

Penentuan *Layout* Pemecah Gelombang di Pantai Nusa Dua Provinsi Bali

Bayu Patria Y, Yopi Dwi A.P, dan Chairunnisa

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

bayuyudapatria@yahoo.com, yopiputra10@gmail.com, chairunnisa@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Pantai Nusa Dua terletak di Kabupaten Badung, Provinsi Bali. Pantai Nusa Dua mengalami erosi dan kemunduran garis pantai akibat energi gelombang dan gerakan sedimen sejajar pantai. Saat ini, di Pantai Nusa Dua telah dilakukan beberapa upaya pengendalian erosi, yaitu dengan membangun pemecah gelombang lepas pantai, *groin*, *revetment*, serta *sand nourishment* (pengisian pasir). Bangunan pemecah gelombang dapat mengurangi tinggi gelombang di pantai. Pada penelitian ini dilakukan penentuan *layout* pemecah gelombang di Pantai Nusa Dua, Provinsi Bali, agar dapat mengurangi tinggi gelombang dan mengurangi kecepatan arus sejajar pantai, sehingga dapat mengendalikan erosi dan mencegah kemunduran garis pantai. Pemecah gelombang yang direncanakan *layout*-nya adalah pemecah gelombang ambang rendah (PEGAR) dengan elevasi puncak pada -1 m dari MSL. Pemecah gelombang direncanakan tidak akan menimbulkan sedimentasi sehingga *layout*-nya berada sekitar 360 m dari garis pantai dan memiliki panjang struktur 180 m. Direncanakan 3 (tiga) struktur pemecah gelombang dengan celah antar struktur 22,5 m. Hasil pemodelan gelombang menunjukkan bahwa dengan *layout* yang direncanakan, pemecah gelombang dapat mengurangi tinggi gelombang di pantai yang awalnya sekitar 2-3 m menjadi sekitar 1 m.

Kata kunci: erosi, tinggi gelombang, *layout* pemecah gelombang, Delft3D, pemodelan gelombang

Abstract

Nusa Dua Beach is located in Badung Regency, Bali Province. Nusa Dua beach is experiencing erosion and coastline decline due to wave energy and sediment movement along the coast. Currently, at Nusa Dua Beach, several erosion control efforts have been carried out by building offshore breakwaters, groins, revetments, and sand nourishment. Breakwater can reduce wave height. In this study, the layout of the breakwater was determined on Nusa Dua Beach, Bali Province, in order to reduce wave height and reduce the speed of longshore currents, so as to control erosion and prevent shoreline deterioration. The breakwater which its layout is designed is a low crested breakwater (LCB/PEGAR) with crest elevation at -1 m from MSL. The breakwater is designed not to cause sedimentation so that its layout is about 360 m from the shoreline and has a structure length of 180 m. Three units of breakwater is designed with a distance between structures of 22.5 m. The results of wave modeling show that with the designed layout, the breakwater can reduce the wave height on the beach, which was initially around 2-3 m to about 1 m.

Keywords: erosion, wave height, breakwater layout, Delft3D, wave modeling

1. Pendahuluan

Pantai Nusa Dua merupakan pantai yang terletak di sebelah selatan Pulau Bali. Salah satu potensi yang dimiliki Pantai Nusa Dua adalah keindahan pantainya sehingga menjadi salah satu lokasi wisata yang kerap dikunjungi wisatawan baik lokal maupun internasional. Namun, dibalik keindahan hamparan pasir putih di Pantai Nusa Dua, terjadi proses erosi yang dapat mengakibatkan kemunduran garis pantai. Kemunduran garis pantai dapat menyebabkan berkurangnya ruang antara laut dan infrastruktur, sehingga meningkatkan risiko kerusakan pada fasilitas pesisir seperti jalan, permukiman, dan bangunan pelindung pantai (Lansu et al., 2024). Selain itu, kemunduran garis pantai mengurangi area pantai wisata yang berfungsi sebagai ruang rekreasi dan daya tarik utama sektor pariwisata pesisir. Penyusutan lebar pantai akibat erosi menyebabkan berkurangnya ruang bagi aktivitas wisata seperti berjemur, bermain, maupun kegiatan ekonomi berbasis pantai.

