

EVOLUSI PERUBAHAN GARIS PANTAI SETELAH PEMASANGAN BANGUNAN PANTAI

Soni Senjaya Efendi¹, IG. B. Sila Dharma², dan Ketut Suputra²

Abstrak: berbagai upaya telah dilakukan untuk mereduksi dampak negatif dari erosi baik dengan cara *hard structure* (pemasangan bangunan pantai) ataupun dengan *soft structure* misalnya dengan pengisian pasir. Salah satu lokasi kegiatan pekerjaan pengisian pasir dan pembangunan groin di Pulau Bali adalah Pantai Sanur. Hal ini dilakukan karena kerusakan yang terjadi di Pantai Sanur sudah mengancam fasilitas-fasilitas di sekitar pantai yang dapat menimbulkan kerugian karena rusaknya pantai akan mengurangi minat wisatawan untuk berkunjung dan menikmati suasana pantai yang indah. Evolusi garis pantai yang terbentuk dengan pengisian pasir dan pembangunan groin tegak lurus dan sejajar pantai di Pantai Sanur akan mengalami perubahan bentuk dari tahun ke tahun, karenanya perlu untuk melakukan evaluasi terhadap kinerja bangunan pantai dalam merubah pergerakan maju mundur garis pantai yang terjadi.

Metodologi dari kegiatan penelitian ini adalah membandingkan hasil keluaran model perubahan garis pantai dengan hasil pengukuran yang telah terjadi pada tahun 2012. Untuk kondisi kondisi di groin yang mengalami evolusi garis pantai mundur lebih besar, dilakukan upaya penanganan dengan modifikasi bentuk groin dan penambahan bangunan pantai baru.

Dari pendekatan hasil pemodelan yang dikaliberasi dengan hasil pengukuran, terdapat tiga ruas antar groin yang memerlukan upaya perbaikan, ketiga ruas groin itu adalah groin GN.4 – G7, G39 – GA2 dan G32 – G37. Pergerakan evolusi garis pantai di ketiga pasang groin tersebut menunjukkan tingkat kemunduran yang lebih besar dibandingkan dengan groin lain. Upaya yang dapat dilakukan adalah dengan memodifikasi dan penambahan bangunan pantai baru di groin – groin tersebut, upaya-upaya itu antara lain dengan menambahkan *breakwater* sejajar pantai diantara GN.4 – G.7 pada posisi tengah dari kedua groin, merubah bentuk T menjadi bentuk I pada groin GN4, sedangkan di G39 – GA2 dengan menghilangkan tekukan pada groin GA2 dan memasang groin sejajar pantai diantara groin G39-GA2, upaya yang dapat dilakukan di antara groin G32 - G37 dengan pemasangan pemecah gelombang sejajar pantai di bagian kiri dan kanan groin G32. Dengan melakukan modifikasi dan penambahan bangunan secara pendekatan model maka kemunduran di GN4 yang semula 6,15 meter menjadi 5,34 meter, kemunduran di GA2 dari 3,4 meter menjadi 2,85 meter, sedangkan kemunduran garis pantai di G32 dari 3,69 meter menjadi 2,98 meter.

Kata kunci: Evolusi garis pantai, Pantai Sanur Bali, pemodelan garis pantai, groin, *breakwater*.

Abstract : Reducing the negative effect of erosion problem efforts either by hard structure (e.g. groin construction) or soft structure (e.g. Sand nourishment) solution have been already implemented. One of the location with sand nourishment solution as well as the groin construction is located in Sanur beach, Bali. This location is in critical situation, where the infrastructure is threatened by the lack of the sediment amount and hence it will be impact on the tourism. The evaluation of the coast line changing impact due to the existing of coastal structure need to be assessed. In the worst case, where the coastline changes significantly, the efforts to solve the erosion problems are by groin shape modification and adding the new coastal structure. Simulation results show that there are three segment of the coastal area in between the groin need to be overcome, GN.4 – G7, G39 – GA2 and G32 – G37.

The methodology in this study is by comparing the simulation result with the measurement data in 2012.

The evolution of coastline changing in those areas shows significant coastal recession compare to the other places. What can be done to solve the problem is that by modifying and construct new structure. In GN.4 – G.7, we can construct breakwater paralel to the coastline in the middle. In GN 4, transforming the groin shape from T to I, in the location of G39 – GA2 we propose to omit the bending of the groin in GA2 and construct the groin parallel to the beach in between G39-GA2, in the location of G32 - G37 the breakwaters need to be constructed in the right side and in the left side of the groin G32. The modification of groin construction in the GN.4 – G7, G39 – GA2, and G32 – G37 reduces the losing of material. The coastal recession can be reduced from 6.15 m to 5.34 m in GN.4, in GA 2 from 3.4 m to 2.85 m, and in G32 from 3.69 m to 2.98 m.

Key words: coastline evolution, Sanur Bali beach, coastline model, groin, breakwater

¹ Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Sipil, Program Pascasarjana Universitas Udayana

² Staf Pengajar Program Studi Magister Teknik Sipil, Program Pascasarjana Universitas Udayana

PENDAHULUAN

Garis pantai adalah garis batas pertemuan antara daratan dan air laut, dimana posisinya tidak tetap dan dapat berpindah sesuai dengan pasang surut air laut dan erosi pantai yang terjadi (Triatmodjo, 1999). Terjadinya perubahan garis pantai sangat dipengaruhi oleh proses-proses yang terjadi pada daerah sekitar pantai (*nearshore process*), pada lokasi ini pantai selalu beradaptasi dengan berbagai kondisi yang terjadi. Proses ini berlangsung dengan sangat kompleks dan dipengaruhi oleh tiga faktor utama yaitu kombinasi gelombang dan arus, transport sedimen dan konfigurasi pantai yang saling mempengaruhi satu sama lain.

