)

N = jumlah butir batu (nminimum =3)

$k\Delta$ = Koefisien lapis

W = berat butir batu pelindung
(ton)

γ_r = berat jenis batu pelindung (γ_r
= 2.65 ton/m³)

N = jumlah butir batu untuk satu
satuan luas permukaan A

A = luas permukaan (m²)

P = Porositas rerata dari lapis
pelindung (%)

3 METODE PERENCANAAN

Pada studi ini data-data yang digunakan dalam analisa terdiri dari dua jenis data yaitu data primer yaitu melakukan pengukuran dan pengamatan langsung, dan data sekunder dari studi terdahulu ataupun dari instansi terkait untuk keperluan analisis.

3.1 Data primer

Data primer yang dikumpulkan pada penelitian ini adalah data sondir. Data sondir adalah suatu metode uji penekanan yang dilakukan untuk menganalisa daya dukung tanah dan mengukur kedalaman tanah keras.

3.2 Data sekunder

Data sekunder yang dikumpulkan pada penelitian ini meliputi sebagai berikut:

1. Data angin

Data angin yang digunakan adalah data angin selama 10 tahun terakhir jam-jaman untuk memprediksi tinggi dan periode gelombang

2. Peta batimetri

Data batimetri merupakan data kedalaman muara dan laut dikawasan

muara sungai, data ini dipergunakan untuk menentukan letak konstruksi jetty.

Adapun langkah langkah penyelesaian sebagai berikut:

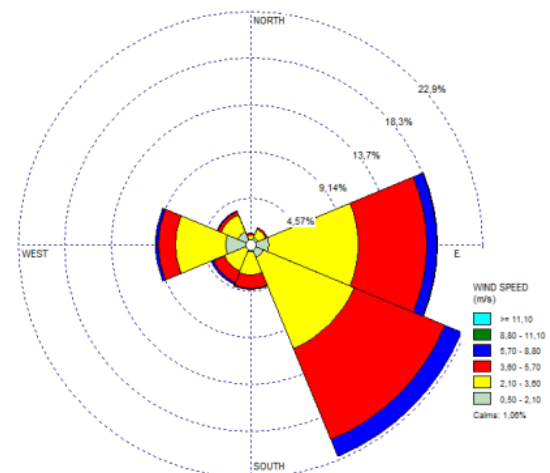
1. Mengoreksi data angin akibat pengaruh berbagai faktor.
2. Menganalisis panjang *fetch* efektif berdasarkan peta lokasi.
3. Analisis pembangkitan gelombang oleh angin.
4. Menggambar mawar gelombang.
5. Menentukan tinggi gelombang rencana dengan kala ulang tertentu.
6. Menganalisis gelombang berupa periode gelombang, cepat rambat gelombang, panjang gelombang dan gelombang pecah
7. Merencanakan dimensi dan stabilitas unit lapis lindung bangunan jetty.
8. Merencanakan rencana anggaran biaya.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data Angin

Data kecepatan angin maksimum dalam satuan knot dikonversikan ke dalam satuan metrik (m/detik). Data angin selama

sepuluh tahun yang diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Cilacap dianalisis dengan menggunakan *software* WRPLOT. WRPLOT merupakan program yang digunakan untuk mengetahui gambaran kejadian angin pada kecepatan tertentu dari berbagai arah.



Gambar 1. Windrose Tahun 2008-2017

Analisa angin mengikuti pedoman pada Coastal Engineering Research Center 2006, dengan menggunakan data angin selama 10 tahun. Dari hasil *Windrose* diatas dapat diketahui, bahwa angin yang berasal dari arah Tenggara lebih mendominasi kecepatan angin kecepatan rata-rata distribusi frekuensi sebesar 3.73 m/s selama pengamatan dilakukan. Hasil presentase kejadian angin dari kedelapan mata angin yang paling dominan adalah dari arah tenggara (*south east*) yaitu 22.40 %. Hasil presentasi kejadian angin dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Presentase Arah Kecepatan Angin

