

Analisis Kerusakan *Revetment* Pada Pantai Wahakaim Di Dusun Wahakaim Negeri Aketarnate, Kecamatan Seram Utara Timur Seti

Ch. Joseph¹. M. F. Telussa². Tania Porsisa³

^{1,2}Staf Pengajar Universitas Kristen Indonesia Maluku, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil

Gmail : josephinchristin@gmail.com , mayatelussa@yahoo.com

³Mahasiswa Universitas Kristen Indonesia Maluku, Jalan OT Pattimaipauw Talake - Ambon

Gmail : tania19@gmail.com

Abstract

Wahakaim Beach is a beach located at Wahakaim Village, Aketernate, East North Seram Subdistrict. To protect the beach and residential area, government had built the *revetment*. However, Due to the big waves cause the coastal protection structures suffered quite severe damage. Besides that, due to run off, its brought damage to residents houses. This research was conducted to find out the causes of damage to the *revetment* on Wahakaim beach and find any solutions to overcome the damage. The results showed that the breaking waves that occurred on Wahakaim beach were 2.500 m height (Hb), wave length (Lb) were 30.6 m and breaking wave depth (db) were 2.652m. Because of the big waves and strong stream of 3 m/s causes greater erosion, so the *revetment* is damaged faster. In addition, the carrying capacity of the soil which tends to be clay, makes erosion occur faster and the *revetment* is destroyed and causes overtopping. An alternative treatment that can be used is construct or build gaiters on the *revetment*.

Keyword : wave, *revetment*, alternative

1. PENDAHULUAN

Secara umum pantai adalah suatu bentuk geografis yang berada pada daerah pesisir laut. Daerah pantai menjadi batasan antara daratan dan lautan. Panjang pantai di Indonesia kurang lebih 99.093 Km dan merupakan pantai terpanjang kedua di dunia setelah Kanada, dengan jumlah pulau mencapai 17.500.

Dusun Wahakaim Negeri Aketarnate, Kecamatan Seram Utara Timur Seti, Kabupaten Maluku Tengah merupakan daerah pesisir pantai. Hasil kekayaan alam pada dusun Wahakaim sangatlah berlimpah. Mulai dari sumber daya laut hingga hasil pertaniannya, sehingga rata-rata mata pencarian masyarakat adalah petani dan nelayan. Jarak antara perumahan warga dengan pantai Wahakaim kurang lebih 20 meter, namun ada beberapa rumah warga yang di bangun tepat di samping pantai. Selain berdekatan dengan perumahan warga, pantai Wahakaim juga berdekatan dengan perkebunan warga dan juga jalan. Untuk melindungi pantai, pada tahun 2018 pemerintah sudah membangun bangunan pelindung pantai berupa *revetment*. Namun *revetment* yang di bangun tidak bertahan lama, dikarenakan gelombang yang cukup besar membuat bangunan pelindung pantai tersebut mengalami kerusakan yang cukup parah. Kerusakan yang terjadi pada *revetment* kurang lebih 150 m. Tidak hanya itu saja, *revetment* yang rusak mengakibatkan terjadinya limpasan gelombang yang kemudian perlahan-lahan terjadi pengikisan di belakang *revetment* sehingga merusak perumahan warga yang berada di dekat pantai.

Berdasarkan uraian di atas, maka akan melakukan Analisis lebih dalam tentang Kerusakan *Revetment* Pada Pantai Wahakaim Di Dusun Wahakaim Negeri Aketarnate, Kecamatan Seram Utara Timur Seti.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Defenisi Pantai

Pantai adalah jalur yang merupakan batas antara darat dan laut, diukur pada saat pasang tertinggi dan surut terendah, dipengaruhi oleh fisik laut dan sosial ekonomi bahari, sedangkan kearah darat dibatasi oleh proses alami dan kegiatan manusia di lingkungan darat (Triatmodjo, 2012).

2.2. Gelombang

Gelombang laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam yang tergantung pada gaya pembangkitannya. Gelombang tersebut adalah gelombang angin yang dibangkitkan oleh tiupan angin di permukaan laut, gelombang pasang surut dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap bumi, gelombang tsunami terjadi karena letusan gunung berapi atau gempa di laut, gelombang yang dibangkitkan oleh kapal dan sebagainya.

2.2.1 Gelombang Rencana

Dalam penentuan tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode gelombang signifikan (T_s), digunakan analisis spektrum gelombang JONSWAP (Coastal Engineering Research Center, 1984) yang diturunkan berdasarkan kondisi FDS (*Fully Develoved Sea*).

2.2.2 Metode Gumbel

Metode Gumbel termasuk dalam kategori metode analisis ekstrem, yang berkonsentrasi pada peristiwa ekstrem dan jarang terjadi. (Kadek Sandi Wiguna et al., 2017)

$$\bar{H} = \frac{\sum H_s}{\sum N} \quad \dots\dots(1)$$

$$\sigma H = \sqrt{\frac{\sum (H_s - \bar{H})^2}{N-1}} \quad \dots\dots(2)$$

$$H_{25} = \bar{H}_s + \frac{\sigma H}{\sigma n} (Y_t - Y_{\bar{n}}) \quad \dots\dots(3)$$

$$T_{25} = 0,33 \times \sqrt{\frac{H_{25}}{0,0056}} \quad \dots\dots(4)$$

Keterangan:

$\bar{H}$: Tinggi gelombang rerata

σH : Standar deviasi

T : Periode gelombang

H_t : Tinggi gelombang rencana

Y_t : *Reduced variated* sebagai fungsi periode ulang T

$Y_{\bar{n}}$: *Reduced variated* sebagai fungsi dari banyaknya data N

σn : *Reduced variated* deviasi sebagai fungsi dari banyaknya data N

Menentukan panjang dan cepat rambat gelombang di laut dalam memakai persamaan :

$$C_0 = \frac{gT}{2\pi} = 1.56 T \quad \dots\dots(5)$$

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = 1.56 T^2 \quad \dots\dots(6)$$

