

ANALISIS BANGUNAN PENGAMAN PANTAI MENGGUNAKAN KUBUS BETON DI PANTAI KERAYA KALIMANTAN TENGAH

Alton S. Ardi*, I Putu Hartawan, M. Hendro Setiawan,
Rizky Dwiyana Mahardhika, dan Sudarto

Balai Teknik Pantai, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

*altonsardi@pu.go.id

Pemasukan: 28 Juni 2024 Perbaikan: 30 September 2024 Diterima: 9 Desember 2024

Intisari

Pantai Keraya yang terletak di Kabupaten Kotawaringin Barat Provinsi Kalimantan Tengah memiliki permasalahan yaitu kemunduran garis pantai berkisar 5 – 10 m dalam kurun waktu 14 tahun terakhir akibat erosi. Penanganan erosi dilakukan dengan cara pembangunan pengaman pantai dengan menggunakan desain bangunan tipe pemecah gelombang dan revetment, untuk menghasilkan bangunan yang handal dibutuhkan identifikasi lapangan berupa pengumpulan data primer yang digunakan dalam analisis teknis sebagai dasar desain. Berdasarkan data model ERA-5, kondisi ekstrim kala ulang 100 tahun saat musim barat diperoleh gelombang signifikan (H_s) sebesar 2,717 m dengan periode 6,78 detik serta kecepatan angin 14,12 m/detik. Penjalaran gelombang dari laut dalam ke lokasi kajian dimodelkan dengan menggunakan model numerik dan didapatkan gelombang signifikan (H_s) sebesar 0,40 – 0,51 m dengan periode 3,64 detik untuk masing – masing lokasi rencana bangunan. Untuk meningkatkan nilai keamanan bangunan, digunakan 1,37 H_s untuk perhitungan gelombang desain (H_d) sehingga diperoleh nilai untuk alternatif pemecah gelombang sebesar 0,70 m dan revetment sebesar 0,55 m. Dari hasil kajian analisis data di Pantai Keraya didapat 2 alternatif perencanaan desain bangunan pengaman pantai yang dapat digunakan sebagai bentuk penanganan permasalahan erosi yaitu desain revetment dengan elevasi struktur +2,50 m dari MSL 0 serta berat armor kubus lapisan primer 150 kg dan alternatif lainnya yaitu desain bangunan pemecah gelombang pada bagian kepala dengan elevasi struktur + 2,20 m dari MSL 0 dan berat armor kubus lapisan primer 150 kg serta pada bagian badan dengan elevasi struktur + 2,20 m dari MSL 0 dan berat armor kubus lapisan primer 150 kg.

Kata Kunci: Pantai Keraya, Erosi, Kubus Beton, Revetment, Pemecah Gelombang

Latar Belakang

Pantai Keraya yang terletak di Kabupaten Kotawaringin Barat Provinsi Kalimantan Tengah memiliki permasalahan pantai yaitu erosi dan terjadinya gelombang tinggi pada musim barat yang mengakibatkan kemunduran garis pantai, kerusakan permukiman dan prasarana jalan yang menghubungkan dua desa dan kecamatan. Berdasarkan informasi dari Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (PUPR)

Kab. Kotawaringin Barat dan hasil identifikasi lapangan, diketahui bahwa permasalahan erosi pantai di Pantai Keraya sudah cukup lama terjadi dan sudah dilakukan pembangunan bangunan pengaman pantai berupa bangunan pemecah gelombang (*breakwater*) sepanjang 126,4 m yang dibangun secara bertahap dari tahun 2015 hingga 2020. Selain bangunan tipe pemecah gelombang (*breakwater*), sebagai antisipasi kejadian erosi, dilakukan tindak darurat penanganan erosi yang terjadi pada Tahun 2019 dengan pemasangan karung berisikan pasir (geobag) sepanjang 300 m. Pada Tahun 2023.

Erosi pantai merupakan perubahan dataran pantai yang menyebabkan mundurnya garis pantai (Bird 2008; Ongkosongo 2010). Faktor – faktor yang mempengaruhi erosi pantai adalah: 1) faktor klimatologi seperti perubahan iklim (Day dkk. 2008), badai (Parvin dkk. 2008), gelombang (Bird 2008; Marfai dkk. 2008a; Day dkk. 2008), peningkatan muka air laut (Day dkk. 2008), perpindahan sudut datang gelombang, pasang surut, dan ketidakseimbangan neraca sedimen (Bird 2008). 2) faktor tektonik, seperti: *uplift* dan *subsidence*; serta 3) faktor perilaku manusia yang mempercepat perubahan lingkungan (Marfai dan King 2008; Parvin dkk. 2008; Day dkk. 2008; Kulkarni dkk. 2010; Marshall dkk. 2011; Ward dkk. 2011).

