

Evaluasi Pendangkalan Pelabuhan Penyeberangan Bira Sulawesi Selatan Dan Usaha Untuk Menanganinya

Evaluation of Siltation Bira Ferry Port South Sulawesi And Undertake To Solve It

Andi Muhammad Rezky^{1*)}, Nur Yuwono¹, Radiana Triatmadja¹

¹Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

Article info: Research Article

DOI:

10.21776/ub.pengairan.2022.013.02.08

Kata kunci:

pendangkalan; pemecah gelombang;
transpor sedimen

Keywords:

breakwater; sediment transport; siltation

Article history:

Received: 08-06-2022

Accepted: 27-09-2022

*)Koresponden email:

deonatio@mail.ugm.ac.id

(c) 2022 Andi Muhammad Rezky, Nur Yuwono, Radiana Triatmadja



Creative Commons License

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Abstrak

Pelabuhan Penyeberangan Bira mengalami pendangkalan di areal mulut kolam pelabuhan yang menyebabkan kandasnya kapal apabila air sedang surut, sehingga aktivitas lalu lintas kapal menjadi terganggu dan menyebabkan kerugian akibat turunnya kinerja operasional pada pelabuhan. Tujuan penelitian ini untuk menyelidiki penyebab pendangkalan yang terbentuk di kolam labuh dan memberikan solusi penanganan yang dapat diterapkan. Metode yang digunakan yaitu dengan menganalisis karakteristik arus, perubahan elevasi dasar kolam dengan data hasil pengukuran batimetri, dan melakukan pengolahan data pasang surut menggunakan metode *least square*. Hasil batimetri menunjukkan peningkatan elevasi dasar pada areal mulut kolam pelabuhan setinggi 3 m dengan posisi letak terjadinya peningkatan elevasi memiliki ciri transpor sedimen menyusur pantai. Saat kondisi pasang kecepatan aliran arus berkisar 0,0149–0,0212 m/s dengan arah aliran selatan-utara, sedangkan pada kondisi surut kecepatan aliran berkisar 0,0147–0,0178 m/s dengan arah aliran utara-selatan. Sampel sedimen berupa pasir dengan persentase 70,02%–86,74%. Bangunan pelindung yang dipilih adalah *detached breakwater* sebanyak dua buah dengan mempertimbangkan pembentukan tombolo. Bangunan pemecah gelombang direncanakan dengan panjang 50 m, lebar *gap* 25 m, dan tinggi mercu 4,2 m dari muka laut dengan kala ulang 25 tahun.

Abstract

Bira port experienced siltation at the mouth of the port basin, which caused the vessel to run aground as the water receded, so vessel traffic activities were disrupted and caused losses due to reduced operational performance. This study aimed to investigate the causes of the siltation that formed in the port basin and provide a solution that could be applied. The method consists of analyzing the characteristics of the current, rise of elevation of the bottom of the basin from data bathymetric measurements, and processing tidal data using the least squares method. Bathymetry shows an increased bottom elevation at the mouth of the harbor basin up to 3 m, with the position of siltation having the characteristics of longshore transport. At high tide, current flow velocity varies from 0.0149–0.0212 m/s in the south-north direction, while at low tide, the flow velocity varies from 0.0147–0.0178 m/s in the north-south direction. Sediment samples in the form of sand with a percentage of 70.02%–86.74%. Protection buildings chosen are two detached breakwaters with the probability of tombolo formation. Breakwater is planned with a length of 50 m, 25 m gap and height of 4.2 m from sea level with a return period of 25 years.

Kutipan: Rezky, A. M., Yuwono, Nur., Triatmadja, R. (2022). Evaluasi Pendangkalan Pelabuhan Penyeberangan Bira Sulawesi Selatan dan Usaha Untuk Menanganinya. *Jurnal Teknik Pengairan: Journal of Water Resources Engineering*, 13(2), 219-231. <https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2022.013.02.08>

1. Pendahuluan

Indonesia adalah negara yang terdiri dari beberapa pulau, oleh karena itu aktivitas lalu lintas antar pulau menjadi faktor yang sangat penting untuk kehidupan sosial, ekonomi, maupun pemerintahan. Aktivitas lalu lintas manusia dan barang antar pulau dapat dilakukan melalui udara dan laut, sehingga bidang pelayaran dan penerbangan perlu perhatian lebih khususnya untuk negeri yang berkepulauan.

Kabupaten Bulukumba memiliki pelabuhan yang bergerak di bidang pelayaran angkutan penumpang. Pelabuhan tersebut memiliki potensi besar dalam bidang pariwisata, baik itu alam maupun budaya. Pada kolam Pelabuhan Bira terjadi peningkatan elevasi dasar laut yang menyebabkan kandasnya kapal, sehingga terjadi penurunan kinerja operasional terhadap aktivitas kapal pada pelabuhan tersebut. Salah satu proses alam yang berada di wilayah pantai adalah penumpukan sedimen, proses ini disebabkan oleh perpindahan sedimen yang terbawa ke tempat lain secara simultan mengikuti faktor penggerakannya (Kusnida et al. 2020).

Pelabuhan Bira merupakan pelabuhan dengan model kolam labuh perairan tertutup yang dibatasi oleh bangunan pengaman pantai dengan alur masuk–keluar pelabuhan dengan sistem satu jalur. Areal tertutup menyebabkan kombinasi aliran arus yang menyebabkan sedimen tidak dapat keluar akibat konstruksi eksisting (CV Elriguaz 2020). Pengaruh bentuk dari geometri pelabuhan sangat berpengaruh terhadap pola aliran yang berperan dalam transportasi sedimen dan pola pengendapan dalam kolam labuh (Sharaan et al. 2018). Pergerakan air pasang mempunyai peran besar terhadap tingkat sedimentasi dan sedimen yang tersuspensi, masing–masing pasang surut memiliki karakteristik tersendiri yang mempengaruhi besaran perpindahan massa air yang membawa sedimen (Wisha and Heriati 2016). Perubahan konsentrasi sedimen memiliki hubungan konsisten dengan perubahan kecepatan pasang surut, dimana distribusi konsentrasi sedimen menurun seiring dengan penurunan kecepatan aliran (Wen, Pang, and Zhang 2018). Sedimen yang bergerak dapat disebabkan oleh pengaruh aliran arus yang menjadi lebih tenang atau kecepatan aliran yang mulai merendah dan mengendapkan sedimen yang dibawanya (Wisha et al. 2017). Biaya pengerukan sering kali mahal dan sering meningkat, salah satu faktor yang mempengaruhi biaya pengerukan merupakan mobilisasi, peraturan pemeliharaan lingkungan, ataupun bahan bakar akibat inflasi (Frittelli 2019). Biaya pengerukan yang berkelanjutan dapat menimbulkan ancaman ekonomi terhadap pelabuhan, karena produktivitasnya dapat gagal untuk menyeimbangkan akumulasi biaya (Lojek, Goseberg, and Schlurmann 2021).

Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan analisis terhadap elevasi dasar pada kolam labuh pelabuhan yang bertujuan mengetahui penyebab terjadinya pendangkalan di Pelabuhan Bira dan memberikan rekomendasi alternatif sebagai pertimbangan dalam menangani pendangkalan yang terjadi pada kolam pelabuhan.

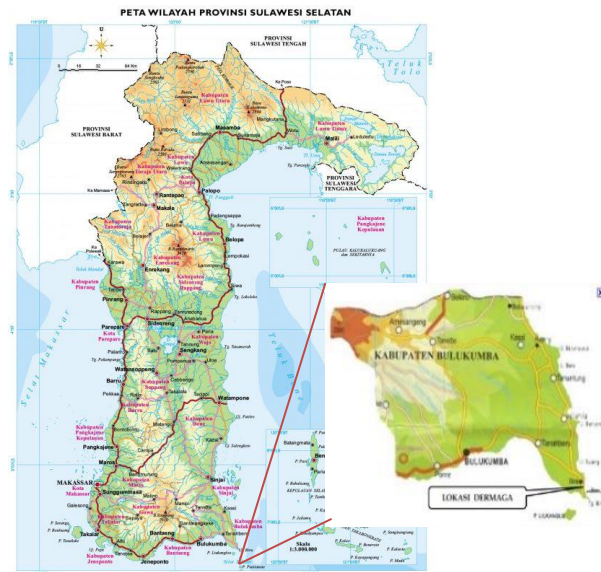
2. Bahan dan Metode

2.1. Lokasi penelitian

Secara geografis Kabupaten Bulukumba berada di sebelah tenggara Kota Makassar dengan luas wilayah 1.154,67 km². Lokasi penelitian berada di Pelabuhan Penyeberangan Bira yang terletak di Kecamatan Bonto Bahari, Kabupaten Bulukumba Propinsi Sulawesi Selatan (Gambar 1).

2.2. Pengumpulan data

Data yang digunakan merupakan data terakhir yang diperoleh dari Balai Pengelola Transportasi Darat (BPTD) Wilayah XIX Provinsi Sulawesi Selatan dan Barat. Data didapatkan dari laporan penyusunan SID Pelabuhan tahun 2015 dan laporan studi evaluasi sedimentasi kolam pelabuhan Bira tahun 2020, data yang digunakan berupa hasil survei topografi, batimetri, oseanografi, dan eksisting pelabuhan.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian.

2.3. Komponen pasang surut

Data pasang surut didapatkan dari hasil pengamatan oleh CV Tri Manunggal Jaya menggunakan *Peilschaal* selama 15 hari dengan interval waktu 60 menit. Pelaksanaan survei pasang surut minimal dilakukan selama 15 hari agar mendapatkan pasang purnama, untuk menggambarkan fluktuasi muka air laut dengan baik maka pengukuran harus dilakukan dengan interval 30–60 menit (Yuwono 2021). Panjang pengamatan akan menentukan karakteristik dan informasi data yang diperoleh dari suatu pengamatan yang akan berpengaruh dengan *aliasing* (Supriyono et al. 2020). Penyebab terjadinya pasang surut diakibatkan oleh posisi letak bumi terhadap benda yang berada di luar angkasa seperti bulan dan matahari, dimana pasang surut sangat tergantung dari posisi lokasi di bumi dan deklinasi (Celiana 2019). Data hasil pengamatan tersebut diolah menggunakan formula *Least Square* untuk mendapatkan tipe dan kurva pasang surut. Metode ini sering digunakan setelah ditemukan alat penghitung numeris modern karena proses perhitungan matriks dengan dimensi matriks yang cukup besar (Jaka Gumelar et al. 2016).

2.4. Tipe pasang surut

Pasang surut di beberapa daerah tidak akan sama, tergantung dari lokasi dan waktunya. Umumnya pasang surut dibedakan menjadi beberapa tipe, yaitu: pasang surut harian tunggal, harian ganda, campuran condong harian tunggal, dan campuran condong harian ganda (Nur Yuwono 2021). Dari hasil analisis *least square* akan didapatkan konstituen gelombang pasang surut yang selanjutnya digunakan dalam penentuan klasifikasi pasang surut dalam formula *Formzhal Number* (Muhammad Yoganda et al. 2019).

$$F_N = \frac{A_{K1} + A_{O1}}{A_{M2} + A_{S2}} \quad (1)$$

dengan:

F_N : formzhal number,

A : amplitudo,

$K1$: komponen pasut tunggal yang disebabkan oleh gaya tarik bulan dan matahari,

$O1$: komponen pasut tunggal yang disebabkan oleh gaya tarik bulan,

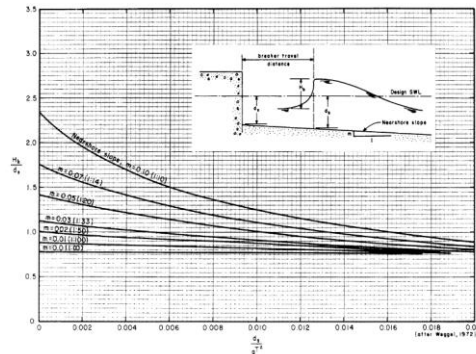
$M2$: komponen pasut ganda yang disebabkan oleh gaya tarik bulan,

$S2$: komponen pasut ganda yang disebabkan oleh gaya tarik matahari.