Menentukan nilai Koefisien refraksi (K_r)

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha \theta}{\cos \alpha}} \quad \dots\dots(7)$$

Menentukan nilai Koefisien Shoaling (K_s)

$$K_s = \sqrt{\frac{n_0 L_0}{n L}} \quad \dots\dots(8)$$

Menentukan Tinggi gelombang rencana :

$$H_0 = K_s \cdot K_r \cdot H_{25} \quad \dots\dots(9)$$

Keterangan :

H_0 : Tinggi gelombang rencana

K_s : Koefisien *shoaling* (pendangkalan)

K_r : Koefisien Refraksi

H_{25} : Tinggi gelombang laut dalam

2.3. Karakteristik Gelombang

Gelombang adalah salah satu bentuk energi yang dapat membentuk pantai, menimbulkan arus dan transportasi sedimen.

2.4. Gelombang Pecah (Wave Breaker)

Kondisi gelombang pecah tergantung kemiringan dasar pantai dan kecuraman, sehingga tinggi gelombang pecah dapat dihitung dengan persamaan:

$$\frac{H_b}{H'_0} = \frac{1}{3,3(H'_0/H_0)^{1/3}}$$

Kedalaman air dimana terjadi gelombang pecah adalah:

$$\frac{d_b}{H_b} = \frac{1}{b - \left(\frac{aH_b}{gT^2}\right)} \quad \dots\dots(11)$$

2.4.1. Run Up

Run-up tergantung pada bentuk dan kekasaran bangunan, kemiringan dasar laut di depan bangunan, dan karakteristik gelombang.

$$I_r = \frac{\tan \theta}{\sqrt{\frac{H}{L_0}}} \quad \dots\dots(12)$$

Keterangan :

I_r : Bilangan Iribaren

θ : Sudut kemiringan sisi bangunan

H : Tinggi gelombang di lokasi bangunan

L_0 : Panjang gelombang di laut dalam

2.4.2. Elevasi Muka Air Rencana

Elevasi muka air rencana dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$DWL = HHWL + S_w + SLR \quad \dots\dots(13)$$

Wave set-up

$$S_w = 0.19 \left(1 - 2.28 \sqrt{\frac{H_b}{gT^2}} \right) H_b \quad \dots\dots(14)$$

2.5. Energi Gelombang

a. Energi Potensial

$$E_p = \frac{\rho g H^2}{16} \quad \dots\dots(15)$$

b. Energi Kinetik

$$E_k = \frac{\rho g H^2}{16} \quad \dots\dots(16)$$

c. Energi Total

$$E_L = \frac{\rho g H^2 L}{8} \quad \dots\dots(17)$$

2.6. Arus Dekat Pantai

Menurut *Longuet*-(Komar, 1985) kecepatan arus dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$V = 1,17 (g H_b)^{1/2} \sin \alpha_\phi \cos \alpha_\phi \quad \dots\dots(18)$$

Keterangan :

V : Kecepatan arus dekat pantai (m/dt)

G : Percepatan Gravitasi (m/dt²)

H_b : Tinggi Gelombang pecah (m)

$\alpha\phi$: Sudut datang gelombang

2.7. Fetch

Panjang *fetch* adalah panjang laut yang dibatasi oleh pulau – pulau pada kedua ujungnya. *Fetch* rerata efektif diberikan dengan persamaan :

$$F_{\text{eef}} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \quad \dots\dots(19)$$

Keterangan :

F_{eef} : *Fetch* rerata efektif

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

α : Devisi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan 30° sampai sudut sebesar 42° pada kedua sisi dari arah angin

2.8. Angin

Untuk menghitung peramalan gelombang biasanya memakai kecepatan angin pada ketinggian 10 m, tetapi jika kecepatan angin tidak diukur pada ketinggian tersebut maka perlu dikoreksi berdasarkan ketinggian dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$U_{10} = U_z \left(\frac{10}{Z} \right)^{1/7} \quad \dots\dots(20)$$

Keterangan :

U_{10} : Kecepatan angin pada ketinggian 10 m (m/detik)

U_z : Kecepatan angin pada ketinggian Z m (m/det)

Z : Ketinggian pengukuran (m).

Dalam peramalan gelombang dengan menggunakan grafik dan persamaan yang ada berdasarkan *SPM (Shore Protection Manual)*, 1984 maka kecepatan angin harus dirubah kedalam *Wind Stress Factor* U_A , dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$U_A = 0,71U^{1,23} \quad \dots\dots(21)$$

Keterangan :

U : Kecepatan angin (m/det)

U_A : *Wind Stress Factor*

2.9. Pasang Surut

Pasang surut adalah perubahan elevasi muka air laut akibat adanya pengaruh gaya tarik antara benda-benda di langit, terutama bulan dan matahari terhadap massa air laut di bumi

2.10. Bangunan Pelindung Pantai

Bangunan pengaman pantai merupakan konstruksi yang dibangun sejajar atau tegak lurus dengan garis pantai yang berfungsi untuk melindungi pantai terhadap kerusakan karena serangan gelombang dan arus (Kusuma, 2016).

2.11. Revetment

Revetment adalah bangunan berupa dinding penahan gempuran gelombang yang ditempatkan disepanjang kawasan yang akan dilindungi.