No.	Directions /Wind Classes (m/s)	0.50 - 2.10	2.10 - 3.60	3.60 - 5.70	5.70 - 8.80	8.80 - 11.10	>= 11.10	Total (%)
1	N	0.4341	0.58222	0.13331	0.03304	0.00114	0	1.1838
2	NE	0.78388	0.8682	0.21078	0.02051	0.00114	0.00114	1.88565
3	E	185.831	87.116	673.138	0.99809	0.01367	0	18.3131
4	SE	143.332	957.752	962.082	176.032	0.00911	0.00114	22.4022
5	S	0.73375	23.038	124.191	0.09912	0	0	4.37859
6	SW	0.56399	224.569	120.545	0.21078	0.01025	0.00342	4.23959
7	W	248.724	489.472	168.968	0.29851	0.01025	0.00228	9.38269
8	NW	143.332	176.716	0.37143	0.0433	0.00342	0	3.61863
	Sub-Total	972.792	309.509	212.048	346.368	0.04899	0.00798	65.4042
	Calms							1.05505
	Missing/Incomplete							33.5407
	Total							100

4.2 Fetch

Fetch adalah jarak titik pengukuran angin hingga fetch akhir pada daerah yang akan diprakirakan kecepatan anginnya. Jarak ini diukur dengan bantuan *Autocad*. *Fetch* diambil pada tiga titik alur pelayaran untuk lebih mewakili kondisi gelombang di alur tersebut. *Fetch* rerata efektif dihitung dengan menggunakan persamaan

1. *Fetch* efektif ditinjau dari arah tenggara, selatan dan barat daya (Gambar 2). Hasil analisa *Fetch* dengan tiga arah mata angin dengan sudut datang (42° , 36° , 30° , 24° , 18° , 12° , 6° , 0° , -6° , -12° , -18° , -24° , -30° , -36° , -42°) didapat *Fetch* efektif terpanjang berasal dari arah Selatan yaitu yaitu 164.13 km (Tabel 2).



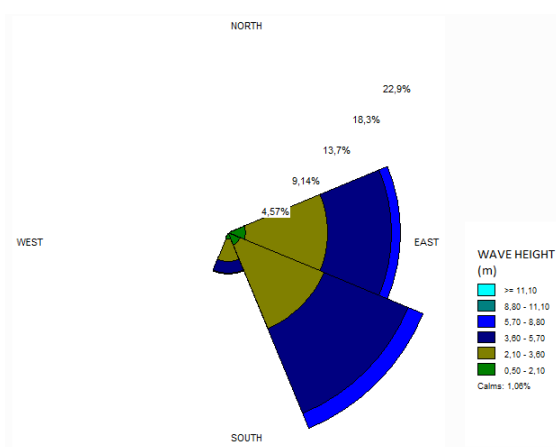
Gambar 2. Fetch Efektif dari Arah Selatan (Zoom in)
(Sumber: Musthafa & Risdianto, 2020)

Tabel 2. Perhitungan *Fetch* Arah Selatan

No	Sudut (α°)	Cos (α)	Jarak Xi (km)	Xi Cos (α)	Jarak ACAD (units)	Skala 1:3.168	Asli
1	-42	0.74	200.00	148.63	63.14	0.3157	200.00
2	-36	0.81	200.00	161.80	63.14	0.3157	200.00
3	-30	0.87	200.00	173.21	63.14	0.3157	200.00
4	-24	0.91	200.00	182.71	63.14	0.3157	200.00
5	-18	0.95	200.00	190.21	63.14	0.3157	200.00
6	-12	0.98	200.00	195.63	63.14	0.3157	200.00
7	-6	0.99	200.00	198.90	63.14	0.3157	200.00
8	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.3157	0.00
9	6	0.99	200.00	198.90	63.14	0.3157	200.00
10	12	0.98	200.00	195.63	63.14	0.3157	200.00
11	18	0.95	200.00	190.21	63.14	0.3157	200.00
12	24	0.91	200.00	182.71	63.14	0.3157	200.00
13	30	0.87	200.00	173.21	63.14	0.3157	200.00
14	36	0.81	16.88	13.66	5.33	0.3157	16.88
15	42	0.74	16.34	12.15	5.16	0.3157	16.34
Jumlah		13.51		2217.56	164.13		km
		<i>Fetch</i> Efektif			164130.70		m

4.3 Waverose

Waverose menggambarkan frekuensi kejadian pada tiap arah mata angin dan kelas ketinggian gelombang pada lokasi dan waktu yang telah ditentukan. *Waverose* menghasilkan nilai tinggi gelombang air laut dalam satuan centimeter (cm) atau meter (m).

