

PREDIKSI PERUBAHAN GARIS PANTAI NUSA DUA DENGAN *ONE-LINE MODEL*

Ngakan Putu Purnaditya¹, I Gusti Bagus Sila Dharma², I Gusti Ngurah Putra Dirgayusa²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana,

²Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

E-mail: npurnaditya@yahoo.com

Abstrak : Prediksi perubahan garis pantai Nusa Dua bertujuan untuk mengetahui perubahan bentuk profil garis pantai yang terjadi setelah dilakukan pemasangan groin dan pengisian pasir pada awal tahun 2004. Hasil monitoring menunjukkan bahwa pada seluruh segmen groin terjadi perubahan garis pantai dari tahun ke tahun. Berdasarkan hasil studi refraksi dan gelombang pecah, arus sepanjang pantai dominan terjadi dari arah selatan menuju arah utara. Pemodelan perubahan garis pantai dilakukan dengan *One-Line Model* yang mensimulasi secara numerik pergerakan posisi garis pantai dengan berasumsi bahwa bentuk profil garis pantai tidak berubah selama proses erosi dan akresi terjadi. Hasil simulasi hingga tahun 2030 menunjukkan perubahan garis pantai yang cenderung mengalami keseimbangan antara maju dan mundurnya garis pantai pada segmen groin G0-G1, G1-G4, G4-G5, G5-GN1, G9-G10, G10-UG1, UG1-GN2, dan GN2-G12. Pada segmen GA8-G0 diprediksi akan mengalami pemunduran garis pantai yang cukup besar pada ujung groin G0. Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa pada bagian tengah-tengah segmen groin GA2-GA3, GA3-GA8 dan G12-Nusa Kecil tidak terjadi perubahan garis pantai yang signifikan.

Kata Kunci: Erosi, Akresi, Perubahan Garis Pantai, *One-Line Model*.

Abstract : Prediction of Nusa Dua Beach shoreline changes is conducted to know changes of shoreline profile that occur after groyne development and beach fill in early 2004. The result of monitoring shows that shoreline changes from year to year at all groyne segment. Based on refraction and wave breaking analysis, domination of longshore current occur from south to north. The shoreline changes modelling is conducted by *One-Line Model* in which numerically simulate of shoreline position movement with assumption that shoreline profile unchange during erosion and accretion process. The result of simulation until year 2030 shows inclined equilibrium shoreline changes between shoreline thrive and retreat at some groyne segment such as G0-G1, G1-G4, G4-G5, G5-GN1, G9-G10, G10-UG1, UG1-GN2, and GN2-G12. At GA8-G0 groyne segment is predicted occur large shoreline retreat at the end of G0. The result of simulation also shows that at the middle of GA2-GA3, GA3-GA8 and G12-Nusa Kecil, the shoreline does not change significantly.

Keywords: Erosion, Accretion, Shoreline Changes, *One-Line Model*.

PENDAHULUAN

Dinamika wilayah pantai menyebabkan wilayah pantai merupakan wilayah yang rentan terhadap berbagai masalah alam, salah satunya adalah masalah erosi pantai. Erosi pantai menyebabkan berbagai masalah pada lingkungan pantai. Masalah yang mendasar adalah masalah perubahan garis pantai (*Shoreline Changes*). Perubahan garis pantai terjadi akibat dari berbagai fenomena alam yang terjadi di lautan seperti angin, gelombang, pasang surut dan lain sebagainya. Fenomena alam tersebut berlangsung secara terus menerus sehingga wilayah pantai akan mengalami tekanan sehingga semakin lama garis pantai tersebut akan berubah.

Perubahan garis pantai ditandai dengan adanya suatu wilayah yang mengalami erosi (pengikisan) dan suatu wilayah yang mengalami akresi (sedimentasi). Peristiwa erosi dan akresi ini terjadi akibat pengaruh arus yang membawa angkutan sedimen dari berbagai sumber seperti laut, sungai atau material-material pantai.

Transportasi sedimen ini terjadi secara terus menerus hingga menyebabkan peristiwa erosi dan akresi tersebut. Dari pernyataan tersebut dapat dikatakan bahwa peristiwa perubahan garis pantai (*Shoreline Changes*) terjadi akibat transportasi sedimen yang terjadi pada pantai tersebut (Triatmodjo, 1999).