Berbagai upaya dilakukan untuk mereduksi dampak negatif dari erosi baik dengan cara *hard structure* (pemasangan struktur) ataupun dengan cara lain yang bersifat *soft structure* misalnya dengan pengisian pasir dan penanaman pohon pelindung pantai. Pada umumnya panjang groin berkisar antara 40 sampai 60 persen dari lebar rata-rata *surf zone*, dan jarak antara groin antara satu sampai tiga kali panjang groin (Horikawa, 1978).

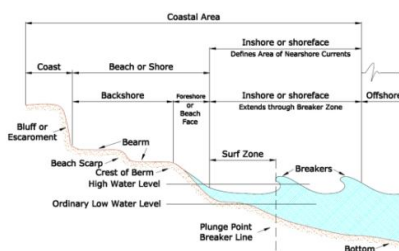
Penelitian ini difokuskan di Pantai Sanur sebagai salah satu lokasi yang telah dilakukan kegiatan pengisian pasir dan pembangunan groin tegak lurus dan sejajar pantai setelah sembilan tahun lalu seperti apakah perubahan garis pantai yang terjadi yang dibuktikan dengan hasil pengukuran bentuk profil pantai di Pantai Sanur. Data yang dihasilkan kemudian akan dijadikan sebagai alat untuk verifikasi model numerik dengan pemodelan menggunakan program GENESIS. Untuk kondisi kondisi tertentu yang merugikan keberadaan pantai dari hasil pemodelan, selanjutnya dilakukan upaya penanganan sampai terwujud satu kondisi terbaik yang memungkinkan. Hal ini dilakukan untuk mewujudkan suatu tatanan kawasan wisata yang lebih dapat dinikmati lebih layak dan memiliki nilai jual tinggi.

KAJIAN PUSTAKA

Pantai dan zona *nearshore* adalah daerah tempat energi dari laut beraksi ke arah darat. Sistem fisik daerah ini terutama terdiri dari aktifitas laut yang memberikan energi pada sistem dan pantai berfungsi untuk menyerap energi. Karena garis pantai adalah

pertemuan antara laut, darat dan udara, maka interaksi fisik yang terjadi di daerah ini menjadi unik, kompleks dan sangat sulit untuk dipahami sepenuhnya.

Pantai di seluruh dunia secara umum memiliki komposisi dan bentuk yang kurang lebih sama. Profil pantai (penampang melintang pantai yang diambil tegak lurus pantai), secara umum terdiri dari empat bagian yaitu: *offshore*, *nearshore*, *beach*, dan *coast*, seperti terlihat pada Gambar.1. Pasir yang membentuk profil ini dibentuk oleh gelombang datang dari *offshore* dan pecah di daerah *nearshore*.



Gambar 1. Profil melintang pantai (Sumber :Coastal Engineering Manual, 2001)

Pantai secara terus-menerus mengatur bentuk profilnya, proses ini berguna untuk mendapatkan kondisi efisien akibat proses disipasi energi gelombang yang datang dari laut yang biasanya disebut sebagai pengaturan respon pantai alami.

Bila gelombang datang terhalang oleh suatu rintangan seperti bangunan pelindung pantai atau pulau, maka gelombang tersebut akan membelok di sekitar ujung rintangan dan masuk di daerah terlindung di belakangnya. Fenomena ini dikenal dengan istilah *difraksi* gelombang. Perbandingan antara tinggi gelombang di suatu titik dengan tinggi gelombang datang disebut dengan *koeffisien difraksi (Kd)*.

Selain mengalami proses difraksi, gelombang juga mengalami proses *transformasi* yang berarti proses menjalarnya gelombang bersama energinya dari satu titik ke titik lain dan mengalami beberapa proses perubahan (*transformasi*) seperti perubahan tinggi gelombang, kecepatan gelombang, arah gelombang dan fenomena lain seperti proses pendangkalan (*wave*

shoaling) dan gelombang pecah (*wave breaking*).

Jika gelombang bergerak menuju perairan dangkal, maka akan terjadi perubahan karakteristik gelombang yang meliputi perubahan tinggi, panjang dan kecepatan gelombang. Dengan menganggap bahwa kemiringan perairan dapat diabaikan, maka panjang gelombang dan kecepatan gelombang dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut :

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L}, C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L}, L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}, C_0 = \frac{gT}{2\pi} \quad (1)$$

dimana

- L = Panjang gelombang (m)
- L₀ = Panjang gelombang di Laut Dalam (m)
- g = Percepatan gravitasi (m/s²)
- T = Periode gelombang (s)
- C = Celerity gelombang (m/s)
- C₀ = Celerity gelombang di Laut Dalam (m/s)
- d = Kedalaman air (m)

Dari persamaan (2.1), dapat dituliskan bentuk persamaan:

$$\frac{L}{L_0} = \frac{C}{C_0} = \tanh \frac{2\pi d}{L}, \text{ atau } \frac{d}{L_0} = \frac{C}{C_0} = \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (2)$$

Dari persamaan (2) terlihat bahwa panjang gelombang L pada kedalaman d ditentukan oleh kedalaman air dan panjang gelombang di laut dalam, dimana panjang gelombang ini dapat dihitung dari periode gelombangnya.

