

REVITALISASI PANTAI PEBUAHAN KABUPATEN JEMBRANA

Ni Nyoman Pujianiki¹

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Email: pujianiki@civil.unud.ac.id

ABSTRAK: Pantai Pebuahan merupakan salah satu pantai yang mengalami abrasi cukup tinggi. Hasil monitoring perubahan garis pantai di Pantai Pebuahan selama periode tahun 2004 sampai 2019 dengan satelit Landsat menunjukkan bahwa luas abrasi sebesar 145.549,32 m². Abrasi yang terjadi di Pantai Pebuahan merupakan dampak dari adanya PPN Pengambangan yang menyebabkan terhambatnya transpor sedimen. Beberapa upaya telah dilakukan oleh masyarakat setempat dan pemerintah untuk menanggulangi semakin mundurnya garis pantai di Pantai Pebuahan dengan struktur ramah lingkungan. Namun struktur revetment dan geotube berupa karung dan geotextile yang berisikan pasir, belum efektif. Untuk itu diperlukan bangunan struktur keras (*hard structure*) yang direncanakan berdasarkan karakteristik pantai Pebuahan. Pemecah gelombang yang terbuat dari dolos dipilih karena memiliki stabilitas hidraulik yang lebih baik. Hasil hitungan menunjukkan bahwa dimensi pemecah gelombang dengan dolos memiliki tinggi 4,74 m dan panjang 115 m dengan jarak antar pemecah gelombang adalah 57,5 m. Lebar puncak bangunan direncanakan 6,52 m dengan berat batu lapis pertama adalah 0,5 ton setebal 1,19 m, berat batu lapis kedua adalah 50 kg dengan tebal 0,62 m, sedangkan batu lapis inti didesain seberat 2,5 kg.

Kata kunci: Abrasi, Landsat, Pemecah Gelombang, Dolos

REVITALIZATION OF PEBUAHAN BEACH, JEMBRANA REGENCY

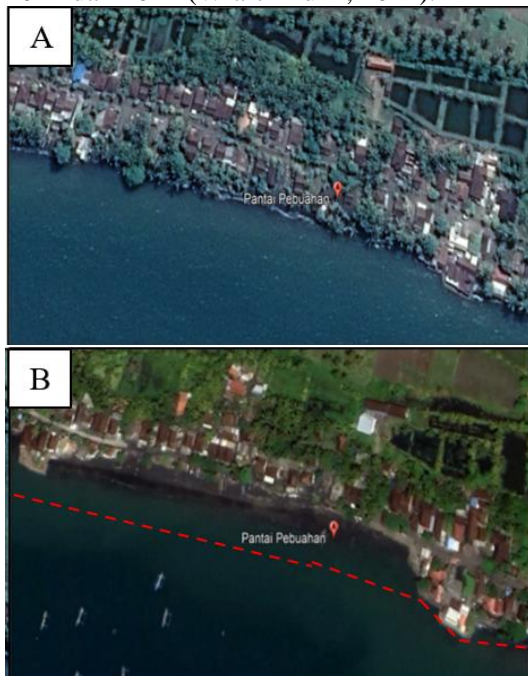
Abstract: Pebuahan Beach is one of the beaches that experienced high abrasion. The results of monitoring coastline changes at Pebuahan Beach during the period from 2004 to 2019 using remote sensing from the Landsat satellite show that the abrasion area is 145,549.32 m². Abrasion that occurred at Pebuahan Beach is the impact of the Pengambangan Port which causes the sediment transport to be hampered. Various efforts have been made by the local community and the government to overcome the increasingly retreating coastline at Pebuahan Beach with environmentally friendly structures. However, the revetment and geotube structures in the form of sacks and geotextiles filled with sand have not been effective. For this reason, a hard structure is needed which is planned based on the characteristics of the Pebuahan beach. The breakwater made of dolos was chosen because it has better hydraulic stability. The results of the analysis show that the dimensions of the breakwater with dolos have a height of 4.74 m and a length of 115 m with a distance between breakwaters of 57.5 m. The width of the top of the building is planned to be 6.52 m with the weight of the first layer of stone being 0.5 tons, 1.19 m thick, the weight of the second layer of stone being 50 kg and 0.62 m thick, while the core layer stone is designed to be 2.5 kg.

Keywords: Abrasion, Landsat, breakwater, dolos

PENDAHULUAN

Pantai Pebuahan telah mengalami perubahan garis pantai yang parah sejak pembangunan Pelabuhan Perikanan Nusantara Pengambenan. Sedimentasi yang terjadi di Pelabuhan PPN Pengambenan merupakan salah satu pemicu terjadinya erosi di Pantai Pebuahan (Pujianiki, 2016). Selain itu transpor sedimen yang terjadi di Pantai Pebuahan cenderung bergerak meninggalkan pantai dan sedimen yang terdeposisi di Pantai Pebuahan lebih rendah, sehingga terjadi abrasi yang tinggi.

Erosi pantai yang terjadi di pantai Pebuahan mengakibatkan kerusakan desa, rumah, dan jalan raya serta penurunan pariwisata. Tingkat kerusakan pantai diakibatkan karena tinggi gelombang 0,5 sampai 4,95 m, arus sejajar pantai yang kuat dengan kecepatan 0,5 sampai 0,65 m/s, dan pasang surut jangkauan hampir 3 m (Sulaiman and Hidayat, 2020). Dampak erosi Pantai Pebuahan dapat dilihat secara jelas pada Gambar 1 dimana terlihat perbedaan garis pantai di Pantai Pebuahan pada koordinat 8o20'27,58"-8o20'38,37" LS dan 114o32'14,44"-114o32'23,80" BT tahun 2014 dan 2021 (Wuartini dkk, 2022).



Gambar 1 (A) Garis Pantai Pebuahan Tahun 2014 dan (B) Garis Pantai Pebuahan Tahun 2021, Google Earth, 2021.