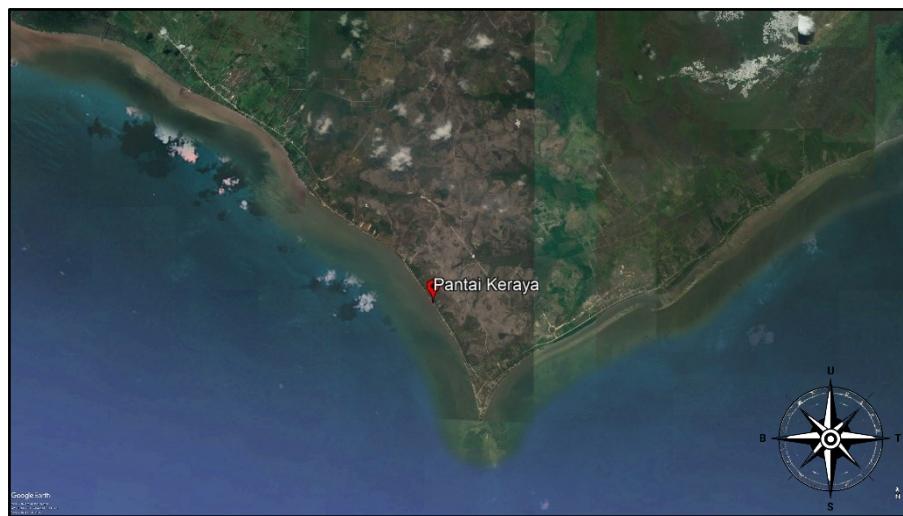
Indikator pantai mengalami erosi, menurut Bird (2008) antara lain 1) pantai berbentuk cekung dengan tersingkapnya batuan dan lahan berlumpur di pantai, 2) tampak material batuan penyusun pantai belakang, dan 3) kenampakan zona vegetasi pantai terpotong erosi. Dalam menangani permasalahan pada pantai ada beberapa hal yang dapat dilakukan seperti: 1) memperkuat/melindungi pantai agar mampu menahan serangan gelombang, 2) mengubah laju transpor sedimen sepanjang pantai, 3) mengurangi energi gelombang sampai ke pantai dan 4) reklamasi dengan menambah suplai sedimen ke pantai atau dengan cara lain (Triyatmodjo, 2020). Sedangkan menurut (CERC, 1984) pada prinsipnya terdapat dua tipe bangunan pengendali erosi pantai yaitu struktur yang mampu menjadi pelindung lahan yang berada dibelakang pantai seperti revetment dan struktur yang berfungsi sebagai penangkap dan penahan pasir seperti groin.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui alternatif desain pengaman pantai dengan menggunakan material armor kubus beton yang mampu menanganani permasalahan erosi pada Pantai Keraya, Kab. Kotawaringin Barat.

Metodologi Studi

Penelitian ini dilakukan di Pantai Keraya, Kabupaten Kotawaringin Barat, Provinsi Kalimantan Tengah (Gambar 1). Panjang pantai yang menjadi lokasi studi memiliki panjang ± 750 m.

Data-data yang digunakan di dalam analisis ini merupakan data primer (topografi dan batimetri) yang berasal dari hasil survei dan pengukuran lapangan yang dilaksanakan serta data sekunder meliputi data peramalan pasang surut diperoleh dari model global pasang surut Naotide selama 20 tahun, data iklim gelombang yang diperoleh dari model ERA5 memiliki resolusi data $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ dengan rentang waktu dari Januari 1979 – Juni 2022. Untuk menentukan gelombang desain menggunakan *software* MIKE21 model *spectral wave*, sedangkan dalam perhitungan struktur menggunakan persamaan Hudson.



Gambar 1. Lokasi penelitian Pantai Keraya (sumber: Google Earth, 2024)

Untuk mendapatkan desain bangunan pengaman pantai yang paling optimal, dibutuhkan beberapa parameter desain seperti elevasi muka air rencana, elevasi dan lebar puncak struktur, tebal lapis lindung struktur, berat dan dimensi armor untuk lapis lindung serta pelindung kaki struktur. Pemilihan jenis struktur atau tipe armor harus mempertimbangkan aspek-aspek teknis seperti ketersediaan material, durabilitas material armor, kestabilan struktur, kemudahan dalam pelaksanaan konstruksi, dan biaya konstruksi yang ekonomis.

Berikut perhitungan parameter – parameter desain yang digunakan dalam perhitungan dimensi struktur :

a. Penentuan Gelombang Desain

Bangunan pengaman pantai yang direncanakan pada Pantai Keraya adalah tipe fleksibel, maka untuk gelombang desain (H_d) dapat menggunakan rumus seperti dibawah:

$$H_d = H_5 = 1,37 \times H_s \quad (1)$$

b. Perhitungan Elevasi Muka Air Rencana

Elevasi muka air rencana (DWL) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$DWL = MHWL/HWS + SLR + Sw \quad (2)$$

Dengan keterangan:

DWL : Elevasi muka air rencana (m)

$MHWL$: Elevasi muka air laut tertinggi rerata (m)