2.12. Dimensi Bangunan

Elevasi puncak bangunan pengaman pantai dihitung dengan persamaan:

$$El_{\text{revetment}} = DWL + R_u + F_b \quad \dots\dots(22)$$

Keterangan :

$El_{\text{revetment}}$: Elevasi *Revetment*

DWL : Elevasi Muka air Rencana

R_u : Run Up

F_b : Tinggi Jagaan (0,5-1.5 m)

Di dalam perencanaan struktur pelindung pantai sisi miring, ditentukan berat butir batu pelindung dengan persamaan :

$$W = \frac{\gamma_r \cdot H^3}{KD (Sr-1)^3 \cot \theta} \quad \dots\dots(23)$$

Tebal lapis pengaman dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$T = n K \Delta \left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \dots\dots(24)$$

Lebar puncak tergantung limpasan yang diijinkan. Untuk bangunan tanpa terjadi limpasan, lebar puncak bisa lebih kecil. Lebar puncak dapat dihitung dengan persamaan :

$$B = n K \Delta \left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \dots\dots(25)$$

2.13. Pelindung Kaki (Toe Protection)

Tumpukan batu juga digunakan sebagai pondasi dan pelindung kaki (*Toe Protection*) bangunan pantai. (Anggista Dina et al., 2019) berat butir batu untuk pondasi dan pelindung kaki bangunan diberikan oleh persamaan berikut :

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{Ns^3 (Sr-1)^3} \quad \dots\dots(26)$$

Keterangan :

W : Berat butir batu pelindung

γ_r : Berat jenis batu

θ : Sudut kemiringan sisi pemecah gelombang

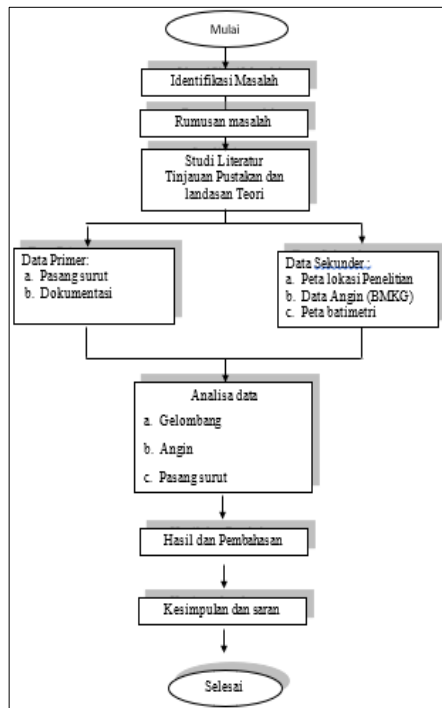
n : Jumlah lapis batu dalam lapis pelindung

$K\Delta$: Koefisien lapis

Ns^3 : Angka stabilitas rencana minimum

3. METODE PENELITIAN

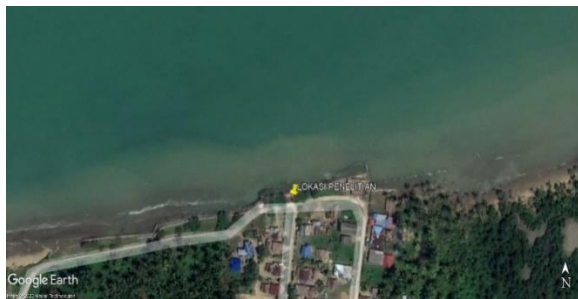
3.1. Alir Penelitian



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

3.2. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dimulai pada bulan Maret sampai Juli tahun 2022 dan dilakukan pada kawasan Dusun Wahakaim Negeri Aketarnate, Kecamatan Seram Utara Timur Seti.



Gambar 2. Peta Lokasi (Sumber : Google Earth)

3.3. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan untuk memperoleh data di lapangan atau metode yang di pakai adalah sebagai berikut :

1. Data primer adalah data yang diperoleh dengan cara melakukan pengukuran langsung dilapangan : pasang surut dan dokumentasi.
2. Data sekunder adalah data yang diambil dari instansi-instansi terkait. Data yang diambil untuk penelitian ini adalah data angin dari BMKG yang

diperlukan untuk mengetahui arah angin dan arah gelombang, peta batimetri untuk mengetahui kontur pantai serta kemiringan pantai, dan data *Fetch* yang merupakan data hasil memplot suatu garis antar pulau pada peta dengan satu titik tetap sebagai lokasi perencanaan untuk memperoleh jarak *Fetch* sebagai bangkitan gelombang.

3.4. Teknik Analisa Data

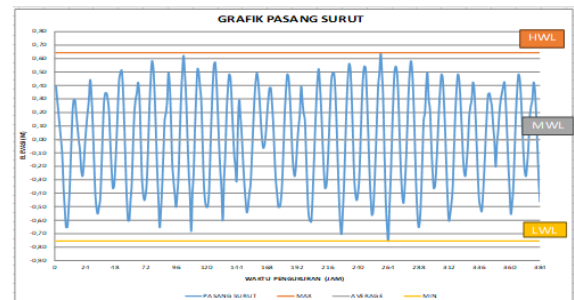
Analisa data yang dilakukan yaitu melakukan proses perhitungan penentuan tinggi gelombang yang terjadi di lapangan dengan proses analisa sebagai berikut:

- a. Pengolahan data angin yang di dapat dari BMKG menjadi mawar angin (skema frekuensi angin) dan dilanjutkan dengan perhitungan *fetch* untuk mengetahui arah angin terbanyak dan terbesar pada lokasi penelitian.
- b. Perhitungan pasang surut dan pengolahannya dengan menggunakan persamaan rumus *fetch* efektif menurut (Triatmodjo, 2012).
- c. Menghitung penentuan tinggi gelombang signifikan menggunakan hasil penjabaran dari perhitungan panjang *fetch* serta dengan menggunakan persamaan rumus yang kemudian dilanjutkan dengan perhitungan energi gelombang.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pasang Surut

Pengambilan data pasang surut dilakukan pada pantai Wahakaim Kecamatan Seram Utara Timur Seti Kabupaten Maluku Tengah. Proses pengambilan data dilakukan selama 15 hari terhitung sejak tanggal 12 - 26 Maret 2023. Hasil pencatatan tersebut disajikan dalam Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Grafik Pasang Surut

Berdasarkan pengukuran pasang surut tersebut diperoleh beberapa elevasi muka air laut :

1. *High Water Level* : 1,65 m
2. *Midle Water Level* : 0,00 m
3. *Low Water Level* : -0,75m

Level muka air laut noral pada saat pengukuran adalah 1,11 m, nilai maksimum muka air laut adalah 1,75 m dan nilai minimum adalah 0,35 m.