**Gambar 3. Waverose 2008-2017**

Hasil analisis *waverose* diatas dapat diketahui, bahwa arah gelombang yang berasal dari arah Tenggara lebih mendominasi dengan tinggi gelombang signifikan sebesar 3.757 m dimana tinggi gelombang mencapai titik tertingginya.

4.4 Peramalan Tinggi dan Periode Gelombang oleh Data Angin

Metode yang digunakan untuk perhitungan gelombang berdasarkan data angin dan medan pembangkitan gelombang adalah metode SMB 1984. Nilai tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode puncak gelombang (T_s) merupakan fungsi dari kecepatan angin (U_A), durasi angin (t), dan panjang *fetch* (F). Hasil H_s dan T_s dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Tinggi dan Periode Gelombang Signifikan

Tahun	Hs	Ts	Hs ²	Ts ²	Arah	Kecepatan (m/s)
2008	2.37	7.10	5.60	50.46	250	9.766
2009	2.37	7.10	5.60	50.46	120	9.766
2010	2.16	6.89	4.66	47.47	150	9.252
2011	2.16	6.89	4.66	47.47	140	9.252
2012	2.67	7.39	7.11	54.64	240	10.794
2013	3.32	7.95	11.02	63.23	250	12.85
2014	2.67	7.39	7.11	54.64	350	10.794
2015	3.00	7.69	8.99	59.08	240	11.822
2016	2.85	7.56	8.11	57.09	240	8.738
2017	2.67	7.39	7.11	54.64	290	10.794
		Jumlah	69.99	539.18		

Tinggi gelombang signifikan (Hs)

$$H_{rms} = \sqrt{\frac{\sum n H_0^2}{\sum n}} = 2.646 \text{ m}$$

Hubungan tinggi gelombang signifikan dengan tinggi gelombang *root mean square*. $H_s = 1.42 \times H_{rms} = 1.42 \times 2.646 = 3.757 \text{ m}$.

Periode gelombang signifikan (Ts), dihitung dengan rumus periode gelombang *root mean square* (Trms).

$$T_{rms} = \sqrt{\frac{\sum n T_0^2}{\sum n}} = 7.343$$

Kemudian hubungan periode gelombang signifikan dengan periode gelombang *root mean square* dihitung persamaan 9, sehingga diperoleh hasilnya adalah $T_s = 1.42 \times T_{rms} = 1.42 \times 7.343 = 10.427 \text{ s}$.

4.4.1 Metode Gumbel (Fisher Tippett Type I)

Analisa peramalan dengan menggunakan metode *Fisher Tippett Type*

I dilakukan dengan mengikuti persamaan 10 sampai dengan persamaan 15. Data probabilitas ditetapkan untuk setiap tinggi gelombang sebagai berikut:

$$P_{(H_s \leq H_{sm})} = 1 - \frac{m-0.44}{NT+0.12}$$

$$\hat{A} = \frac{n \sum H_{sm} y_m - \sum H_{sm} \sum y_m}{n \sum y_m^2 - (\sum y_m)^2} = 0.368$$

$$\hat{B} = H_{sm} - \hat{A} y_m = 2.262$$

$$H_{sm} = 26.22 / 10 = 2.622$$

$$\hat{A} \bar{y}_m = 0.368 \times 0.978 = 0.360$$

Selanjutnya hitungan tinggi gelombang signifikan dengan beberapa periode ulang tertentu tersaji pada Tabel 4.