Banyak dampak yang akan terjadi akibat perubahan garis pantai terjadi. Untuk daerah-daerah yang mengalami erosi, hal ini dapat menyebabkan berbagai kerusakan lingkungan dan infrastruktur pantai (Pranoto, 2007). Lahan pantai akan semakin menyempit, kerusakan bangunan-bangunan, jalan, sawah, tambak hingga areal rekreasi merupakan beberapa dampak yang terjadi akibat peristiwa erosi pantai. Sedangkan akibat peristiwa akresi, apabila sedimentasi terjadi pada muara sungai, maka sungai tersebut berpotensi menimbulkan banjir, sehingga akan menghasilkan masalah baru pada lingkungan daerah aliran sungai sungai itu sendiri. Peristiwa perubahan garis pantai ini perlu diantisipasi sedemikian rupa

sehingga masalah-masalah lingkungan pantai dapat diminimalisasi.

Seiring perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, peristiwa perubahan garis pantai dapat diprediksi dengan berbagai cara. Macam-macam cara mulai dari cara sederhana hingga cara yang lebih kompleks dapat diterapkan untuk memprediksi perubahan garis pantai sampai kurun waktu tertentu. Metode yang paling sederhana adalah dengan membuat model matematika (model numerik). Model numerik itu sendiri memiliki berbagai jenis seperti model EOF (*Empirical Orthogonal Function*) seperti yang dilakukan oleh Anggraeni (2010) di Pelabuhan Tanjung Perak, model EPR (*End Point Rate*) seperti yang dilakukan oleh Rustamadji (2010) di Pantai Sambas Kalimantan dan model garis tunggal (*One-Line Model*) yang pernah dilakukan oleh Nizam (1986) di Pelabuhan Baai Bengkulu. Dalam penelitian ini digunakan *One-Line Model* dalam memprediksi perubahan garis pantai. *One-Line Model* merupakan model yang mengamati pergerakan posisi garis pantai dengan berasumsi bahwa bentuk profil pantai tidak berubah selama proses perubahan garis pantai terjadi (Nizam, 1986). *One-Line Model* ini digunakan dalam memprediksi perubahan garis pantai Nusa Dua pada masing-masing segmen groin serta antara dua pulau Nusa Kecil-Nusa Besar.

Pantai Nusa Dua yang terletak di propinsi Bali ini merupakan pantai pariwisata. Pantai ini memiliki sejarah masalah erosi pantai hingga pada tahun 2002-2004 melalui *Bali Beach Conservation Project* dilakukan penanganan masalah erosi pantai dengan pemasangan groin dan pengisian pasir. Perubahan garis pantai antara segmen groin akan disimulasikan dalam penelitian ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengamati kecenderungan dari perubahan bentuk serta memprediksi bentuk profil garis pantai Nusa Dua di masa yang akan datang. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dalam pengembangan ilmu teknik sipil secara umum dan ilmu teknik hidro secara khusus. Selain itu diharapkan pula melalui penelitian ini dapat memberikan gambaran mengenai wilayah-wilayah di pantai Nusa Dua yang diprediksi akan mengalami erosi yang besar serta sebagai masukan kepada instansi terkait dalam penanganan lanjutan yang mungkin dilakukan di masa yang akan datang.

MATERI DAN METODE

Peramalan Gelombang

Angin yang berhembus pada air yang tenang akan menyebabkan gangguan pada permukaan tersebut, dengan timbulnya riak gelombang kecil di atas permukaan air (Nur Yuwono, 1992). Peristiwa ini mengindikasikan adanya pengaruh gelombang angin terhadap bangkitan gelombang

air laut. Tinggi dan periode gelombang tersebut dapat diramalkan berdasarkan kecepatan angin yang terjadi pada ketinggian 10 meter di atas permukaan laut. Adapun langkah-langkah dalam peramalan gelombang antara lain sebagai berikut:

- Penentuan kecepatan angin pada ketinggian 10 m dengan persamaan:

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

U_z adalah kecepatan angin di bawah 10 m.

- Mengkonversi kecepatan U_{10} tersebut menjadi kecepatan angin di atas permukaan laut U :

$$U = U_{10} \times R_L \times R_T \quad (2)$$

Dengan R_L adalah faktor konversi angin daratan ke angin lautan sedangkan R_T adalah faktor perbedaan suhu.