Erosi dapat terjadi akibat energi gelombang yang menghantam pantai, maupun akibat arus sejajar pantai. Dibutuhkan bangunan pelindung pantai untuk mengendalikan erosi yang terjadi agar tidak terjadi kemunduran garis pantai.

Arah datang gelombang yang tidak tegak lurus terhadap garis pantai akan menimbulkan arus sejajar pantai yang akan menyebabkan terjadinya gerakan sedimen sejajar pantai (*litoral drift*). Gerakan sedimen sejajar pantai di Pantai Nusa Dua mengarah ke Utara, sedangkan sedimen dari Selatan tidak ada karena tertahan tombolo. Tidak seimbang antara sedimen masuk dan keluar akan menyebabkan kemunduran garis pantai, sehingga perlu dilakukan *artificial sand nourishment* (Dirjen Pengairan DPU, 1983).

Sejak tahun 2003 telah dilakukan beberapa upaya konservasi Pantai Nusa Dua yaitu dengan membangun pemecah gelombang lepas pantai, *groin*, *revetment*, serta *sand nourishment* (pengisian pasir). Putro dan Lee (2020) mengkaji erosi di Pantai Nusa Dua menggunakan data hasil monitoring profil pantai dari tahun 2003-2016, yang hasilnya menunjukkan

Info Makalah:

Dikirim : 09-07-24;

Revisi 1 : 04-27-26;

Diterima : 04-28-26.

Penulis Korespondensi:

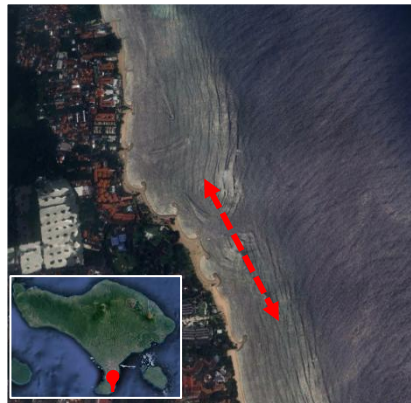
Telp : +62 813-9522-1424

e-mail : chairunnisa@lecture.unjani.ac.id

bahwa hampir semua area Pantai Nusa Dua mengalami erosi setelah upaya konservasi pantai.

Arus sejajar pantai dipengaruhi oleh sudut gelombang pecah terhadap garis pantai dan tinggi gelombang pecah (Ahdannabiel et al., 2017). Semakin tinggi gelombang dan semakin besar sudut antara gelombang pecah dan garis pantai, maka kecepatan arus sejajar pantai akan semakin besar (Komar, 1998). Bangunan pemecah gelombang dapat mengurangi energi dan tinggi gelombang. Bangunan pemecah gelombang dapat mengurangi kemunduran garis pantai (Efendi, 2016). Namun, bangunan pemecah gelombang jarang digunakan di tempat wisata karena dampak estetikanya sangat mengganggu, sehingga berkembanglah inovasi berupa pemecah gelombang ambang rendah (PEGAR) yang puncak strukturnya berada di bawah atau sedikit muncul di atas permukaan air laut rata-rata (MSL) (Sulaiman, 2021). PEGAR meredam sebagian energi gelombang sehingga gelombang pecah dan melimpas di atas puncak struktur sambil mengangkut sedimen dan mengendapkannya di pantai (Sulaiman, 2018).

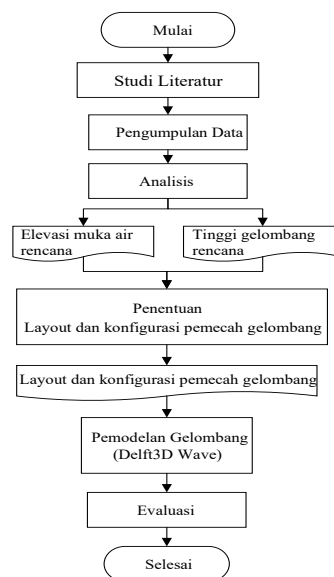
Pada penelitian ini akan dilakukan penentuan *layout* pemecah gelombang ambang rendah (PEGAR) di Pantai Nusa Dua, Provinsi Bali, agar dapat mengurangi tinggi gelombang dan mengurangi kecepatan arus sejajar pantai, sehingga dapat mengendalikan erosi dan mencegah kemunduran garis pantai.



Gambar 1. Lokasi Penelitian.