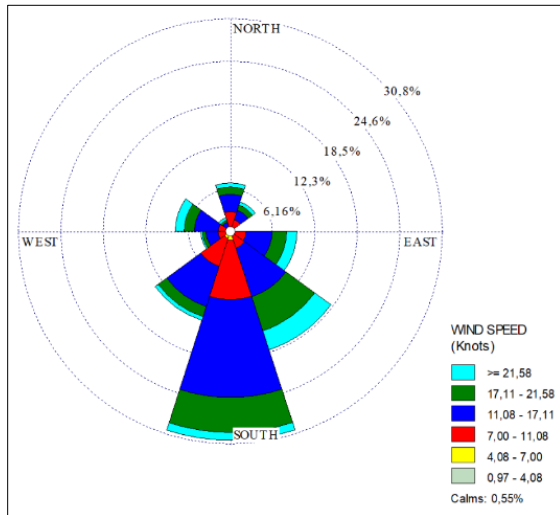
untuk menggambarkan grafik pasang surut, semua level muka air laut pada saat pencatatan dikurangi dengan nilai rata-rata atau level muka air normal.

4.2. Angin

Data angin yang dipakai dalam penulisan ini adalah data angin tahunan selama 10 tahun yang diperoleh dari BMKG Amahai Masohi.

Tabel 1. Presentasi Jumlah Kajian Angin Tahun 2013-2022 (Analisa Perhitungan, 2023)

ARAH ANGIN	PRESENTASI KECEPATAN ANGIN (KNOT)						
	0 - 2	3 - 5	6 - 9	10 - 12	13 - 16	17 - 20	21 - 23
Utara	0.15	2.46	3.69	1.41	0.51	0.15	0.09
Timur Laut	0.12	1.26	1.92	0.69	0.24	0.00	0.00
Timur	0.06	1.29	3.06	0.90	0.39	0.12	0.00
Tenggara	0.15	3.00	6.77	3.30	2.07	0.30	0.03
Selatan	0.21	9.29	19.18	5.09	1.35	0.24	0.03
Barat Daya	0.24	4.82	5.75	0.63	0.27	0.00	0.00
Barat	0.15	1.95	4.32	1.92	0.69	0.39	0.21
Barat Laut	0.00	0.99	3.06	0.72	0.27	0.06	0.00



Gambar 3 Wind Rose (Autocad, 2007)

4.3. Kecepatan Angin Terkoreksi

Kecepatan angin terkoreksi yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4 berikut ini :

Tabel 2. Kecepatan Angin Terkoreksi Arah Barat Laut (Analisa Perhitungan, 2023)

Tahun	Arah	U_{max} (knot)	U_z (m/det)	U_{10} (m/det)	U (m/det)	U_A (m/det)
2013	BARAT LAUT	6	3,09	3,01	5,51	5,79
2014	BARAT LAUT	4	2,06	2,01	3,83	3,71
2015	BARAT LAUT	7	3,61	3,51	6,27	6,79
2016	BARAT LAUT	6	3,09	3,01	5,51	5,79
2017	BARAT LAUT	5	2,58	2,51	4,82	4,91
2018	BARAT LAUT	8	4,12	4,01	6,71	7,39
2019	BARAT LAUT	9	4,64	4,52	7,40	8,32
2020	BARAT LAUT	3	1,55	1,51	3,06	2,81
2021	BARAT LAUT	2	1,03	1,00	2,12	1,79
2022	BARAT LAUT	5	2,58	2,51	4,82	4,91

Tabel 3. Kecepatan Angin Terkoreksi Arah Barat Utara (Analisa Perhitungan, 2023)

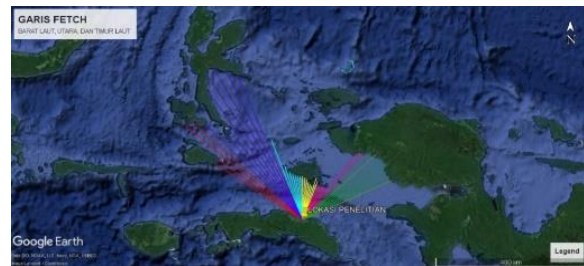
Tahun	Arah	U_{max} (knot)	U_z (m/det)	U_{10} (m/det)	U (m/det)	U_A (m/det)
2013	UTARA	7	3,605	3,51	6,27	6,79
2014	UTARA	5	2,575	2,51	4,82	4,91
2015	UTARA	6	3,09	3,01	5,51	5,79
2016	UTARA	12	6,18	6,02	8,85	10,37
2017	UTARA	6	3,09	3,01	5,51	5,79
2018	UTARA	5	2,58	2,51	4,82	4,91
2019	UTARA	6	3,09	3,01	5,51	5,79
2020	UTARA	4	2,06	2,01	3,86	3,73
2021	UTARA	3	1,55	1,51	3,06	2,81
2022	UTARA	3	1,55	1,51	3,06	2,81

Tabel 4. Kecepatan Angin Terkoreksi Arah Timur Laut (Analisa Perhitungan, 2023)

Tahun	Arah	U_{max} (knot)	U_z (m/det)	U_{10} (m/det)	U (m/det)	U_A (m/det)
2013	TIMUR LAUT	11	5,665	5,52	7,48	8,44
2014	TIMUR LAUT	0	0	0,00	0,00	0,00
2015	TIMUR LAUT	6	3,09	3,01	5,51	5,79
2016	TIMUR LAUT	5	2,58	2,51	4,82	4,91
2017	TIMUR LAUT	5	2,58	2,51	4,82	4,91
2018	TIMUR LAUT	7	3,61	3,51	6,27	6,79
2019	TIMUR LAUT	9	4,64	4,52	7,40	8,32
2020	TIMUR LAUT	3	1,55	1,51	3,06	2,81
2021	TIMUR LAUT	3	1,55	1,51	3,06	2,81
2022	TIMUR LAUT	3	1,55	1,51	3,06	2,81

4.4. Analisa Panjang Fetch

Dalam tinjauan pembangkit gelombang laut, *fetch* dibatasi dalam bentuk daratan yang mengelilingi laut.