4.4.2 Metode Weibull

Metode *Weibull* dihitung dengan menggunakan persamaan 16 sampai persamaan 17.

$$P_{(H_s \leq H_{sm})} = 1 - \frac{m-0.22 - \frac{0.27}{\sqrt{k}}}{NT+0.2 + \frac{0.23}{\sqrt{k}}}$$

$$\hat{A} = \frac{n \sum H_{sm} y_m - \sum H_{sm} \sum y_m}{n \sum y_m^2 - (\sum y_m)^2} = 0.838$$

$$\hat{B} = 2.622 - (0.838 \times 0.888) = 1.879$$

Selanjutnya hitungan tinggi dilihat pada Tabel 5, sedangkan gelombang signifikan dengan periode rekapitulasi perhitungan tinggi gelombang ulang berdasarkan metode Weibull dapat kala ulang dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 4. Gelombang dengan Periode Ulang Tertentu (Metode Fisher Tippett Type I)

T Ulang	yr	Hsr(m)	α	Σ_{nr}	SD	Σ_r	Hsm-1.28 σ	Hsm+1.28 σ
2	3.34	3.491		2.381		0.296	3.112	3.871
5	4.42	3.890		2.725		0.339	3.456	4.324
10	5.25	4.196	1.005	2.989	0.124	0.372	3.720	4.673
25	6.37	4.607		3.343		0.416	4.074	5.139
50	7.22	4.921		3.614		0.450	4.345	5.496
100	8.08	5.237		3.887		0.484	4.618	5.856

Tabel 5. Gelombang dengan Periode Ulang Tertentu Metode Weibull

T Ulang	Yr	Hsr(m)	α	σ_{nr}	SD	σ	Hsm-1.28 σ	Hsm+1.28 σ
2	0.833	2.577		0.733		0.091	2.460	2.694
5	1.269	2.942		1.280		0.159	2.738	3.146
10	1.517	3.151	3.966	1.592	0.124	0.198	2.897	3.404
25	1.794	3.383		1.939		0.241	3.073	3.692
50	1.978	3.536		2.170		0.270	3.191	3.882
100	2.146	3.677		2.381		0.296	3.298	4.057

Tabel 6. Rekapitulasi Tinggi Gelombang Kala Ulang

Kala Ulang, T (Tahun)	Weibull		Gumbel (Fisher-Tippet Type I)		Distribusi yang digunakan
	YR	Hsr = H (m)	YR	Hsr = H (m)	
2	0.833	2.577	3.338	3.491	Gumbel
5	1.269	2.942	4.422	3.890	Gumbel
10	1.517	3.151	5.254	4.196	Gumbel
25	1.794	3.383	6.368	4.607	Gumbel
50	1.978	3.536	7.220	4.921	Gumbel
100	2.146	3.677	8.080	5.237	Gumbel

Hasil analisa tiga metode tersebut selanjutnya dipilih menggunakan gelombang dengan periode ulang Gumbel karena dari dua metode itu diambil paling besar yaitu metode Gumbel Hsr pada kala ulang 50 tahun yaitu 4.921.

4.5 Gelombang Pecah

Menghitung tinggi gelombang pecah dan kedalaman gelombang pecah

Panjang gelombang di laut dalam:

$$L_0 = 1.56 T^2 = 1.56 \times 10^2 = 156 \text{ m}$$

Cepat rambat gelombang:

$$C_0 = \frac{156}{10} = 15.6 \text{ m/d}$$

Untuk kedalaman 5 m:

$$\frac{d}{L_0} = \frac{5}{156} = 0.03205$$

Dari tabel lampiran A-1 (Triatmodjo, 1999) untuk nilai $d/L_0 = 0.03205$.

Didapat nilai $d/L = 0.07385$

$$L = \frac{5}{0.07385} = 67.705 \text{ m}$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{67.705}{10} = 6.771 \text{ m/d}$$

Untuk menghitung koefisien refleksi

$$\begin{aligned} \sin \sigma_1 &= \left\{ \frac{C_1}{C_0} \right\} \sin \sigma_0 = \left\{ \frac{6.771}{15.6} \right\} \sin 45 \\ &= 0.307; \sigma_1 = 17.879^\circ \sim 18^\circ \end{aligned}$$

Koefisien refleksi:

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \sigma_0}{\cos \sigma_1}} = \sqrt{\frac{\cos 45^\circ}{\cos 17.879^\circ}} = 0.862$$