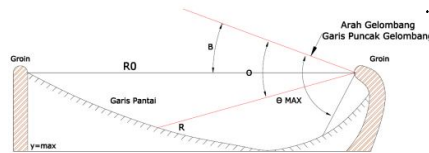
Erosi yang disebabkan manusia terjadi ketika kegiatan-kegiatan yang dilakukan memberikan pengaruh pada sistem alami di pantai. Kebanyakan erosi yang terjadi akibat kegiatan manusia dikarenakan oleh kurangnya pengetahuan manusia dalam mengelola wilayah pantai, selain itu, erosi pantai terjadi karena adanya kegiatan pembangunan di sekitar pantai yang memang secara ekonomi berguna bagi manusia.

Pantai akan stabil dan membentuk garis dengan lengkung parabolik setelah mengalami perubahan akibat gelombang.

Bentuk parabola tersebut akan terikat pada satu titik stabil yang disebut *headland*, yang dapat berupa pulau tanjung, pulau karang ataupun bangunan *groin* yang sengaja dibuat. Bentuk garis pantai stabil berupa lengkungan diantara dua tanjung tersebut dikenal dengan bentuk parabolik (Hsuet.al,1987). Rumus empiris lengkung parabolik yang menggambarkan bentuk garis pantai berpasir yang stabil ini dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$R/R_0 = 0.81 \beta^{0.83} / \theta^{0.77} \quad (3)$$

Dimana R adalah radius dari titik *difraksi*, R₀ adalah garis kontrol, β adalah sudut antara garis kontrol dan garis puncak gelombang, dan θ adalah sudut yang dibentuk garis puncak gelombang dengan garis R. Bila hanya ada satu buah *headland*, maka ujung lainnya akan berupa titik singgung antara parabola dengan garis pantai yang masih lurus. Bila ada 2 *headland* maka kedua ujung parabola akan terikat pada kedua *headland* (Silvester, 1997).



Gambar 2 Garis Pantai Stabil Akibat 2 Headland

(Sumber : Silvester, 1997)

Perubahan profil pantai sangat dipengaruhi oleh angkutan sedimen sepanjang pantai yang kemudian akan membentuk pantai kembali sebagai akibat adanya gelombang. Perubahan garis pantai dapat menyebabkan kerusakan yang menimbulkan dampak negatif seperti hilangnya fasilitas umum dan berkurangnya keindahan pantai sebagai tempat wisata. Model perubahan garis pantai didasarkan pada persamaan kontinuitas sedimen dengan membagi pantai menjadi sejumlah ruas (sel). Pada setiap sel ditinjau angkutan sedimen yang masuk dan keluar. (Triatmodjo, 1999). Sesuai dengan hukum kekekalan massa, jumlah laju aliran massa *netto* di dalam sel adalah sama dengan

laju perubahan massa di dalam sel setiap satuan waktu. Laju aliran sedimen *netto* di dalam sel dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Mn = \rho s(Qm - Qk) = -\rho s(Qk - Qm) = -\rho s\Delta Q \quad (4)$$

Sedangkan laju perubahan massa dalam sel tiap satuan waktu adalah :

$$Mt = \frac{\rho s V}{\Delta t} \quad (5)$$

Dimana ρs adalah rapat massa sediment sedangkan Qm dan Qk masing masing adalah debit masuk dan keluar sel. Dengan demikian maka :

$$-\rho s\Delta Q = \frac{\rho s V}{\Delta t} \quad (6)$$

$$-\Delta Q = \frac{d\Delta y \Delta x}{\Delta t} \quad (7)$$

$$\frac{\Delta y}{\Delta t} = -\frac{1}{d} \frac{\Delta Q}{\Delta x} \quad (8)$$

Persamaan $\frac{\Delta y}{\Delta t} = -\frac{1}{d} \frac{\Delta Q}{\Delta x}$ adalah persamaan kontinuitas sediment, dan untuk sel (elemen) yang kecil dapat ditulis menjadi :

$$\frac{\partial y}{\partial t} = -\frac{1}{d} \frac{\partial Q}{\partial x} \quad (9)$$

Dimana:

- y : jarak antara garis pantai dan garis referensi
- Q : transpor sedimen sepanjang pantai
- t : waktu
- x : Absis searah panjang pantai
- d : kedalaman air yang tergantung pada profil pantai. Kedalaman d dapat dianggap sama dengan kedalaman gelombang pecah.

Dasar asumsi model perubahan garis pantai adalah penampang pantai bergerak ke arah darat dan ke arah laut dengan bentuk yang sama. Banyak titik pada penampang pantai, khususnya pada posisi memanjang dengan garis dasarnya dan garis kontour. Garis kontour sebagai garis pantai

dalam model disebut sebagai perubahan garis pantai atau model reaksi/respon garis pantai.

METODOLOGI

Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir dari kegiatan penelitian ini adalah :

1. Pekerjaan bangunan pantai dan pengisian pasir yang telah dibangun di Pantai Sanur telah mengeluarkan biaya besar, karenanya perlu untuk dilakukan monitoring kinerja bangunan dan *trend* perubahan garis pantai yang telah terjadi dan akan terjadi.
2. Dengan penggunaan pendekatan model GENESIS, dapat diprediksi evolusi garis pantai akibat bangunan pantai untuk waktu yang akan datang selanjutnya dilakukan verifikasi dengan data hasil pengukuran langsung.
3. Pergerakan dan perubahan garis pantai yang kurang baik/merugikan sebagai respon pantai terhadap bangunan dilakukan evaluasi dan disarankan satu upaya solusi untuk mewujudkan satu lingkungan pantai yang lebih baik.