Gambar 4. Fetch Arah Barat Laut, Utara, dan Timur laut (Google Earth, 2023)

Tabel 5. Perhitungan Panjang Fetch Efektif Arah Barat Laut (Analisa Perhitungan, 2023)

Arah Utama	Sudut (α)	$\cos \alpha$	Panjang Fetch (m)	$\Xi \cos \alpha$	$Feff$ (m)
Barat Laut	-21	0,933	4715,160	4399,24428	290634,929
	-18	0,951	5107,24	4856,98524	
	-15	0,965	5526,39	5332,96635	
	-12	0,978	262728,74	256948,7077	
	-9	0,987	259106,11	255737,7306	
	-6	0,994	390323,59	387981,6485	
	-3	0,998	370464,56	369723,6309	
	0	1,000	342768,28	342768,28	
	3	0,998	277803,98	277248,372	
	6	0,994	303285,67	301465,956	
	9	0,987	405097,56	399831,2917	
	12	0,978	442866,100	433123,0458	
	15	0,965	444807,18	429238,9287	
	18	0,951	423104,93	402372,7884	
	21	0,933	402709,55	375728,0102	
Jumlah			14,612	Jumlah	4246757,586

$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum x_i \cos \alpha_i}{\sum \cos \alpha_i} = \frac{4246757,586}{14,612} = 290634,929 \text{ m}$$

Tabel 6 Perhitungan Panjang *Fetch* Efektif Arah Utara (Analisa Perhitungan, 2023)

Arah Utama	Sudut (α)	Cos α	Panjang Fetch (m)	$X_i \cos \alpha$	Feff (m)
UTARA	-21	0,933	215623,290	201176,5296	116381,800
	-18	0,951	142114,17	135150,5757	
	-15	0,965	125186,71	120805,1752	
	-12	0,978	118967	116349,726	
	-9	0,987	114331	112844,697	
	-6	0,994	110921	110255,474	
	-3	0,998	110074	109853,852	
	0	1,000	109478,45	109478,45	
	3	0,998	105955,32	105743,4094	
	6	0,994	102388,7	101774,3678	
	9	0,987	96467,81	95213,72847	
	12	0,978	91611,360	89595,91008	
	15	0,965	88938,09	85825,25685	
	18	0,951	110504,16	105089,4562	
	21	0,933	108696,95	101414,2544	
Jumlah		14,612	Jumlah	1700570,862	

$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum x_i \cos \alpha_i}{\sum \cos \alpha_i} = \frac{1700570,862}{14,612} = 116381,800 \text{ m}$$

Tabel 7 Perhitungan Panjang *Fetch* Efektif Arah Timur Laut (Analisa Perhitungan, 2023)

Arah Utama	Sudut (α)	Cos α	Panjang Fetch (m)	$X_i \cos \alpha$	Feff (m)
TIMUR LAUT	-21	0,933	96930,77	90436,40841	196469,818
	-18	0,951	97516,72	92738,40072	
	-15	0,965	99088,46	95620,3639	
	-12	0,978	99884,23	97686,77694	
	-9	0,987	102970,88	101632,2586	
	-6	0,994	211866,82	210595,6191	
	-3	0,998	262110,28	261586,0594	
	0	1,000	237684,55	237684,55	
	3	0,998	243465,91	242978,9782	
	6	0,994	246622,89	245143,1527	
	9	0,987	251891,35	248616,7625	
	12	0,978	255796,47	250168,9477	
	15	0,965	242512,80	234024,852	
	18	0,951	244192,48	232227,0485	
	21	0,933	246170,21	229676,8059	
Jumlah		14,612	Jumlah	2870816,984	

$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum x_i \cos \alpha_i}{\sum \cos \alpha_i} = \frac{2870816,984}{14,612} = 196469,818 \text{ m}$$

4.5. Gelombang Rencana

4.5.1. Analisa Tinggi dan Periode Gelombang Signifikan

Tabel 8 Tinggi dan Periode Gelombang Signifikan Arah Barat Laut (Analisa Perhitungan, 2023)

Tahun	Panjang Fetch (m)	Tinggi Gelombang Signifikan (H_s) (m)	Periode Gelombang Signifikan (T_s) (dt)
2013	290634,929	1,60	5,08
2014		1,02	4,25
2015		1,87	5,41
2016		1,60	5,08
2017		1,35	4,76
2018		2,03	5,60
2019		2,29	5,87
2020		0,77	3,80
2021		1,58	3,18
2022		1,35	4,76

Tabel 9. Tinggi dan Periode Gelombang Signifikan Arah Utara (Analisa Perhitungan, 2023)

Tahun	Panjang Fetch (m)	Tinggi Gelombang Signifikan (H_s) (m)	Periode Gelombang Signifikan (T_s) (dt)
2013	116381,8	1,18	4,11
2014		0,86	3,61
2015		1,01	3,86
2016		1,81	4,87
2017		1,01	3,86
2018		0,86	3,61
2019		1,01	3,86
2020		0,65	3,24
2021		0,49	2,89
2022		0,49	2,89

Tabel 10. Tinggi dan Periode Gelombang Signifikan Arah Timur Laut (Analisa Perhitungan, 2023)