Tinggi gelombang di laut dalam ekuivalen dihitung dengan persamaan:

$$H'_0 = 0.862 \times 4.921 = 4.242 \text{ m.}$$

Hitung tinggi gelombang pecah

$$\frac{H'_0}{gT^2} = \frac{4.242}{9.81 \times 10^2} = 0.00432$$

Untuk nilai $H'_0/gT^2 = 0.00432$ dan kemiringan pantai $m = 0.05$ dari grafik penentuan tinggi gelombang pecah $H_b/H'_0 = 1.3$ Sehingga tinggi gelombang pecah adalah $H_b = 1.3 \times 4.242 = 5.50 \text{ m}$. Setelah tinggi gelombang diperoleh selanjutnya dihitung kedalaman gelombang pecah d_b dengan grafik penentuan kedalaman gelombang:

$$\frac{H_b}{gT^2} = \frac{5.50}{9.81 \times 10^2} = 0.00562$$

Dengan grafik penentuan kedalaman gelombang maka $\frac{d_b}{H_b} = 1.02$, sehingga kedalaman gelombang pecah adalah $d_b = 1.02 \times 5.50 = 5.61 \text{ m}$.

4.6 Perhitungan Bangunan Jetty

4.6.1 Bangunan jetty dari tumpukan batu

Untuk menentukan berat lapis lindung dapat di pergunakan rumus Hudson sebagai berikut ini:

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (SR-1)^3 \cot(\theta)}$$

$$SR = \frac{\gamma_r}{\gamma_w} = \frac{2.65}{1.03} = 2.57$$

$$\begin{aligned} W &= \frac{2.65 \cdot 4.921^3}{4 (2.57-1)^3 \cot(2)} \\ &= 10.20 \text{ ton/m}^3 \end{aligned}$$

Dalam perencanaan jetty dibuat dalam 2 layer yaitu lapis pelindung, lapis lindung kaki, dan lapis inti, dengan rumus tebal lapis pelindung berikut:

$$t = n \times k \Delta \times (w/\gamma_r)^{1/3}$$

$$\begin{aligned} t &= 2 \times 1.15 \times (10.20 / 2.65)^{1/3} \\ &= 3.60 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk menghitung lebar puncak jetty dan jumlah butir batu tiap satu luasan menggunakan rumus:

$$B = n \times k \Delta \times \left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{1/3}$$

$$B = 3 \times 1.15 \times \left(\frac{10.20}{2.65} \right)^{1/3} = 5.4 \text{ m}$$

4.6.2 Bangunan jetty dari tumpukan tetrapod

Menentukan elevasi puncak bangunn jetty dapat dihitung menggunakan rumus berikut ini.

$$\begin{aligned} El_{\text{puncak}} &= H_{\text{gelombang pecah}} + H_{\text{kebebasan}} \\ &= 5.50 + 0.5 = 6.00 \text{ m} \end{aligned}$$

Menentukan tinggi bangunan jetty pada kedalaman 4.5 meter dibawah permukaan air menggunakan rumus berikut ini:

$$H_{\text{Bangunan}} = El_{\text{V Puncak Bangunan}} - El_{\text{V Dasar Laut}} = 6.00 - (-4.5) = 10.50 \text{ m.}$$

Untuk menentukan berat lapis lindung dapat di pergunakan rumus Hudson sebagai berikut ini.

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (SR-1)^3 \cot(\theta)}$$

$$SR = \frac{\gamma_r}{\gamma_w} = \frac{2.4}{1.03} = 2.33$$

$$W = \frac{2.4 \times 4.921^3}{8 \times (2.33-1)^3 \times (2)} = 7.60 \text{ ton}$$

Berat batu lapis inti (core):

$$\frac{W}{200} = \frac{7.6}{200} = 0.038 \text{ ton} = 40 \text{ kg}$$

Dalam perencanaan jetty dibuat dalam 2 layer, yaitu lapis pelindung, lapis dan lapis inti, dengan rumus tebal lapis pelindung berikut:

$$t = n \times k_{\Delta} \times (w/\gamma_r)^{1/3}$$

$$t = 2 \times 1.04 \times (7.6 / 2.4)^{1/3} = 3.10 \text{ m}$$

Untuk menghitung lebar puncak jetty menggunakan rumus:

$$B = n \times k_{\Delta} \times \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3}$$

$$B = 3 \times 1.04 \times \left(\frac{7.6}{2.4}\right)^{1/3} = 4.6 \text{ m}$$

Untuk pelindung kaki, digunakan batu pecah bersudut kasar, diketahui dari perhitungan sebelumnya diperoleh berat lapis pelindung utama 7.6 ton.