2. Metode

Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur mengenai kondisi Pantai Nusa Dua Bali dan kriteria desain *layout* bangunan pemecah gelombang. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data, dan analisis data. Data yang digunakan adalah peta bathimetri, arah dan kecepatan angin, serta elevasi muka air pasang surut. Analisis data dilakukan untuk menentukan tinggi muka air rencana, dan menentukan tinggi gelombang rencana di laut dalam (lepas pantai lokasi penelitian). Hasil analisis data digunakan sebagai dasar menentukan *layout* dan konfigurasi pemecah gelombang. Selanjutnya dilakukan pemodelan gelombang dengan *software* Delft3D (modul *wave*) untuk menentukan tinggi gelombang rencana di pantai (lokasi struktur) dan mengetahui pengaruh *layout* pemecah gelombang terhadap tinggi gelombang di pantai. Bagan alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

2.1. Pengumpulan Data

Data teknis yang dikumpulkan terdiri dari data elevasi muka air pasang surut, data angin, peta global, dan peta bathimetri. Data elevasi muka air pasang surut diperoleh dari hasil prediksi NAOtide. Data angin berupa kecepatan dan arah angin 3 jam selama 10 tahun (tahun 2012-2021) diperoleh dari NOAA. Peta global diperlukan untuk membuat *fetch* (daerah pembentukan gelombang). *Fetch* dan data angin selanjutnya akan menjadi input dalam analisis *hindcasting*. Peta bathimetri diperoleh dari BATNAS, digunakan sebagai input dalam pemodelan transformasi gelombang.

2.2. Analisis Data

Analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah analisis pasang surut, *hindcasting*, dan analisis tinggi gelombang rencana.

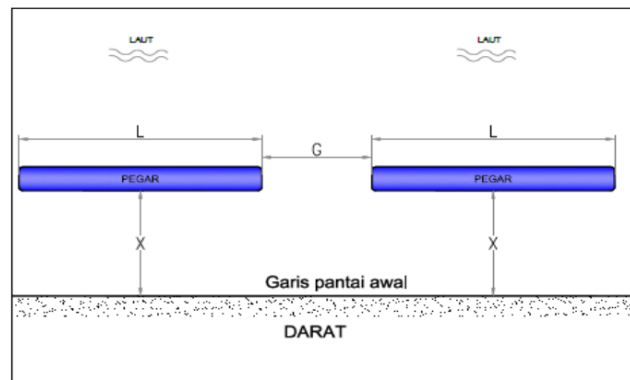
Analisis pasang surut dilakukan untuk mendapatkan elevasi muka air rencana. Analisis pasang surut dilakukan dengan 3 tahap, yaitu penguraian konstanta pasang surut, peramalan pasang surut selama 1 periode (18,6 tahun), dan penentuan elevasi muka air rencana.

Hindcasting adalah analisis peramalan gelombang yang dilakukan dengan menggunakan data angin selama 10 tahun dan panjang *fetch* efektif di lokasi penelitian. Data angin yang digunakan adalah kecepatan angin yang telah dikoreksi. Hasil *hindcasting* berupa nilai periode gelombang dan tinggi gelombang di laut dalam. Prosedur yang digunakan mengikuti prosedur peramalan gelombang SPM 1984.

Analisis tinggi gelombang rencana dilakukan untuk setiap arah gelombang, untuk memperoleh tinggi gelombang pada kala ulang tertentu. Data tinggi gelombang dalam analisis ini diperoleh dari hasil *hindcasting*. Analisis tinggi gelombang rencana akan dihitung menggunakan metode Gumbel. Tinggi gelombang rencana selanjutnya akan menjadi input dalam pemodelan transformasi gelombang untuk mendapatkan tinggi gelombang desain di lokasi rencana struktur pemecah gelombang (Chairunnisa, 2019).