Waktu dan Lokasi Penelitian

Waktu penelitian dilaksanakan dengan membandingkan garis pantai Sanur Bali pada tahun 2004 sebagai kondisi awal dan garis pantai tahun 2012 sebagai evolusi garis pantai setelah delapan tahun pekerjaan pengisian pasir dan pembangunan bangunan pantai dan tahun 2028 sebagai kondisi evolusi garis pantai prediksi. Untuk garis pantai tahun 2012, hasil pemodelan GENESIS diverifikasi dengan hasil pengukuran langsung. Untuk kondisi – kondisi evolusi garis pantai yang kurang baik/merugikan, dilakukan penanganan berupa modifikasi dan penambahan bangunan pantai baru secara pendekatan model.

Metodologi Penelitian

Untuk memudahkan dalam proses pengerjaan dan mendapatkan hasil yang optimal. Metodologi penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut:

Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahap pertama yang dilakukan dalam pengerjaan tesis ini dengan cara mencari jurnal-jurnal dan buku-buku laporan yang berkaitan dengan evolusi garis pantai. Selain itu dipelajari *software* GENESIS yang akan digunakan sebagai alat bantu dalam menganalisa dan pemodelan perubahan garis pantai di Pantai Sanur.

Pengumpulan data

Kegiatan penelitian ini membutuhkan beberapa data yang perlu dikumpulkan guna kepentingan dalam mencapai tujuan penelitian. Data-data itu diantaranya :

Tabel 1 Data data yang digunakan dalam penelitian

No	Data	Sumber Data
1	Data garis pantai (<i>shoreline</i>) Pantai Sanur dalam format XY tahun 2004 sebagai data awal kondisi lokasi penelitian.	Survey langsung
2.	Data kedalaman laut (<i>bathimetri</i>) di Pantai Sanur dalam format XYZ tahun 2004 sebagai kondisi perairan di Pantai Sanur.	BWS Bali – Penida
3.	Data topografi Pantai Sanur.	BWS Bali – Penida
4.	Data gelombang jam-jaman minimal 1 tahun	BWS Bali - Penida

Pemodelan Respon Garis Pantai

Pemodelan gelombang ditampilkan bersama dengan *bathimetri* dan garis pantai yang telah diolah pada modul *Grid Generator* untuk di-*running* menggunakan simulasi model GENESIS sehingga diperoleh perubahan garis pantai hasil pemodelan untuk tahun – tahun ke depan.

Kalibrasi Model

Setelah mengolah data dengan *software* GENESIS, dilakukan kalibrasi dengan membandingkan perubahan garis pantai hasil simulasi model dengan hasil pengukuran langsung yang telah dilakukan oleh Balai Wilayah Sungai Bali – Penida di Denpasar dan Satuan Kerja Loka Pengembangan Teknologi Pantai, Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air pada tahun 2012.

Analisa Pembahasan

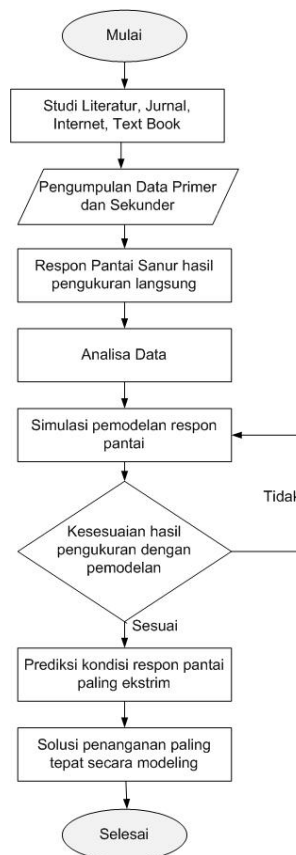
Hasil pemodelan evolusi garis pantai dengan bangunan, dilakukan pengamatan terhadap bagian-bagian di pantai yang mengalami kehilangan pasir lebih banyak dibandingkan dengan bagian lain untuk selanjunya dilakukan upaya pengamanan secara pendekatan model GENESIS.

Pemodelan Garis Pantai dengan Upaya Perbaikan

Melakukan pemodelan perubahan garis pantai kembali dengan penambahan dan modifikasi bangunan baru untuk mencari satu kondisi pantai yang paling ideal secara pendekatan model GENESIS.

Simpulan

Mengambil kesimpulan dari rangkaian kegiatan yang telah dilakukan sesuai dengan tujuan penelitian.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum

Pantai Sanur memiliki panjang pantai sekitar 6 Km, membentang dari Utara ke Selatan mulai dari Alit Bungalow sampai Pantai Mertasari, terletak di bagian Selatan kota Denpasar, ± 5 km dari kota Denpasar. Pantai Sanur merupakan salah satu pusat wisata pantai di Bali yang memiliki keindahan pantai yang sangat menarik. Kemiringan pantai yang landai dengan hamparan pasir putih dan air yang jernih menjadi aset pariwisata yang sangat menawan. Profil Pantai Sanur dimulai dari Jalan Hang Tuah (groin G3) sampai dengan posisi akhir pengisian pasir (groin GA1).

Bangunan-bangunan pengaman pantai di Pantai Sanur terbuat dari tumpukan batu (*rubble mound structure*) berupa groin dan pemecah gelombang (*offshore breakwater*). Konstruksi bangunan pantai berbentuk trapezium dengan kemiringan yang seragam yaitu 1:3 dengan susunan inti (*core*) di bagian dalam dan lapis lindung (*armor layer*) di bagian luar yang disusun secara acak. Inti bangunan berupa tumpukan batu andesit dengan berat ± 30 kg dan lapis lindung dengan berat ± 500 kg.