$$\frac{W}{10} = \frac{7.6}{10} = 0.76 \text{ ton} = 760 \text{ kg}$$

Lebar pelindung kaki dapat dihitung dengan rumus:

$$B = n \times k_{\Delta} \times \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3}$$

$$B = 3 \times 1.15 \times \left(\frac{0.76}{2.4}\right)^{1/3} = 2.5 \text{ m}$$

Tinggi pelindung kaki dapat dihitung dengan rumus:

$$t = n \times k_{\Delta} \times \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3}$$

$$t = 2 \times 1.15 \times \left(\frac{0.76}{2.4}\right)^{1/3} = 2.00 \text{ m}$$

Tabel 7. Perbandingan Jetty Tumpukan Batu dan Tumpukan Tetrapod

Jenis Pelindung	Berat (ton)	Tebal Lapis Lindung (m)	Lebar Puncak (m)	Lapis Inti (kg)
Batu	10.20	3.60	5.40	50
Tetrapod	7.60	3.10	4.60	40

Jadi panjang Jetty diambil dari gelombang pecah yang sudah terjadi yaitu pada kedalaman 5.50 m kemudian ditarik dari kedalaman 4 m ke tepi sungai sehingga diketahui panjang jetty sisi kiri sungai dengan jarak 560 m, sedangkan jetty sebelah kanan dengan jarak 778 m dan lebar bawah jetty 34.6 m.

4.7 Spesifikasi Tetrapod

Berdasarkan data hasil perhitungan berat butir lapis pelindung pada bangunan jetty, dapat dihitung spesifikasi tetrapod yang akan digunakan. Dari nilai berat butir dapat dihitung besarnya volume berdasarkan rumus dasar berat jenis.

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad \text{dan} \quad V = \frac{W}{\gamma}$$

dimana:

γ = berat jenis (ton/m³)

W = berat (ton)

V = volume (m³)

Diketahui W = 7.6 ton maka:

$$V = \frac{7.6}{2.4} = 3.167 \text{ m}^3$$

Perhitungan volume untuk tetrapod dapat dihitung dengan rumus berikut ini.

$$V = 0.280 H^3$$

$$3.167 = 0.280 H^3$$

$$H^3 = 11.311$$

$$H = 2.24 \text{ m}$$

Berdasarkan nilai H yang telah diperoleh, dapat dihitung spesifikasi tetrapod yang akan digunakan. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan spesifikasi tetrapod antara lain sebagai berikut (Shore Protection Manual Vol. II, pp 7-218):

$$A = 0.302 H \quad G = 0.215 H$$

$$B = 0.151 H \quad H = 1 H$$

$$C = 0.477 H \quad I = 0.606 H$$

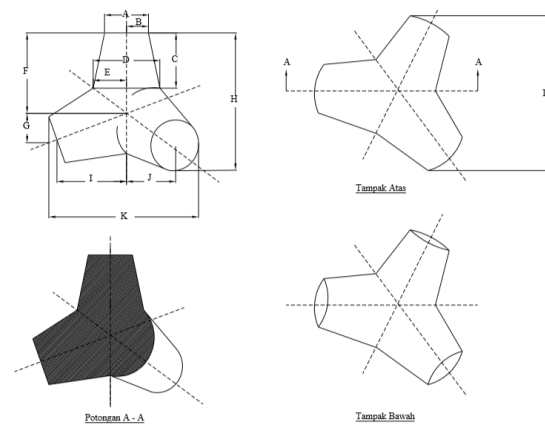
$$D = 0.470 H \quad J = 0.303 H$$

$$E = 0.235 H \quad K = 1.091 H$$

$$F = 0.644 H \quad L = 1.201 H$$

Tabel 8. Spesifikasi Tetrapod untuk Bangunan Jetty

No	Spesifikasi	Tetrapod (m)
1	A	0.676
2	B	0.338
3	C	1.068
4	D	1.053
5	E	0.526
6	F	1.443
7	G	0.482
8	H	2.240
9	I	1.357
10	J	0.679
11	K	2.444
12	L	2.690



