

Perancangan *Organic Coastal Defence* (OCD) sebagai Penangkap Lumpur untuk Mendukung Pertumbuhan Tanaman Mangrove di *Mempawah Mangrove Park*

Trimei Permanus¹, Kiki Prio Utomo¹, dan Jumiati¹

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura; e-mail: trimeipermanus35@gmail.com

ABSTRAK

Ekosistem Mangrove di *Mempawah Mangrove Park* (MMP) Kabupaten Mempawah, Provinsi Kalimantan Barat telah mengalami abrasi, sehingga pada tahun 2011 MMP melakukan penanaman mangrove. Penanaman terkadang mengalami kegagalan setelah 1 hingga 2 bulan penanaman, mangrove yang ditanam tumbang dan mati oleh arus pesisir pantai. Tahun 2022 pihak MMP berkolaborasi dengan mahasiswa Teknik Lingkungan UNTAN yang dinaungi oleh UPT Laboratorium Terpadu UNTAN pada kegiatan *Matching Fund*. Kolaborasi tersebut membuat bangunan penahan lumpur (*mud trap*) dan pemecah gelombang (*breakwater*). Kedua bangunan tersebut dinamai *Organic Coastal Defence* (OCD). Pembangunan OCD yang dibuat pada tahun 2022 belum mempunyai dasar ilmiah secara tertulis untuk dapat direplika di lokasi lain. Berdasarkan latar belakang tersebut maka perancangan OCD dengan dasar ilmiah akan dilakukan dengan observasi lapangan dan melakukan perhitungan prediksi gelombang laut berdasarkan data angin dari Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika (BMKG) Maritim Pontianak. Hasil prediksi gelombang laut dengan tinggi 1,6 meter dengan periode 7 detik. Hasil dari analisis bangunan *breakwater* mempunyai panjang 99 meter, jarak antar *breakwater* 55 meter, tinggi tiang 1,8 meter, kedalaman tiang 1,5 meter dan jarak antar tiang 0,23 meter serta bangunan *mud trap* mempunyai panjang 99 meter, lebar 9 meter, tinggi 0,1 meter, kedalaman papan 0,9 meter. Posisi bangunan OCD menghadap ke arah laut.

Kata kunci: *Breakwater, Mud trap, Mangrove, MMP (Mempawah Mangrove Park), OCD (Organic Coastal Defence).*

ABSTRACT

Mangrove ecosystems in *Mempawah Mangrove Park* (MMP) in *Mempawah Regency*, West Kalimantan Province have been abraded, so in 2011 MMP conducted mangrove planting. Planting sometimes fails after 1 to 2 months of planting, the planted mangroves fall down and die by the coastal currents. In 2022, MMP collaborated with UNTAN Environmental Engineering students who were hosted by UPT Laboratorium Terpadu UNTAN in *Matching Fund* activities. The collaboration created a *mud trap* and *breakwater*. Both buildings are named *Organic Coastal Defence* (OCD). The construction of the OCD made in 2022 does not yet have a written scientific basis to be replicated in other locations. Based on this background, the design of OCD with a scientific basis will be carried out by field observations and calculating sea wave predictions based on wind data from the Pontianak Maritime Meteorology Climatology Geophysics Agency (BMKG). The results of sea wave predictions with a height of 1.6 meters with a period of 7 seconds. The results of the analysis of the *breakwater* building have a length of 99 meters, a distance between *breakwaters* of 55 meters, a pole height of 1.8 meters, a pole depth of 1.5 meters and a distance between poles of 0.23 meters and the *mud trap* building has a length of 99 meters, a width of 9 meters, a height of 0.1 meters, a board depth of 0.9 meters. The position of the OCD building faces towards the sea.

Keywords: *Breakwater, Mud trap, Mangrove, MMP (Mempawah Mangrove Park), OCD (Organic Coastal Defence).*

Citation: Permanus, T., Utomo, K.P., dan Jumiati. (2024). Perancangan *Organic Coastal Defence* (OCD) sebagai Penangkap Lumpur untuk Mendukung Pertumbuhan Tanaman Mangrove di *Mempawah Mangrove Park*. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(4), 951-964, doi:10.14710/jil.22.4.951-964

1. PENDAHULUAN

Mempawah Mangrove Park (MMP) merupakan kawasan objek wisata alam yang terdapat di Kabupaten Mempawah, Provinsi Kalimantan Barat. MMP mempunyai keunggulan hutan mangrove dengan spesifikasi kegiatan wisata alam. Lokasi

tersebut pernah mengalami abrasi parah sehingga kelompok masyarakat di sana melakukan penanaman mangrove untuk mengembalikan daratan yang hilang. Kelompok masyarakat sudah melakukan penanaman mangrove di Desa Pasir sejak tahun 2011 dan setelah berjalan 5 tahun dengan upaya penanaman mangrove,

pada tahun 2016 kawasan MMP dibuka sebagai tempat ekowisata. Setiap tahun dilakukan 5 sampai 6 kali kegiatan penanaman. Penanaman mangrove bertujuan untuk memperbaiki dan mengembalikan hutan mangrove yang telah rusak. Beberapa kali mangrove yang ditanam mati dan hilang terseret oleh arus laut setelah 1 hingga 2 bulan setelah mangrove ditanam. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan oleh MMP, mangrove yang ditanam mati ketika lumpur tempat tumbuh mangrove hanyut terbawa arus air. Menurut Jimenez, dkk. (1985) dalam Akbar, dkk. (2017)), pergerakan lumpur yang disebabkan oleh arus air laut dari pasang surut menyebabkan erosi. Erosi pantai merupakan salah satu faktor rusaknya hutan mangrove (Jimenez, dkk., (1985) dalam Akbar dkk., (2017)). Penggerusan lumpur di daerah ekosistem hutan mangrove menyebabkan mangrove mati. Sedimen berjenis lumpur berasal dari dari sungai maupun sumber air tawar lainnya serta dapat berasal dari air laut. Kondisi substrat yang baik untuk ekosistem mangrove merupakan substrat lanau karena memiliki butir berukuran kecil sehingga nutrisi dapat diserap oleh akar mangrove dan penyerapan tersebut berlangsung dengan baik dan mudah (Hapsari, dkk., 2017).

Upaya untuk mengurangi kegagalan penanaman mangrove, *Mempawah Mangrove Park* (MMP) membuat bangunan yang dapat mencegah lumpur hanyut dari lokasi penanaman. Bangunan yang dibuat terdiri dari dua bagian: penahan lumpur (*mud trap*) dan pemecah gelombang (*breakwater*), kedua bangunan tersebut dinamai *Organic Coastal Defense* (OCD). Desain bangunan dibuat oleh MMP bersama mahasiswa Teknik Lingkungan Universitas Tanjungpura yang dinaungi oleh Laboratorium Terpadu Universitas Tanjungpura bersamaan dengan kegiatan *Matching Fund* tahun 2022, bentuknya dari mencontoh, ukurannya ditentukan dengan perkiraan dan menggunakan bahan yang tersedia di sekitar lokasi penanaman mangrove. Sedangkan teknik pelaksanaan pembangunannya dengan menancapkan bambu - bambu yang disusun menghadap ke laut. Meskipun demikian, bangunan yang dibuat pada tahun 2022 mampu menahan lumpur dan mengurangi jumlah mangrove yang mati.

Keberhasilan bangunan penangkap lumpur membuat persentase mangrove yang hidup lebih dari 50 persen dengan pemantauan selama 6 bulan sehingga mendorong *Mempawah Mangrove Park* (MMP) untuk mereplikanya di lokasi lain. Sebelum dapat direplika, desain bangunan perlu ditinjau kembali agar lebih kuat, awet dan efektif.

Urgensi terhadap perancangan *Organic Coastal Defense* (OCD), dimana MMP belum mempunyai dasar ilmiah perancangan OCD untuk meningkatkan efisiensi dan penambahan jumlah bangunan serta kajian secara ilmiah agar dapat direplika di lokasi lain, sehingga peneliti ingin memberikan metode dan kajian ilmiah secara tertulis untuk perancangan OCD, dan diharapkan perancangan ini mampu memberikan kajian secara ilmiah dan prosedur yang tepat sehingga

mampu meningkatkan efisiensi dari bangunan OCD agar dapat di replika di lokasi lainnya.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, kajian ini mempertanyakan 1) faktor apa saja yang perlu diteliti untuk merancang bangunan pelindung tanaman mangrove di pesisir pantai? 2) seberapa penting bangunan OCD untuk melindungi tanaman mangrove di pesisir pantai?

2. METODE

Perancangan dimulai dengan melakukan studi literatur dengan mencari data dan landasan teori serta rumus matematika yang berkaitan dengan perancangan bangunan pantai. Perancangan akan memperhatikan kondisi eksisting dimana bangunan tersebut akan dibangun. Kondisi alam seperti angin, pasang surut, serta kondisi lingkungan. Berikut jenis data yang digunakan untuk perancangan ini.

a. Data Primer

1. Kondisi eksisting lokasi perancangan
2. Peta bathimetri MMP
3. Ukuran bahan

b. Data Sekunder

1. Data angin
2. Gelombang laut
3. kohesi tanah

2.1. Peramalan Gelombang Laut

Perancangan bangunan *Organic Coastal Defence* (OCD), memerlukan data gelombang laut sehingga untuk mendapatkan data gelombang tersebut terlebih dahulu melakukan analisis pembangkit gelombang melalui analisis arah dominan dan kecepatan angin. Data angin akan menggunakan data dari website Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Maritim Pontianak, <https://dataonline.bmkg.go.id>. Data diambil pada periode 1 tahun dari Januari 2022 sampai Desember 2022 dengan pengamatan arah dominan angin per bulan, untuk menganalisis arah dominan angin dan menganalisis kekuatan angin untuk menghitung prediksi gelombang laut dengan metode (SPM (1984) dalam Triatmodjo (2011)).