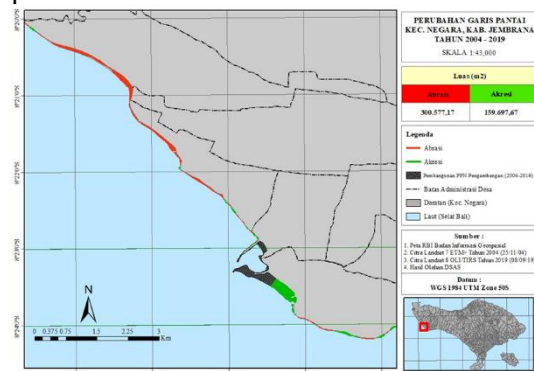
Penanganan erosi telah dilakukan oleh masyarakat setempat di kawasan Pantai

Pebuahan dengan membangun revetment dari tumpukan batu kali, pasir dan ban bekas namun tidak efektif untuk menahan kerusakan yang ditimbulkan akibat gelombang. Pada tahun 2018 Balai Litbang Pantai Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat melakukan uji coba efektifitas Geotube sebagai pemecah gelombang ambang rendah (pegar) di Pantai Pebuahan. Struktur Geotube tersebut berupa geotextile yang berisi pasir. Sama halnya dengan revetment yang dibangun masyarakat, pegas yang di uji cobakan tersebut juga belum dapat menangani erosi di Pantai Pebuahan dengan baik. Berdasarkan wawancara yang dilakukan terhadap beberapa nelayan dan warga sekitar, ketidakmampuan pegas dalam menangani erosi di Pantai Pebuahan disebabkan oleh kondisi pegas yang sudah tidak laik lagi, dimana 1 dari 4 pegas dalam kondisi robek karena terkena kapal nelayan sedangkan pegas lainnya juga dalam kondisi kempis. Dengan demikian perlu adanya perencanaan ulang bangunan pemecah gelombang yang dapat menangani erosi yang terjadi dengan memilih jenis bangunan yang lebih tepat dengan kondisi erosi di Pantai Pebuahan. Dikarenakan ketidakefektifan revetment dalam menahan erosi, diasumsikan sedimen datang sejajar dengan garis pantai terbawa oleh gelombang. Kemudian dipilihlah breakwater lepas pantai menjadi alternatif solusi untuk permasalahan erosi di Pantai Pebuahan.

Struktur pemecah gelombang selanjutnya direncanakan menggunakan bahan batu buatan untuk mengurangi penggunaan material batu alam (Nuryana dkk, 2017). Bahan batu buatan dolos dipilih karena stabilitas hidrauliknya sangat baik dan kekuatan strukturnya dapat diatur dengan perubahan kemiringan breakwater. Selain itu cara pemasangan dolos bisa dilakukan secara acak atau sembarang sehingga waktu pengerjaan lebih efisien (Burcharth and Liu, 1992). Dolos diciptakan pada tahun 1963, dan pertama kali digunakan pada tahun 1964 untuk memperbaiki kerusakan yang terjadi pada pemecah gelombang di Pelabuhan East London, Afrika Selatan. Bentuk dolos dikembangkan oleh Eric M. Merrifield, ahli teknik pada pelabuhan East London, Afrika Selatan (Mandi, 2015). Dolos dapat memperkuat pemecah gelombang pada

pelabuhan-pelabuhan di Amerika Selatan, Asia dan di beberapa bagian Eropa (Opinion, 2016). Hasil studi pengaruh breakwater dolos terhadap karakteristik gelombang badai harian oleh Yudhistira, 2018 menunjukkan bahwa tinggi gelombang pada saat tinggi muka air lebih rendah dari tinggi breakwater dapat menurunkan energi gelombang.

Perubahan garis pantai dapat diinvestigasi dengan menggunakan penginderaan jarak jauh. Dengan memanfaatkan penginderaan satelit tersebut kita dapat memperoleh informasi spasial permukaan bumi dalam kurun waktu tertentu yang kemudian dapat dianalisa dengan cepat. Salah satu satelit yang digunakan dalam penginderaan jarak jauh adalah satelit seri Landsat. Citra Landsat telah digunakan untuk mengetahui perubahan garis pantai utara Semarang Demak dengan tingkat kebenaran 93%, (Parman, 2010). Penelitian Lubis dkk, 2017 juga membuktikan bahwa citra penginderaan jauh memiliki tingkat akurasi yang baik. Monitoring perubahan garis pantai dengan Landsat juga telah dilakukan untuk meneliti perubahan garis pantai di pantai Batu Mejan (Pujianiki dkk, 2021). Hasan dkk, 2020 melakukan investigasi perubahan garis pantai dengan satelit Landsat di Kabupaten Jembrana dari Tahun 2004 sampai dengan tahun 2019 dan membuktikan adanya dampak pembangunan Pelabuhan Pengambengan terhadap erosi yang terjadi di pantai Pebuahan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

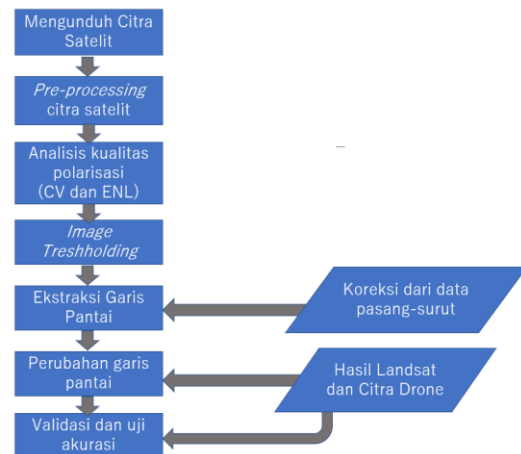


Gambar 2. Peta perubahan garis pantai periode tahun 2004 sampai 2019 di Kabupaten Jembrana. (Sumber: Dinas Provinsi Bali, 2020)

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa Pantai Pebuahan telah mengalami abrasi yang sangat parah namun sebaliknya akresi terjadi di Pelabuhan Pengambengan.

TEORI DAN METODE

Penelitian yang serupa di lakukan oleh Hasan dkk, 2020 di pantai Pebuahan. Metode yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah sesuai dengan urutan kerja sebagai berikut: mengunduh citra SAR, pre-processing Citra SAR, analisis kualitas polarisasi citra, image thresholding, ekstraksi garis pantai, deteksi perubahan garis pantai dan validasi sesuai dengan Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir Analisa Perubahan Garis Pantai

Selanjutnya tahapan yang digunakan untuk merencanakan pemecah gelombang dolos adalah sebagai berikut:

Kecepatan Angin

Kecepatan angin pada ketinggian 10 meter merupakan acuan dalam peramalan gelombang. Jika ketinggian angin yang ditinjau tidak berada pada ketinggian tersebut, maka harus dilakukan koreksi dengan Persamaan 1 (Triatmodjo, 1999):