Tanjung buatan yang dipasang sebagai pengendali pasir isian di sepanjang Pantai Sanur terdiri dari krib tegak lurus pantai berbentuk “T” sebanyak empat buah (G3, G4, GN4 dan G32), krib tegak lurus pantai berbentuk “L” sebanyak enam buah (GN1, GN2, GN3, GN7, G16, GA2), krib tegak lurus pantai berbentuk “I” sebanyak lima buah (GA1, G39, G38, GN5, G37), dan krib sejajar pantai satu buah (BWN-1). Bangunan krib dibuat dari konstruksi batuan *andesit* dan *limestone* yang disusun secara berlapis menyerupai tanggul. Sebagian besar krib yang dipasang baik krib berbentuk “T” maupun “L” dibuat dengan membentuk lengkung di ujungnya/cekukan dengan tujuan untuk membatasi perpindahan pasir yang terjadi pada ujung krib. Dengan kondisi ini diharapkan terbentuk kantong pantai sehingga pasir dapat tertahan dan membentuk garis pantai yang melengkung menandakan garis pantai telah stabil dan mencapai keseimbangannya. Selain itu bentuk ujung krib yang melengkung berfungsi untuk menambah nilai estetika

pantai. Pengaruh ujung krib yang melengkung terhadap garis pantai yang terbentuk akan nampak berbeda dengan ujung krib yang lurus tanpa cekukan.

Kondisi Eksisting Setiap Segmen Pantai

Pengamatan evolusi garis pantai akibat pengaruh gelombang bisa dilakukan dengan berbagai cara diantaranya dengan pengamatan langsung secara berkala, untuk keperluan data ini, diambil data sekunder dari Dinas Pekerjaan Umum Propinsi Bali dan Balai Wilayah Sungai Bali - Penida untuk selanjutnya digunakan sebagai alat untuk verifikasi hasil simulasi model evolusi garis pantai di Pantai Sanur. Data hasil pengukuran dari Tahun 2004 sampai 2012, terjadi perubahan volume pasir seperti tergambar pada Tabel.2

Tabel.2 Perubahan dan Pergerakan Pasir di Pantai Sanur Setiap Segmen

Ruas pantai	Kumulatif kehilangan pasir dari pengisian awal (%)		Prosentasi kumulatif pasir tertahan	
	4 tahun setelah pengisian	8 tahun setelah pengisian	4 tahun setelah pengisian	8 tahun setelah pengisian
G.3 - G.4	-5%	0%	95%	100%
G.4 - G.5	-1%	0%	99%	100%
North - GN.1	-46%	-52%	54%	48%
GN1 - GN2	-8%	-10%	92%	90%
GN.2 - GN.3	-5%	-8%	95%	92%
GN.3 - G.7	-5%	-7%	95%	93%
G.7 - GN.4	-5%	-11%	95%	89%
GN.4 - G.16	-6%	-5%	94%	95%
G.16 - South	-7%	-8%	93%	92%
North - G.32	-25%	-27%	75%	73%
G.32 - G.37	21%	30%	121%	130%
G.37 - GN.5	11%	10%	111%	110%
GN.5 - G.38	-28%	-27%	72%	73%
G.38 - G.39	-18%	-21%	82%	79%
G.39 - GA.2	-18%	-23%	82%	77%
GA.2 - GA.1	-2%	5%	98%	105%
Total	- 8.8%	- 9.45%		

Garis pantai di Pantai Sanur mengalami kemunduran dan kehilangan material pasir isian dari kondisi sebelum penyerahan pekerjaan. Kehilangan material isian rata-rata sebesar 9,45% jika dibandingkan dengan tahun 2004, sedangkan kemunduran garis pantai yang terjadi sepanjang 2,56 m.

Permodelan Perubahan Garis Pantai Hasil Simulasi Kondisi Dasar Perairan

Data *bathimetri* adalah data gambaran kondisi dasar laut yang ada di daerah studi. Data *topografi* adalah data gambaran garis pantai yang ada di lokasi studi. Data *bathimetri* dan *topografi* adalah data yang

digunakan dalam simulasi permodelan analisa numerik dengan menggunakan pemodelan GENESIS. Dalam pengerjaan tesis ini luas peta sebesar 12 Km ke arah darat dan 2 Km ke arah laut.

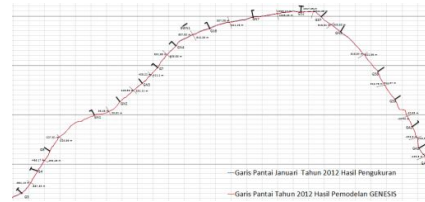
Simulasi Refraksi, Difraksi dan Shoaling

Perjalanan gelombang di Pantai Sanur dari laut dalam menuju pantai mengalami 3 (tiga) kejadian, yaitu *refraksi*, *difraksi* dan *shoaling*. Ketiga peristiwa ini haruslah dilalui agar dapat diketahui pola sebaran gelombang yang terjadi dan besaran gelombang yang melewati beberapa kondisi batas (dasar laut, besar butiran dasar dan kondisi garis pantai). Dari hasil permodelan yang ditampilkan terlihat gerakan gelombang menuju garis pantai dalam arah mendekati tegak lurus pantai dengan ketinggian yang membesar sebelum akhirnya pecah, fenomena ini menunjukkan bahwa pendekatan model telah berjalan dengan baik.

Dari hasil simulasi, pada umumnya gelombang pecah pada kedalaman -1.20 - +0.00 m (posisi *reef flat*). Kondisi spesifik dari model perairan adalah adanya palung (posisi *offshore* Werdhapura dan Kusumasari).