HWS : Elevasi Pasang tinggi yang terjadi pada awal dan pertengahan bulan (m)

SLR : kenaikan muka air akibat pemanasan global (m)

Sw : kenaikan muka air laut akibat gelombang (m)

c. Perhitungan Elevasi Puncak Struktur

Elevasi puncak struktur dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\text{Elevasi Puncak} = DWL + Ru + Freeboard \quad (3)$$

$$\frac{Ru}{H} = F(Ir) \quad (4)$$

$$Ir = \frac{\tan\theta}{(\frac{H}{1.56T^2})^{0.5}} \quad (5)$$

Dengan keterangan:

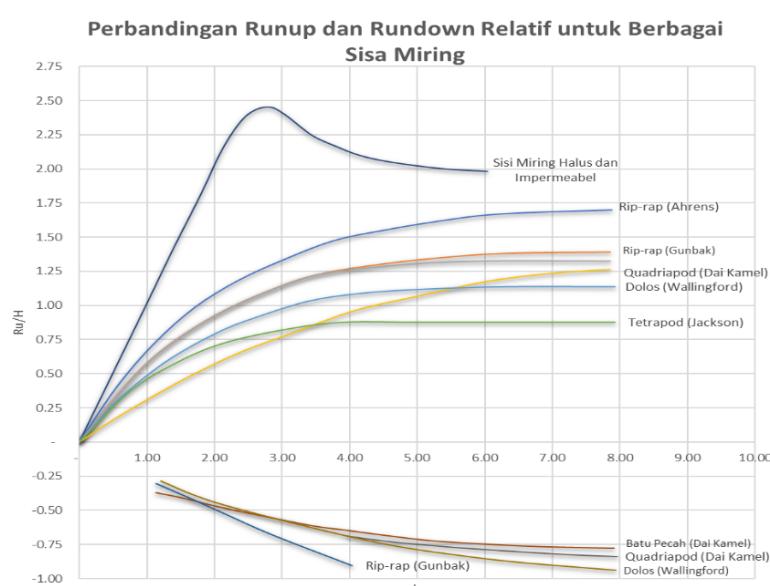
Ir : bilangan irribaren

θ : kemiringan struktur

H : tinggi gelombang desain (m)

T : periode gelombang desain (m)

Ru : tinggi rayapan gelombang (m)



Gambar 2. Grafik hubungan run-up dengan tinggi gelombang

d. Perhitungan Berat Armor

Untuk menghitung berat armor dapat menggunakan formula empiris Hudson seperti berikut:

$$W = \frac{W_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta} = \frac{\rho_r H^3}{K_D \left(\frac{\rho_r}{\rho_{air \ laut}} - 1 \right)^3 \cot \theta} \quad (6)$$

Dengan keterangan:

W : berat armor (kg)

H : tinggi gelombang desain (m)

ρ_r : massa jenis armor (kg/m^3)

$\rho_{air \ laut}$: massa jenis air laut (kg/m^3)

$\cot \theta$: kemiringan struktur

K_D : koefisien stabilitas armor yang digunakan

Tabel 1. Koefisien stabilitas (K_D) untuk berbagai jenis butir

Lapis Lindung	n	Penem-patan	Lengan Bangunan		Kepala Bangunan		Kemi-ringan Cot θ	
			KD		KD			
			Gel. Pecah	Gel. Tidak Pecah	Gel. Pecah	Gel. Tidak Pecah		
Batu Pecah								
- Bulat Halus	2	Acak	1,2	2,4	1,1	1,9	1,5-3,0	
- Bulat Halus	>3	Acak	1,6	3,2	1,4	2,3	*2	
- Bersudut Kasar	1	Acak	*1	2,9	*1	2,3	*2	
					1,9	3,2	1,5	
- Bersudut Kasar	2	Acak	2,0	4,0	1,6	2,8	2,0	
					1,3	2,3	3,0	
- Bersudut Kasar	>3	Acak	2,2	4,5	2,1	4,2	*2	
- Bersudut Kasar	2	Khusus *3	5,8	7,0	5,3	6,4	*2	
- Paralelpipedum	2	Khusus	7,0-20,0	8,5-24,0	-	-		
- Tetrapod dan Quadripod	2	Acak	7,0	8,0	4,5	5,5	2,0	
					3,5	4,0	3,0	
					8,3	9,0	1,5	
- Tribar	2	Acak	9,0	10,0	7,8	8,5	2,0	
					6,0	6,5	3,0	
- Dolos	2	Acak	15,8	31,8	8,0	16,0	2,0	
					7,0	14,0	3,0	
- Kubus dimodifikasi	2	Acak	6,5	7,5	-	5,0	*2	
- Hexapod	2	Acak	8,0	9,5	5,0	7,0	*2	
- Tribar	1	Seragam	12,0	15,0	7,5	9,5	*2	
- Batu Pecah (K_{RR}) (graded angular)	-	Acak	2,2	2,5	-	-		

e. Perhitungan Lebar Puncak dan tebal lapis lindung Struktur

Lebar puncak pemecah gelombang tergantung beberapa batasan yang harus dipertimbangkan antara lain, limpasan gelombang dan keperluan operasi peralatan pada saat pembangunan dan perawatan. Untuk pertimbangan akibat *overtopping*, disyaratkan lebar puncak struktur minimal sama dengan lebar 3 butir unit armor yang disusun berdampingan ($n_{\text{minimum}} = 3$). Sementara untuk tebal lapis lindung menggunakan $n = 2$. Perhitungan lebar puncak dan tebal lapis armor diperoleh dari persamaan berikut.