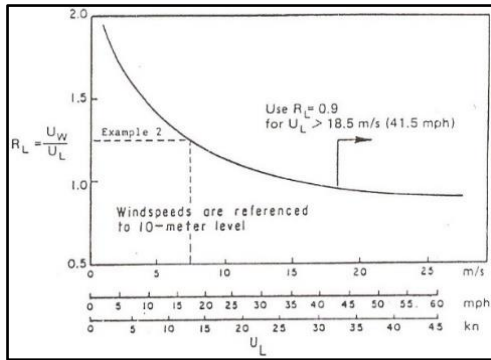
$$U_{10} = U_y \left(\frac{10}{y} \right)^{1/7} \quad (1)$$

Guna memperoleh besaran dari kecepatan angin di laut, pengukuran data angin di darat perlu dikonversi dengan faktor koreksi (R_L) yang disajikan pada Gambar 4.

$$R_L = U_w / U_L \quad (2)$$

Grafik dan gambar pembangkitan gelombang mengandung variabel U_A (koreksi tegangan angin). Persamaan 3 merupakan faktor tegangan angin berfungsi untuk mengkonversi kecepatan angin (Triatmodjo, 1999).

$$U_A = 0,71 U^{1,23} \quad (3)$$



Gambar 4 Hubungan Antara Kecepatan Angin di Laut dan Darat (sumber: Triatmodjo,1999)

Fetch

Fetch didefinisikan sebagai panjang daerah pembangkitan gelombang pada arah datangnya angin diukur dari jarak potensial pembentukan gelombang antara lokasi yang ditinjau dengan pulau-pulau yang menghadap ke lokasi tinjauan. Persamaan 4 adalah rumus menentukan Fetch efektif (Yuwono, 1992; Triatmodjo, 1999).

$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \tag{4}$$

Gelombang Rencana

Periode dan tinggi gelombang signifikan dihitung setelah diperoleh kecepatan angin rata-rata di atas muka air laut menggunakan persamaan (Triatmodjo, 2020):

$$H_s = \frac{0,0016 x \left(\sqrt{\frac{g F_{eff}}{U_A^2}} \right) x U_A^2}{g} \tag{5}$$

$$T_s = \frac{0,2857 x \left(\frac{g F_{eff}}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{3}} x U_A}{g} \tag{6}$$

Metode distribusi fisher tippett type I adalah metode yang digunakan untuk menghitung tinggi dan periode gelombang dengan kala ulang tertentu, adapun persamaannya sebagai berikut:

$$P(H_s \leq H_{SM}) = 1 - \frac{m-0,44}{Nt+0,12} \tag{7}$$

$$Ym = -\ln \{ -\ln P (H_s \leq H_{sm}) \} \tag{8}$$

$$\Sigma H_s = \sqrt{\frac{\Sigma (H_{sm} - \hat{H}_{sm})^2}{N-1}} \tag{9}$$

$$H_{sr} = \hat{A} \cdot Y_r + \hat{B} \tag{10}$$

$$\hat{A} = \frac{n(\Sigma H_{sm} \cdot Y_m) - (\Sigma H_{sm} \cdot \Sigma Y_m)}{n \cdot \Sigma Y_m^2 - (\Sigma Y_m)^2} \tag{11}$$

$$\hat{B} = \hat{H}_{sm} - \hat{A} \cdot \check{Y}_m \tag{12}$$

$$\alpha = a1 e^{a_{2N-1,3+k\sqrt{-\ln v}}} \tag{13}$$

$$Y_r = -\ln \left\{ -\ln \left(1 - \frac{1}{L \cdot T_r} \right) \right\} \tag{14}$$

$$\alpha_{nr} = \frac{1}{\sqrt{N}} [1 + \alpha (y_r - c + e \ln v^2)]^{1/2} \tag{15}$$

$$\sigma_r = \sigma_{nr} \times \sigma H_s \tag{16}$$

$$r = \frac{n(\Sigma H_{sm} \cdot Y_m) - (\Sigma H_{sm} \cdot \Sigma Y_m)}{\sqrt{n \cdot \Sigma H_{sm}^2 - (\Sigma H_{sm})^2} \cdot \sqrt{n \cdot \Sigma Y_m^2 - (\Sigma Y_m)^2}} \tag{17}$$

Panjang dan kecepatan gelombang di laut dalam ditentukan dengan persamaan:

$$L_o = \frac{g \cdot T^2}{2\pi} \tag{18}$$

$$C_o = \frac{g \cdot T}{2 \cdot \pi} \tag{19}$$

Tinggi gelombang rencana ditentukan menggunakan persamaan:

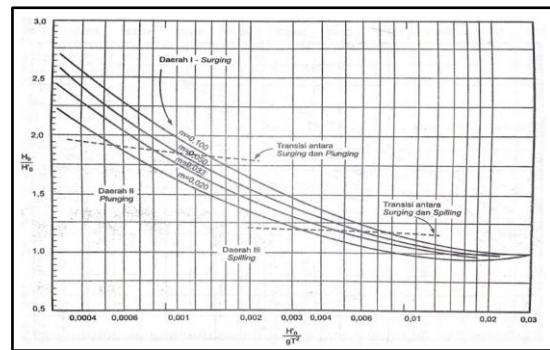
$$H = K_r \cdot K_s \cdot H_{t25} \tag{20}$$

Gelombang Pecah

Persamaan 21 adalah rumus untuk menentukan tinggi gelombang ekuivalen.

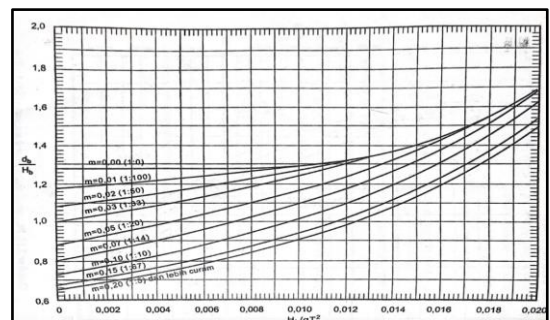
$$H'_0 = K_r \cdot H \tag{21}$$

Gambar 5 merupakan grafik untuk menentukan ketinggian gelombang pecah.