2.5. Gelombang rencana dan stabilitas lapis lindung

Tinggi gelombang rencana yang digunakan dalam perencanaan adalah tinggi gelombang maksimum yang dapat terjadi, kecuali gelombang tersebut telah pecah sebelum mencapai lokasi yang ditinjau. Tinggi gelombang pecah mempunyai keterkaitan besar dengan kedalaman perairan dan

kelandaian pantai. Tinggi gelombang pecah dapat ditentukan oleh hubungan antar versus (US Army Corps of Engineers 1984) (Gambar 2).



Gambar 2. Hubungan antara versus

Stabilitas lapis lindung pada pemecah gelombang sisi miring dilakukan berdasarkan dengan jenis batu yang digunakan, setiap batu memiliki berat jenis yang berbeda. Pada bangunan tumpukan batu hanya stabilitas hidraulik yang berkerja (US Army Corps of Engineers 1984).

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta} \quad (2)$$

Keterangan:

- W : berat batu lapis lindung (tf),
- γ_a : berat volume air (tf/m³),
- γ_r : berat volume unit armor (tf/m³),
- H : tinggi gelombang rencana (m),
- θ : sudut kemiringan sisi pemecah gelombang,
- K_D : koefisien stabilitas.

3. Hasil dan Pembahasan

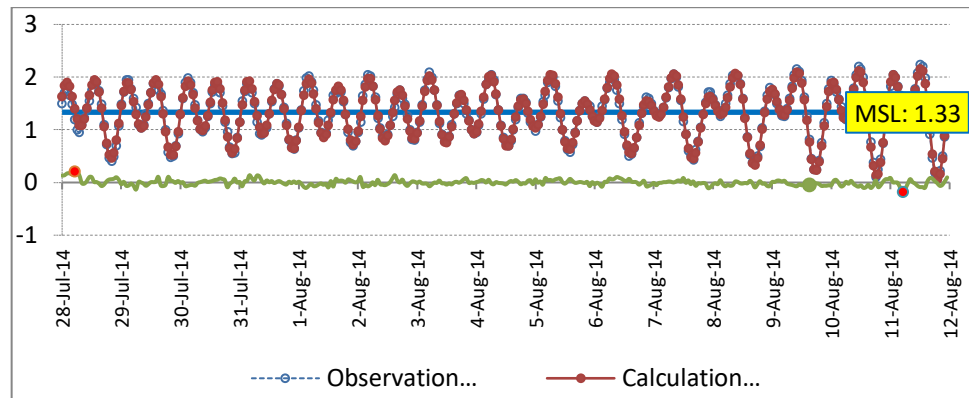
3.1. Analisis data pasang surut

Data pasang surut didapatkan dari hasil pengamatan oleh CV Tri Manunggal Jaya pada tahun 2014 dengan interval waktu 1 jam selama 15 hari. Pembacaan elevasi muka air berdasarkan acuan titik nol rambu pasang surut (*peilschaal*). Data yang berhasil didapatkan selanjutnya dilakukan perhitungan amplitudo dan beda fasa 9 konstanta pasang surut. Dalam analisis ini dilakukan analisis pemisah komponen dengan menggunakan metode *least square*. Komponen konstanta pasang surut hasil analisis data pengamatan sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

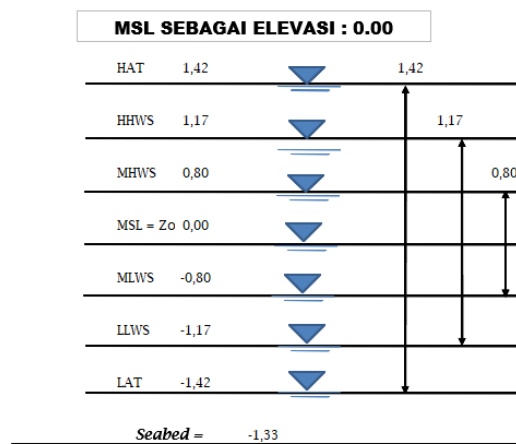
Tabel 1. Konstanta pasang surut di Pelabuhan Penyeberangan Bira

Simbol	Periode	Phase	Amplitudo
M2	12,42	306,19	0,58
S2	12,00	292,96	0,22
N2	12,66	165,31	0,11
K2	11,97	137,37	0,06
K1	23,93	179,26	0,21
O1	25,82	203,58	0,16
P1	24,07	333,78	0,07

Data tersebut jika di plot dalam bentuk grafik maka akan menunjukkan kurva pasang surut (*tidal envelope*) dan tunggang pasang surut yang disajikan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Perbandingan grafik elevasi muka air hasil pengamatan di lapangan dan prediksi di Pelabuhan Bira

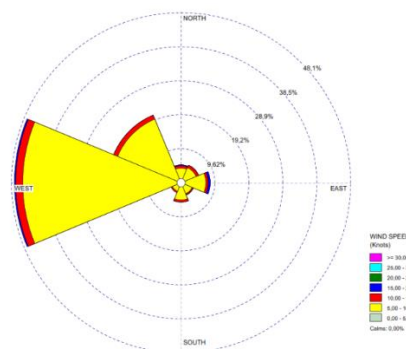


Gambar 4. Tunggang pasang surut di lokasi studi.

Setelah mendapatkan konstituen gelombang pasang surut, selanjutnya dilakukan penentuan klasifikasi pasang surut dengan menggunakan formula *Formzhal Number*. Hasil Perhitungan FN yang didapatkan adalah 0,456, dimana nilai $0,25 < FN < 1,5$ yang berarti dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut dengan ketinggian yang berbeda yang berbeda (*prevailing semi diurnal*/pasang surut campuran condong harian ganda).

3.2. Analisis angin

Data angin yang digunakan diperoleh dari Stasiun Meteorologi Sultan Hasanuddin yang didapatkan secara daring dan diolah menggunakan *WRPlot View*. Penggolongan data yang didapatkan berdasarkan jumlah kecepatan dan arah angin tiap tahun, data yang digunakan adalah data hasil pengamatan stasiun selama 5 tahun terakhir, mulai dari 2016 sampai dengan 2020. Berikut data angin yang disajikan dalam bentuk *Windrose*.