Tahun	Panjang Fetch (m)	Tinggi Gelombang Signifikan (H_s) (m)	Periode Gelombang Signifikan (T_s) (dt)
2013	196469,818	1,91	5,25
2014		0,00	0,00
2015		1,31	4,52
2016		1,31	4,23
2017		1,11	4,23
2018		1,54	4,81
2019		1,88	5,22
2020		0,64	3,38
2021		0,64	3,38
2022		0,64	3,38

4.5.2. Tinggi Gelombang Maksimum Tahunan Dengan Metode Gumbel

a. Arah Barat Laut

Tabel 11. Perhitungan Tinggi Gelombang Maksimum Tahunan dengan Metode Gumbel

Tahun (N)	Kecepatan Angin (Knot)	U (m/det)	U_a $0,71 \times U^{1,23}$	H_s	$(H_s - \bar{H}_s)$	$(H_s - \bar{H}_s)^2$
2013	6	5,51	5,79	1,60	0,049	0,002
2014	4	3,83	3,71	1,02	-0,526	0,277
2015	7	6,27	6,79	1,87	0,324	0,105
2016	6	5,51	5,79	1,60	0,049	0,002
2017	5	4,82	4,91	1,35	-0,194	0,038
2018	8	6,71	7,39	2,03	0,487	0,237
2019	9	7,40	8,32	2,29	0,746	0,556
2020	3	3,06	2,81	0,77	-0,772	0,597
2021	2	2,12	1,79	1,58	0,032	0,001
2022	5	4,82	4,91	1,35	-0,194	0,038
$\Sigma N = 10$			$\Sigma H_s = 15,47$ $\bar{H}_s = 1,547$		$\Sigma(H_s - \bar{H}_s)^2 =$	1,852

$$\sigma H = \sigma H = \sqrt{\frac{\Sigma(H_s - \bar{H}_s)^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{1,852}{9}} = 0,454$$

$$H_{25th} = \bar{H}_s + \frac{\sigma H}{\sigma_n} (Y_t - Y_n)$$

$$= 1,547 + \frac{0,454}{0,94} \times (3,1986 - 0,495)$$

$$= 2,852 \text{ m}$$

Perhitungan Periode gelombang kala ulang 25 tahun :

$$T_{25th} = 0,33x \sqrt{\frac{H_{25}}{0,0056}} = \sqrt{\frac{2,852}{0,0056}} = 7,44 \approx 7 \text{ dt}$$

b. Arah Utara

Tabel 12. Perhitungan Tinggi Gelombang Maksimum Tahunan dengan Metode Gumbel

Tahun (N)	Kecepatan Angin (Knot)	U (m/det)	U_a $0,71 \times U^{1,23}$	H_s	$(H_s - \bar{H}_s)$	$(H_s - \bar{H}_s)^2$
2013	6	5,51	6,79	1,18	0,247	0,061
2014	4	3,83	4,91	0,86	-0,080	0,006
2015	7	6,27	5,79	1,01	0,073	0,005
2016	6	5,51	10,37	1,81	0,871	0,758
2017	5	4,82	5,79	1,01	0,073	0,005
2018	8	6,71	4,91	0,86	-0,080	0,006
2019	9	7,40	5,79	1,01	0,073	0,005
2020	3	3,06	3,73	0,65	-0,286	0,082
2021	2	2,12	2,81	0,49	-0,446	0,199
2022	5	4,82	2,81	0,49	-0,446	0,199
$\Sigma N = 10$			$\Sigma H_s = 9,36$ $\bar{H}_s = 0,936$		$\Sigma(H_s - \bar{H}_s)^2 =$	1,328

Dari hasil analisa gelombang maksimum untuk arah Utara di Pantai Wahakaim dalam kala ulang 25 adalah 2,041 m dengan periode 6,0 dt. Setelah memperoleh tinggi gelombang maksimum, hasil ini akan digunakan untuk perhitungan gelombang pecah.

c. Arah Timur laut

Tabel 13. Perhitungan Tinggi Gelombang Maksimum Tahunan dengan Metode Gumbel

Tahun (N)	Kecepatan Angin (Knot)	U (m/det)	U_a $0,71 \times U^{1,23}$	H_s	$(H_s - \bar{H}_s)$	$(H_s - \bar{H}_s)^2$
2013	6	5,51	8,44	1,91	0,814	0,662
2014	4	3,83	0,00	0,00	-1,098	1,206
2015	7	6,27	5,79	1,31	0,214	0,046
2016	6	5,51	4,91	1,31	0,214	0,046
2017	5	4,82	4,91	1,11	0,014	0,000
2018	8	6,71	6,79	1,54	0,440	0,193
2019	9	7,40	8,32	1,88	0,787	0,619
2020	3	3,06	2,81	0,64	-0,461	0,213
2021	2	2,12	2,81	0,64	-0,461	0,213
2022	5	4,82	2,81	0,64	-0,461	0,213
$\Sigma N = 10$			$\Sigma H_s = 10,98$ $\bar{H}_s = 1,098$		$\Sigma(H_s - \bar{H}_s)^2 =$	3,410

Dari hasil analisa gelombang maksimum untuk arah Timur Laut di Pantai Wahakaim dalam kala ulang 25 adalah 2,869 m dengan periode 7,0 dt. Setelah memperoleh tinggi gelombang maksimum, hasil ini akan digunakan untuk perhitungan gelombang pecah.