1. Panjang *fetch* angin.

Fetch angin dibuat dengan bantuan aplikasi *autocad* untuk membuat gambaran *fetch* dan analisa panjang *fetch*. Deviasi digunakan dari kedua sisi arah angin, menggunakan pertambahan 6° - 42° dari kedua sisi dari arah angin.

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

2. Mawar Angin

Mawar angin akan dibuat dengan data angin yang diambil dari website Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Maritim Pontianak, <https://dataonline.bmkg.go.id>. Mawar angin dibuat dalam data per bulan selama satu tahun dimulai dari Januari 2022 sampai Desember 2022 dengan bantuan aplikasi WRPLOT, sehingga akan didapatkan arah angin dominan, dan kecepatan angin. Data

dikonversikan menjadi data gelombang yang berfungsi untuk analisis tata letak bangunan OCD. Transformasi data angin dari data daratan ke data angin permukaan laut dengan persamaan $R_L = U_w / U_L$ (2)

3. Momen Dinamis Gelombang

Gelombang dinamis merupakan gaya yang disebabkan oleh pergerakan partikel air, sehingga menyebabkan momen tersebut menghasilkan gaya berat akibat pergerakan arus. Momen gaya dinamis dapat dihitung dengan menggunakan rumus (CERC (1984) dalam Triatmodjo (2011)). Momen gaya gelombang dinamis sebagai berikut.

$$R_m = \frac{1}{2} \times \gamma_{air} \times ds \times hb \text{(3)}$$

Momen gaya gelombang dinamis

$$M_m = R_m \times (ds + \frac{hb}{2}) \text{(4)}$$

Di mana:

ds : Tinggi air laut saat pasang (m)

hb : tinggi gelombang (m)

Mm : momen dinamis gelombang (t)

4. Gelombang Pecah

Gelombang datang dari kedalaman laut menuju tempat yang semakin dangkal, sehingga pada suatu elevasi tertentu gelombang tersebut akan pecah. Kemiringan pantai dapat mempengaruhi gelombang pecah dan kecuraman gelombang. Berikut beberapa persamaan yang dapat digunakan dalam menganalisis transformasi gelombang untuk mendapatkan gelombang pecah. (SPM (1984) dalam Triatmodjo (2011)).

1. Panjang Gelombang Laut Dalam

$$L_o = 1,56 \cdot T^2 \text{(5)}$$

2. Cepat Rambat Gelombang

$$C_o = L_o / T$$

$$C = L / T$$

$$\sin \alpha = \frac{C}{C_o} \sin \alpha^o \text{(6)}$$

3. Koefisien Refleksi (Kr)

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha^o}{\cos \alpha}} \text{(7)}$$

4. Tinggi Gelombang Pecah

$$H'o = H_o \cdot K_r \text{(8)}$$

5. Kedalaman Gelombang Pecah

$$H_b / gT^2 \text{(9)}$$

2.2. Transpor Sedimen Pantai

Arus sejajar pantai dapat membawa sedimen berpindah tempat, dimana arus tersebut terbentuk akibat sudut datang gelombang. Daerah transpor sedimen berada dari garis pantai hingga di luar gelombang pecah. Transpor sedimen pantai dibedakan menjadi transpor mengarah dan meninggalkan pantai. Transpor menuju dan meninggalkan pantai mempunyai arah tegak lurus dengan pantai, sedangkan transpor sepanjang pantai mempunyai arah rata-rata sejajar pantai. Transpor sedimen sepanjang pantai dapat dihitung dengan menggunakan rumus empiris (US Army (2022) dalam Triatmodjo (2011)) sebagai berikut.

$$P_1 = \frac{\rho g}{8} H_b^2 C_b \sin \alpha_b \cos \alpha \text{(10)}$$

$$Q_s = \frac{K}{(P_s - P)g(1-n)} P_1 \text{(11)}$$

Dimana :

Qs : angkutan sedimen sepanjang pantai (m³/d)

P₁ : komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai pada saat pecah (kg m/d)

p : rapat massa air laut (kg/m³)

ps : rapat massa pasir (kg/m³)

Hb : tinggi gelombang pecah (m)

Cb : cepat rambat gelombang pecah (m/d) = \sqrt{gdb}

α_b : sudut datang gelombang pecah

K : konstanta

n : porositas (n ≈ 0,4)

(CERC (1984) dalam Triatmodjo (2011)) memberikan nilai K = 0,39.

2.3. Parameter Pemecah Gelombang

Berikut beberapa parameter yang digunakan dalam perancangan pemecah gelombang lepas pantai berdasarkan penelitian oleh (Dally dan Pope (1986), U.S. Army Corps of Engineers (2002) dalam Triatmodjo (2011)).

Y : jarak pemecah gelombang dari lepas pantai

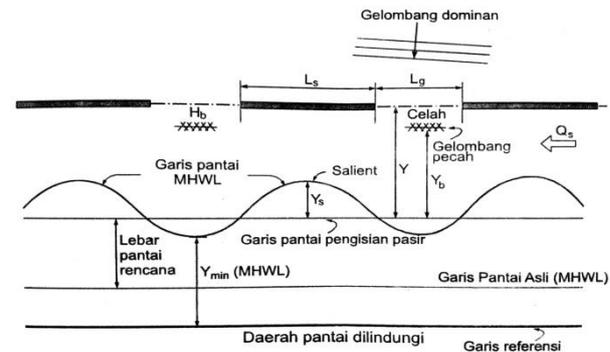
Ls : panjang pemecah gelombang

Lg : lebar celah, yaitu jarak antara pemecah gelombang yang berdampingan

ds : kedalaman rerata di lokasi pemecah gelombang terhadap muka air rerata.

Persyaratan untuk terbentuknya *salient* atau sedimentasi sebagai berikut.

$$\frac{L_s}{Y} = 0,5 - 0,67 \text{(12)}$$



Gambar 1. Parameter Pemecah Gelombang

Sumber: Triatmodjo, 2011

Panjang efektif *breakwater* dapat didekati dengan dasar *dimensionless breakwater length* (Army (1984) dalam Triatmodjo (2011)) yang dirumuskan sebagai berikut.

$$\pi = \frac{L_s}{gT^2} \text{(13)}$$

Dimana:

Ls = panjang *breakwater* (m)

g = nilai gravitasi (meter/detik)

T = periode gelombang (detik)

Penggunaan nilai π , dapat didasari berdasarkan kasus perencanaan *breakwater* di *pacific coast beaches*, Amerika Serikat, maka dipakai nilai $\pi = 0.206$. Jarak antar *breakwater* (Lg) yaitu antara 0.56 s/d 0.66 dari panjang *breakwater*.

2.4. Tiang Pancang

Bangunan OCD terdiri dari tiang-tiang yang disusun menghadap ke laut, yang berfungsi untuk meredam energi gelombang laut. Pemasangan tiang pancang menggunakan analisa sebagai berikut.

1. Jarak Antar Tiang

Kelompok tiang berdasarkan (Dirjen Bina Marga Departemen P.U.T.L dalam Permana (2020)).

$$2,5D \leq S \leq 3D \dots(14)$$

Dimana: S = Jarak antar tiang

D = Diameter tiang

- Jika $S < 2,5D$ tanah yang ada di sekitar tiang akan mengalami kenaikan akibat terdesak oleh tiang di sekitarnya.
- Jika $S > 3D$ maka terjadi pemborosan terhadap ukuran poer(*footing*)

2. Gaya Lateral Tiang

Beban lateral merupakan beban dengan arah horizontal. Angin, beban gempa, tekanan tanah, hampasan gelombang terhadap struktur merupakan contoh beban dengan arah horizontal. Perhitungan kekuatan tiang dalam menahan momen akan dilakukan perhitungan dan analisa kekuatan tiang terhadap momen dinamis gelombang. Perhitungan kemampuan tiang menahan momen menggunakan persamaan (Broms (1964a) dalam Toha (2021)).

a. Menghitung tahanan momen pada tiang serta koefisien tanah kohesi

$$fb = 0,4 \times Fc' \dots(15)$$

b. Tahanan Momen

$$W = \frac{Ip}{D/2} \dots(16)$$

c. Momen maksimum tiang

$$(Mmaks) = fb \times W \dots(17)$$

Di mana:

fb = besarnya kekuatan beban tiang (0,4xfc) (kg/cm²)

D = diameter tiang (cm)

Mmaks = momen maksimum tiang (kg / cm)

W = tahanan momen (cm³)

Ip = momen inersia tiang (1/64 x πd^4) (cm⁴)

Fc' = tegangan lentur (Mpa) (kg/cm²)

d. Daya dukung lateral tiang pancang

$$Hu = \frac{My}{e + \frac{3d}{2} + 1/2f} \dots(18)$$

Di mana:

my = momen maksimum (kg.cm)

d = diameter (cm)

f = kohesi tanah

e. Jumlah tiang

Beban yang bekerja terhadap tiang akan menentukan jumlah tiang terhadap kapasitas dukung izin satu buah tiang, menggunakan metode (Mayerhof (1976) dalam Yuliansyah (2021)) yaitu sebagai berikut :

$$n = \frac{Pu}{Qa} \dots(19)$$

Di mana:

Pu = beban yang bekerja

Qa = daya dukung izin satu buah pondasi tiang

3. Safety Faktor Tiang Pancang

Safety Factor untuk tiang pancang menurut Reese dan O'Neill (1989) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Safety Faktor Tiang Pancang

Klasifikasi struktur	Kontrol baik	Kontrol normal	Kontrol jelek	Kontrol sangat jelek
Monumental	2,3	3	3,5	4
Permanen	2	2,5	2,8	3,4
sementara	1,4	2	2,3	2,8

Sumber : Hardiyatmo (2015), dalam Nugroho (2022)

4. Klasifikasi Nilai Kohesif Tanah

Berikut merupakan hubungan kekuatan tekan bebas (qu) dengan konsistensinya menurut (Bowles (1988) dalam Pratiwi (2021)):

Tabel 2. Hubungan Nilai Tahanan Konus Terhadap Konsistensi Tanah.