2.3. Penentuan *Layout* Pemecah Gelombang

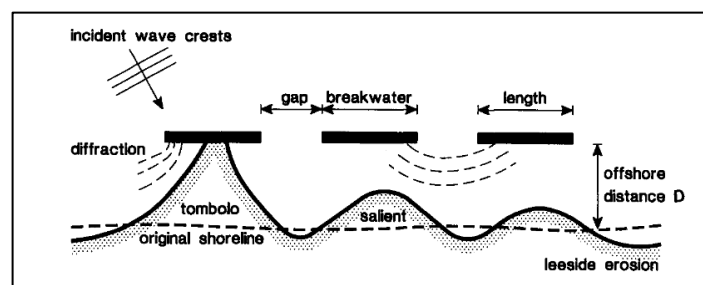
Dalam menentukan *layout* pemecah gelombang dilakukan perhitungan jarak struktur dari garis pantai (X), panjang struktur (L), dan lebar celah antar struktur pemecah gelombang (G). *Layout* pemecah gelombang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. *Layout* dan jarak pemecah gelombang

Sumber: Sulaiman, 2017

Penempatan struktur pemecah gelombang sangat mempengaruhi respon yang terjadi pada pantai. Respon pantai dapat berupa terbentuknya salient atau tombolo, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pemecah gelombang dan garis pantai yang terbentuk

Sumber: Leo van Rijn, 2018

Kriteria pembentukan salient atau tombolo ditentukan berdasarkan nilai rasio antara jarak struktur pemecah gelombang dari garis pantai (Y_B) dengan jarak lokasi gelombang pecah dari garis pantai (Y_{Br}).

$$\frac{Y_B}{Y_{Br}} > 1 \rightarrow \text{tidak terbentuk salient} \quad (1)$$

$$\frac{Y_B}{Y_{Br}} < 1 \rightarrow \text{terbentuk salient} \quad (2)$$

$$\frac{Y_B}{Y_{Br}} < 0.55 \rightarrow \text{terbentuk tombolo sempurna} \quad (3)$$

$$\frac{Y_B}{Y_{Br}} < 0.39 \rightarrow \text{terbentuk double tombolo} \quad (4)$$

Menurut Ahrens dan Cox (1990), panjang breakwater (L_B) ditentukan dengan menggunakan bilangan Iribaren (I) dengan terlebih dahulu menentukan Y_B .

$$I = e^{(1,72 - 0,41 \frac{L_B}{Y_B})} \quad (5)$$

Adapun hubungan nilai I dengan pola sedimentasinya adalah sebagai berikut:

$$I = 1 \text{ maka } \frac{L_B}{Y_B} \geq 3.205 \rightarrow \text{terbentuk tombolo sempurna} \quad (6)$$

$$I = 2 \text{ maka } 1.965 \leq \frac{L_B}{Y_B} \leq 3.205 \rightarrow \text{terbentuk tombolo periodik} \quad (7)$$

$$I = 3 \text{ maka } 1.14 \leq \frac{L_B}{Y_B} \leq 1.965 \rightarrow \text{terbentuk salient sempurna} \quad (8)$$

$$I = 4 \text{ maka } 0.525 \leq \frac{L_B}{Y_B} \leq 1.14 \rightarrow \text{terbentuk subdued salient} \quad (9)$$

$$I = 5 \text{ maka } \frac{L_B}{Y_B} \leq 0.525 \rightarrow \text{tidak ada sedimentasi} \quad (10)$$

Jarak antar struktur pemecah gelombang ditentukan dengan metode Suh dan Dalrymple (1987):

$$\frac{L_g Y_b}{Y_{br}^2} < 0.5 \quad (11)$$

2.4. Permodelan Transformasi Gelombang

Pemodelan transformasi gelombang dilakukan dengan menggunakan *software* Delft3D modul *wave*. Adapun input pemodelan adalah tinggi dan periode gelombang kala ulang 100 tahun. Pemodelan gelombang dilakukan untuk kondisi eksisting dan pada rencana *layout* pemecah gelombang.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis pasang surut berupa elevasi muka air penting disajikan pada Tabel 1. Jenis pasang surut di Pantai Nusa Dua adalah *mixed type* (semi diurnal dominan). Berdasarkan nilai HWS dan LWS pada Tabel 1 dapat diketahui nilai tunggang pasang di Pantai Nusa Dua adalah 303,65 cm.