Gambar 5. Mawar angin harian dari Stasiun Meteorologi Sultan Hasanuddin.

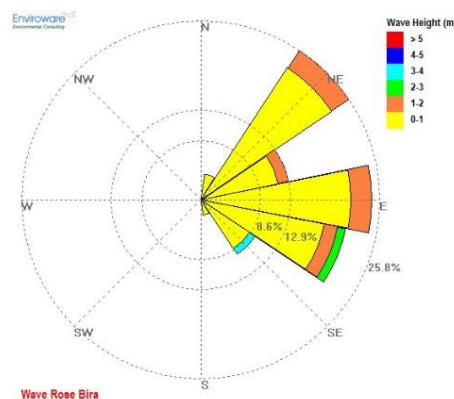
Tabel 3. Hasil pengukuran arus kondisi surut

No.	Koordinat				Jarak (m)	Selang Waktu (det)	Kecepatan Arus (m/det)	Arah (°)
	x	Y	X'	Y'				
1	219690	9379612	219697	9379581	31,8	1788	0,0178	1668
2	219697	9379581	219698	9379553	28,0	1804	0,0155	179
3	219698	9379553	219694	9379528	25,3	1727	0,0147	189
4	219694	9379528	219701	9379504	25,1	1664	0,0151	166
5	219701	9379504	219701	9379477	27,0	1706	0,0158	182
Kecepatan Rerata							0,01578	

Pada sisi luar kolam labuh saat kondisi pasang terjadi aliran arus yang bergerak dari arah selatan–utara dengan kecepatan rerata 0,017 m/s, sedangkan pada kondisi surut arus bergerak dari arah utara–selatan dengan kecepatan rerata 0,0157 m/s. Dengan ini diketahui bahwa arus di lokasi studi akan terbentuk arus menyusur pantai, namun akibat dari bentuk pelabuhan menyebabkan perubahan arah aliran arus mengikuti bentuk geometri pemecah gelombang sehingga aliran arus masuk melalui mulut pelabuhan saat pasang dan keluar saat kondisi surut. Proses arus dengan kondisi pasang surut berperan untuk mempengaruhi kegiatan sedimentasi pada kolam pelabuhan terutama pada saat kondisi peralihan.

3.4. Peramalan gelombang

Untuk meramalkan tinggi gelombang di laut dalam dibutuhkan data angin dan *fetch* efektif. Data angin yang didapatkan sebelumnya dikoreksi menjadi faktor tegangan angin (*wind-stress factor*) sebelum melakukan analisis tinggi gelombang di laut dalam. Dari hasil konversi tersebut selanjutnya dilakukan analisis peramalan gelombang di laut dalam menggunakan rumus *fetch limited* dan bantuan grafik peramalan gelombang, berikut besaran tinggi gelombang yang didapatkan disajikan dalam bentuk mawar gelombang (CV Elriguaz Utama 2020).

**Gambar 7.** Mawar gelombang laut dalam.

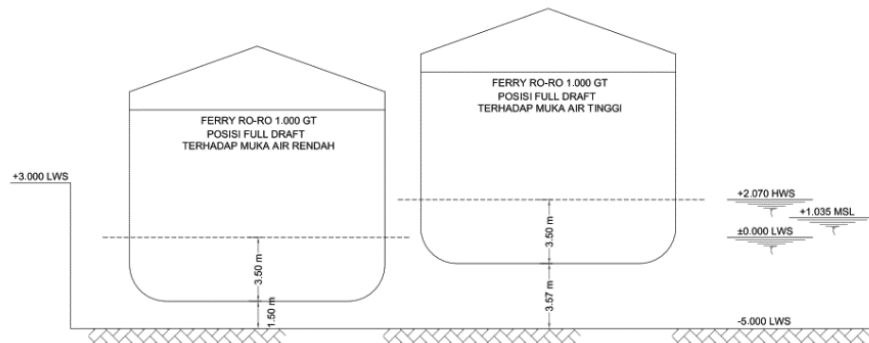
Gambar 7 menunjukkan bahwa pada lokasi studi memiliki besaran tinggi gelombang laut sebesar 4 m yang datang dari ada tenggara, namun persentase kejadian gelombang terbesar datang dari arah timur laut yang disusul dari arah timur dengan tinggi gelombang maksimum sebesar 1–2 m. Tinggi gelombang yang diperoleh dari hasil peramalan gelombang merupakan gelombang rencana yang mewakili tiap tahun, mengingat struktur pelabuhan yang dibangun memiliki umur konstruksi tertentu, maka tinggi gelombang yang digunakan merupakan tinggi gelombang periode ulang. Penentuan kala ulang gelombang rencana didasarkan pada nilai daerah yang akan dilindungi dan jenis struktur bangunan yang digunakan, semakin tinggi nilai ekonomis daerah yang dilindungi maka makin besar pula kala ulang yang digunakan (Yuwono 2021).

3.5. Analisis sedimentasi

Perhitungan transpor sedimen dilakukan untuk menganalisis kemungkinan penyebab terjadinya pendangkalan di lokasi studi. Menurut hasil laporan pengerukan Bira tahun 2015, asumsi

pendangkalan di lokasi studi terjadi akibat adanya sedimen transpor yang terbawa oleh arus masuk ke dalam kolam pelabuhan. Angkutan sedimen terjadi akibat terbentuknya osilasi gelombang dengan aliran arus sejajar pantai dan olakan turbulensi gelombang pecah (Cristabella Pamfilia Sangari et al. 2019).

Pada tahun 2015 pengerukan dilakukan di lokasi studi dengan rencana kedalaman pengerukan – 5,00 m (LWL) dengan pertimbangan kolam pelabuhan dapat digunakan oleh kapal dengan bobot 1.000 GRT. Berikut rencana draft kapal pengerukan tahun 2015 (CV Tri Manunggal Jaya 2015).