Hasil Kalibrasi

Dalam penelitian ini kalibrasi dimaksudkan untuk menilai akurasi output hasil pemodelan dibandingkan dengan kondisi lapangan di lokasi studi. Tahun yang digunakan dalam kalibrasi adalah tahun 2012. Dari kalibrasi ini, dihasilkan perbedaan antara kenyataan di lapangan dengan hasil pemodelan sebesar 2,89%. Hasil ini didapat dari membandingkan hasil pemodelan pada tahun 2012 dengan kenyataan di lokasi penelitian hasil pengukuran pada tahun yang sama dengan membagi lokasi penelitian menjadi 17 *cross section*. Setiap ruas antara dua groin diwakili oleh satu nilai perbedaan paling besar yang terjadi. Dengan nilai hasil kalibrasi 2,89%, menunjukkan akurasi output hasil pemodelan memiliki tingkat kesesuaian perubahan trend evolusi garis pantai dengan yang terjadi di lapangan. Gambar.4 menunjukkan Verifikasi Garis Pantai Sanur Antara Hasil Pemodelan GENESIS dengan Hasil Pengukuran Langsung Tahun 2012



Gambar 4 Verifikasi Garis Pantai Sanur Antara Hasil Pemodelan GENESIS Tahun 2012 dengan Hasil Pengukuran Langsung Tahun 2012

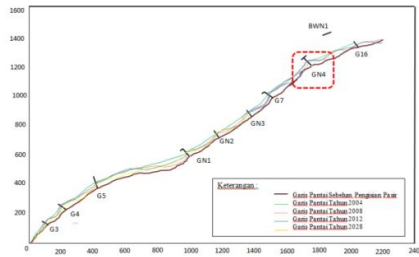
Hasil Simulasi Perubahan Garis Pantai

Dari hasil pemodelan, diketahui beberapa evolusi garis pantai yang kurang menguntungkan dan perlu upaya penanganan sebagai akibat adanya respon pantai terhadap arah gelombang, letak bangunan pantai, dimensi bangunan pantai, jarak antara bangunan dan kontour kedalaman perairan (*bathimetri*).

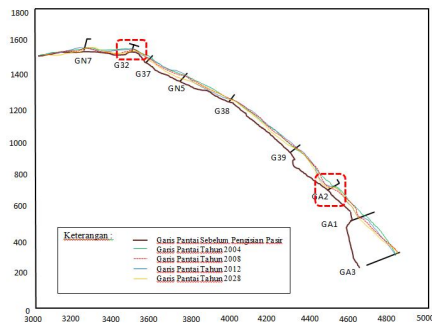
Perubahan garis pantai terbesar terjadi pada tahun 2008, hal ini dikarenakan pantai belum stabil dan masih mencari keseimbangan, sedangkan untuk tahun 2012 dan 2028, kondisi pantai telah stabil sehingga perubahannya tidak begitu besar. Dari hasil pemodelan terlihat tiga lokasi yang perlu dilakukan penanganan supaya kejadian erosi di ketiga lokasi tersebut dapat dikurangi. ketiga lokasi adalah GN4, GA2 dan G32. Identifikasi permasalahan yang terjadi di ketiga lokasi dapat diuraikan seperti pada Tabel.3. Sedangkan pada Gambar 5 dan Gambar 6 terlihat Evolusi Garis Pantai Sanur untuk tahun 2004, 2008, 2012 dan 2028

Tabel 3 Identifikasi Permasalah Pada Lokasi Perlu Penanganan

No	Lokasi	Identifikasi Permasalahan
1	GN4	Kerusakan di groin GN4 disebabkan karena adanya <i>difraksi</i> gelombang akibat bentuk T dari groin GN4. Posisi garis pantai di sebelah kiri GN4 terus mengalami kemunduran sedangkan sedimentasi terjadi di posisi G.7. kemunduran posisi garis pantai di pangkal GN4 diakibatkan arah gelombang datang di Pantai Sanur yang dominan mengarah ke NW dan pada posisi ini setelah gelombang pecah masih membentuk sudut dengan garis pantai, sehingga dominan transport sediment bergerak ke utara.
2	GA2	Erosi di sekitar groin GA2 disebabkan oleh <i>difraksi</i> gelombang datang dengan arah tegak lurus pantai yang diakibatkan oleh adanya lekukan pada groin GA2. Adapun pasir yang tererosi berpindah tempat dari sekitar groin GA2 ke Groin G39
3	G32	Kehilangan pasir di groin G32 disebabkan oleh adanya penggerusan akibat <i>difraksi</i> gelombang sebagai akibat bentuk T dari groin G32



Gambar 5 Evolusi Garis Pantai Sanur Pasca Pengisian Pasir Bagian Utara



Gambar 6 Evolusi Garis Pantai Sanur Pasca Pengisian Pasir Bagian Selatan

Upaya Penanganan Terhadap Respon Pantai Paling Ekstrim

Berdasarkan data hasil pengukuran tahun 2012, evolusi garis pantai akibat bangunan pantai di Pantai Sanur khususnya bagian groin GN4, G32 dan GA2 memerlukan satu upaya penanganan agar garis pantai yang terbentuk lebih stabil dan kehilangan pasir yang terjadi dapat dikurangi. Upaya modifikasi dan penambahan bangunan selanjutnya dimodelkan kembali untuk melihat pengaruh dari bangunan pantai baru dan modifikasi bangunan.

Untuk memperkecil kehilangan pasir di groin G32, GN4 dan GA2, selanjutnya dilakukan pemodelan GENESIS dengan skenario-1 dan skenario-2 seperti tampak pada Tabel. 4.