Konsistensi Tanah	Tekanan Konus(qc) (kg/cm ²)	Undrained Cohesion (qu) (T/m ²)
<i>Very soft</i>	< 2.5	< 1.25
<i>Soft</i>	2.5 - 5.0	1.25 - 2.5
<i>Medium stiff</i>	5.0 - 10.0	2.5 - 5.0
<i>Stiff</i>	10.0 - 20.0	5.0 - 10.0
<i>Very stiff</i>	20.0 - 40.0	10.0 - 20.0
<i>Hard</i>	> 40	> 20.0

Sumber : Bowles (1988), dalam Pratiwi (2021)

5. Sambungan Antar Tiang

Kestabilan dan kekokohan struktur sambungan kayu tergantung dari tipe sambungan dan bahan kayu. Teknik ikat bersifat kaku tetapi juga lentur (konstruksi goyang) dan prinsip ini efisien digunakan pada wilayah rawan gempa seperti di Indonesia (Wijaya, 2020).

Sambungan antar tiang pada bangunan penahan lumpur (*mud trap*) dan pemecah gelombang (*breakwater*) memiliki medan dan lokasi kerja yang sulit, kesalahan dalam memilih jenis tali dan ikatan akan mempersulit pekerjaan yang dapat kita prediksi dengan penggunaan tali yang berbahan nilon jika terkena lumpur maka akan sulit untuk membuat simpul tali karena licin. Jenis tali dan ikatan sangat menentukan kenyamanan dan efisiensi ketahanan dalam mengikat suatu sambungan.

2.5. Survei Bathimetri

Survei *bathimetri* dilakukan untuk mendapatkan kontur tanah berupa situasi, elevasi dan kondisi eksisting yang berada di area Perancangan (Triatmodjo, 2011). Survei dilakukan pada titik Perancangan dengan alat ukur *total station*. Hasil pengukuran berupa garis-garis kontur untuk menganalisa perbedaan elevasi permukaan tanah, sehingga Perancangan menjadi lebih detail dan mempunyai dasar perhitungan terhadap bangunan

yang akan dibangun. Adapun alat yang dimaksud yaitu sebagai berikut.



Gambar 2. Alat Total Station Pada Pengukuran *Bathimetri*
Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023

2.6. Bambu

Bambu merupakan tumbuhan yang banyak tersedia di wilayah Indonesia. Ketersediaan bambu menjadi sumber daya alam terbarukan. Bambu dapat tumbuh 5 cm per jam (120 cm per hari). Ketahanan bambu dapat mencapai 3 - 6 tahun tergantung jenisnya. Bambu juga memiliki kekuatan tarik yang besar. Proses pengambilan dan pengolahan batang bambu secara konvensional masih mudah untuk dilakukan karena memiliki bobot yang relatif ringan. Sifat bambu yang lentur, serta struktur bambu memiliki ketahanan terhadap gangguan angin maupun gempa. (Zendrato, 2016).

Satu diantara jenis bambu yang ditemukan melimpah di wilayah Indonesia adalah bambu ampel (*Bambusa vulgaris*). Bambu ampel mempunyai rumpun yang rapat, berwarna hijau segar dan satu rumpun memiliki dari 20-30 batang. Tumbuhan ini dapat hidup di musim tropis. Jenis bambu ini banyak dibudidayakan. Tumbuhan ini telah tumbuh luas secara alami tepi sungai, pinggir jalan, dan di tanah yang lapang. (Putro, 2014). Berikut merupakan salah satu foto bambu ampel (*Bambusa vulgaris*).



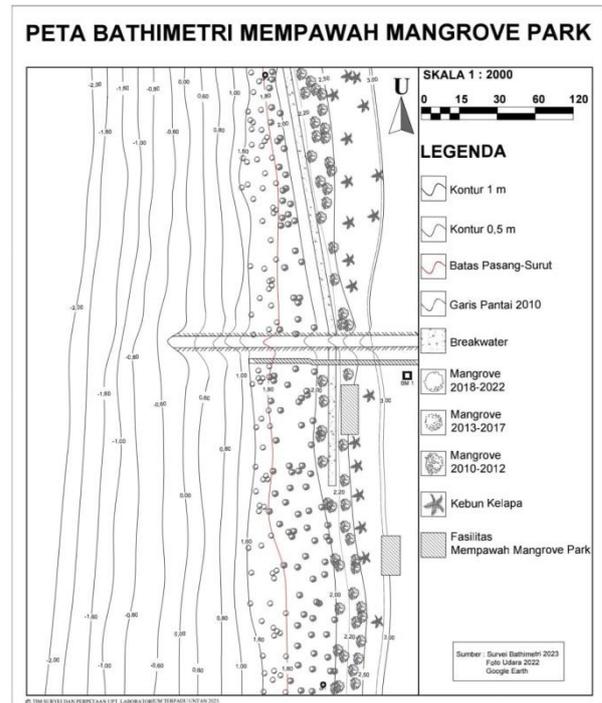
Gambar 3. Bambu Ampel (*Bambusa vulgaris*)
Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2022

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kondisi Existing

Kondisi Pantai berlumpur di MMP mudah tergerus oleh arus air laut. Pengukuran *bathimetri* yang sudah dilakukan di bulan Mei tahun 2023 didapatkan kemiringan pantai pada jarak ± 200 meter dari garis pantai sebesar 1:50 (0,02). Titik 0 meter permukaan air laut didapatkan pada jarak ± 150 meter dari garis

pantai sedangkan elevasi permukaan garis pantai berada pada 1,8 meter MDPL. Berikut peta *bathimetri* hasil pengukuran.



Gambar 4. Peta Bathimetri MMP tahun 2023
Sumber: Survei Bathimetri 2023

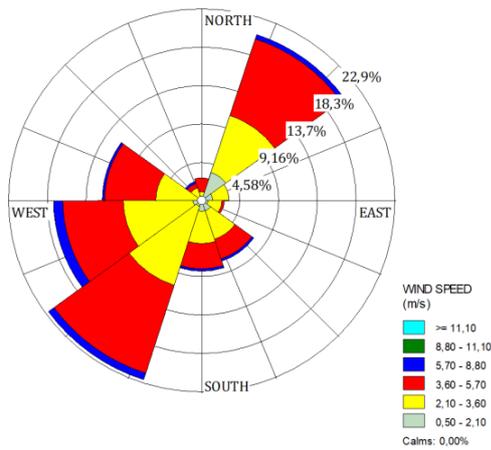
3.2. Ukran Bahan

Hasil pengukuran didapatkan panjang satu batang bambu rata-rata 9 meter, dimana pengukuran dilakukan pada pangkal bambu dengan diameter 10 cm, sampai pada pucuk bambu dengan diameter 8 cm. Data ukuran bambu sudah didapatkan maka pada langkah selanjutnya perancangan *breakwater* akan menggunakan ukuran bambu dengan panjang 9 meter dan diameter bambu 9 cm. Penggunaan diameter bambu dengan menggunakan ukuran tengah dari ukuran diameter pangkal dan pucuk bambu untuk mempermudah proses hitungan sehingga diambil nilai tengah dari ukuran diameter bambu tersebut.

3.3. WindRose

Windrose dibuat untuk menganalisis arah angin dominan yang terjadi di *Mempawah Mangrove Park* (MMP). Pola angin yang beragam akan dianalisis untuk mencari pola angin dan kecepatan angin dominan dalam periode satu tahun. Pola angin dan kecepatan angin yang didapatkan akan digunakan untuk memprediksi arah datang gelombang dan tinggi gelombang serta periode gelombang. Arah angin dominan yang terjadi dapat menentukan besar sudut datang gelombang, dimana sudut datang gelombang akan mempengaruhi arah arus sejajar pantai yang dapat membantu menganalisa pergerakan sedimen pantai atau yang biasa disebut transpor sedimen sejajar pantai. Sedimen pesisir pantai dapat berpindah oleh pergerakan arus laut. Berikut Gambar

Windrose yang telah dibuat dengan aplikasi WRPLOT periode Januari-Desember 2022.

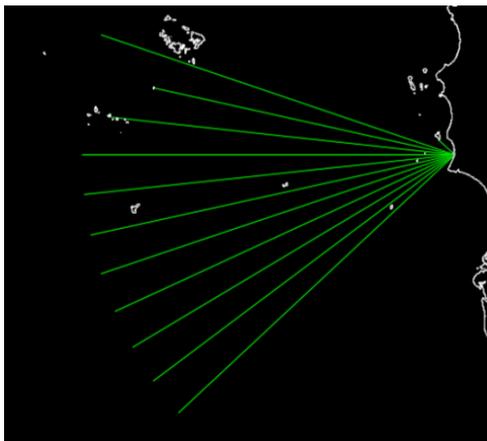


Gambar 5. Windrose angin dari Januari – Desember 2022
Sumber: Data Online BMKG, Maritim Pontianak

Berdasarkan windrose tersebut maka arah dominan angin berasal dari arah Barat Daya, sehingga pergerakan gelombang laut akan datang searah dengan arah datangnya angin, dengan demikian arah datang gelombang dapat membentuk sudut datang gelombang sebesar 45°.