Gambar 5 hubungan antara $\frac{H_b}{H'_0}$ dan $\frac{H'_0}{g \cdot T^2}$ (sumber: Triatmodjo,1999)

Sedangkan kedalaman gelombang pecah ditentukan dengan bantuan grafik yang terdapat dalam Gambar

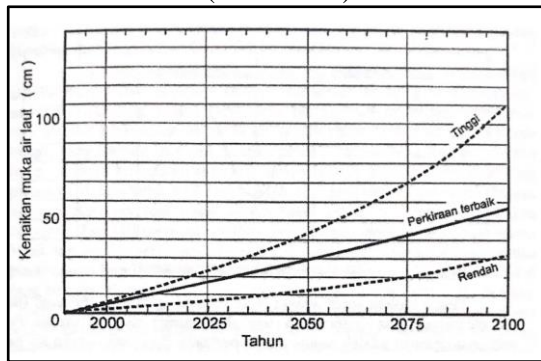


Gambar 6 hubungannya antara $\frac{H_b}{g \cdot T^2}$ dan $\frac{d_b}{H_b}$ (sumber: Triatmodjo,1999)

Tinggi Muka Air Rencana (DWL)

Fenomena naiknya permukaan air laut akibat dampak dari pemanasan global juga harus menjadi pertimbangan dalam merencanakan sebuah bangunan pantai.

Gambar adalah grafik prediksi kenaikan permukaan air laut yang disajikan selama kurun 110 tahun (1990-2100)



Gambar 7 Prediksi Kenaikan Muka Air Laut Akibat Pemanasan Global (sumber: Triatmodjo,2020)

Wave set-up di pantai ditentukan menggunakan Persamaan 22:

$$S_w = 0,19 \left[1 - 2,82 \sqrt{\frac{H_b}{gT^2}} \right] H_b \quad (22)$$

Tinggi muka air rencana (DWL) ditentukan menggunakan Persamaan 23:

$$DWL = MWL + SLR + S_w \quad (23)$$

Dimensi Pemecah Gelombang

Dally dan Pope dalam penelitian mereka tahun 1968 menyatakan bahwa untuk membentuk *silent*, panjang pemecah gelombang tunggal dan seri dihitung dengan persamaan (Departmen of The US Army Corps of Engineer, 2002):

$$\frac{L_s}{Y} = 0,5 - 0,67 \quad (24)$$

Persyaratan mengenai lebar celah antar bangunan *breakwater* menggunakan persamaan (Departemen Pekerjaan Umum, 2009):

$$L_{gap} = 0,5 \times L_s \quad (25)$$

Perhitungan berat batu lapis pelindung menggunakan persamaan:

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta} \quad (26)$$

Perhitungan lebar puncak menggunakan persamaan:

$$B = n k_{\Delta} \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{1/3} \quad (27)$$

Perhitungan tebal lapis pelindung menggunakan persamaan:

$$t = n K_{\Delta} \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{1/3} \quad (28)$$

Perhitungan jumlah batu pelindung menggunakan persamaan:

$$N = A n K_{\Delta} \left[1 - \frac{P}{100} \right] \left[\frac{\gamma_r}{W} \right]^{2/3} \quad (29)$$

Tebal *toe protection* dihitung dengan Persamaan 30:

$$T = r \sim 2r \quad (30)$$

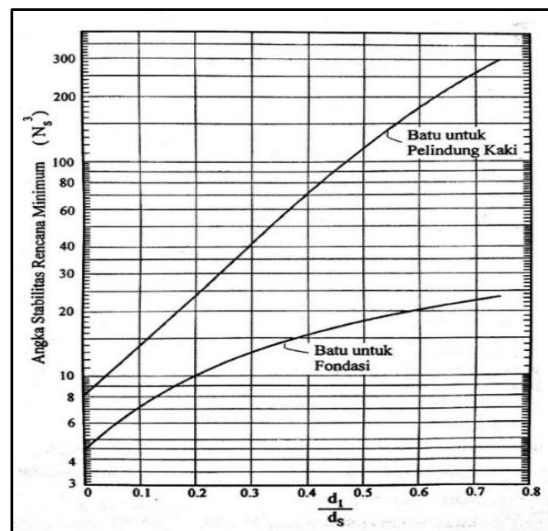
Sedangkan lebar *toe protection* ditentukan dengan Persamaan 31:

$$B = 3H \sim 4,5H \quad (31)$$

Untuk menentukan berat batu pelindung kaki bangunan digunakan Persamaan 32:

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{N_s^3 (S_r - 1)^3} \quad (32)$$

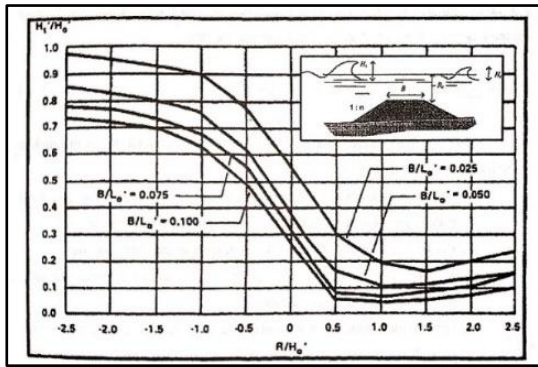
Adapun koefisien dari N_s^3 atau angka stabilitas rencana untuk pondasi dan pelindung kaki bangunan ditentukan menggunakan grafik pada Gambar .



Gambar 8 Grafik Angka Stabilitas untuk Pondasi dan Pelindung Kaki (sumber: Triatmodjo,2020)

Koefisien Transmisi

Koefisien transmisi memiliki kisaran $0 < K < 1$, 0 diinterpretasikan bahwa tidak adanya transmisi (tinggi, kedap air), sedangkan 1 menyiratkan transmisi lengkap (tidak terdapat *breakwater*). Pada perencanaan ini koefisien transmisi dihitung dengan Grafik Tanaka seperti Gambar .

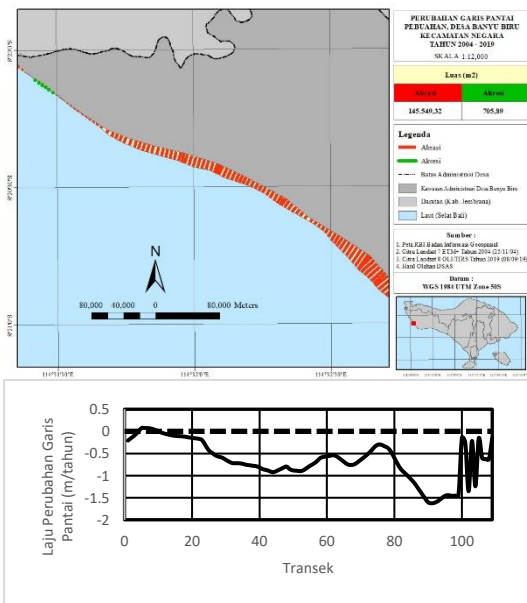


Gambar 9 Koefisien Transmisi (sumber: Jayantari,2018)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Perubahan Garis Pantai di Pantai Pebuahan

Pada pantai Pebuahan, terjadi Abrasi yang cukup tinggi dengan laju perubahan garis pantai adalah 1,62 m/tahun seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10. Pada bagian barat terdapat sedikit wilayah yang mengalami akresi dengan laju perubahan garis pantai adalah 0,07 m/tahun. Luas Abrasi di Pantai Pebuahan selama periode tahun 2004 sampai 2019 adalah 145.549,32 m2 dan luas akresi adalah 705.89 m2. Kejadian abrasi yang terjadi di Pantai Pebuahan merupakan dampak dari adanya PPN Pengambengan yang menyebabkan terhambatnya transpor sedimen. Transpor sedimen yang terjadi di Pantai Pebuahan cenderung bergerak meninggalkan pantai dan sedimen yang terdeposisi di Pantai Pebuahan lebih rendah, sehingga terjadi abrasi yang tinggi.