Tabel 1. Elevasi Muka Air Penting di Pantai Nusa Dua

Muka Air Rencana	Elevasi (cm)
HWS (<i>Highest Water Spring</i>)	152,18
MHWS (<i>Mean High Water Spring</i>)	122
MHWL (<i>Mean High Water Level</i>)	72,38
MSL (<i>Mean Sea Level</i>)	0
MLWL (<i>Mean Low Water Level</i>)	-71,78
MLWS (<i>Mean Low Water Spring</i>)	-122,95
LWS (<i>Lowest Water Spring</i>)	-155,47

Hasil *hindcasting* berupa total persentase kejadian gelombang di Pantai Nusa Dua yang disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Kejadian Gelombang Selama 10 Tahun

Arah	Tinggi Gelombang (m)							Jumlah	Prosentase
	<0,25	0,25-0,5	0,5-0,75	0,75-1	1-1,5	1,5-2	>2		
Utara	96	0	0	0	0	0	0	96	0,3
Timur Laut	193	385	389	265	255	35	8	1530	5,1
Timur	0	589	460	472	2839	2566	1797	8723	29,3
Tenggara	0	166	405	429	2397	2253	1164	6814	22,9
Selatan	0	618	259	113	236	35	12	1273	4,3
Barat Daya	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Barat	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Barat Laut	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jumlah								18436	61,9
Calm								11340	38,1
Total								29776	100

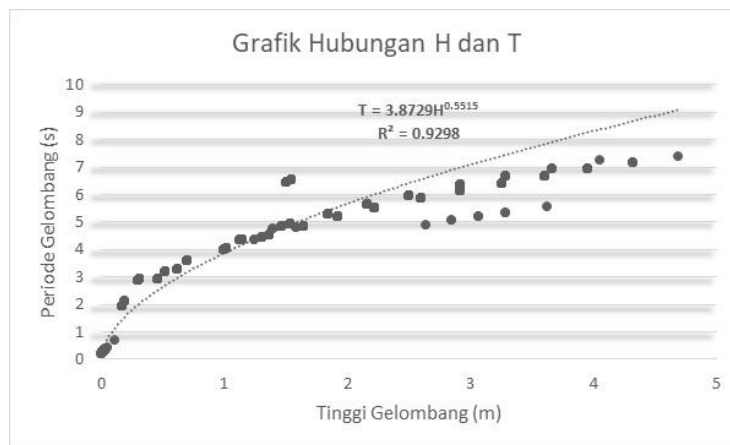
Berdasarkan Tabel 2 diketahui bahwa kejadian gelombang di Pantai Nusa Dua adalah sebesar 61,9 % dengan gelombang dominan berasal dari arah Timur yaitu sebesar 29,3 % dan Tenggara 22,9%, sedangkan kejadian tidak ada gelombang (*calm*) sebesar 38,1%.

Tinggi gelombang rencana berupa tinggi gelombang kala ulang 100 tahun (H_{100}) disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Tinggi Gelombang Rencana H_{100}

Arah Gelombang	H_{100} (m)
NE	5
N	5
SE	6

Untuk menentukan periode gelombang rencana digunakan grafik hubungan antara H dan T yang dihasilkan dari proses *hindcasting*. Grafik hubungan antara H dan T dapat dilihat pada Gambar 5.



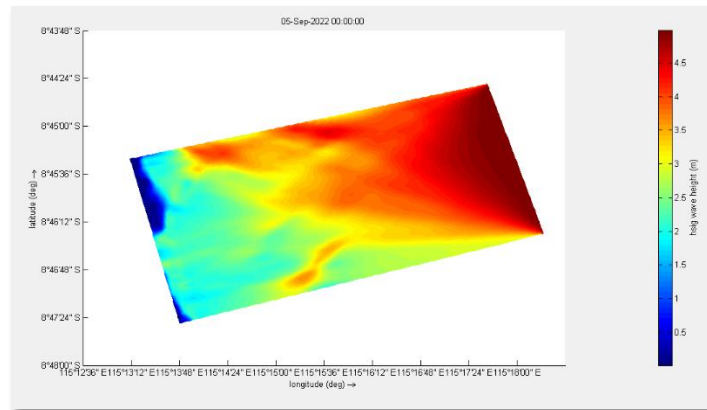
Gambar 5. Grafik Hubungan Antara H dan T

Dari Gambar 5 didapatkan persamaan $T = 3,8729 H^{0.5515}$ dengan nilai $R^2 = 0,9298$, yang selanjutnya akan digunakan untuk menghitung periode gelombang rencana. Tinggi dan periode gelombang rencana kala ulang 100 tahun dapat dilihat pada Tabel 4. Dari hasil analisis gelombang yang terdapat pada Tabel 4, gelombang maksimum berasal dari arah Tenggara dengan tinggi gelombang sebesar 6 m dan periode gelombang sebesar 11 detik yang selanjutnya akan dijadikan input dalam pemodelan gelombang.