3.4. Fetch Efektif

Fetch efektif dianalisis menggunakan aplikasi autocad untuk menganalisis arah dan panjang lintasan angin yang akan dipergunakan untuk menghitung prediksi gelombang laut pada Perancangan Organic Coastal Defence (OCD). Berikut merupakan gambaran fetch angin yang telah dibuat di lokasi study.



Gambar 6. Fetch Efektif Mempawah Mangrove Park Tahun 2023.
Sumber: Analisis Pribadi Tahun 2023

Area lintasan angin menunjukkan lintasan angin yang tidak terganggu oleh pulau-pulau sehingga pada area lintasan tersebut dapat membuat tinggi gelombang dan kecepatan arus lebih besar dibandingkan area lintasan lainnya karena pada

lintasan tersebut angin yang berhembus tidak mengalami perlambatan serta lintasan air laut juga tidak mengalami hambatan yang dapat menghambat lintasan angin dan arus laut. Fetch tersebut menunjukkan arah yang tidak mengalami hambatan dari arah Barat hingga Barat Daya. Hasil analisis gambar fetch efektif dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Fetch Efektif Mempawah Mangrove Park Tahun 2023

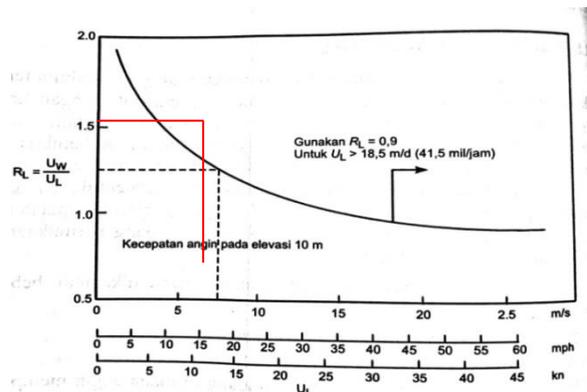
(α)	cos	x, (km)	xi cos
42	0,7431	11,2	8,32
36	0,8090	0,82	0,66
30	0,8660	0,77	0,67
24	0,9135	0,83	0,76
18	0,9511	200	190,22
12	0,9781	165	161,39
6	0,9945	187	185,97
0	1,00	200	200
6	0,9945	200	198,9
12	0,9781	200	195,62
18	0,9511	200	190,22
24	0,9135	200	182,7
30	0,8660	200	173,2
36	0,8090	200	161,8
42	0,7431	200	148,62
Total	13,5106	1999,05	1999,05

Total panjang fetch (Xi) yaitu 1999,05 km, maka langkah selanjutnya yaitu menghitung panjang fetch efektif dengan menggunakan persamaan (1) yaitu sebagai berikut.

$$F_{eff} = \frac{\sum xi \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} = \frac{\sum 1999,05}{\sum 13,5106} = 147,9 \text{ km}$$

3.5. Hubungan Kecepatan Angin di Laut dan Darat

Kecepatan angin yang dapat membangkitkan gelombang menurut skala Beaufort yaitu ≥10 knot atau 5,14 m/s (Sugianto (2013) dalam Purwanto (2020)) maka pada perancangan ini akan menggunakan kecepatan angin dengan nilai 5,70 m/s. Distribusi kecepatan angin 3,60 m/s – 5,70 m/s hasil analisis windrose mencapai 41,6%.



Gambar 7. Hubungan Kecepatan Angin di Laut dan Darat
Sumber: SPM (1984), Triatmodjo (2011)

Kecepatan angin di laut dapat dihitung dengan persamaan (2) sebagai berikut.

Hubungan kecepatan angin di atas laut dan di daratan.

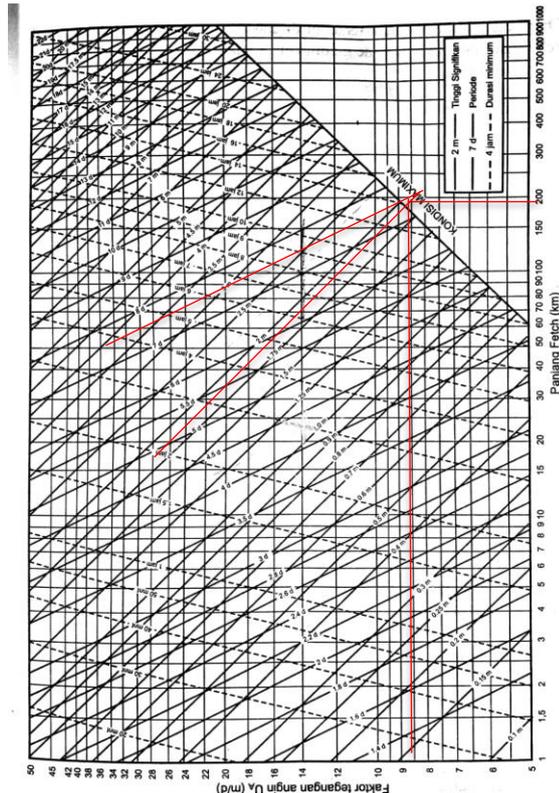
$$RL = \frac{Uw}{UL}$$

$$1,35 = \frac{U_w}{5,70 \text{ m/s}} = 7,69 \text{ m/s}$$

Faktor tegangan angin dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} U_A &= 0,71 U_w^{1,23} \\ &= 0,71 \times 7,69 \text{ m/s}^{1,23} \\ &= 8,72 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan yang sudah dilakukan maka didapatkan faktor tegangan angin (U_A) sebesar 8,72 m/s dengan panjang *fetch* 147,9 km prediksi gelombang sudah dapat dilakukan dengan metode (SPM (1984) dalam Triatmodjo (2011)) pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Grafik Peramalan Gelombang
Sumber: SPM (1984), Triatmodjo (2011)

Hasil analisis berdasarkan grafik peramalan gelombang pada **Gambar 8** prediksi gelombang mendapatkan data periode gelombang 7d, dengan tinggi gelombang 1,6 m.

3.6. Gaya Gelombang Dinamis

Analisis hitungan gaya gelombang dinamis menggunakan persamaan (3) dan (4). Persamaan menggunakan data tinggi muka air laut saat pasang dan tinggi gelombang untuk menghitung momen dinamis gelombang. Penelitian yang dilakukan oleh (Fitriani, 2021) kenaikan muka air laut di daerah pantai kijang tepatnya ± 14 km dari lokasi *Mempawah Mangrove Park* (MMP) saat surut terendah dapat mencapai -0,7105 meter sedangkan saat pasang tertinggi dapat mencapai 0,9307 meter. sehingga perhitungan momen dinamis gelombang sebagai berikut.

Diketahui:

$$\begin{aligned} ds &: 0,9307 \text{ m} \\ hb &: 1,6 \text{ m} \\ \gamma_{air} &: 1,03 \text{ ton/m}^2 \\ \text{Gaya gelombang} \\ R_m &= \frac{1}{2} \times \gamma_{air} \times ds \times hb \\ R_m &= \frac{1}{2} \times 1,03 \text{ ton/m}^2 \times 0,9307 \text{ m} \times 1,6 \text{ m} \\ R_m &= 0,767 \text{ ton} \\ \text{Momen gaya gelombang dinamis} \\ M_m &= R_m \times \left(ds + \frac{hb}{2} \right) \\ M_m &= 0,767 \text{ ton} \times \left(0,9307 \text{ m} + \frac{1,6 \text{ m}}{2} \right) \\ M_m &= 0,767 \text{ ton} \times 1,7307 \text{ m} \\ M_m &= 1,32 \text{ tm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil hitungan maka momen gaya gelombang dinamis sebesar 1,32 ton pada kedalaman 0,9307 m dan tinggi gelombang 1,6 m terhadap lebar 1 m pada arah datang gelombang laut.

3.7. Transpor Sedimen Pantai

Transpor sedimen pantai dapat dianalisis dengan data arah datang gelombang yang disebabkan oleh angin laut menuju ke pantai, tinggi gelombang pecah (H_b), Kedalaman gelombang pecah (d_b), sudut datang gelombang, dan massa jenis. Analisis transpor sedimen pantai sebagai berikut.

Diketahui : Tinggi gelombang (H_o) 1,6 meter
Periode gelombang (T) 7 detik
Sudut datang gelombang (α) 45°

1. Panjang Gelombang Laut Dalam (L_o)

$$\begin{aligned} L_o &= 1,56 \times T^2 \dots (5) \\ &= 1,56 \times 7^2 \\ &= 1,56 \times 49 \\ &= 76,44 \text{ m} \end{aligned}$$

2. Nilai α

$$\begin{aligned} d/L_o &= \frac{0,9307 \text{ m}}{76,44 \text{ m}} \\ &= 0,0120 \text{ m} \end{aligned}$$

Nilai d/L_o sebesar 0,0120 m, maka nilai d/L dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 4. Tabel Lampiran SPM

d/L_o	d/L
0,0090	0,03821
0,0092	0,03842
0,0093	0,03864
0,0094	0,03885
0,0095	0,03906
0,0096	0,03928
0,0097	0,03949
0,0098	0,03990
0,0099	0,04011
0,0100	0,04032
0,0110	0,04233
0,0120	0,04426
0,0130	0,04612

Sumber: SPM (1984), Triatmodjo (2011)

Berdasarkan Tabel Lampiran SPM tersebut dengan nilai $d/L_o = 0,0120 \text{ m}$ didapatkan nilai $d/L = 0,04426 \text{ m}$. Maka $L = 21,03 \text{ m}$.