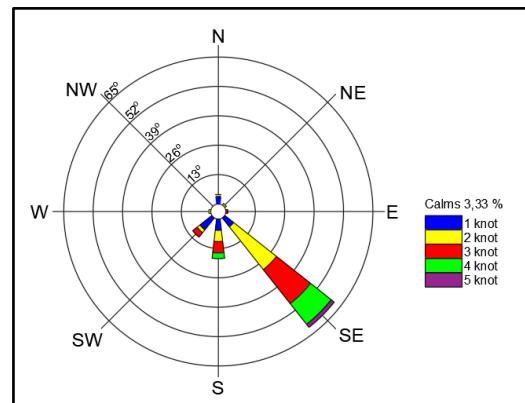
Gambar 10. Peta perubahan garis pantai di Pantai Pebuahan periode tahun 2004 sampai 2019 (sumbu x: Id transek; sumbu y: Laju perubahan garis pantai (m/tahun)) (sumber: Dinas Provinsi Bali,2020)

Analisis Kecepatan dan Arah Angin

Persentase arah angin dominan (Tabel 1) didapat setelah melakukan pengelompokan kecepatan dan arah angin terhadap data angin selama 10 tahun (2011-2020). Hasil dari persentase kejadian angin kemudian digunakan untuk menggambarkan bentuk dari windrose (Gambar).

Tabel 1 Persentase Kejadian Angin Dalam Interval Tertentu Tahun 2011-2020

Arah	Cal ms	Persentase Kec. Angin (%)					Total
		0<V≤1	1<V≤2	2<V≤3	3<V≤4	V≤5	
N	3,33	3,33	0,83	-	-	-	4,17
NE	-	-	0,83	-	-	-	0,83
E	-	-	-	0,83	-	-	0,83
SE	3,33	5,00	24,17	19,17	11,67	1,67	61,67
S	-	5,00	5,00	5,00	2,50	-	17,50
SW	-	6,67	1,67	2,50	-	-	10,83
W	-	-	0,83	-	-	-	0,83
NW	-	-	-	-	-	-	-
Total	3,33	20,00	33,33	27,50	14,17	1,67	100



Gambar 11 Windrose Tahun 2011-2020

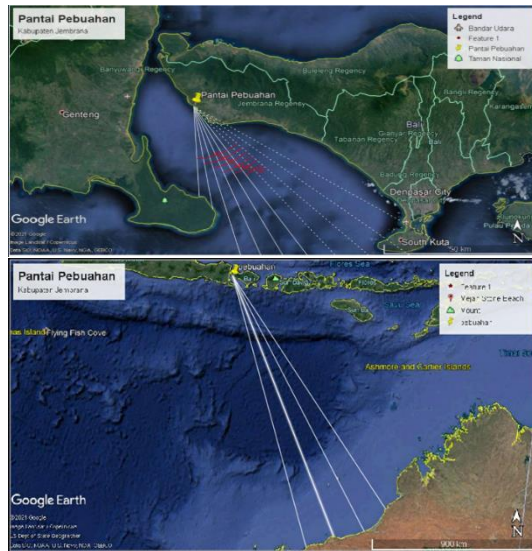
Tabel 2 adalah hasil perhitungan UA tahun 2011-2020 dengan arah angin dominan bertiup dari arah Tenggara.

Tabel 2 Koreksi Tegangan Angin (UA)

Tahun	U3 (KNOT)	U3 (m/dt)	UL (m/dt)	UW (m/dt)	UA (m/dt)
2011	4	2,056	1,82	3,24	3,01
2012	4	2,056	1,82	3,24	3,01
2013	3	1,542	1,36	2,52	2,22
2014	4	2,056	1,82	3,24	3,01
2015	5	2,570	2,27	3,86	3,74
2016	3	1,542	1,36	2,52	2,22
2017	4	2,056	1,82	3,24	3,01
2018	5	2,570	2,27	3,86	3,74
2019	3	1,542	1,36	2,52	2,22
2020	2	1,028	0,91	1,77	1,44

Perhitungan Panjang Fetch

Pantai Pebuahan mempunyai fetch dari arah Tenggara. Perhitungan fetch efektif di pantai Pebuahan dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 12 sebagai berikut. Karena arah angin dominan berasal dari arah Tenggara, maka fetch yang ditinjau berasal dari arah tenggara.



Gambar 12 Fetch Pantai Pebuahan (sumber: google earth)

Tabel 3 Fetch Efektif

Sudut (α)	cos α	Xi (km)	Xi cos α
42	0	0	0
36	0	0	0
30	0	0	0
24	0	0	0
18	0	0	0
12	0,978	1,243	1,215
6	0,995	1,204	1,197
0	1	1,180	1,180
-6	0,995	1,170	1,163
-12	0,978	1543,658	1509,925
-18	0,951	1592,481	1514,539
-24	0,914	1548,546	1414,667
-30	0,866	1560,321	1351,278
-36	0,809	40,537	32,795
-42	0,743	35,066	26,059
Total	9,228		5854,018

Perhitungan nilai fetch efektif adalah sebagai berikut:

$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum X_i \cdot \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} = \frac{5.854,018}{9,228} = 634,367 \text{ km}$$

Gelombang Rencana

Setelah nilai kecepatan angin rata-rata di atas muka air laut ditentukan, maka diperoleh tinggi (Hs) dan periode (Ts) gelombang signifikan 2011-2020 yang disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4 Tinggi (Hs) dan Periode (Ts) Gelombang Signifikan

Tahun	Fetch (m)	Hs (m)	Ts (dt)
2011	634.367	1,225	7,735
2012	634.367	1,225	7,735
2013	634.367	0,902	6,984
2014	634.367	1,225	7,735
2015	634.367	1,523	8,317
2016	634.367	0,902	6,984
2017	634.367	1,225	7,735
2018	634.367	1,523	8,317
2019	634.367	0,902	6,984
2020	634.367	0,584	6,043

Tinggi gelombang maksimum dalam kala ulang 25 tahun yang diijinkan terjadi di Pantai Pebuahan adalah 2,146 m (Tabel 5) dengan periode 10,695 dt (Tabel 6).