$$B = nk_{\Delta} \left[\frac{W}{\rho_r} \right]^{1/3} \quad (7)$$

Dengan keterangan:

B = lebar puncak/tebal lapis lindung (m)

n = jumlah butir

K_{Δ} = koefisien lapis armor

W = berat unit armor (kg)

ρ_r = massa jenis armor (kg/m^3)

Tabel 2. Koefisien Lapis Armor (K_{Δ})

Batu Pelindung	n	Penempatan	Koef. Lapis ($k\Delta$)	Porositas P (%)
Batu alam (halus)	2	acak	1,02	38
Batu alam (kasar)	2	acak	1,15	37
Batu alam (kasar)	>3	acak	1,10	40
Kubus	2	acak	1,10	47
Tetrapod	2	acak	1,04	50
Quadripod	2	acak	0,95	49
Hexapod	2	acak	1,15	47
Tribard	2	acak	1,02	54
Dolos	2	acak	1,00	63
Tribar	2	Seragam	1,13	47
Batu alam	1	acak	1,10	37

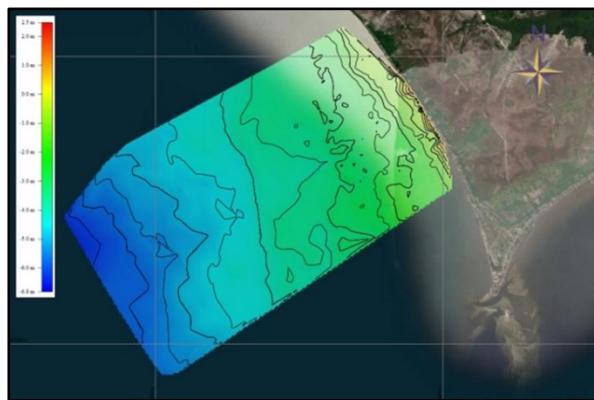
f. Perhitungan Pelindung Kaki Struktur (*Toe Protection*)

Berat batu pelindung kaki struktur (*toe protection*) dapat ditentukan dengan nilai berkisar minimal setengah dari berat armor lapis lindung primer.

Hasil Studi dan Pembahasan

Batimetri dan Topografi

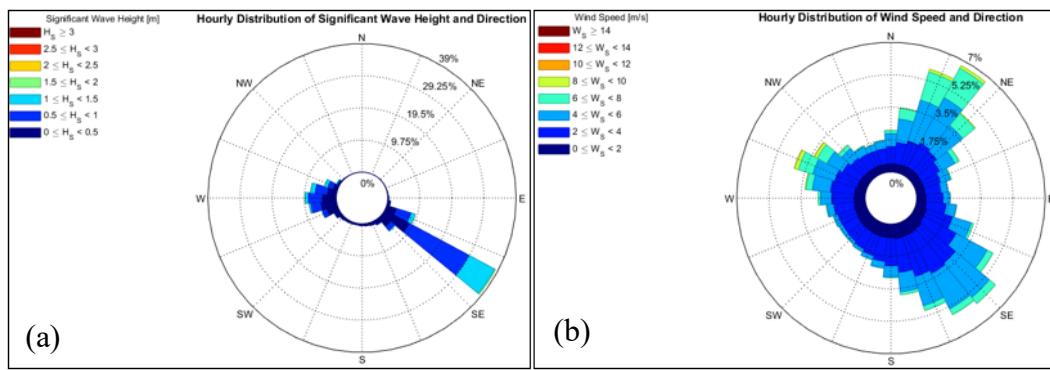
Klasifikasi kelas kemiringan profil Pantai Keraya berdasarkan data hasil pengukuran topografi dan batimetri yang dilakukan adalah kelas I dengan kategori datar dengan kemiringan pantai (S) ± 0.001 (Zuidam, 1985). Berdasarkan hasil peta kontur diketahui perairan Pantai Keraya mempunyai kemiringan profil pantai datar hingga jarak 6,3 km dari garis pantai dengan kedalamannya sekitar – 6,5 m dari MSL.