4.5.3. Panjang Gelombang (L_0) dan Cepat Rambat Gelombang (C_0) di Laut Dalam

Panjang gelombang (L_0) dan kecepatan gelombang (C_0) yang terjadi di laut dalam dihitung dengan Persamaan 5 dan 6 dapat dilihat pada Tabel 14 berikut ini :

Tabel 14. Panjang dan Cepat Rambat Gelombang (Analisa Perhitungan, 2023)

Arah	L_0 (m)	C_0 (m/det)
UTARA	62	9.84
BARAT LAUT	86.62	11.63
TIMUR LAUT	87.14	11.67

4.5.4. Kedalaman (d) di Laut Dangkal

Tabel 15. Kedalaman Laut Dangkal (Analisa Perhitungan, 2023)

Arah	d/ L_0	d/L_0	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	L (m)	C (m/dt)	α_0	$\sin \alpha$	α_1
UTARA	0,06	0,10	0,59	33,37	5,56	5°	0,04	2,823°
BARAT LAUT	0,04	0,09	0,52	39,24	5,61	45°	0,34	19,92°
TIMUR LAUT	0,05	0,08	0,51	39,12	5,59	40°	0,30	17,93°

4.5.5. Koefisien Refraksi (K_r) dan Koefisien Shoaling (K_s)

Koefisien refraksi dan koefisien shoaling dihitung dengan menggunakan Persamaan 7 dan Persamaan 8. Hasil perhitungan dapat di lihat pada Tabel 16 berikut ini:

Tabel 16 Koefisien Refraksi dan Koefisien Shoaling
(Analisa Perhitungan, 2023)

Arah	α	$\cos \alpha_0$	$\cos \alpha_1$	Kr	Ks
UTARA	5°	0.9962	0.9988	0.999	0.9825
BARAT LAUT	45°	0.7071	0.9401	0.867	1.0372
TIMUR LAUT	40°	0.7660	0.9514	0.897	1.0384

4.5.6. Tinggi Gelombang Rencana (Ho)

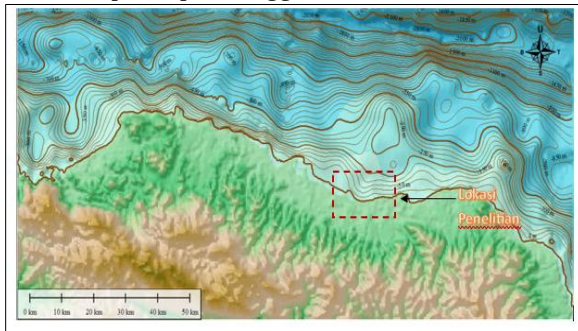
Tinggi gelombang rencana (Ho) dihitung dengan menggunakan Persamaan 9. Hasil perhitungan dapat di lihat pada Tabel 17 berikut ini:

Tabel 17. Tinggi Gelombang Rencana (Analisa Perhitungan, 2023)

Arah	Kr	Ks	H_r (m)	H_o (m)
UTARA	0.999	0.9825	2.041	2.003
BARAT LAUT	0.867	1.0372	2.852	2.565
TIMUR LAUT	0.897	1.0384	2.869	2.673

4.6. Gelombang Pecah

Gelombang pecah ditentukan dari kedalaman dasar laut dan kemiringan dasar pantai. Gelombang dari laut dalam bergerak menuju pantai akan bertambah kemiringannya sampai akhirnya tidak stabil dan pecah pada tinggi dan kedalaman tertentu.



Gambar 4. Peta Batimetri Perairan Seram Utara Timur Seti (Global Mapper, 2023)

Tabel 18. Kedalaman Gelombang Pecah (Analisa Perhitungan, 2023)

Arah	H_b (m)	db (m)	C_b (m/det)	L_b (m)
UTARA	2.50	2.6	5.10	30.60
BARAT LAUT	2.80	2.9	5.30	39.52
TIMUR LAUT	2.99	3.2	5.51	41.22

4.7. Arus Dekat Pantai

Dihitung berdasarkan Persamaan 18, arus di dekat pantai Wahakaim dapat terlihat dalam Tabel 19 berikut ini :

Tabel 19. Perhitungan Arus Sepanjang Pantai (Hasil Perhitungan, 2023)

Arah Angin	α_0 (°)	H_b (m)	V (m/det)
UTARA	5	2.50	2.85
BARAT LAUT	45	2.80	3.06
TIMUR LAUT	40	2.99	3.10

4.8. Energi dan Tenaga Gelombang

Hasil perhitungan Energi dan Tenaga Gelombang dapat di lihat pada Tabel 20 berikut ini:

Tabel 20. Energi dan Tenaga Gelombang (Analisa Perhitungan, 2023)

Arah Angin	ρ	g	Hb^2	Lb	E (N)	E (Kg)	d	k	N	T	P (N.m/s)
UTARA	1025	9.81	5.000	30.60	240420.9	24042.090	2.7	0.16	0.91	6.3	3485.648
BARAT LAUT	1025	9.81	5.455	39.52	270996.5	27099.648	2.7	0.16	0.94	7.4	3432.698
TIMUR LAUT	1025	9.81	6.341	41.22	328578.1	32857.812	2.9	0.15	0.94	7.4	4131.230

4.9. Run Up

Dalam perencanaan ini kemiringan bangunan yang direncanakan adalah 1:2.

$$I_r = \frac{tg\theta}{\sqrt{\frac{H}{L_o}}} = \frac{0.5}{\sqrt{\frac{2,003}{62,002}}} = 2,78$$

Berdasarkan bilangan *Irrabaren* di atas, maka didapat:

$$\frac{R_u}{H} = 1$$

$$R_u = 1 \times 2,003 = 2,003$$

4.10. Dimensi Bangunan

Perhitungan elevasi puncak *revetment* dengan memperhitungkan tinggi kebebasan (Fb) 1 m :

$$El_{\text{Revetment}} = DWL + R_u + F_b$$

$$El_{\text{Revetment}} = 2,68 \text{ m} + 2,003 \text{ m} + 0,5 \text{ m}$$

$$El_{\text{Revetment}} = 5,18 \text{ m}$$

Berat batu pelindung untuk bangunan pelindung pantai Wahakaim adalah :

$$W = \frac{1,45 \times 2,003^3}{2 \times \left(\frac{1,45}{1,03} - 1\right)^3 \times 2} = 1,368 \text{ ton} = 1368 \text{ Kg}$$