3. Cepat Rambat Gelombang

$$\begin{aligned} C_o &= L_o/T \\ &= 76,44 \text{ m} : 7 \text{ detik} = 10,92 \text{ m/d} \\ C &= L/T \end{aligned}$$

$$= 21,03 \text{ m} : 7 \text{ detik} = 3,00 \text{ m/d}$$

$$\begin{aligned} \sin \alpha &= \frac{c}{c_0} \sin 45^\circ \dots (6) \\ &= \frac{3,00}{10,92} \sin 45^\circ = 0,1942 \\ &= 11,20^\circ \end{aligned}$$

4. Koefisien Refraksi (Kr)

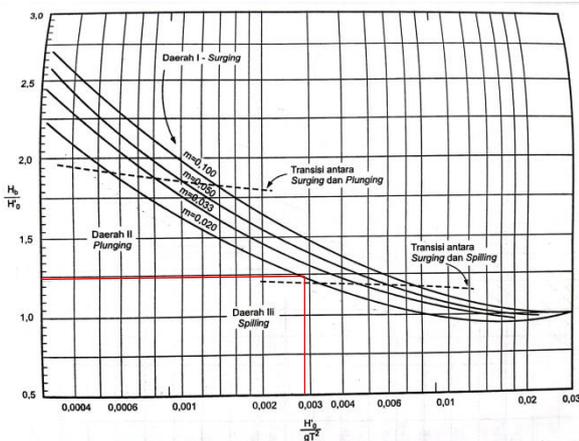
$$\begin{aligned} Kr &= \sqrt{\cos \alpha^\circ / \cos 45^\circ} \dots (7) \\ &= \sqrt{\cos 11,20^\circ / \cos 45^\circ} \\ &= 0,849 \end{aligned}$$

5. Perhitungan Gelombang Pecah (Hb)

$$\begin{aligned} H'o &= H_0 \times Kr \dots (8) \\ &= 1,6 \text{ m} \times 0,849 \\ &= 1,35 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H'o/gT^2 &= 1,35 \text{ m} : (9,81 \times 7^2) \\ &= 0,0028 \end{aligned}$$

Nilai $H'o/gT^2$ didapatkan 0,0028, dan gradien pantai (0,02) selanjutnya gunakan **Gambar 9** grafik penentuan tinggi gelombang pecah (SPM (1984) dalam Triatmodjo (2011)) untuk mendapatkan nilai $H_b/H'o$ pada perhitungan ketinggian gelombang pecah.



Gambar 9. Grafik Penentuan Tinggi Gelombang Pecah
Sumber: SPM (1984), Triatmodjo (2011)

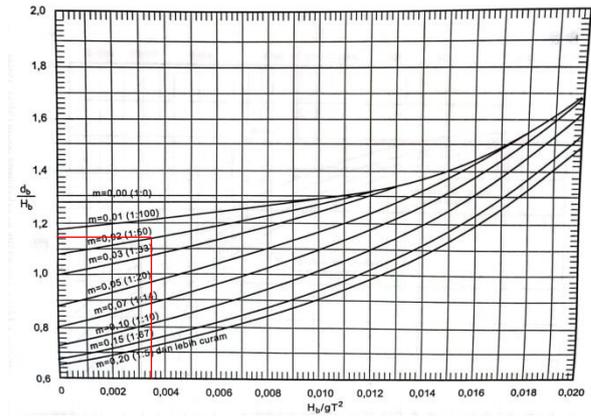
Berdasarkan grafik tersebut didapatkan nilai $H_b/H'o = 1,20$, sehingga perhitungan gelombang pecah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} H_b/H'o &= 1,20 \\ H_b &= 1,20 \times 1,35 \text{ m} \\ &= 1,62 \text{ m} \end{aligned}$$

6. Kedalaman Gelombang Pecah (db)

$$\begin{aligned} H_b/gT^2 &= 1,62 \text{ m} : 480,69 \dots (9) \\ &= 0,0033 \end{aligned}$$

Nilai $H_b/gT^2 = 0,0033$ dengan gradien pantai (0,02) maka langkah selanjutnya menggunakan **Gambar 10** yang menunjukkan grafik penentuan gelombang pecah (SPM (1984) dalam Triatmodjo (2011)) untuk mendapatkan nilai db/H_b pada perhitungan kedalaman gelombang pecah.



Gambar 10. Grafik Penentuan Gelombang Pecah
Sumber: SPM (1984), Triatmodjo (2011)

Berdasarkan Grafik tersebut didapatkan nilai $db/H_b = 1,17$ sehingga perhitungan kedalaman gelombang pecah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} db/H_b &= 1,17 \\ db &= 1,17 \times 1,62 \text{ m} \\ &= 1,89 \text{ m} \end{aligned}$$

7. Transpor Sedimen Sepanjang Pantai

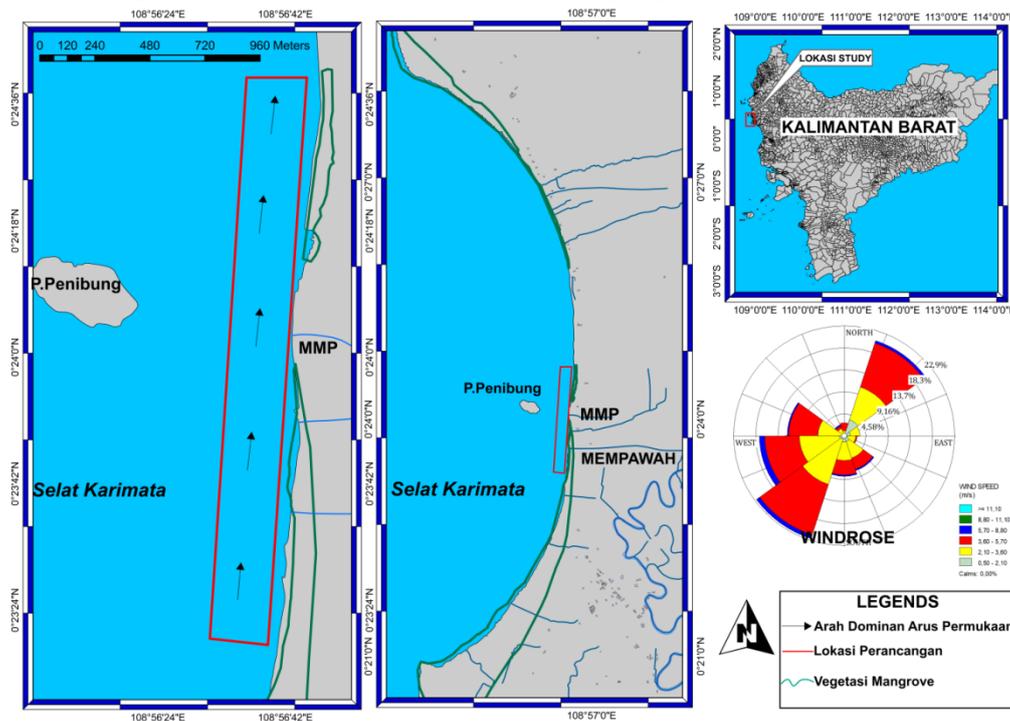
$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{pg}{8} H_b^2 C_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b \dots (10) \\ P_1 &= \frac{1025}{8} (1,62)^2 \sqrt{9,81} \cdot 1,89 \sin 45^\circ \times \cos 45^\circ \\ &= 128,125 \times 2,624 \times 4,305 \times \sin 45^\circ \times \cos 45^\circ \\ &= 723,67 \text{ kg m/d} \end{aligned}$$

Menghitung transpor sedimen sepanjang pantai, maka rapat massa sedimen perlu dianalisis terlebih dahulu. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Akbar (2016) dalam Akbar dkk (2017)) komposisi kandungan sedimen di pesisir pantai Mempawah daerah Penibung dengan hasil Tanah liat (39,61 %), Lanau (40,08 %) Pasir (20,32 %). Pendekatan matematika untuk mencari nilai rapat massa sedimen dilakukan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Tanah liat} &= 39,61\% \times 2700 \text{ kg/m}^3 = 1070 \\ \text{Lanau} &= 40,08\% \times 721 \text{ kg/m}^3 = 289 \\ \text{Pasir} &= 20,32\% \times 1922 \text{ kg/m}^3 = 390 \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis di atas maka asumsi sedimen dalam 1 m^3 terdiri dari Tanah liat (39,61 %), Lanau (40,08 %) Pasir (20,32 %), Maka nilai rapat massa = $1070 + 289 + 390$, sehingga rapat massa sedimen didapatkan (1759 kg/m^3).

$$\begin{aligned} Q_s &= \frac{K}{(P_s - P)g(1-n)} P_1 \dots (11) \\ &= \frac{0,39}{(1759 - 1025)9,81(1-0,4)} 723,67 \\ &= \frac{0,39}{(724)9,81(0,6)} \times 723,67 \\ &= \frac{0,39}{4261,464} \times 723,67 = 0,0662 \text{ m}^3/\text{d} \\ &= 0,0662 \times 24 \times 3600 = 5.719,68 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 5.719,68 \times 365 = 2.087.683,2 \text{ m}^3/\text{th} \end{aligned}$$



Gambar 11. Peta Arah Arus Permukaan Dominan Wilayah Pesisir Mempawah Mangrove Park(MMP)
 Sumber: Gambar Pribadi Hasil Analisis Tahun 2023

Berdasarkan hasil perhitungan transpor sedimen di Mempawah Mangrove Park (MMP), jumlah sedimen yang bergerak sebesar 0,0662 m³/d, 5.719,68 m³/hari, 2.087.683,2 m³/tahun. Arah pergerakan sedimen berdasarkan sudut datang gelombang yang menyebabkan arus sejajar pantai, dimana arah angin terbanyak dalam periode satu tahun dari arah Barat Daya, dengan sudut datang gelombang sebesar 45°, sehingga dapat diasumsikan bahwa pergerakan arus permukaan sejajar pantai akan menuju ke arah Utara. Menurut penelitian yang dilakukan (Akbar dkk., 2017) di pesisir Kalimantan Barat, tepatnya di Teluk Karimunting hingga Teluk Penibung mendapati bahwa arah arus berlawanan dengan arah angin. Suhu permukaan laut di wilayah khatulistiwa yang konstan menyebabkan arus *upwelling* (Nybakken dan Bertness (2005) dalam Akbar dkk (2017)). Berdasarkan pola arus maka dengan demikian tidak menutup kemungkinan bahwa sedimen yang diprediksi mengarah ke utara yang digerakan arus permukaan dapat mengarah ke arah selatan kembali melalui pergerakan arus bawah laut akibat kondisi arus *upwelling* dalam kondisi dan waktu tertentu.