Tabel 5 Tinggi Gelombang dengan Periode Ulang (Fisher Tippett Type I)

Periode Ulang (Tahun)	Yr	Hsr (m)	tnr	tr	Hsr- 1.28tr (m)	Hsr+ 1.28tr (m)
1	2	3	4	5	6	7
2	0,367	1,083	0,337	0,100	0,954	1,211
5	1,500	1,346	0,571	0,170	1,128	1,564
10	2,250	1,521	0,780	0,232	1,223	1,818
25	3,199	1,741	1,062	0,316	1,336	2,146
50	3,902	1,904	1,277	0,380	1,417	2,391
100	4,600	2,067	1,492	0,445	1,498	2,636

Tabel 6 Periode Gelombang dengan Periode Ulang (Fisher Tippett Type I)

Periode Ulang (Tahun)	Yr	Hsr (dt)	tnr	tr	Hsr- 1.28tr (dt)	Hsr+ 1.28tr (dt)
1	2	3	4	5	6	7
2	0,613	7,496	0,337	0,136	7,321	7,670
5	1,886	8,176	0,571	0,318	7,769	8,583
10	3,041	8,793	0,780	0,499	8,155	9,431
25	4,753	9,708	1,062	0,771	8,721	10,695
50	6,164	10,462	1,277	0,997	9,186	11,738
100	7,662	11,263	1,492	1,237	9,679	12,846

Perhitungan panjang (Lo) dan cepat rambat (Co) gelombang di laut dalam adalah sebagai berikut:

$$L_o = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi} = 178,433 \text{ m}$$

$$C_o = \frac{g \cdot T}{2 \cdot \pi} = 16,684 \text{ m/dt}$$

Tinggi gelombang rencana ditentukan menggunakan Persamaan 20

$$H = K_s \cdot K_r \cdot H_{t25}$$

$$H = 1,141 \times 0,859 \times 2,146 \text{ m}$$

$$H = 2,10 \text{ m}$$

Gelombang Pecah

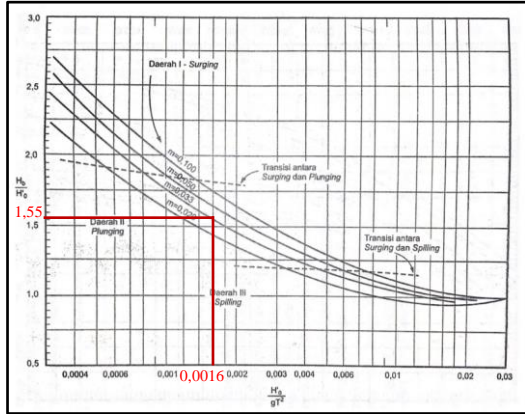
Tinggi gelombang ekivalen di kedalaman 5 meter adalah:

$$H'_0 = K_r \cdot H = 1,81 \text{ m}$$

Perhitungan tinggi gelombang pecah

$$\frac{H'_0}{g \cdot T^2} = 0,0016$$

Berdasarkan kemiringan Pantai Pebuahan ($m = 0,033$) dan melalui prosedur perhitungan menggunakan grafik hubungan antara $\frac{H_b}{H'_0}$ dan $\frac{H'_0}{g.T^2}$, maka diperoleh nilai dari $\frac{H_b}{H'_0}$ sebesar 1,55. Untuk garis hubungan antara keduanya dapat dilihat pada Gambar .



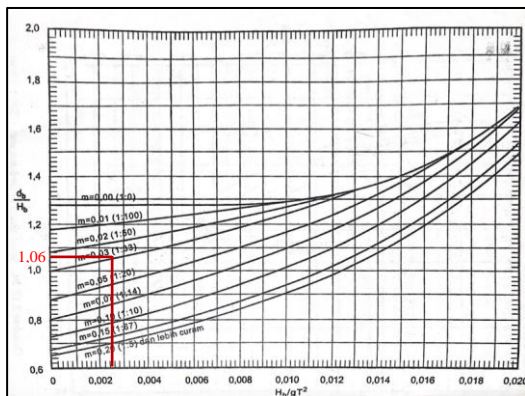
Gambar 13 Grafik Tinggi Gelombang Pecah (sumber: Triatmodjo,2020)

$$H_b = H'_0 \times 1,45 = 2,80 \text{ m}$$

Perhitungan kedalaman gelombang pecah

$$\frac{H_b}{g.T^2} = 0,0025$$

Selanjutnya ditentukan nilai dari $\frac{d_b}{H_b}$ dengan bantuan grafik hubungan antara $\frac{H_b}{g.T^2}$ dan $\frac{d_b}{H_b}$. Berdasarkan kemiringan Pantai Pebuahan yaitu 0,033 m, maka diperoleh nilai $\frac{d_b}{H_b}$ yaitu 1,06 ditunjukkan Gambar .



Gambar 14 Grafik Penentuan Kedalaman Gelombang Pecah (d_b) (sumber: Triatmodjo,2020)

$$d_b = H_b \times 1,06 = 2,97$$

Elevasi Muka Air Rencana (DWL)

Berdasarkan data pasang surut, maka diperoleh tiga elevasi muka air laut seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 7.

Tabel 7 Elevasi Muka Air Laut

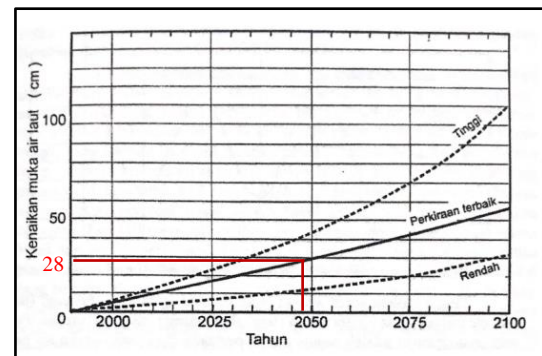
No	Elevasi Acuan	Elevasi (m)
1	HWL	2,1
2	MWL	1,9
3	LWL	-0,7

Dalam merencanakan bangunan pantai, elevasi muka air yang digunakan sebagai acuan adalah elevasi permukaan laut rata-rata (MSL) yaitu $\pm 0,00$ (Jayantari, 2018).