Dengan (n) = 2 dan $K\Delta = 1,15$, maka tebal lapis dinding pengaman adalah :

$$T = 2 \times 1,15 \left(\frac{1,368}{1,45}\right)^{\frac{1}{3}} = 1,84498 \text{ m} \approx 2 \text{ m}$$

Lebar puncak *revetment* untuk n = 3 (minimum) dan koefisien lapis (K_Δ) = 1,15 adalah sebagai berikut :

$$B = 3 \times 1,15 \left(\frac{1,368}{1,45}\right)^{\frac{1}{3}} = 2,76747 \text{ m} \approx 3 \text{ m}$$

4.11. Pelindung Kaki (Toe Protection)

Gelombang dan arus yang menyerang bangunan pengaman pantai dapat menyebabkan terjadinya erosi pada tanah fondasi di depan kaki

bangunan. Untuk itu perlu diberikan perlindungan pada bagian tersebut

$$d_s = 2,02 \text{ meter}$$

$$d_1 = d_s - T$$

$$d_1 = 2,02 - 1,5$$

$$d_1 = 0,52 \text{ m}$$

$$\frac{d_1}{d_s} = \frac{0,52}{2,02}$$

$$\frac{d_1}{d_s} = 0,26$$

Dengan nilai $\frac{d_1}{d_s} = 0,26$ maka melalui grafik diperoleh nilai *stability number* (N_s^3) adalah $N_s^3=35$. Maka perhitungan berat butir batu untuk pelindung kaki (*toe protection*) :

$$W = \frac{1,45 \times 2,003^3}{35 \times \left(\frac{1,45}{1,03} - 1\right)} = 0,15633 \text{ ton} = 156,325 \text{ Kg}$$

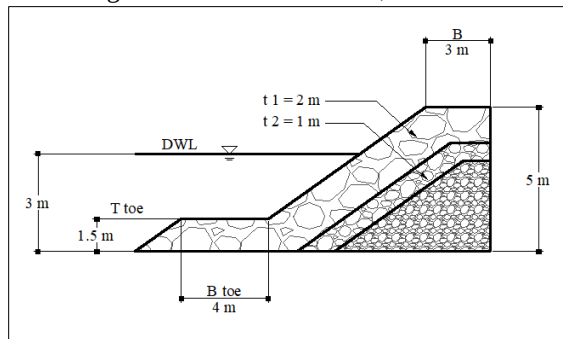
Berat batu lapis pelindung kaki dipergunakan kira-kira setengah dari yang dipergunakan pada dinding tembok (0,5W)

$$W = 0,5 \times 1,368 \text{ ton}$$

$$W = 0,68392 \text{ ton}$$

$$W = 683,922 \text{ kg} \approx 684 \text{ kg}$$

Berdasarkan perhitungan struktur *revetment* di dapat dimensi bangunan adalah seperti pada Gambar 5 berikut. Tinggi bangunan *revetment* 5 m dengan lebar puncak 3 m dan tinggi pelindung kaki untuk bangunan *revetment* adalah 1,5 dan lebar 4 m.



Gambar 5. Profil *Revetment* dengan Pelindung Kaki (AutoCad 2007)

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa perhitungan, maka kesimpulan yang dapat diambil adalah :

1. Dengan menggunakan analisa gelombang maka didapatkan Tinggi gelombang (H_b) sebesar 2,500 m, panjang gelombang (L_b) sebesar 30,6 m dan kedalaman gelombang pecah (db) sebesar 2,652m.

2. Dari hasil analisa gelombang dan arus yang terjadi pada pantai Wahakaim dapat merusak *revetment* yang ada karena dapat mengakibatkan erosi pada *revetment* dan juga *overtopping*. Khususnya arus di sepanjang pantai, dimana arus sepanjang pantai terjadi adalah 3 m/dt. Hal tersebut membuat erosi terjadi semakin besar sehingga kerusakan pada *revetment* terjadi semakin cepat. Selain itu, daya dukung tanah yang cenderung lempung membuat proses erosi semakin cepat terjadi.
3. Solusi yang dapat dilakukan untuk menanggulangi kerusakan yaitu, dapat di buat pelindung kaki pada *revetment* sehingga dapat mengurangi terjadinya erosi pada dinding *revetment*.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan adalah :

1. Penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk perencanaan-perencanaan bangunan pelindung pantai pada segmen-segmen berikutnya di sepanjang Pantai Wahakaim.
2. Kepada pemerintah dan masyarakat diharapkan untuk lebih memperhatikan dan mengambil tindakan terhadap kawasan pantai Wahakaim sehingga dapat menghindari terjadinya *overtopping* yang dapat menghambat aktivitas di lokasi pantai Wahakaim.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggista Dina, Muhammad Fauzi, & Besperi. (2019). Analisis Bangunan *Revetment* Terhadap Tinggi Gelombang Di Pantai Berkas Kota Bengkulu. *Civil Engineering and Environment Conference*.
- Boonastria Citra Mira Dewi. (2013). *Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai Untuk Mengatasi Kemunduran Garis Pantai Teluk Penyu Cilacap Jawa Tengah*. Teknik Sipil.
- Coastal Engineering Research Center. (1984). *Shore Protection Manual*. 1.
- Global Mapper. (2023). *Peta Bathymetry Pantai Wahakaim, Negeri Aketernate, Kecamatan Serat Utara Timur Seti*.
- Komar. (1985). *Longuet Higgins*.
- Putra I Kadek Sandi Wiguna, Cok Agung Yujana, & Nyoman Surayasa. (2017). *Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai (Revetment) Dengan Bahan Geobag Di Pantai Masceti Kabupaten Gianyar*. *Paduraksa*, 6(2), 179–189.
- Triatmodjo Bambang. (2012). *Perencanaan Bangunan Pantai*. Beta Offset.