Gambar 4. Dimensi Tetrapod

4.8 Menentukan Volume Tetrapod

Adapun cara yang dilakukan untuk menentukan tetrapod adalah berikut ini:

4.8.1 Cari tinggi seluruh dari tetrapod

- Selisih jari – jari B dan E = E – B = 52.6 – 33.8 = 18.8 cm
- Perbandingan selisih tinggi

$$C = \frac{18.8}{106.8} = 0.176$$

$$3. \quad F - C = 144.3 - 106.8 = 37.5 \\ \text{cm}$$

$$4. \quad C \times (F - C) = 0.176 \times 37.5 = 6.6 \\ \text{cm}$$

$$5. \quad \text{Jari - jari pusat alas} \\ r = 6.6 + E = 6.6 + 52.6 = 59.2 \\ \text{cm}$$

$$6. \quad \text{Mencari tinggi puncak kerucut} \\ \frac{\text{jari-jari B}}{0.183} = \frac{33.8}{0.176} = 192.045 \text{ cm}$$

4.8.2 Mencari Volume tetrapod 7.6 T

$$1. \quad \text{Tinggi dari pusat alas} \\ T = C + 192.045 = 106.8 + \\ 192.045 = 298.845 \text{ cm}$$

$$2. \quad \text{Volume kerucut total} \\ V = \frac{1}{3} \times \pi \times r^2 \times T \\ V = \frac{1}{3} \times \pi \times 52.6^2 \times 298.845 \\ V = 865856.856 \text{ cm}^3$$

$$3. \quad \text{Volume kerucut puncak} \\ V = \frac{1}{3} \times \pi \times B^2 \times T \\ V = \frac{1}{3} \times \pi \times 33.8^2 \times 298.845$$

$$V = 357526.315 \text{ cm}^3$$

4. Volume bola pusat tetrapod

$$V = \frac{4}{3} \times \pi \times r^3$$

$$V = \frac{4}{3} \times \pi \times (6.6 + E)^3$$

$$V = \frac{4}{3} \times \pi \times (6.6 + 52.6)^3$$

$$V = 869067.941 \text{ cm}^3$$

5. Volume tetrapod 7.6 T

$$V^{7.6} = 4 \times (\text{vol}_{\text{kerucut total}} - \\ \text{vol}_{\text{kerucut puncak}}) + (\text{vol}_{\text{bola}})$$

$$V^{7.6} = 4 \times (865856.856 - \\ 357526.315) + (869067.941)$$

$$V^{7.6} = 2902390.105 \text{ cm}^3 = 2.9 \\ \text{m}^3$$

Jadi volume tetrapod 7.6 Ton adalah 2.9 m³.

4.9 Rencana Anggaran Biaya

Hasil perhitungan rencana anggaran biaya pekerjaan pembuatan sepasang jetty di Muara Serayu tersaji pada Tabel 9 berikut:

Tabel 9. Rencana Anggaran Biaya Pembangunan Jetty

No	Jenis Pekerjaan	Jumlah Harga (Rp)
I	Pekerjaan Persiapan	472,170,799.00
II	Pekerjaan tanah	117,512,554,858.00
III	Pekerjaan geotekstil	924,183,360.00
IV	Pembuatan 1 buah tetrapod	122,981,540,719.00
V	Pekerjaan pembangunan jetty	34,528,087,200.00
VI	Pemasangan tumpukan tetrapod berat 7.6 t	122,407,020,608.00
	Jumlah Total	398,825,557,544.00
	PPN (10%)	39,882,555,754.40
	Total + PPN	438,708,113,298.40
	Dibulatkan	438,708,114,000.00

Hasil perhitungan RAB menunjukkan ada 6 item pekerjaan dengan total biaya adalah Rp 438,708,114,000.00.