Gambar 3. Peta Batimetri Pantai Keraya

Gelombang dan Angin

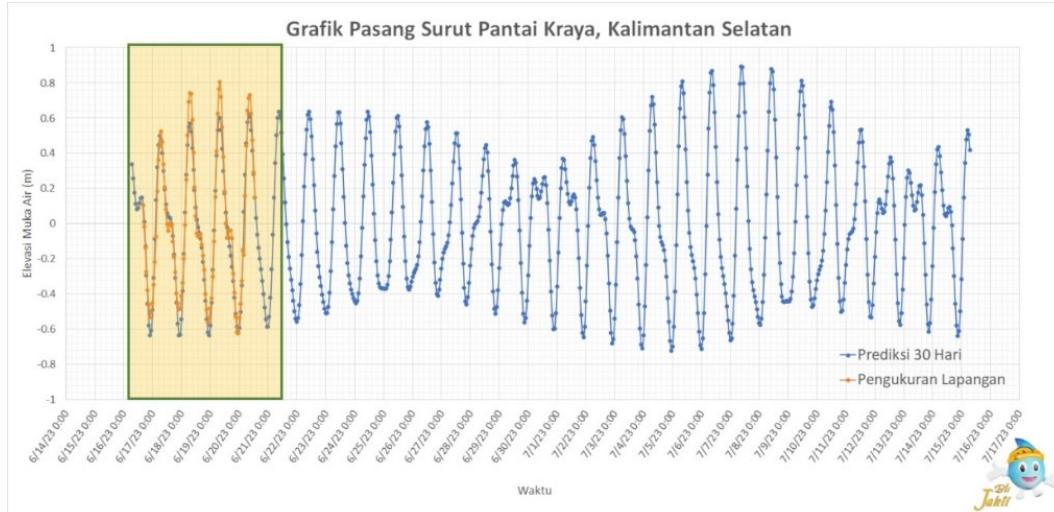
Pada sektor omnidirectional (Gambar 4.) kejadian gelombang terdistribusi dominan dari arah tenggara dengan probabilitas kejadian rata – rata adalah sekitar 54,08 %. Untuk kejadian angin terdistribusi hampir merata di seluruh arah. Namun dominan distribusi dari arah timur laut dan tenggara dengan probabilitas kejadian untuk arah timur laut dan tenggara adalah sekitar 11,36 % dan 11,54 %. Meskipun angin dan gelombang dominan dari tenggara namun gelombang tinggi datang dari arah barat.



Gambar 4. a) Windrose dan (b) Waverose pada Pantai Keraya
(Lon, Lat : 111° , -3.5°)

Pasang Surut

Data peramalan pasang surut diperoleh dari model global pasang surut Naotide selama 20 tahun yang kemudian divalidasi dengan data primer yang diperoleh dari pengukuran selama 4 (empat) hari pada lokasi studi. Grafik pasang surut dapat dilihat pada Gambar



Gambar 5. Grafik Pasang Surut Dengan Program Naotide
(Lon, Lat : $111,53^\circ$, $-2,99^\circ$)

Berdasarkan data pasang surut nilai tunggang pasang sebesar 1,85 m. Tipe pasang surut ditentukan berdasarkan pada perbandingan antara jumlah amplitudo konstanta diurnal (K_1, O_1) dengan jumlah Amplitudo konstanta diurnal (M_2, S_2). Perbandingan tersebut dituliskan dalam formula Formzahl (F):

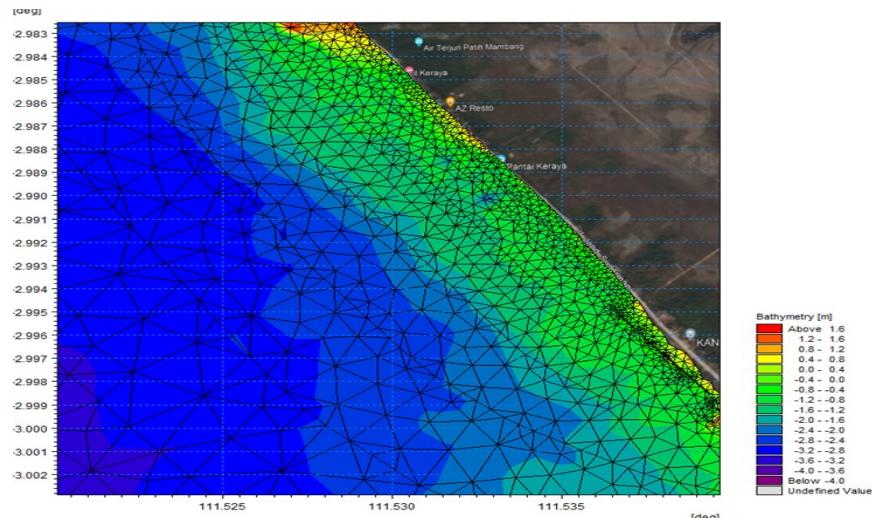
Berdasarkan konstanta-konstanta utama pasang surut di atas diketahui bahwa nilai Bilangan Formzahl (F) = 1,44. Sehingga tipe pasang surut di lokasi kajian adalah *mixed semi diurnal* atau pasang surut campuran cenderung ganda.