Tabel 8 Elevasi Muka Air Laut Terhadap MSL

No	Elevasi Acuan	Elevasi (m)
1	HWL	0,2
2	MWL	$\pm 0,0$
3	LWL	-2,6

Umur rencana *breakwater* ditetapkan selama 25 tahun (2021-2046). Melalui prosedur perhitungan menggunakan grafik dalam Gambar , diperoleh perkiraan kenaikan permukaan laut akibat pemanasan global ditahun 2046 adalah 0,28 m.



Gambar 15 Prediksi Kenaikan Muka Air Laut Akibat Pemanasan Global (sumber: Triatmodjo,2020)

Untuk menentukan tinggi muka air rencana (DWL), perlu dihitung kenaikan muka air laut karena gelombang (S_w) dahulu:

$$S_w = 0,19 \left[1 - 2,82 \sqrt{\frac{H_b}{gT^2}} \right] H_b$$

$$S_w = 0,46$$

Dari nilai S_w , maka diperoleh DWL:

$$DWL = MWL + \text{Pemanasan Global} + S_w$$

$$DWL = 0,00 \text{ m} + 0,28 \text{ m} + 0,47 \text{ m}$$

$$DWL = + 0,74 \text{ m}$$

Dimensi Breakwater

Panjang bangunan *breakwater*.

$$\frac{L_s}{Y} = 0,5 - 0,6 \text{ (dipilih 0,5)}$$

$$Y = 230 \text{ m}$$

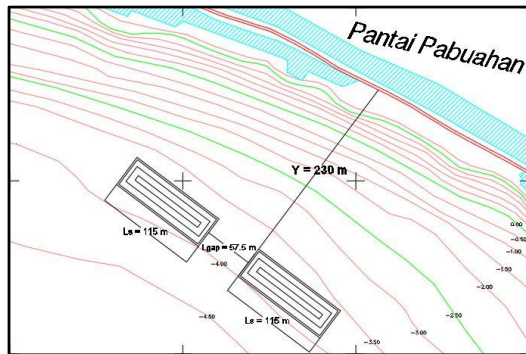
$$L_s = 0,5 \times 230 = 115 \text{ m}$$

Lebar celah antar bangunan *breakwater*:

$$L_{\text{gap}} = 0,5 \times L_s$$

$$L_{\text{gap}} = 0,5 \times 115 = 57,5 \text{ m}$$

Dengan demikian layout rencana *breakwater* dapat dilihat pada Gambar 16 berikut.



Gambar 16 Layout *Breakwater*

Perhitungan berat batu lapis lindung *breakwater*:

$$W_1 = \frac{\gamma_r \cdot H^3}{K_D \cdot (S_r - 1)^3 \cdot \cot \theta}$$

$$= 0,297 \text{ ton} = 0,5 \text{ ton}$$

$$W_2 = \frac{1}{10} W_1$$

$$= 0,05 \text{ ton} = 50 \text{ kg}$$

$$W_3 = \frac{W_1}{400} \text{ sampai } \frac{W_1}{200}$$

$$= 1,25 \text{ sampai } 2,5 \text{ kg}$$

Perhitungan lebar puncak *breakwater*:

$$B_2 = n \cdot K_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{1/3} = 6,52 \text{ m}$$

Tebal lapis lindung *breakwater*:

$$t_1 = n \cdot K_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{1/3} = 1,19 \text{ m}$$

$$t_2 = n \cdot K_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{1/3} = 0,62 \text{ m}$$

Jumlah batu pelindung yang dibutuhkan per satu satuan luas (10 m^2) *breakwater*:

$$N = A n K_\Delta \left[1 - \frac{P}{100} \right] \left[\frac{\gamma_r}{W} \right]^{2/3}$$

$$= 21,057 \text{ buah}$$

$$= 22 \text{ buah}$$

Tebal *toe protection* direncanakan setinggi tebal lapis rata-rata yaitu:

$$T = r = (1,19 + 0,62) / 2 = 0,906 \text{ m} = 1 \text{ m}$$

Lebar *toe protection breakwater*:

$$B_1 = 3,5 H$$

$$B_1 = 3,5 \times 2,10 = 7,36 \text{ m} = 7,5 \text{ m}$$

$$B_2 = 3 H$$

$$B_2 = 3 \times 2,10 = 6,31 \text{ m} = 6,5 \text{ m}$$

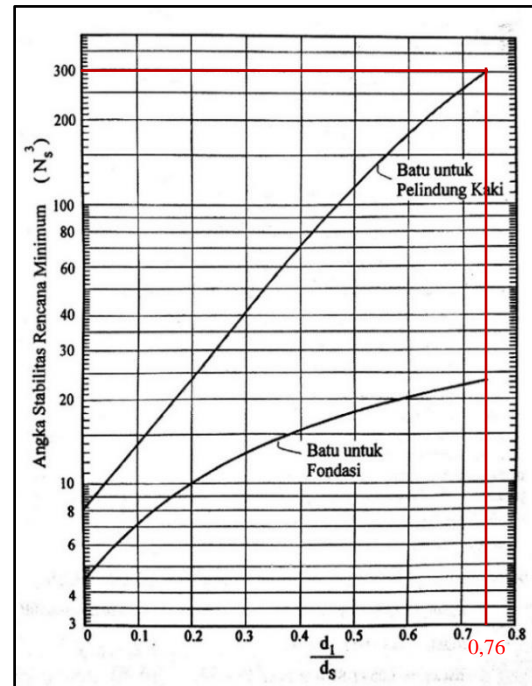
Kontrol Stabilitas Pelindung Kaki

Kontrol dilakukan dengan elevasi puncak mercu bangunan yaitu pada elevasi +0,74 m:

$$d_s = 4,74 \text{ m}$$

$$d_1 = d_s - t_{\text{toe}} = 3,74 \text{ m}$$

$$\frac{d_1}{d_s} = \frac{3,74}{4,74} = 0,76$$



Gambar 17 Grafik Stabilitas N_s^3 (sumber: Triatmodjo,2020)

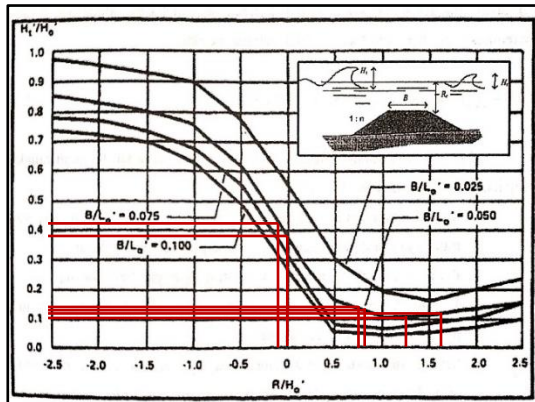
Dari Gambar diperoleh nilai ($N_s^3 = 300$) ≤ 300 maka pengamanan pantai dikatakan stabil. Berat batu minimum yang digunakan untuk *toe protection*:

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{N_s^3 (S_r - 1)^3}$$

$$= 0,03 \text{ ton} = 0,05 \text{ ton} = 50 \text{ kg}$$

Koefisien Transmisi

Koefisien transmisi dihitung menggunakan Grafik Tanaka seperti pada Gambar kemudian hasilnya dituliskan pada Tabel 9.