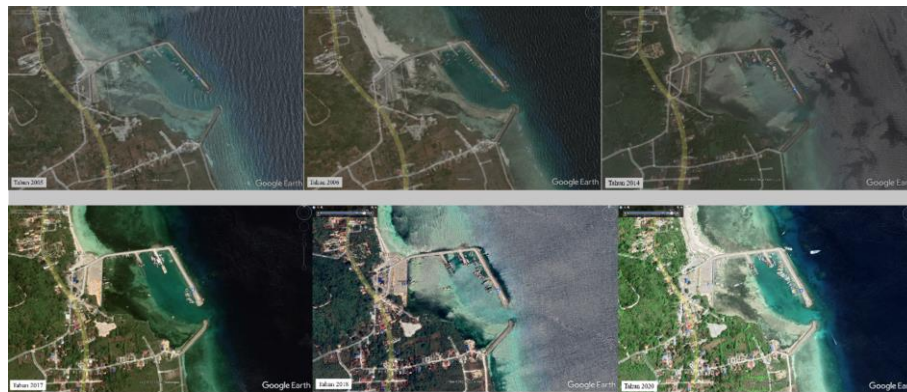
Gambar 8. Rencana draft kapal pengerukan tahun 2015.

Gambar 8 merupakan rencana draft kapal saat melakukan pengerukan tahun 2015, pada perencanaan diperkirakan kapal masih tetap dapat beroperasi pada pelabuhan saat air sedang surut dengan sisa jarak 1,5 m dari elevasi dasar kolam labuh. Pengambilan sampel sedimen dilapangan juga dilakukan untuk uji laboratorium, hal ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik sedimen yang berada di lokasi studi. Sampel yang telah diambil tadi kemudian akan dilakukan pengujian laboratorium untuk mengetahui karakteristik sedimen pada lokasi studi. Berikut hasil pengujian sampel sedimen yang disajikan pada Gambar 9 (CV Elriguaz Utama 2020).

		SUMMARY OF LABORATORY TEST RESULT TEST SOIL SAMPLES SOILS & MATERIALS LABORATORY						
STUDI SEDIMENTASI KOLAM LABUH PELABUHAN PENYEBRANGAN								
SAMPLE LOCATION				KABUPATEN BULUKUMBA				
SAMPLE NUMBER				SO-01	SO-02	SO-03	SO-04	SO-05
GRADATION	GRAVEL		(%)	1,91	4,25	0,40	2,49	4,46
	SAND		(%)	86,74	80,34	76,72	70,02	82,38
	SILT		(%)	10,81	14,67	21,78	26,17	12,53
	CLAY		(%)	0,54	0,74	1,10	1,32	0,63
	GRADING PASS NO. 10 (2.00 mm)		(%)	68,92	91,66	96,18	90,76	90,19
	GRADING PASS NO. 40 (0.425 mm)		(%)	33,95	77,92	63,51	57,37	51,89
	GRADING PASS NO. 200 (0.075 mm)		(%)	11,35	15,41	22,88	27,49	13,16
SPECIFIC GRAVITY		G _s		2,509	2,697	2,686	2,520	2,728
NATURAL STATE	NATURAL WATER CONTENT	W _n	(%)	56,696	45,964	39,389	38,873	32,080
Density Weight	Dry Weight		kg/cm ³	1,815	1,906	2,017	2,093	1,990
								OFF
								1

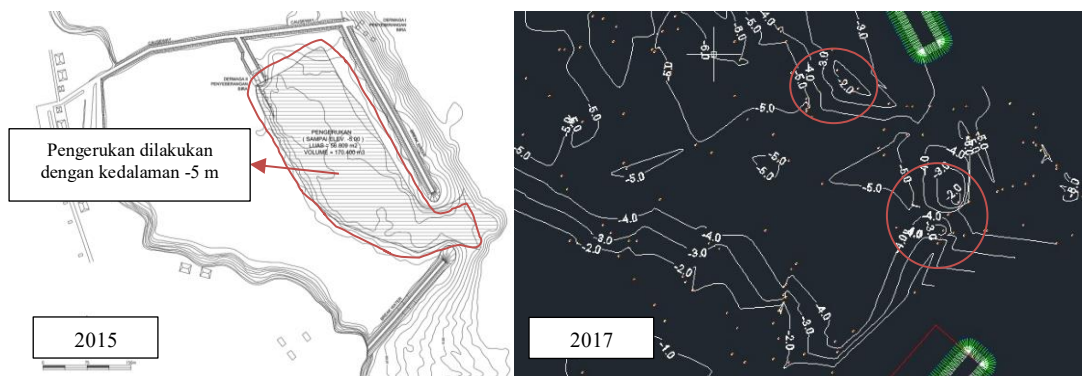
Gambar 9. Hasil pengujian sampel sedimen di lokasi studi.

Dari hasil pengujian sampel sedimen, diketahui bahwa sedimen pada lokasi studi berupa pasir dengan persentase berkisar antara 70,02%-86,74% dengan berat jenis antara 2,509–2,728 dan memiliki kadar air sebesar 32,080%-56,696% serta berat kering 1,815%-2,017%. Berdasarkan hasil uji laboratorium pada sampel sedimen, sampel sedimen termasuk dalam klasifikasi pasir, yang menunjukkan bahwa peluang material yang masuk ke dalam kolam pelabuhan sangat kecil datang dari laut dalam.



Gambar 10. Kondisi Pelabuhan dari tahun 2005 sampai 2020 (Google Earth).

Pada Gambar 10 tidak terlihat adanya aktivitas transport sedimen yang menyebabkan perubahan pada garis pantai, gambar-gambar tersebut merupakan hasil penangkapan satelit kondisi pelabuhan dari tahun 2005–2020. Hasil batimetri menunjukkan terjadi peningkatan elevasi dasar pada kolam pelabuhan. Berikut analisis batimetri pada lokasi studi.



Gambar 11. Hasil pengukuran batimetri.

Berdasarkan data hasil batimetri tahun 2017, terlihat perbedaan kontur laut pendangkalan yang terjadi setelah pengerukan. Pada Gambar 11 terlihat bahwa pada areal mulut pelabuhan terjadi peningkatan elevasi dasar laut menjadi -2 m, yang dimana sebelumnya pada tahun 2015 dilakukan pengerukan dengan kedalaman -5 m. Berdasarkan posisi dari peningkatan elevasi dasar kolam yang terjadi pada mulut pelabuhan, sedimen yang terendap bukanlah sedimen yang datang dari laut dalam, karena pada mulut pelabuhan terjadi penyempitan yang menyebabkan terbentuknya *bottle neck* (penyempitan alur) yang dimana terjadi akumulasi kecepatan arus pada zona tersebut sehingga apabila sedimen datang dari laut dalam maka posisi jatuhnya sedimen akan menjauhi mulut pelabuhan.