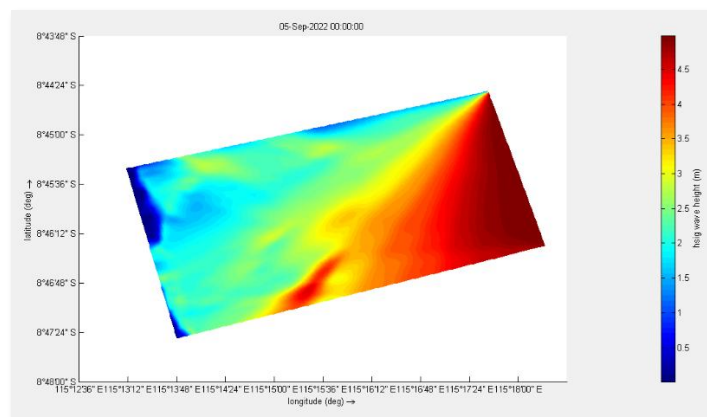
Tabel 4. Tinggi dan Periode Gelombang Rencana

Arah	H_{100} (m)	T (s)
Utara	5	10
Timur Laut	5	10
Tenggara	6	11

Pemodelan gelombang dilakukan untuk kondisi eksisting dan pada rencana *layout* pemecah gelombang. Gelombang yang memasuki perairan dangkal akan mengalami transformasi berupa berkurangnya kecepatan rambat gelombang, berkurangnya panjang gelombang, dan naiknya tinggi gelombang (Kurniadi & Windupranata, 2017). Hasil pemodelan transformasi gelombang untuk kondisi eksisting disajikan pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Tinggi Gelombang Hasil Transformasi Gelombang dari Arah Timur



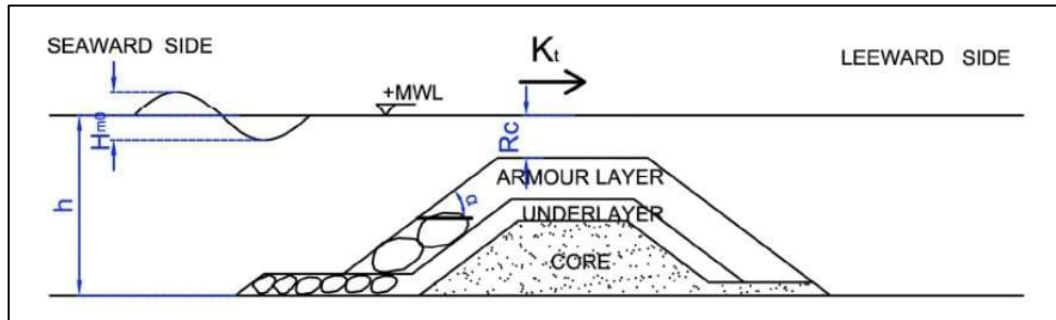
Gambar 7. Tinggi Gelombang Hasil Transformasi Gelombang dari Arah Timur Laut

Hasil pemodelan gelombang eksisting menunjukkan adanya penurunan tinggi gelombang dalam perambatan dari laut dalam ke pantai akibat proses transformasi gelombang (shoaling dan refraksi). Tinggi gelombang di pantai antara 2 sd 3 m.

Penentuan *layout* pemecah gelombang meliputi penentuan jarak struktur dari garis pantai, panjang struktur, serta jarak antar struktur. Pemecah gelombang direncanakan agar tidak menyebabkan sedimentasi sehingga *layout* pemecah gelombang berada 360 m dari garis pantai. Pemecah gelombang direncanakan sebanyak 3 unit dengan panjang setiap unit 180 m dan jarak antar struktur 22,5 m. Pemecah gelombang yang diusulkan adalah pemecah gelombang sisi miring yang terbuat dari *rubble mounds*, dan berupa pemecah gelombang ambang rendah (PEGAR) dengan puncak struktur berada pada elevasi -1 m dari MSL Gambar 8 merupakan sketsa *layout* pemecah gelombang di Pantai Nusa Dua Bali. Tipikal penampang melintang pemecah gelombang ditunjukkan pada Gambar 9.