5 SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

1. Hasil analisa *fetch* dengan tiga arah mata angin yaitu, Tenggara, Selatan dan Barat daya didapat *fetch* efektif terpanjang berasal dari arah Selatan yaitu yaitu 164.13 km.
2. Hasil analisis *waverose* disimpulkan bahwa bulan agustus merupakan bulan dimana tinggi gelombang mencapai titik tertingginya.
3. Berdasarkan perhitungan gelombang kala ulang dengan kala ulang 50 tahun didapatkan hasil tinggi gelombang (Hsr) sebesar 4.921 m (metode *Gumbell*).
4. Hasil tinggi gelombang pecah 5.50 m, kedalaman gelombang pecah 5.61 m, sudut datang gelombang pecah 17.88°.
5. Bangunan jetty di bagi menjadi dua yaitu bangunan jetty sebelah kanan mempunyai panjang 778 m dan lebar 34.6 m sedangkan bangunan jetty sebelah kiri

mempunyai panjang 560 m dan lebar 34.6 m.

6. Spesifikasi tetrapod: berat 7.60 ton, lebar 2.690 m, tinggi 2.240 m.
7. Dari perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) Perencanaan Bangunan jetty Untuk Penanganan Sedimen Muara Sungai Serayu diperoleh nilai sebesar Rp 438,708,114,000.00.

5.2 Saran

1. Untuk penyempurnaan desain, diperlukan simulasi kombinasi groin dan tembok laut.
2. Pembangunan jetty ini akan memicu terjadinya erosi dan akresi di sekitar bangunan jetty. Hal ini perlu dikaji lebih lanjut agar tidak terjadi pengikisan garis pantai.

6 DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (1984). *Waterways Experiment Station, Corps of Engineer - Shore Protection Manual*. Department of The Army.
- Anonim. (2006). *Waterways Experiment Station, Corps of Engineer - Coastal Engineering Manual*. Department of The Army.
- Ardantha, I. M., Aryastana, P., Rahadiani, A. A. S. D., & Candrayana, K. W.

- (2019). Analysis of Coastline Change in Klungkung Regency. *The 1st Warmadewa Research and Development Seminar (WARDS)*, 1–9. Denpasar: EAI. <https://doi.org/10.4108/eai.30-10-2018.2281487>
- Aryastana, P., Ardantha, I. M., & Candrayana, K. W. (2018). Coastline change analysis and erosion prediction using satellite images. *MATEC Web of Conferences*, 197, 1–5. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819713003>
- Aryastana, P., Ardantha, I. M., & Rahadiani, A. A. S. D. (2018). Pemanfaatan Citra Satelit SPOT dalam Analisis Perubahan Garis Pantai di Kabupaten Jembrana. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 12*. Batam: Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atmajaya Yogyakarta.
- Aryastana, P., Ardantha, I. M., Rahadiani, A. A. S. D., & Candrayana, K. W. (2018). Deteksi Perubahan Garis Pantai Di Kabupaten Karangasem Dengan Penginderaan Jauh. *Jurnal Fondasi*, 7(2), 94–104. <https://doi.org/10.36055/jft.v7i2.4079>
- Muchlisoh, L. (2016). *Perencanaan Struktur Causeway Jetty 2 Proyek Offshore Site Development Kilang Bontang, Kalimantan Timur*. Tugas Akhi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Musthafa, F. A., & Risdianto, R. (2020). *Perencanaan Bangunan Jetty Untuk Penanganan Sedimen Muara Sungai Serayu*. Tugas Akhir, Fakultas Teknik, Universitas Wijayakusuma Purwokerto.
- Riandi, I., Ikhsan, M., & Amir, A. (2015). Perencanaan Ulang Jetty di Muara Batu Putih Meulaboh. *Jurnal Teknik Sipil Dan Teknologi Konstruksi*, 1(1), 96–107.
- Suryawan, I. N., Eryani, I. G. A. P., & Rahadiani, A. A. S. D. (2019). Perencanaan Bangunan Jetty dari Bahan Bronjong pada Muara Tukad Melangit di Banjar Tegal Besar Kabupaten Klungkung. *PADURAKSA*, 8(1), 16–26.
- Triatmodjo, B. (1999). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Werdi, N. M. K., & Eryani, I. G. A. P. (2020). Alternatif Perencanaan Jetty di Muara Tukad Pangi Kabupaten Badung. *PADURAKSA*, 9(1), 102–113. <https://doi.org/10.22225/pd.9.1.1678.102-113>