3.6. Sistem penanganan pelabuhan penyeberangan bira

Hasil analisis sedimentasi yang telah dilakukan sebelumnya memperlihatkan bahwa, pada Pelabuhan Penyeberangan Bira terjadi pendangkalan pada kolam labuh khususnya pada daerah mulut pelabuhan, ini menunjukkan bahwa pendangkalan disebabkan oleh sedimen yang menjaral menyusur pantai dan masuk melalui mulut pelabuhan. Untuk menangani hal tersebut maka dibutuhkan kriteria dalam hal penentuan bangunan pantai yang akan digunakan. Dalam studi ini ditetapkan pemilihan bangunan pantai berdasarkan tujuan sebagai berikut:

1. Dapat menahan laju transpor sedimen menyusur pantai
2. Tidak merubah garis pantai
3. Memiliki biaya operasional dan perawatan yang cukup murah

Berdasarkan tujuan yang telah diuraikan sebelumnya, maka dibuatlah tabel untuk mengetahui kesesuaian alternatif bangunan pantai terhadap kriteria penilaian sebagai berikut (Yuwono 2021).

Tabel 4. Kesesuaian bangunan pantai terhadap kriteria

No	Kriteria	Kesesuaian bangunan pantai	
		Pemecah gelombang lepas pantai	Pemecah gelombang sambung pantai
1	Dapat menahan laju transpor sedimen menyusur pantai	✓	✓
2	Potensi tidak merubah garis pantai	✓	–
3	Memiliki biaya operasional dan perawatan yang relatif murah	✓	✓

3.7. Kriteria perencanaan bangunan pantai

Berdasarkan hasil analisis sedimentasi menunjukkan bahwa penyebab pendangkalan yang terjadi kemungkinan besar berasal dari sisi selatan pelabuhan, praduga ini disimpulkan karena apabila sedimen yang datang dari utara maka seharusnya ada sedimen yang tertahan atau tertangkap pada sisi pemecah gelombang utara pelabuhan, oleh karena itu pembangunan pemecah gelombang diletakkan hanya pada bagian selatan pelabuhan. Pengadaan bangunan pantai di dirikan di atas daerah karang yang berada di daerah selatan pelabuhan dengan jumlah 2 buah dengan kedalaman – 1 m karena mempertimbangkan biaya pembangunan dan probabilitas terbentuknya tombolo. Perencanaan elevasi puncak pemecah gelombang disarankan agar tidak memperkenankan air melimpas melewati pemecah gelombang (*non-overtopping breakwater*) agar limpasan air tidak mengganggu sedimen yang terendap di belakang pemecah gelombang. Kala ulang yang digunakan dalam penelitian ini merupakan kala ulang 25 tahun karena sudah dianggap cukup untuk mewakili umur ekonomis pelabuhan. Penentuan kala ulang berdasarkan pedoman pemilihan gelombang rencana, karena jenis struktur bangunan merupakan struktur fleksibel dengan resiko tidak tinggi, maka dapat digunakan kala ulang 10–100 tahun (Yuwono 2021). Pada penelitian ini ditentukan pemecah gelombang sisi miring dengan tetrapod sebagai bangunan pengaman pantai yang akan dihitung dan diusulkan karena mempertimbangkan proses pengerjaan dan perbaikan yang relatif murah

3.8. Analisis kala ulang

Dengan diketahuinya data gelombang, maka dilakukan analisis gelombang representatif sebagai individual wave yang mewakili spektrum gelombang pada lokasi penelitian, sehingga didapatkan gelombang signifikan (H_s) yang akan digunakan dalam analisis kala ulang gelombang. Pada penelitian ini digunakan kala ulang 25 tahun, berikut tabel hasil analisis kala ulang menggunakan metode *fisher-tippett type I*.

Tabel 5. Tinggi dan periode gelombang dengan kala ulang 25 tahun

Kala Ulang	Hsr-1.28 sr	Hsr	Hsr+1.28 sr
Tahun	(m)	(m)	(m)
	0,54	1,38	2,21
25	Tsr-1.28 sr	Tsr	Tsr+1.28 sr
	(s)	(s)	(s)
	3,99	5,26	6,53

Berdasarkan Tabel 5 didapatkan tinggi gelombang signifikan dengan nilai 2,21 m dan periode 6,53 det, yang artinya gelombang tersebut sama atau terlampaui sekali dalam 25 tahun dengan tingkat keyakinan 80% (Probabilitas terlampaui 10%).

3.9. Muka air laut rencana

HAT merupakan permukaan laut tertinggi yang terjadi akibat keadaan astronomi dan meteorologi rata-rata (Supriyadi et al. 2018). Fenomena itu terjadi pada fase bulan purnama dimana posisi bumi,

bulan, dan matahari berada pada satu garis dan menyebabkan gaya tarik besar sehingga menghasilkan muka air laut tertinggi yang dapat terjadi (Rizqi et al. 2021), sehingga dalam penelitian ini digunakan *High Astronomical Tide* ($MSL = 0$) sebagai parameter dalam menentukan muka air laut rencana. Dalam perhitungan muka air laut rencana pada penelitian ini *storm surge* serta *wind set-up* tidak diperhitungkan dan *sea level rise* dianggap 0. Berdasarkan Gambar 4 maka 1,42 m digunakan sebagai muka air laut rencana.