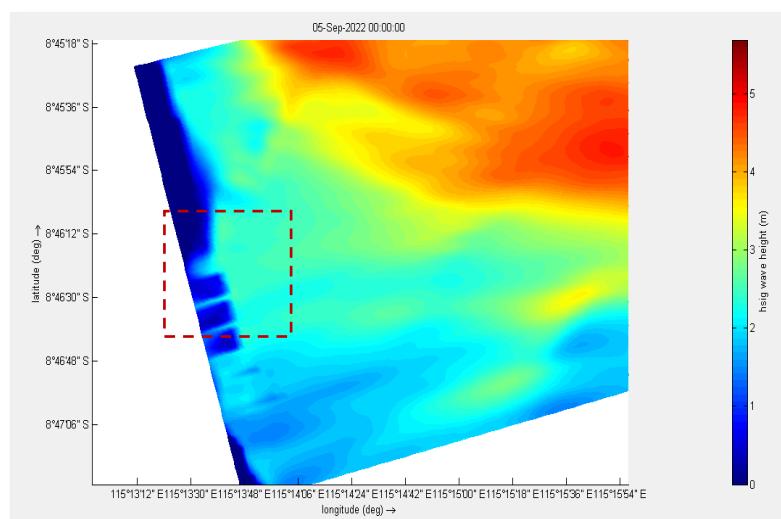


Gambar 8. Sketsa *Layout* Pemecah Gelombang

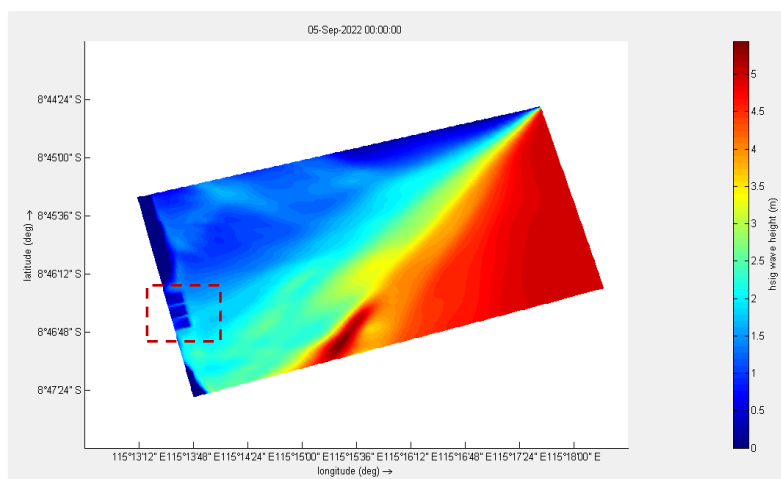


Gambar 9. Tipikal Penampang Melintang Pemecah Gelombang *Rubble Mounds* dengan Ambang Rendah
Sumber: Koftis et al, 2015

Hasil pemodelan transformasi gelombang pada rencana *layout* pemecah gelombang disajikan pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10. Tinggi Gelombang Hasil Pemodelan Transformasi Gelombang Setelah Ada Pemecah Gelombang dari Arah Timur



Gambar 11. Tinggi Gelombang Hasil Pemodelan Transformasi Gelombang Setelah Ada Pemecah Gelombang dari Arah Timur Laut

Metode untuk menilai efektifitas struktur pemecah gelombang adalah dengan membandingkan tinggi gelombang sebelum dan setelah adanya struktur pemecah gelombang (Sugianto et al., 2019). Hasil pemodelan gelombang setelah ada pemecah gelombang ambang rendah menunjukkan bahwa dengan layout yang telah ditentukan, pemecah gelombang dapat mengurangi tinggi gelombang di pantai, yang awalnya sekitar 2-3 m menjadi sekitar 1 m.

Kesimpulan

Pemecah gelombang ambang rendah (PEGAR) dengan elevasi struktur pada -1 m dari MSL direncanakan sebanyak 3 unit dan berada 360 m dari garis pantai dengan panjang struktur 180 m serta jarak antar struktur 22,5 m. Berdasarkan hasil pemodelan transformasi gelombang, pemecah gelombang ambang rendah yang direncanakan dapat mengurangi tinggi gelombang di pantai yang awalnya sekitar 2-3 m menjadi sekitar 1 m. Diharapkan dengan berkurangnya tinggi gelombang maka kecepatan arus sejajar pantai akan berkurang sehingga tidak menyebabkan erosi di Pantai Nusa Dua Bali.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan dari berbagai pihak yang terlibat dalam proses studi ini, baik berupa bantuan dalam pengumpulan dan analisis data, maupun atas diskusinya yang bermanfaat.