3.8. Bangunan Breakwater

Bangunan *breakwater* terdiri dari susunan bambu yang ditancapkan untuk meredam energi gelombang. Berikut merupakan hasil perhitungan perancangan bangunan *breakwater*.

1. Panjang Efektif Breakwater

panjang efektif *breakwater* yaitu sebagai berikut.

$$\pi = \frac{L_s}{gT^2} \dots(13)$$

$$0,206 = \frac{L_s}{9,8 \text{ m/d} \cdot 7d^2}$$

$$L_s = 0,206 \times 480,2 \text{ m}$$

$$L_s = 98,92 \text{ m} \approx 99 \text{ m}$$

Hasil hitungan didapatkan panjang efektif *breakwater* yaitu 99 meter yang diukur dari posisi terluar tanaman mangrove yang mengarah ke laut.

2. Jarak Antar Breakwater

Hasil hitungan menunjukkan untuk panjang efektif *breakwater* yaitu 99 m, dengan demikian maka jarak antar *breakwater* (*Lg*) yaitu antara 0.56 s/d 0.66 dari panjang *breakwater* (Army (1984), dalam Triatmodjo (2011)).

$$L_g = 0,56 \times 99 \text{ m} \\ = 55,44 \text{ m} \approx 55 \text{ m}$$

Berdasarkan hasil hitungan maka jarak antar bangunan *breakwater* yang baik yaitu 55 meter. Pemberian jarak antar *breakwater* berfungsi sebagai ruang terbuka untuk masuknya sedimen, dengan demikian masuknya sedimen dari celah tersebut diharapkan dapat menambah volume lumpur di MMP.

3. Elevasi Pemasangan Breakwater

Perhitungan jarak *breakwater* dari lepas pantai sebagai berikut.

$$\frac{L_s}{Y} = 0,5 - 0,67 \dots(12)$$

$$\frac{99m}{Y} = 0,67$$

$$Y = \frac{99m}{0,67}$$

$$Y = 147,76 \text{ m} \approx 148 \text{ m}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, maka jarak efektif *breakwater* dari lepas pantai adalah 148 meter. Jarak tersebut jika dilihat dengan bantuan peta *bathimetri* maka elevasi lumpur berdasarkan tujuan Perancangan ini yaitu untuk mendukung pertumbuhan tanaman mangrove, maka garis referensi yang akan digunakan sebagai titik pengukuran akan diambil pada titik dimana tanaman mangrove muda yang berhadapan dengan laut secara langsung, mangrove muda yang dimaksud merupakan tanaman mangrove yang berada pada posisi terdepan mengarah ke laut, sehingga dengan demikian berdasarkan hasil pengukuran *bathimetri* dengan acuan jarak efektif *breakwater* dari garis referensi tersebut berada pada elevasi 0,008 meter di atas permukaan laut.

4. Jarak Antar Tiang

$$\begin{aligned} \text{Jarak antar tiang} &= 2,5D \leq S \leq 3D \dots(14) \\ &= 2,5 (9\text{cm}) \leq S \leq 3 (9\text{cm}) \\ &= 22,5\text{cm} \leq S \leq 27 \text{ cm} \end{aligned}$$

Hasil hitungan menunjukkan jarak antar tiang yang baik berada pada rentang 22,5 cm hingga 27 cm. Jarak antar tiang yang akan digunakan pada Perancangan *breakwater* penulis menyarankan menggunakan jarak 23 cm, dimana angka ini dapat memudahkan pengukuran saat pemasangan dan jarak tersebut akan memiliki kerapatan yang cukup baik untuk meredam tenaga gelombang laut. Menurut (Achiari, 2020) dalam penelitiannya menuliskan semakin besar spasi yang diberikan antar tiang, maka semakin besar energi gelombang yang diteruskan.

5. Sambungan Antar Tiang

Kondisi permukaan bambu yang licin dan dengan bentuk batang bulat, teknik sambungan yang paling efektif untuk menyambung atau merangkai bambu yaitu menggunakan tali. Jenis tali yang digunakan sebaiknya tali serat katun, dimana keunggulan tali dengan serat katun saat digunakan pada kondisi yang berlumpur, tali tidak licin. Penggunaan tali serat katun juga telah digunakan oleh MMP saat membangun *breakwater* pada tahun 2022. Pihak MMP juga pernah menggunakan tali dengan serat nylon, tetapi saat melakukan ikatan pada sambungan bambu, tali nylon tersebut licin sehingga sangat sulit untuk membuat simpul yang erat.

6. Daya Dukung Lateral Tiang

Beban lateral berasal dari arah horizontal dimana pada perancangan bangunan *breakwater* beban horizontal berasal dari pergerakan gelombang laut, sehingga perlu dihitung daya dukung lateral tiang untuk menganalisis kemampuan tiang menahan beban gelombang laut. Bahan yang digunakan pada perancangan ini yaitu bambu yang memiliki kekuatan tarik antara 100-400 Mpa, dimana hampir menyamai kuat tarik besi tulangan setara dengan $\frac{1}{2}$ sampai $\frac{1}{4}$

dari tegangan *ultimit* besi (Widjaja (2001) dalam Nuralinah (2016)). Berikut analisis hitungan pada bangunan *breakwater*.

a. Kuat lentur beban tiang pancang (fb)

$$\begin{aligned} D &= 9 \text{ cm} \\ F_c &= 100 \text{ Mpa} \approx 1000 \text{ kg} \\ f_b &= 0,4 \times F_c \rightarrow 0,4 \times 1.000 = 400 \text{ kg/cm}^2 \dots(15) \end{aligned}$$

b. Momen Inersia Tiang (Ip)

$$\begin{aligned} I_p &= \frac{1}{64} \pi \cdot D^4 \\ I_p &= \frac{1}{64} \times 3,14 \times 9^4 \\ I_p &= 321,899 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

c. Tekanan Momen (W)

$$\begin{aligned} W &= \frac{I_p}{D/2} \dots(16) \\ W &= \frac{321,899}{9/2} = 71,533 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

d. Momen Maksimum Tiang (My)

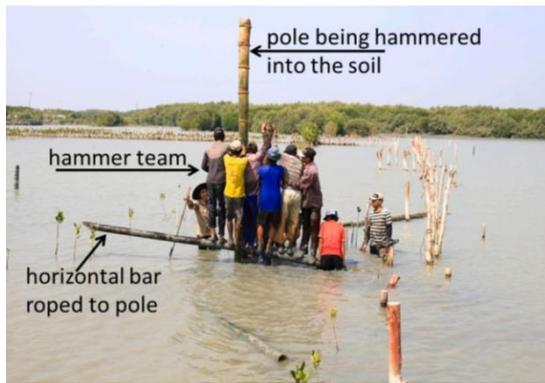
Perhitungan momen maksimum tiang sebagai berikut.

$$\begin{aligned} M_y &= f_b \times W \dots(17) \\ M_y &= 400 \times 71,533 \\ M_y &= 28.613,2 \text{ kg.cm} \\ M_y &= 0,315 \text{ Tm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan momen maksimum tiang sebesar 28.613,2 kg.cm \approx 0,315 Tm, dengan demikian kemampuan tiang menahan momen sebesar 0,315 Tm, jika terjadi pembebanan yang melebihi nilai tersebut, maka kemungkinan yang akan terjadi yaitu tiang akan pecah hingga patah.

5. Daya Dukung Lateral Tiang

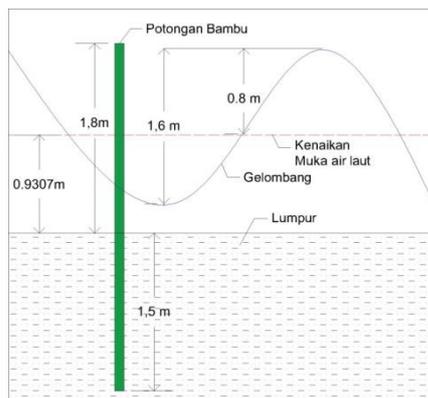
Hasil observasi lapangan di *Mempawah Mangrove Park* (MMP), kondisi lumpur dapat dikatakan lempung lunak, hal ini dapat dilihat dengan kondisi lumpur tersebut dapat membuat orang dapat terperosok. Tanah mangrove dapat dikategorikan berdasarkan kematangannya. Tanah yang belum matang biasanya disebut lunak atau lembek yang dapat membuat orang terperosok jauh ke bawah saat berjalan di atasnya, sedangkan tanah yang sudah matang biasanya disebut stabil atau keras dimana saat berjalan di atasnya tidak terperosok ke bawah. (Kusuma (2003) dalam Yasin (2019)). Berdasarkan karakteristik lumpur tersebut maka nilai kohesi yang akan digunakan pada perhitungan daya dukung lateral tiang akan menggunakan nilai sebesar $1,25 \text{ T/m}^2 \approx 0,127 \text{ Kg/cm}^2$ dengan kedalaman tiang 1,5 meter, kategori kohesi tanah dapat dilihat pada **Tabel 2**. Kedalaman tiang yang dipancang menggunakan angka 1,5 meter, hal ini berdasarkan kemampuan pemancangan tiang yang dilakukan oleh 3-4 orang orang saat pemasangan OCD di MMP pada tahun 2022 dengan teknik *hammer team* yaitu dengan mengikatkan tiang bambu dengan posisi *horizontal* pada tiang yang akan dipancang secara *vertikal* ke bawah, contoh penggunaan teknik *hammer team* dapat dilihat pada **Gambar 12**.