3.10. Gelombang rencana

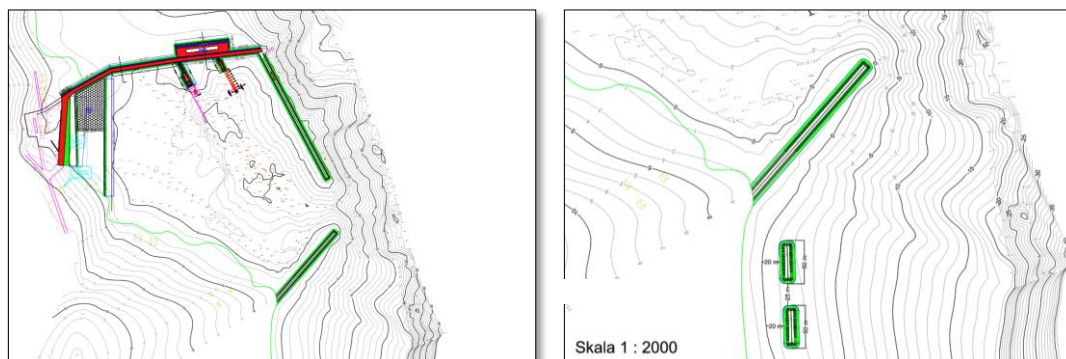
Tinggi gelombang rencana yang akan digunakan di lokasi perencanaan merupakan tinggi gelombang maksimum yang dapat terjadi, apabila gelombang telah pecah sebelum mencapai lokasi tempat dibangunnya bangunan pantai maka gelombang rencana yang akan digunakan adalah tinggi gelombang pecah (H_b). Tinggi gelombang pecah mempunyai kaitan besar terhadap kedalaman perairan (d_s) dan tingkat kelandaian dasar pantai (m). Berdasarkan pengukuran batimetri kemiringan di lokasi termasuk dalam kategori sangat landai ($1 : 20$), maka gelombang rencana yang digunakan adalah tinggi gelombang pecah ($H_D = H_b$). Perhitungan kedalaman perairan menggunakan acuan $MSL = 0,00$ m dengan bantuan grafik tinggi gelombang pecah (Gambar 2) maka didapatkan $H_b = 3,14$ m.

3.11. Struktur tumpukan batu

Dalam penentuan elevasi mercu digunakan tinggi jagaan (*free board*) sebesar 0,5 m dengan mempertimbangkan nilai rekomendasi minimal agar biaya pembangunan tidak terlalu besar. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai $I_r = 0,75$ sehingga didapatkan nilai $R_u = 2,3$ m. Kemiringan yang digunakan ditetapkan menggunakan $1 : 2$ (rekomendasi kemiringan tetrapod pada gelombang pecah). Dengan menjumlahkan nilai Run-up, tinggi jagaan, dan muka air laut rencana maka didapatkan elevasi mercu dengan nilai 4,2 m. Perhitungan berat batu berdasarkan jenis batu yang digunakan, pada perhitungan berat lapis lindung digunakan berat jenis beton bertulang dengan $KD = 4,5$. Jumlah butir batu minimum adalah 3 dengan koefisien lapis yang digunakan adalah 1,04 (tetrapod). Perhitungan untuk tebal lapis lindung kedua breakwater dan jumlah butir batu menggunakan rumus yang sama (Rumus no. 2), hanya saja beberapa nilai variabel diganti berdasarkan jenis batu yang digunakan, pada perhitungan lapis kedua breakwater digunakan baju dengan jenis batu alam.

3.12. Gambar pemecah gelombang

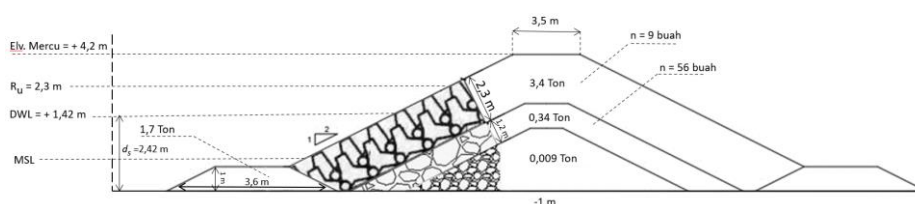
Lokasi breakwater dibangun di daerah karang yang berada di sekitar pelabuhan dengan jarak 20 m dari garis pantai dengan panjang 50 m dan *gap* 25 m. Perletakan pemecah gelombang yang lebih dekat dengan pantai akan lebih murah dan mudah di akses serta mereduksi terjangan gelombang sehingga probabilitas terbentuknya formasi tombolo akan menjadi lebih besar. Nilai indeks respon pantai yang didapatkan adalah 2,5 yang dimana pengendapan yang terjadi dapat membentuk sebuah tombolo sempurna (indeks respon pantai $> 1,5$).



Gambar 12. Layout tata letak pemecah gelombang eksisting dan usulan



Gambar 13. Visualisasi sedimentasi yang terbentuk



Gambar 14. Tampang melintang pemecah gelombang

Posisi perletakan bangunan pengaman pantai berada pada sisi selatan pelabuhan (Gambar 12), hasil dari perhitungan didapatkan panjang pemecah gelombang dengan nilai 50 m dengan lebar *gap* 25 yang diharapkan dapat membentuk tombolo akibat tereduksinya gelombang di belakang pemecah gelombang (Gambar 13). Berdasarkan perhitungan struktur, didapatkan elevasi pemecah gelombang + 4,2 m dari permukaan air laut rerata dengan lebar 3,5 m dan berat 3,4 ton, untuk spesifikasi lebih lanjut disajikan pada Gambar 14.

4. Kesimpulan

Pada historis penangkapan gambar satelit tidak menunjukkan adanya kemunduran garis pantai dan sedimen yang tertahan pada pemecah gelombang sisi utara pelabuhan. Posisi kenaikan elevasi pada areal mulut kolam pelabuhan yang di tunjukkan oleh hasil batimetri tahun 2017 memperkuat bahwa sedimen yang menyebabkan pendangkalan pada areal mulut kolam pelabuhan adalah transport sedimen menyusur pantai, karena apabila sedimentasi tersebut datang dari laut dalam maka posisi letak terjadinya peningkatan elevasi dasar menjauhi mulut pelabuhan akibat akumulasi kecepatan yang terbentuk dari penyempitan alur (*bottle neck*).