Daftar Notasi

H_{100}	= tinggi gelombang kala ulang 100 tahun
T	= periode gelombang
Y_{Br}	= jarak lokasi pecahnya gelombang dari garis pantai
Y_B, X	= jarak lokasi struktur pemecah gelombang dari garis pantai
L_B, L	= panjang struktur pemecah gelombang
L_g, G	= jarak antar struktur pemecah gelombang

Daftar Pustaka

- Ahdannabel, H., Widada, S., & Hariadi. (2017). Distribusi Sedimen Dasar Akibat Arus Sejajar Pantai di Sekitar Groin di Perairan Pantai Widuri Pemalang, J. Oseanograf., 6(4):650-658.
- Anthony Harlly Sasono Putro, Jung Lyul Lee. (2020). Analysis of Longshore Drift Patterns on the Littoral System of Nusa Dua Beach in Bali, Indonesia. Journal of Marine Science and Engineering, 8, 749.
- Chairunnisa, C., Atiah, S. N., & Wahyuni, R. (2019). *Penentuan tinggi gelombang desain untuk perencanaan rubble-mound breakwater Pelabuhan Belawan*. Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu dan Aplikasi Teknik, 18(1), 8–16. <https://doi.org/10.26874/jt.vol18no1.97>
- Dirjen Pengairan DPU, 1983 Laporan Hasil Peninjauan dan Saran Penanggulangan Wisata pantai Kawasan Nusa Dua Bali, Republik Indonesia
- Efendi, S. S. (2016). Pengaruh modifikasi bentuk groin terhadap perubahan garis pantai Sanur Bali. Jurnal Teknik Hidraulik, 7(1), 87–98.
- J. P. Ahren, J. Cox. (1990). Design and Performance of Reef Breakwaters. Journal of Coastal Research, 51(7), 61-75.
- Koftis et al. 2015. An Integrated Methodological Approach for The Upgrading of Coastal Structures due to Climate Change Effects, IAHR, Netherland
- Komar, P.D. (1998). Beach Processes and Sedimentation. Second Edition, Printice Hall, New Jersey, USA.
- Kurniadi, Y. N., & Windupranata, W. (2017). Transformasi gelombang pada batimetri ekstrim dengan model numerik SWASH: Studi kasus Teluk Pelabuhan Ratu, Sukabumi. RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil, 3(1), 26–35.
- K. Suh, R. Dalrymple. (1987). Offshore Breakwaters in Laboratory and Field. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 113(2), 105-121.
- Lansu, E.M., Reijers, V.C., Höfer, S. *et al*. A global analysis of how human infrastructure squeezes sandy coasts. *Nat Commun* 15, 432 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-44659-0>
- Putra, A., S. Husrin, T.A. Tanto and R. Pratama. (2015). Coastal Vulnerability for Climate Change in Northeastern Bali Province. Marine Engineering, Bandung Institute of Technology. Available online at www.sciencedirect.com.
- Sugianto, D. N., Purwanto, Handoyo, G., Oktaviani, A., Kunarso, Zainuri, M., & Indarjo, A. (2019). *Determination of submerged breakwater location for coastal protection in Panjang Island waters Jepara*. Advances in Science, Technology and Engineering Systems, 4(5), 346–351. <https://doi.org/10.25046/aj040545>
- Sulaiman, Dede M. *Teknologi PEGAR Untuk Penanggulangan Erosi Dan Abrasi Pantai*. Deepublish, 2021.
- Sulaiman, D. M., Yungga, B., & Wiryawan, B. A. (2018). *Applying low-crested breakwaters in restoring eroding muddy coasts of Demak, Central Java*. Proceedings of the 21st IAHR-APD Congress, Yogyakarta.
- Sulaiman, Dede M., 2017, Pagar Bercelah–Bangunan Pelindung dan Penumbuh Pantai, Deepublish, Yogyakarta Cetakan 1, Mei ISBN 978-602-453-090-7
- Van Rijn, L. C. (2018). *Detached breakwaters*. www.leovanrijn-sediment.com