Gambar 12. Hammer Team

Sumber: Winterwerp (2020) Hammer team, Bogorame, Demak, Indonesia.

Tinggi gelombang ini akan dibagi dua mengingat tinggi gelombang tidak diukur dari titik muka air melainkan dari titik terendah cekungan gelombang hingga titik tertinggi puncak gelombang sehingga tinggi gelombang untuk hitungan tinggi tiang sebesar 0,8 meter. Model pergerakan gelombang dapat dilihat pada **Gambar 13**.



Gambar 13. Prediksi Pergerakan Gelombang Terhadap Tiang Breakwater

Sumber: Analisis Pribadi Tahun 2023

Elevasi lokasi perancangan yaitu 0,008 meter dengan penambahan tinggi muka air laut saat pasang 0,9307 meter serta tinggi permukaan puncak gelombang 0,8 meter, maka tinggi tiang yang direkomendasikan yaitu 1,8 meter, tinggi tiang ini lebih tinggi sebesar 6,9 cm dari tinggi puncak gelombang setelah dilakukan analisis. Tinggi tiang harus lebih tinggi dari permukaan gelombang dimana pada dasarnya *breakwater* berfungsi untuk menahan tenaga gelombang, sehingga didapatkan nilai tinggi tiang yang direkomendasikan (*e*) yaitu 1,8 meter dari permukaan lumpur. Hitungan daya dukung lateral tiang sebagai berikut.

Diketahui :

$d : 9 \text{ cm}$

$cu : 0,127 \text{ kg/cm}^2$

$e : 1,8 \text{ m} \approx 180 \text{ cm}$

kedalaman tiang : $1,5 \text{ m} \approx 150 \text{ cm}$

- Gaya lateral pada tiang panjang ujung bebas

$$H = 9 \times cu \times d$$

$$F = \frac{Hu}{9 \times cu \times d}$$

$$= \frac{Hu}{9 \times 0,127 \times 9}$$

$$= \frac{10,28}{Hu}$$

$$= \frac{1}{10,28} Hu$$

$$F = 0,09727 Hu$$

- Menentukan nilai *Hu*

$$Hu = \frac{My}{e + \frac{3d}{2} + 1/2f} \dots(18)$$

$$Hu = \frac{28.613,2}{18 + \frac{3 \times 9}{2} + \frac{1}{2} \times 0,09727 Hu}$$

$$Hu = \frac{28.613,2}{193,5 + 0,048635 Hu}$$

$$Hu (193,5 + 0,048635 Hu) = 28.613,2$$

$$193,5 \cdot Hu + 0,048635 \cdot Hu^2 - 28.613,2 = 0$$

Maka nilai $Hu = 142,7 \text{ kg}$

Gaya izin lateral :

$$Hu \text{ izin} = \frac{Hu}{\text{Safety Factor}}$$

$$= \frac{142,7 \text{ kg}}{1,4}$$

$$= 101,92 \text{ kg} \approx 102 \text{ kg}$$

Berdasarkan gaya izin lateral yang telah dihitung, maka kemampuan satu tiang / bambu yang akan digunakan pada Perancangan bangunan *breakwater* yaitu 102 kg atau 0,102 ton.

7. Kemampuan Tiang Menahan Momen Gelombang Dinamis

Kemampuan tiang pada perancangan *breakwater* dianalisis dengan beban yang akan diterima yaitu berasal dari momen gaya gelombang dinamis sebesar 1,32 ton (Pu) dalam hitungan lebar 1m terhadap arah datang gelombang, kemampuan 1 buah tiang setelah dianalisis hanya mampu menahan gaya lateral yaitu sebesar 0,102 ton (Qa), sehingga dengan demikian untuk melakukan desain *breakwater* maka kapasitas tiang dalam menahan gaya harus diperhitungkan dengan tepat. Jumlah tiang yang dirangkai dengan lebar 1 m terhadap arah datang gelombang harus sebanding lebih besar kapasitas daya dukung kelompok tiang yang akan direncanakan terhadap gaya gelombang dinamis sehingga dengan demikian maka analisis dilakukan menggunakan persamaan (16) sebagai berikut.

Diketahui :

$Pu = 1,32 \text{ ton}$

$Qa = 0,102 \text{ ton}$

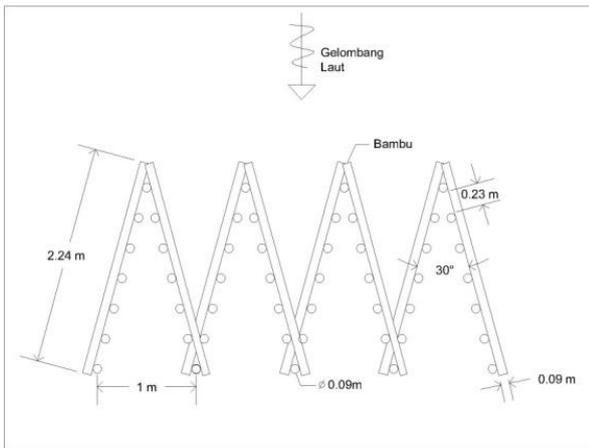
- Jumlah tiang

$$n = \frac{Pu}{Qa} \dots(19)$$

$$n = \frac{1,32 \text{ ton}}{0,102 \text{ ton}}$$

$$n = 13 \text{ tiang}$$

Berdasarkan hasil hitungan maka jumlah tiang dalam 1m terhadap arah datang gelombang harus berjumlah 13 tiang yang dirangkai menjadi satu kesatuan pada bangunan *breakwater*. Bentuk yang dirangkai tetap menggunakan bentuk segitiga dimana bentuk ini menyerupai bangunan *breakwater* yang sudah dibangun oleh pihak MMP bersama UPT Laboratorium Terpadu Universitas Tanjungpura pada tahun 2022. Setiap bentuk segitiga akan dibuat dengan lebar alas menjadi satu meter hal ini bertujuan untuk menahan gaya gelombang dinamis yang kemampuan terhadap luasan 1 m² terhadap arah datang gelombang sebesar 1,32 ton, dengan demikian bangunan *breakwater* akan terdiri dari beberapa segitiga sesuai hasil analisis dan hitungan yang telah dilakukan.



Gambar 14. Konsep Desain *Breakwater* Tampak Atas
Sumber: Analisis Pribadi Tahun 2023

3.9. Bangunan *Mud Trap*

Bangunan *mud trap* dibuat sebagai tempat penanaman mangrove. Fungsi utama *mud trap* untuk menjaga stabilitas lumpur agar tidak mudah terbawa arus balik air laut. Bahan yang digunakan terdiri dari potongan papan, bambu dan potongan kayu. Berikut analisis pembuatan bangunan *mud trap*.

1. Ukuran bahan

Bahan yang digunakan yaitu bambu yang berfungsi sebagai tiang penahan susunan papan, dan potongan kayu. Ukuran bambu yang telah diukur sebelumnya yaitu rata-rata mencapai 9 meter, dan ukuran papan dengan lebar 20 cm dan panjang 4 meter. Potongan kayu yang digunakan oleh MMP merupakan potongan kayu yang sudah tidak digunakan (bekas konstruksi bangunan) sehingga ukurannya lebih bervariasi dari 1 meter hingga 3 meter. Tahun 2022 pihak MMP membuat *mud trap* dengan menancapkan potongan-potongan papan yang sudah dipotong dengan ukuran 1 meter, untuk menahan lumpur, dan penancapan tiang dari bambu sebagai penahan papan sedalam 1,5 meter, sehingga dengan pengalaman yang sudah dilakukan maka pada desain *mud trap* akan menggunakan ukuran tersebut untuk keperluan desain.

2. Panjang dan lebar *mud trap*

Panjang dan lebar *mud trap* berdasarkan ukuran panjang dari *breakwater* yang mencapai 99 meter, dimana pada dasarnya bangunan *mud trap* dipasang di belakang *breakwater* sebagai penahan lumpur, maka panjang *mud trap* yang digunakan yaitu 99 meter. Lebar *mud trap* menggunakan ukuran panjang dari bambu yaitu 9 meter menyesuaikan dengan ukuran bahan dari bambu sebagai penyangga papan. Ukuran lebar *mud trap* dapat diperpanjang sesuai dengan kapasitas penanaman yang diinginkan. Penggunaan ukuran lebar 9 meter hanya sebagai contoh untuk menggambarkan bentuk dari desain *mud trap*. Dinding penahan lumpur hanya dibuat di bagian depan dan sisi samping kiri dan kanan bangunan *mud trap*, pemilihan posisi tersebut yaitu berdasarkan fungsi dari *mud trap* sebagai penahan lumpur agar tidak terbawa arus balik air laut.