Gambar 18 Koefisien Transmisi (sumber: Jayantari,2018)

Tabel 9 Koefisien Transmisi

No	Asumsi SWL	Rc	Rc/Hi	Kt	Ht
1	HWL + Sw + SLR	-0,20	-0,10	0,42	0,884
2	HWL	0,54	0,26	0,14	0,295
3	MWL + Sw + SLR	0,00	0,00	0,38	0,800
4	MWL	0,74	0,35	0,13	0,274
5	LWL + Sw + SLR	2,60	1,24	0,10	0,210
6	LWL	3,34	1,59	0,12	0,252

SIMPULAN

Perubahan garis Pantai Pebuahan berhasil di monitoring dengan menggunakan Citra Landsat. Luas Abrasi di Pantai Pebuahan selama periode tahun 2004 sampai 2019 adalah 145.549,32 m² dan luas akresi adalah 705.89 m². Untuk merevitalisasi pantai Pebuahan diperlukan bangunan pemecah gelombang dengan struktur yang keras yaitu dolos.

Dimensi dari bangunan pemecah gelombang dolos diperoleh dengan rincian sebagai berikut:

- Tinggi bangunan *breakwater* = 4,74 m
- Panjang *breakwater* = 115 m dengan jarak gap = 57,5 m
- Berat batu lapis pertama (W1) = 0,5 ton = 500 kg
- Berat batu lapis kedua (W2) = 0,05 ton = 50 kg
- Berat batu lapis inti (W3) = 1,25 – 2,5 kg
- Lebar puncak (B) = 6,52 m
- Tebal lapis pertama (t₁) = 1,19 m
- Tebal lapis kedua (t₂) = 0,62 m
- Tebal *toe protection* (t_{toe}) = 1 m
- Lebar *toe protection* (B_{toe})
 B1 = 7,5 m (bagian offshore)
 B2 = 6,5 m (bagian onshore)

- Grafik stabilitas number ($N_s^3 = 300$) ≤ 300 dengan $W_{toe} = 50$ kg

DAFTAR PUSTAKA

Burcharth, H.F., Liu, Z. 1992. Design of Dolos Armour Units. *Coastal Engineering*, .

Department of The US Army Corps of Engineer. 2002. *Engineering and Design Coastal Engineering Manual*. Washington.

Dinas Provinsi Bali. 2020. *Lampiran Peraturan Gubernur Bali No. 60 tahun 2020 tentang Standar Satuan Harga Barang/Jasa Dan Satuan Biaya Pemerintah Provinsi Bali*. Denpasar: Dinas Provinsi bali.

Hasan W, Pujianiki NN, Mawity IY. 2020. Analisis Perubahan Garis Pantai Berbasis Citra Satelit Landsat di Kabupaten Jembrana, Thesis, Univeristas Udayana 2020

Jayantari, M.W. 2018. *Perencanaan Bangunan Pemecah Gelombang (Submerged Breakwater) Dengan Bahan Batu Buatan (Dolos) Di Pantai Batu Mejan Kabupaten Badung*. Denpasar: Universitas Udayana.

Lubis DP, Pinem, M. Simanjuntak AN. 2017. Analisi Perubahan Garis Pantai dengan Menggunakan Citra Pengeinderaan Jauh (Studi Kasus di Kecamatan Talawi Kabupaten Batu bara), *Jurnal Geografi*, <https://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/geo/article/view/6044>

Mandi, N.B.R. 2015. *PELABUHAN: Perencanaan dan Perancangan Konstruksi Bangunan Laut dan Pantai*. Bali: Arti Foundation.

Nuryana, I.G.A.A., Eryani, I.G.A.P., Sriastuti, D.A.N. 2017. Perencanaan Bangunan Pemecah Gelombang Terendam (Submerged Breakwater) Dengan Bahan Batu Buatan (Dolos) Di Pantai Masceti. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 6(2).

Opinion. 2016. *The Full Story Behind The Dolos And Its SA Creator*.

Parman, S. 2010. Deteksi Perubahan Garis Pantai Melalui Citra Pengindraan Jauh di Pantai Utara Semarang Demak. *Jurna Geograpi Universitas Semarang*. <https://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/JG/article/view/88>

- Pujianiki, NN, 2016, Analisis Pendangkalan Kolam dan Alur Pelayaran PPN Pengembangan Jembrana, KonTeks 10, Oktober 2016.
- Pujianiki NN, Widhi GBAS, Antara ING, Temaja IGRM, Osawa T. 2021. Monitoring Coastline Changes Using Landsat Application in Batu Mejan Beach, IJASEIT, https://ijaseit.insightsociety.org/index.php?option=com_content&view=article&id=9&Itemid=1&article_id=13162
- Sulaiman, D., Hidayat, H. 2020. The Role of Geotextile Tube As Low-Crested Breakwaters In Restoring Severe Beach Erosion Problem At Pebuahan Beach In Bali Island. *Coastal Engineering Proceedings*, .
- Triatmodjo, B. 1999. *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Triatmodjo, B. 2020. *Perencanaan Bangunan Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Wartini KDB, Pujianiki NN, Suryantara IPG. 2022. Perencanaan Bangunan Pemecah Gelombang Terendam (Submerged Brekawater) dengan Bahan Batu Buatan Dolos di Pantai Pebuahan Kabupaten Jembran, Tugas Akhir, Universitas Udayana.
- Yudhistira, A. 2018. Studi Pengaruh Brekawater Dolos terhadap Karakteristik Gelombang Badai Harian, Tugas Akhir, Universitas Kristen Maranatha.
- Yuwono, N. 1992. *Dasar-Dasar Perencanaan Bangunan Pantai*. Yogyakarta: PAU-IT-UGM.