Tabel 3. Elevasi Muka Air

Tahun	Referensi Elevasi Muka Air	
	MSL = 0	LLWL = 0
Highest Water Spring (HWS)	0,99	1,85
Mean High Water Spring (MHWS)	0,78	1,63
Mean High Water Level (MHWL)	0,35	1,20
Mean Sea Level (MSL)	0	0,85
Mean Low Water Level (MLWL)	-0,36	0,49
Mean Low Water Spring (MLWS)	-0,64	0,21
Lowest Low Water Level (LLWL)	-0,85	0

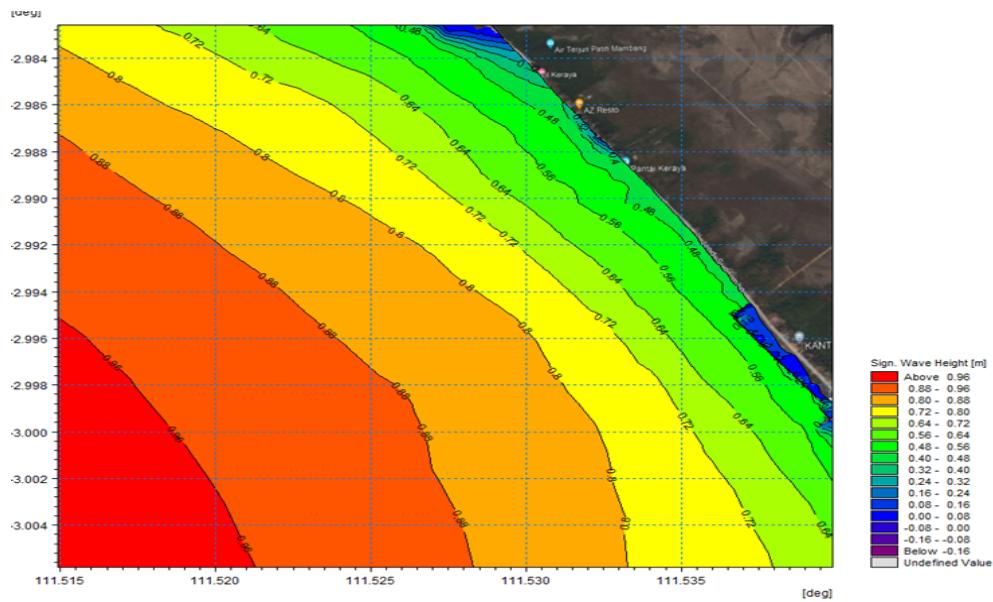
Analisis Gelombang Desain

Permodelan gelombang menggunakan *software* MIKE21 modul *spectral wave* (SW). Modul *spectral wave* merupakan sistem model numerik untuk mensimulasikan pembangkitan kehilangan energi dan penjalaran gelombang angin (*wind generated wave*) dan gelombang periode panjang (*swell*) di pantai dan lepas pantai.



Gambar 6. Domain mesh model transformasi gelombang di perairan Pantai Keraya

Tinggi gelombang yang diperoleh dari permodelan adalah tinggi gelombang ekstrim signifikan (H_s) yaitu 0,51 m untuk lokasi rencana bangunan tipe pemecah gelombang (*breakwater*) dan 0,40 m untuk lokasi rencana revetment.