3. Tinggi *mud trap*

Kenaikan tinggi lumpur yang signifikan dapat membuat tanaman mangrove yang baru ditanam akan tumbang oleh beban lumpur, dengan mempertimbangkan hal tersebut, maka penulis merekomendasikan tinggi bangunan 10 cm \approx 0,1 m diatas permukaan lumpur, penggunaan tinggi 10 cm juga telah digunakan pihak MMP saat pembuatan *mud trap* di tahun 2022, dan berdasarkan laporan masyarakat serta pemantauan yang dilakukan oleh UPT Laboratorium Terpadu Universitas Tanjungpura, ketinggian lumpur meningkat dengan stabil. Peningkatan tinggi lumpur yang dipantau selama 6 bulan naik menjadi 10-15 cm pada bangunan *mud trap*.

4. Penempatan *mud trap*

Mud trap berfungsi untuk menahan lumpur saat penanaman mangrove, berdasarkan hasil observasi, lumpur menjadi semakin lunak ketika semakin dekat dengan titik elevasi 0 muka air yang berada pada jarak \pm 150 meter dari garis tepi tanaman mangrove yang berhadapan langsung dengan laut, sehingga dengan demikian penulis merekomendasikan penempatan *mud trap* berada ditengah-tengah antara garis tepi tanaman mangrove dengan posisi *breakwater*. Posisi *breakwater* berada pada jarak 148 meter dari posisi terluar tanaman mangrove maka posisi *mud trap* akan berada pada jarak 74 meter dari posisi terluar tanaman mangrove yang menghadap ke laut. Penempatan *mud trap* tersebut juga didasari oleh fungsinya menahan lumpur yang dapat tergerus oleh arus air laut, dengan mempertimbangkan stabilitas lumpur yang lunak. Penempatan *mud trap* yang terlalu dekat dengan *breakwater* dapat membuat *mud trap* menjadi tidak efektif, di mana pada jarak tersebut tenaga gelombang masih terlalu kuat yang dikhawatirkan tanaman mangrove yang baru ditanam akan tercabut oleh arus air laut.

Pola penanaman juga merupakan dasar penulis untuk merekomendasikan posisi tengah antara posisi terluar tanaman mangrove dengan *breakwater*, di

mana pihak MMP bertujuan menanam mangrove semakin ke depan ke arah laut. Keberhasilan dari bangunan OCD dapat mendukung perkembangan luasan tanaman mangrove yang berada di belakangnya menjadi lebih baik, dengan potensi tenaga gelombang yang akan berkurang dan pengerasan lumpur secara bertahap dari waktu ke waktu.

Pihak MMP untuk saat ini menggunakan ukuran *mud trap* yang lebih kecil dengan ukuran panjang 4 meter dan lebar 4 meter dengan jarak antar *mud trap* 2 meter, hal ini didasari oleh *best practices* dimana kelompok masyarakat MMP lebih mudah dan merasa nyaman membangun *mud trap* kecil dengan jumlah yang banyak dibandingkan dengan satu buah *mud trap* dengan ukuran yang besar. Berdasarkan pengalaman kelompok masyarakat di MMP, mereka berpendapat bahwa mangrove yang ditanam secara berkelompok dapat meningkatkan persentase keberhasilan penanaman serta dapat menghemat jumlah bibit mangrove. Berikut merupakan bangunan *breakwater* dan *mud trap* yang sudah dibangun di *Mempawah Mangrove Park*(MMP).



Gambar 15. *Breakwater dan Mud Trap* di MMP Tahun 2023

Sumber: Dokumentasi Pribadi Tahun 2023

4. KESIMPULAN

Rusakanya hutan mangrove di pesisir pantai dapat menyebabkan erosi pantai yang berlebihan. Penanggulangan dan pencegahan rusaknya hutan mangrove dapat dilakukan dengan penanaman mangrove dan membuat pemecah gelombang dan penahan lumpur sehingga dapat membuat tanaman mangrove yang baru ditanam mempunyai kesempatan hidup yang lebih baik. Faktor penting dalam perancangan bangunan pelindung tanaman mangrove yaitu prediksi gelombang laut serta struktur bangunan yang kokoh agar dapat meredam energi gelombang. Adanya bangunan pelindung tanaman mangrove seperti bangunan *Organic Coastal Defence* (OCD) dapat memberi kesempatan tanaman mangrove untuk tumbuh dan berkembang biak sehingga dengan adanya tanaman mangrove di pesisir pantai dapat mendukung rantai makanan di ekosistem pesisir pantai dan sebagai pelindung alami garis pantai.

DAFTAR PUSTAKA

- Achiari, H., Ahmad, A. L., dan Sulaiman, D. M. 2020. Analisis Refleksi dan Transmisi Gelombang pada Pemecah Gelombang Tiang Pancang. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 12 (3): 723 – 737.
- Akbar, A., Sartohadi, J., Djohan, T.S. and Ritohardoyo, S. (2017). Erosi Pantai, Ekosistem Hutan Bakau dan Adaptasi Masyarakat Terhadap Bencana Kerusakan Pantai Di negara Tropis. *Jurnal Ilmu Lingkungan*,15(1),1-10, doi:10.14710/jil.15.1.1-10.
- Akbar, A.A., Sartohadi, J., Djohan, T.S. and Ritohardoyo, S. 2017. The role of breakwaters on the rehabilitation of coastal and mangrove forests in West Kalimantan, Indonesia. *Ocean & Coastal Management* 138 (2017) 50-59.
- Fitriani, Muliadi, dan Risiko. 2021. Kondisi Arus Musim Barat di Perairan Kijing Kabupaten Mempawah Kalimantan Barat. *Jurnal Laut Khatulistiwa*. 4(1): 40 – 48
- Hapsari, R.W., Hendrarto, B., dan Muskananfolo, M. R. 2017. Pemetaan Karakteristik Fisik Sedimen di Pantai Bermangrove Di Pesisir Desa Timbulsloko, Kabupaten Demak. *Volume 6, Nomor 3, Tahun 2017*, Halaman 283-292.
- Nugroho, I. S., dan Wiqoyah, Q. 2022. Perancangan Fondasi Tiang Pancang pada Gedung Perkuliahan Universitas Slamet Riyadi (Variasi Diameter Tiang Pancang). *DINAMIKA TEKNIK SIPIL*. 15 (1): 28 – 36.
- Nuralinah, D. 2016. Eksperimen dan Analisis Beban Lentur pada Balok Beton Bertulangan Bambu Rajutan. *REKAYASA SIPIL*. 10 (2): 146 – 150.
- Permana, R.A., Wandoko, I. 2020. Perencanaan Struktur Gedung Rumah Sakit Lima Lantai Mahasiswa Universitas Semarang. Universitas Semarang.
- Pratiwi, M., Fahrani, F., dan Hambali, R. 2021. Pemetaan Konsistensi Tanah Menggunakan Sistem Informasi Geografis Berdasarkan Nilai Uji Penetrasi Kerucut (CPT). *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*. 10 (1).
- Purwanto, Tristanto, R., Handoyo, G., Suryoputro, A. A. D., dan Trenggono, M. 2020. Analisis Peramalan dan Periode Ulang Gelombang di Perairan Bagian Timur Pulau Lirang, Maluku Barat Daya. *Indonesian Journal of Oceanography*. 2 (1).
- Putro, D. S, Jumari dan Murningsih. 2014. Keanekaragaman Jenis Dan Pemanfaatan Bambu Di Desa Lopait Kabupaten Semarang Jawa Tengah (Species Diversity And Utility Of Bamboo At Lopait Village Semarang Regency Central Of Java). *Jurnal Biologi*. 3(2): 71 - 79.
- Toha, G.R., Alihudien, A., dan Priyono, P. 2021. Kajian Penggunaan Tiang Pancang Panjang dan Pendek pada Dinding Penahan Tanah Tanggul Kali Jompo Jember. *Jurnal Smart Teknologi*. 2 (2): 84 – 93.
- Triatmodjo, B. 2011. Perancangan Bangunan Pantai Cetakan ke 3. ISBN 978 – 979 – 8541 – 58 – 8. Beta Offset Yogyakarta.
- Wijaya, P., Umar, M. Z., dan Arsyad, M. 2020. Dua Belas Teknik Ikat Konstruksi Kayu pada Rumah Vernakular Tolaki. *ETNOREFLIKA: Jurnal Sosial dan Budaya*. 9 (2): 152 – 163.
- Winterwerp, J. C., Tonneijck, F. H., Eijk, P. V., Mancheno, A. G., Tas, S. A. J., Alberts, T., Anthony, E. J., Friess, D. A., Moseley, K., Muhari, A., Naipel, S., Noordermeer, J., Wils, T., Oost, A., Wesenbeeck, B. K. V., Saengsupavanich, C., Bijsterveldt, C. V., Lavieren, E. V. 2020. Managing Erosion of Mangrove-Mud Coasts with Permeable Dams-Lessons Learned. *Ecological Engineering* 158. 106078: 1 – 27.

- Yasin, A. 2019. Analisis Parameter Fisika-Kimia untuk Kepentingan Rehabilitasi Ekosistem Mangrove di Pesisir Pulau Bungkutoko Kota Kendari. *JGG-Jurnal Green Growth dan Manajemen Lingkungan*. 8 (1): 44 – 62.
- Yuliansyah. 2021. Analisa Perancangan Pondasi Tiang Kayu Galam pada Proyek Pembangunan Gedung Laboratorium Kesehatan Provinsi Kalimantan Selatan. Diploma Thesis, Universitas Islam Kalimantan MAAB Banjarmasin.
- Zendrato, N. L. H. 2016. Analisis Efektivitas Penggunaan Breakwater dengan Lapis Pelindung Bambu dan Tetrapod Untuk Mereduksi Energi Gelombang Laut di Pelabuhan Kuala Tanjung. *Jurnal. Jurusan Teknik Sipil. Universitas Sumatera Utara*.