Jenis bangunan alternatif pengaman pantai yang terpilih sebagai rekomendasi untuk menangani pendangkalan yang terjadi adalah pengadaan *detached breakwater* (pemecah gelombang lepas pantai) *non-overtopping* sebagai struktur penangkap sedimen pada sisi luar kolam pelabuhan dengan mempertimbangkan terbentuknya tombolo. Perletakan pemecah gelombang yang lebih dekat dengan pantai akan lebih murah dan mudah di akses serta mereduksi terjangan gelombang sehingga probabilitas terbentuknya formasi tombolo akan menjadi lebih besar. Struktur bangunan pengaman pantai yang terpilih berupa 2 buah pemecah gelombang sisi miring dengan tata letak pada sisi selatan pelabuhan yang berjarak 20 m dari garis pantai dengan panjang bangunan 50 m dan lebar *gap* 25 m.

Berdasarkan hasil evaluasi tersebut maka dibutuhkan pengambilan sampel terhadap transport sedimen yang datang dari sisi utara dan selatan pelabuhan untuk melakukan analisis budget sedimen sejajar pantai, serta metode yang terpilih sebaiknya dibandingkan dengan metode *dredging* untuk melihat efektifitas dari segi biaya dan keberlanjutan metode dalam pengaplikasiannya di lokasi penelitian.

Daftar Pustaka

- Agung, Lucky Wahana, Noor Salim, and Arief Allhudien. 2017. "Evaluasi Pemecah Gelombang (Breakwater) Pada Pelabuhan Perikanan." *Jurnal Rekayasa Infrastruktur Hexagon* 2(1): 25–34.

- Celiana F. J. P. Soares, Abdul Wahid, and Jehunias L. Tanesib. 2019. "Analisis Pasang Surut Menggunakan Metode Least Square Di Wilayah Perairan Ende, Nusa Tenggara Timur." *Jurnal Fisika: Fisika Sains Dan Aplikasinya* 4(1): 1–7.
- CV Elriguaz Utama. 2020. *Studi Dan Evaluasi Sedimentasi Kolam Labuh Pelabuhan Bira*. Makassar.
- CV Tri Manunggal Jaya. 2015. *Laporan Akhir Penyusunan SID Pelabuhan Penyeberangan Bira Kabupaten Bulukumba Provinsi Sulawesi Selatan*. Makassar.
- Frittelli, John. 2019. "Harbor Dredging: Issues and Historical Funding." In *Congressional Research Service*, <https://www.whitehouse.gov/>.
- Gumelar, Jaka, Bandi Sasmito, and Fauzi Janu Amarrohman. 2016. "Analisis Harmonik Dengan Menggunakan Teknik Kuadrat Terkecil Untuk Penentuan Komponen - Komponen Pasut Di Wilayah Laut Selatan Pulau Jawa Dari Satelit Altimetri Topex.Poseidon Dan Jason-1." *Jurnal Geodesi Undip*: 194–203.
- Kusnida, Dida et al. 2020. "Analysis On Sedimentation Process At The Port Site Of Palabuhanratu-Sukabumi Regency." *Jurnal Geologi Kelautan* 18(2). <https://spbn.pusfatja.lapan.go.id/>.
- Lojek, Oliver, Nils Goseberg, and Torsten Schlurmann. 2021. "Projecting Hydro-Morphodynamic Impacts of Planned Layout Changes for a Coastal Harbor." *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering* 147(6).
- Nur Yuwono. 2021. *Teknik Pelindungan Dan Pengamanan Wilayah Pesisir*. Yogyakarta: Kanusius.
- Pamfilia Sangari, Cristabella, T. Jansen, and H. Tawas. 2019. "Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai Di Pantai Kalinaung Kabupaten Minahasa Utara." *Jurnal Sipil Statik* 7(8): 975–84. <http://laboseanografi.mipa.unsri.ac.id/>.
- Rizqi, Puteri, Devina Putri, and Idris Mandang. 2021. "Studi Perubahan Fase Bulan Terhadap Nilai Tunggang Pasang Surut Dan Slack Water Dari Penanggalan Hijriah." *Jurnal Geosains Kutai Basin* 4(2).
- Sharaan, Mahmoud et al. 2018. "Analysis of Sedimentation at the Fishing Harbor Entrance: Case Study of El-Burullus, Egypt." *Journal of Coastal Conservation* 22(6): 1143–56.
- Supriyadi, Eko, Siswanto, and Widodo, S Pranowo. 2018. "Analisis Pasang Surut Di Perairan Pameungpeuk, Belitung, Dan Sarmi Berdasarkan Metode Admiralty." *Jurnal Meteorologi dan Geofisika* 19(1).
- Supriyono, Widodo S Pranowo, Sofyan Rawi, and Bambang Herunadi. 2020. "Analisa Dan Perhitungan Pasang Surut Menggunakan Metode Admiralty Dan Metode Least Square (Studi Kasus Perairan Tarakan Dan Balikpapan)." *Jurnal Chart Datum* 1(1): 9–20.
- US Army Corps of Engineers. 1984. II *SHORE PROTECTION MANUAL*. Fourth. Washington DC: Coastal Engineering Research Center.
- Wen, Chun Peng, Qi Xiu Pang, and Rui Bo Zhang. 2018. "Analysis of Sediment Characteristics in Main Port Area of Lianyungang Port." In *Proceedings - 10th International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, ICMTMA 2018*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 405–8.
- Wisha, Ulung Jantama, Wisnu Arya Gemilang, Guntur Adhi Rahmawan, and Gunardi Kusumah. 2017. "Pola Sebaran Sedimen Dasar Berdasarkan Karakteristik Morfologi Dan Hidro-Oseanografi Menggunakan Model Interpolasi Dan Simulasi Numerik Di Perairan Utara Pulau Simeuluecut." *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology* 10(1): 29–40.
- Wisha, Ulung Jantama, and Aida Heriati. 2016. "Analisis Julat Pasang Surut (Tidal Range) Dan Pengaruhnya Terhadap Sebaran Total Sedimen Tersuspensi (TTS) Di Perairan Teluk Pare." *Jurnal Kelautan* 9(1): 23–31. <http://journal.trunojoyo.ac.id/jurnalkelautan>.
- Yoganda, Muhammad, Andy Hendri, and Imam Suprayogi. 2019. "Kajian Pasang Surut Dengan Metode Least Square Di Perairan Kabupaten Bengkalis." *Jom FTEKNIK* 6: 1–9.