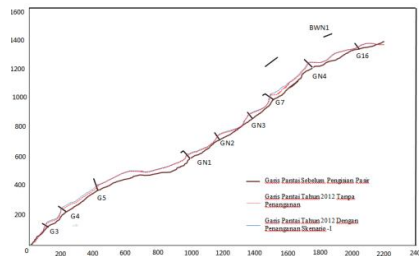
Tabel 4. Upaya dengan Skenario-1

No	Groin	Upaya pendekatan dengan model skenario 1
1	GN4	Menambahkan <i>breakwater</i> sejajar pantai diantara GN.4 – G.7 pada posisi tengah dari kedua groin ini dan merubah bentuk T menjadi bentuk I pada groin GN4
2	GA2	Menghilangkan tekukan pada groin GA2 dan memasang groin sejajar pantai diantara groin G39-GA2
3	G32	Dengan pemasangan pemecah gelombang sejajar pantai di bagian kiri dan kanan groin G32

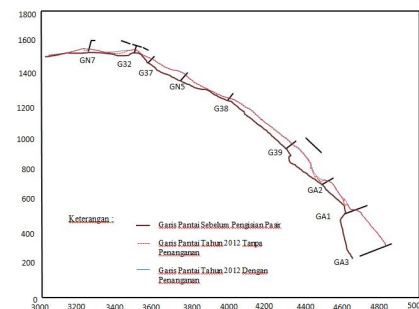
Hasil dari pemodelan dengan modifikasi skenario-1 seperti tampak pada Gambar 7 dan Gambar 8. Garis pantai yang terbentuk akibat modifikasi dan penambahan bangunan pantai baru di ketiga groin dapat diuraikan seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Efek Modifikasi dan Penambahan Bangunan Baru dengan Skenario-1

No	Groin	Uraian Hasil Pemodelan Skenario-1
1	GN4	Dengan penambahan <i>breakwater</i> sejajar pantai diantara GN.4 – G.7 pada posisi tengah dari kedua groin ini dan merubah bentuk T menjadi bentuk I pada groin GN4 mampu merubah kemunduran dari 6,15 meter menjadi 5,34 meter (dapat direduksi kerusakan sebesar 0,81 meter.
2	GA2	Dengan menghilangkan tekukan pada groin GA2 dan memasang groin sejajar pantai diantara groin G39-GA2, dapat mengurangi kemunduran garis pantai dari 3,4 meter menjadi 2,85 meter (dapat dikurangi kemunduran sebesar 0,55 meter)
3	G32	Kemunduran dapat dikurangi dari 3,69 meter menjadi 2,98 meter (berkurang 0,71 meter)



Gambar 7. Hasil Simulasi dengan Skenario-1 Pantai Sanur Bagian Utara



Gambar 8. Hasil Simulasi dengan Skenario-1 Pantai Sanur Bagian Selatan

Untuk mencoba penerapan yang lebih tepat dilakukan pemodelan GENESIS perubahan garis pantai dengan melakukan skenario -2 dengan upaya-upaya seperti pada Tabel 6

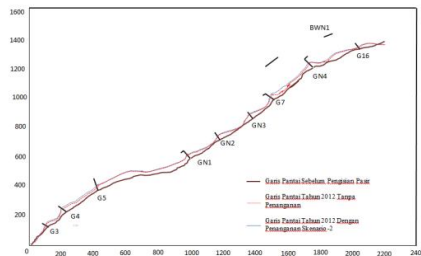
Tabel 6. Upaya dengan Skenario-2

No	Groin	Upaya pendekatan dengan model skenario 2
1	GN4	Menambahkan <i>breakwater</i> sejajar pantai diantara GN.4 – G.7 pada posisi tengah dan merubah bentuk T groin GN4 menjadi bentuk I
2	GA2	Memasang <i>breakwater</i> diantara groin G39-GA2
3.	G32	Mengubah bentuk T menjadi I dari groin G32

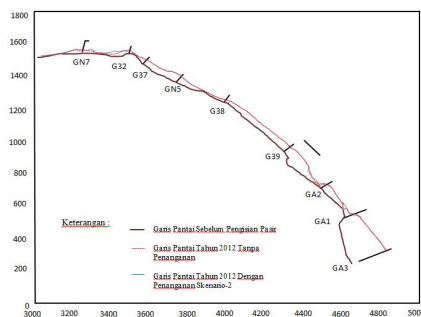
Hasil dari pemodelan dengan modifikasi skenario-2 seperti tampak pada Gambar 9 dan Gambar 10. Garis pantai yang terbentuk ketiga groin dapat diuraikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Efek Modifikasi dan Penambahan Bangunan Baru Skenario-2

No	Groin	Uraian Hasil Pemodelan Skenario-2
1	GN4	Menambahkan <i>breakwater</i> sejajar pantai diantara GN.4 – G.7 pada posisi tengah dan merubah bentuk T groin GN4 menjadi bentuk I mampu merubah kemunduran dari 6,15 meter menjadi 5,54 meter (dapat direduksi kerusakan sebesar 0,61 meter).
2	GA2	Dengan memasang <i>breakwater</i> diantara groin G39-GA2, dapat mengurangi kemunduran garis pantai dari 3,4 meter menjadi 2,97 meter (dapat dikurangi kemunduran sebesar 0,43 meter)
3	G32	Dengan mengubah bentuk T menjadi I dari groin G32, kemunduran dapat dikurangi dari 3,69 meter menjadi 3,11 meter (berkurang 0,58 meter)



Gambar 9. Hasil Simulasi dengan Skenario-2 Pantai Sanur Bagian Utara



Gambar 10. Hasil Simulasi dengan Skenario-2 Pantai Sanur Bagian Utara

Dari hasil pemodelan kembali dengan dua skenario, tampak terlihat perubahan respon pantai di groin G32, GA2 dan GN4 sebagai akibat dipasang dan dimodifikasinya bangunan pantai dengan pendekatan simulasi pemodelan GENESIS. Untuk lebih mudah dalam membandingkan setiap kondisi, maka perbedaannya dapat dilihat seperti pada Tabel 8.