Gambar 7. Pola Gelombang Ekstrim Pola Ulang 100 Tahun di Pantai Keraya

Perhitungan Struktur Bangunan

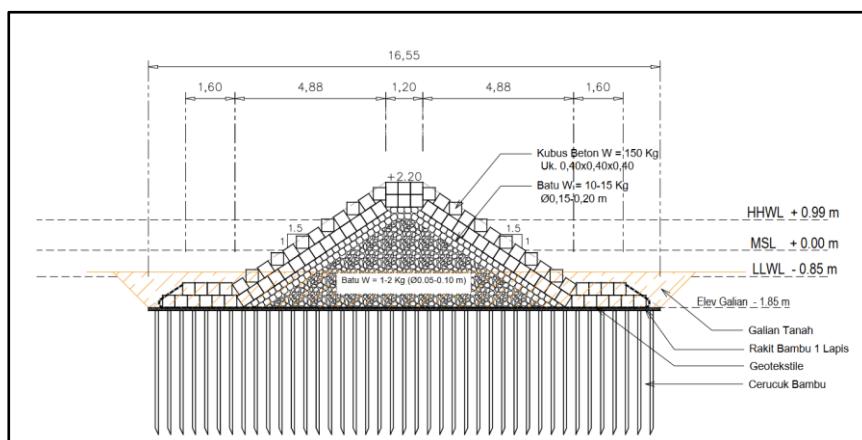
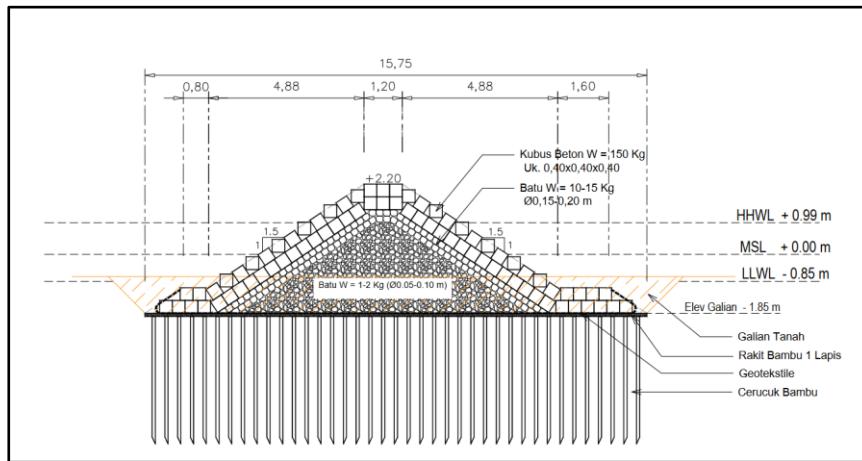
Menurut Triatmodjo (2020) dalam menentukan tinggi gelombang desain (H_d) harus memperhatikan tipe konstruksi bangunan. Untuk bangunan kaku, seperti dinding beton atau kaison, dimana keruntuhan bangunan dapat berakibat fatal dan bangunan tidak bisa diperbaiki lagi, maka tinggi gelombang rencana dipilih gelombang besar yang biasanya diambil $H_1 = 1,68 \times H_s$. Untuk bangunan semi kaku, seperti turap tinggi gelombang rencana dipilih antara $H_{10} = 1,28 \times H_s$ sampai H_1 . Untuk bangunan fleksibel tinggi gelombang rencana bervariasi dari menggunakan H_5 sampai H_s . Pada studi kasus di Pantai Keraya, bangunan pengaman pantai yang akan direncanakan adalah bangunan yang fleksibel, maka untuk gelombang desain (H_d) cukup menggunakan H_5 .

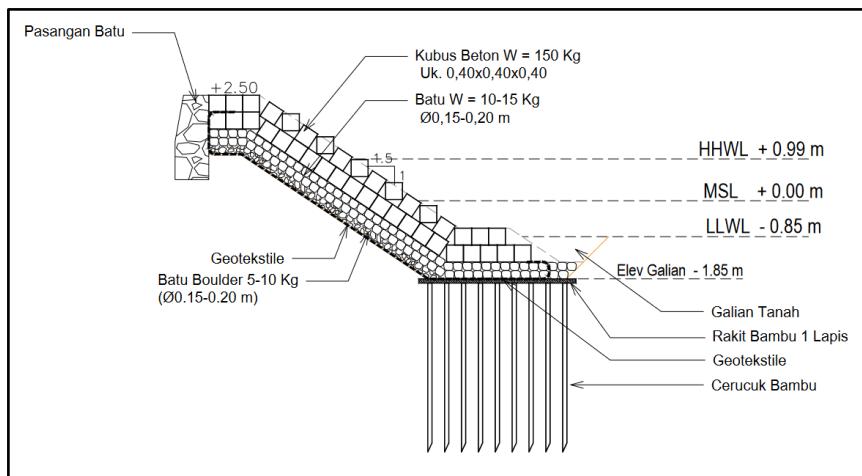
Tabel 4. Parameter desain pengaman pantai

No.	Parameter	Bangunan	
		Pemecah Gelombang	Revetment
1	Elevasi muka air rencana (DWL)(m)	0,67	1,28
2	Tinggi rayapan (R_u)(m)	0,87	0,71
3	Tinggi jagaan (<i>freeboard</i>)(m)	0,66	0,50
4	Elevasi puncak struktur terhadap MSL	2,20	2,50
5	Tinggi gelombang desain (H_d)(m)	0,70	0,55
6	Massa jenis armor		
	- Kubus beton (kg/m^3)	2200	2200
	- Batu pecah (kg/m^3)	2600	2600
7	Pelindung Kaki Struktur		
	- Kubus beton	5,0	5,0
	- Batu pecah	1,9	1,9
8	Kemiringan struktur	1,5	1,5

Tabel 5. Rekapitulasi hasil perhitungan struktur

No.	Parameter	Bangunan	
		Pemecah Gelombang	Revetment
1	Lap. Primer (Kubus Beton)		
	- Berat armor minimum (Kg)	67	33
	- Berat armor yang digunakan (Kg)	150	150
	- Dimesi armor (m)	0,40	0,40
2	Lap. Sekunder (Batu)		
	- Berat armor minimum (Kg)	9	5
	- Berat armor yang digunakan (Kg)	10 - 15	10 - 15
	- Dimesi armor (m)	0,15 – 0,20	0,15 – 0,20
3	Lebar Puncak Struktur	1,20	1,20
4	Tebal Lapis Lindung	0,80	0,80
5	Pelindung Kaki Struktur		
	- Berat armor (Kg)	150	150
	- Dimesi armor (m)	0,40	0,40