Tabel 8 Perbandingan Kondisi Garis Pantai Sebelum dan Setelah Modifikasi

No	Groin	Kondisi		
		Tanpa Upaya Penanganan	Dengan Upaya skenario-1	Dengan Upaya Skenario-2
1	GN4	Terjadi kemunduran garis pantai sepanjang 6,15 meter	Kemunduran yang terjadi menjadi 5,34 meter (berkurang sepanjang 0,81 meter).	Kemunduran garis pantai menjadi 5,54 meter (berkurang sejauh 0,61 meter).
2	GA2	Terjadi kemunduran sepanjang 3,4 meter	Kemunduran menjadi sejauh 2,85 meter (berkurang 0,55 meter)	Kemunduran terjadi sejauh 2,97 meter (berkurang 0,43 meter)
3	G32	Terjadi kemunduran garis pantai sepanjang 3,69 meter	Kemunduran yang terjadi sejauh 2,98 meter (berkurang 0,71 meter)	Kemunduran terjadi sejauh 3,11 meter (berkurang 0,58 meter)

SIMPULAN DAN SARAN

SIMPULAN

- Bangunan - bangunan pantai berupa groin I, L, T dan groin sejajar pantai di Pantai Sanur pada umumnya telah menunjukkan kinerja yang baik, hal ini dibuktikan dengan terbentuknya kantong-kantong pasir diantara groin yang satu dengan groin lain disebelahnya yang menunjukkan pantai sudah dalam kondisi stabil.
- Berdasarkan hasil simulasi model yang dikalibrasi dengan hasil pengukuran langsung di lokasi penelitian, telah terjadi perubahan maju dan mundur garis pantai di Pantai Sanur. Terdapat tiga groin dengan pergerakan mundur yang cukup besar. Ketiga ruas groin itu adalah GN.4-G7, G39 – GA2 dan G32 – G37.
- Upaya yang dapat dilakukan dengan pendekatan model GENESIS di GN4 – G7 adalah dengan menambahkan *breakwater* sejajar pantai diantara GN.4 – G.7 pada posisi tengah dari kedua groin ini dan merubah bentuk T menjadi bentuk I pada groin GN4, di G39 –GA2 dengan menghilangkan tekukan pada groin GA2 dan memasang groin sejajar pantai diantara groin G39-GA2, sedangkan di

G32 - G37 dengan pemasangan pemecah gelombang sejajar pantai di bagian kiri dan kanan groin G32.

4. Dengan melakukan modifikasi dan penambahan bangunan secara pendekatan model maka kemunduran di GN4 dari 6,15 meter menjadi 5,34 meter, kemunduran di GA2 dari 3,4 meter menjadi 2,85 meter, sedangkan kemunduran garis pantai di G32 dari 3,69 meter menjadi 2,98 meter.

SARAN

Pemasangan struktur pantai dan pengisian pasir di Pantai Sanur telah menunjukkan tingkat kinerja bangunan yang baik, karenanya pelestarian pantai wisata dengan pengisian pasir dan pembangunan groin dapat mengacu pada pekerjaan di Pantai Sanur.

DAFTAR PUSTAKA

- CERC. 1984. *Shore Protection Manual. U.S Army Corp of Engineers. Washington DC.*
- CERC, 2001. "Coastal Engineering Manual EM 1110-2-1100 (Part VI)", Departement of The Army Waterway Experiment Station, Corps of Engineering Research Center, Fourth Edition, US Government Printing Office, Washington
- Dean, Robert G., and Robert A. Dalrymple. *Coastal Processes*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
- Hsu, J.R.C. and Evans, C, 1989, Parabolic bay shapes and applications, Proc. Inst. Of Civil Engineers, London, England, Vol.87, 557-570.
- Horikawa K., 1970. *Coastal Engineering, an Introduction to Ocean Engineering*, University of Tokyo.
- JICA, *The Feasibility Study on The Urgent Bali Beach Conservation Project*, Final Report, 1989.
- Pusat Litbang Sumber Daya Air, 2006, "Evaluasi Kinerja Prototip Bangunan Pengaman Pantai di Bali, Buku I: Laporan Utama", Laporan Akhir, Bandung
- Sulaiman, D. M. et.al, 2003, "Lessons From Bali Beach Conservation Project", *Proceedings of the sixth Conference on Port and Coastal Engineering in Developing Countries*, Colombo, Sri Lanka.
- Siladharm, IGB. and K.R. Hall, 2005, *Wave transmission and reflection relationships for wide-crested rubble mound breakwaters*, *Conference of Coastlines, Structures and Breakwaters, 20-22 April 2005, One George Street Westminster, London, UK*, Institution of Civil Engineers (ICE), London, UK
- Silvester, R. and Hsu, J.R.C., 1997, *Coastal Stabilization*, Advanced Series on Ocean Engineering, Vol. 14, World Scientific Publishing, Singapore.
- Sorensen, R. M. 1978. *Basic Coastal Engineering*. John Willey & Sons. New York.
- Triatmodjo, B. 1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset. Yogyakarta
- US Army Corp of Engineer, *GENESIS: Generalized Model for Simulating Shoreline Change, Report 1 Technical Reference, Washington DC 20314, 1989.*