**Gambar 8.** Tipikal bangunan pemecah gelombang (bagian kepala)**Gambar 9.** Tipikal bangunan pemecah gelombang (bagian lengan)

**Gambar 10.** Tipikal revetment

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Berdasarkan hasil identifikasi dan analisis terhadap data-data yang telah didapatkan, maka kesimpulan dari advis teknis ini adalah sebagai berikut:

1. Permasalahan yang terjadi di Pantai Keraya adalah erosi pantai yang mengancam kawasan pemukiman masyarakat dan prasarana jalan yang menghubungkan dua Kabupaten;
2. Berdasarkan data pasang surut nilai tunggang pasang sebesar 1,85 m dengan tipe pasang surut adalah pasang surut campuran cenderung ganda;
3. Arah gelombang dominan berasal dari tenggara dengan probabilitas kejadian rata – rata adalah sekitar 54,08 %.
4. Tinggi gelombang signifikan (H_s) berkisar sebesar 0,40 – 0,51 m dengan periode 3,64 detik untuk masing – masing lokasi rencana bangunan. Untuk desain struktur pengaman pantai di Pantai Keraya menggunakan tinggi gelombang desain (H_d), yaitu H_5 adalah sebesar 0,70 m untuk alternatif breakwater dan 0,55 untuk alternatif revetment;
5. Desain bangunan pantai dengan menggunakan alternatif revetment diperoleh tinggi struktur +2,50 m dari MSL = 0, dengan berat armor kubus lapisan primer 150 kg, berat batu lapisan sekunder 10 – 15 kg dan lapisan armor kubus pelindung kaki 150 kg;
6. Desain bangunan pantai dengan menggunakan alternatif pemecah gelombang bagian kepala diperoleh tinggi struktur + 2,20 m dari MSL = 0, dengan berat armor kubus lapisan primer 150 kg, berat batu lapisan sekunder 10 – 15 kg dan lapisan armor kubus pelindung kaki 150 kg;

Saran

Sebagai dasar parameter perencanaan yang dilihat dari aspek geoteknik, perlu dilakukan survei geoteknik dan analisis daya dukung tanah untuk mengetahui stabilitas dan kondisi tanah di lokasi yang akan direncanakan dan dilaksanakan pembangunan struktur bangunan pengaman pantai.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Dinas PUPR Kabupaten Kotawaringin Barat yang telah berkontribusi selama identifikasi dan survei lapangan sehingga penelitian ini berjalan dengan lancar.

Daftar Referensi

- Alongi, D.M. 2008. Mangrove forests: resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 76 :1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.08.024>
- Bird, E. 2008. *Coastal Geomorphology: an introduction*, 2nd Edition. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
- Day, J.W., R. R. Christian, D. M. Boesch, A. Yáñez-Arancibia, J. Morris, R. R. Twilley, L. Naylor, L. Schaffner, and C. Stevenson. 2008. Consequences of Climate Change on the Ecogeomorphology of Coastal Wetlands. *Estuaries and Coasts*, 31:477-491. <https://doi.org/10.1007/s12237-008-9047-6>
- Coastal Engineering Research Center (CERC). 1984. Shore Protection Manual Volume I & II, US Army Coastal Engineering Research Center, Wanshington
- Kulkarni, V. A., T. G. Jagtap, N. M. Mhalsekar and A. N. Naik. 2010. Biological and environmental characteristics of mangrove habitats from Manori creek, West Coast, India. *Environmental Monitoring Assessment*, 168:587-596. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1136-x>
- Marfai, M. A. and L. King. 2008. Tidal inundation mapping under enhanced land subsidence in Semarang, Central Java Indonesia. *Natural Hazards*, 44:93-109. <https://doi.org/10.1007/s11069-007-9144-z>
- Marshall, A., L. Robinson, and M.A. Owens. 2011. Coastal construction trends in response to coastal erosion: an opportunity for adaptation. *Journal Coastal Conservation*, 15:61-72. <https://doi.org/10.1007/s11852-010-0120-5>
- Ongkosongo, O. S. R. 2010. *Kuala, Muara Sungai dan Delta*. Lembaga ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta.
- Parvin, G. A., F. Takahashi and R. Shaw. 2008. Coastal hazards and community-coping methods in Bangladesh. *Journal Coastal Conservation*, 12:181-193. <https://doi.org/10.1007/s11852-009-0044-0>
- Triyatmodjo, B., 2020. *Perencanaan Bangunan Pantai*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Van Zuidam, R.A., 1985, *Guide to Geomorphologic Aerial PhotographysInterpretation and Mapping*, Enschede The Netherlands, 325 h.
- Ward, P. J., M. A. Marfai, F. Yulianto, D. R. Hizbaron and J. C. J. H. Aerts. 2011. Coastal inundation and damage exposure estimation: a case study for Jakarta. *Natural Hazards*, 56:899-916. <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9599-1>