- Menghitung Fetch efektif, F_{eff} yaitu jarak pembangkitan gelombang dari daratan di mana kecepatan dan arah angin adalah konstan. Fetch diukur untuk tiap arah angin di laut dan diukur tiap sudut 6° pada interval -42° sampai 42° untuk masing-masing arah. Adapun persamaan F_{eff} adalah sebagai berikut:

$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \quad (3)$$

Dengan X_i adalah panjang antara garis pantai dengan daratan terdekat pada masing-masing sub-interval sudut.

- Menghitung faktor tegangan angin U_A untuk masing-masing kecepatan angin dengan persamaan:

$$U_A = 0,71 \cdot U^{1,23} \quad (4)$$

- Menentukan tinggi dan periode gelombang laut dalam (H_o dan T) melalui grafik peramalan gelombang. Penentuan dilakukan dengan sistem *Fetch Limited* dan *Time Duration Limited*. Hasil dari kedua sistem tersebut dipilih yang terkecil.

Setelah didapat data gelombang signifikan tiap tahunnya, maka langkah berikutnya adalah menentukan tinggi dan periode gelombang yang direncanakan dengan analisis statistik gelombang. Data gelombang tahunan didapat dari data angin maksimum tiap tahun pada arah gelombang di laut. Data gelombang tersebut dianalisis secara statistik dan dipilih hasil terbaiknya melalui:

- Metode Gumbel

Dalam metode Gumbel, tinggi gelombang pada periode ulang tertentu ditentukan melalui persamaan berikut:

$$H_{ST} = \bar{H}_s + \frac{\sigma H_s}{\sigma n} (Y - \bar{Y}_n) \quad (5)$$

Dengan \bar{H}_s adalah rata-rata tinggi gelombang dari seluruh data gelombang. σH_s adalah deviasi standar dari data gelombang. Nilai Y , \bar{Y}_n , σn didapat berdasarkan Tabel 1, 2, dan 3.

Tabel 1 Nilai Y Masing-Masing Periode Ulang

Periode Ulang (Tahun)	Y
2	0,3665
5	1,4999
10	2,2502
20	2,9702
25	3,1985
50	3,9019
100	4,6001

Sumber: Nur Yuwono (1992)

Tabel 2 Nilai \bar{Y}_n untuk masing-masing jumlah data

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.495	0.499	0.503	0.507	0.510	0.512	0.515	0.518	0.520	0.522
20	0.523	0.525	0.526	0.528	0.529	0.530	0.532	0.533	0.534	0.535
30	0.536	0.537	0.538	0.538	0.539	0.540	0.541	0.541	0.542	0.543

Sumber: Nur Yuwono (1992)

Tabel 3 Nilai σ_n untuk masing-masing jumlah data

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.94	0.96	0.98	0.99	1.00	1.02	1.03	1.04	1.04	1.05
20	1.06	1.06	1.07	1.08	1.08	1.09	1.09	1.10	1.10	1.10
30	1.11	1.11	1.11	1.12	1.12	1.12	1.13	1.13	1.13	1.13

Sumber: Nur Yuwono (1992)

- Distribusi Fisher Tippet I

Distribusi Fisher Tippet I menghubungkan seluruh data gelombang ke dalam suatu persamaan regresi linier sebagai berikut (Triatmodjo, 1999):

$$\hat{H}_{sm} = \hat{A} \cdot y_m + \hat{B} \dots\dots\dots (6)$$

Dengan y_m adalah sebagai berikut:

$$y_m = -\ln\{-\ln F(H_s \leq H_{sm})\}$$

$$F(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m-0,44}{N_T+0,12} \dots\dots\dots (7)$$

Tinggi gelombang untuk periode ulang tertentu, dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$H_{sT} = H_{sr} + 1,28\sigma_r \dots\dots\dots (8)$$

$$H_{sr} = \hat{A} \cdot y_r + \hat{B} \dots\dots\dots (9)$$

$$\sigma_r = \sigma_{nr} \sigma H_s \dots\dots\dots (10)$$

Dengan:

$$y_r = -\ln\left\{-\ln\left(1 - \frac{1}{L \cdot T_r}\right)\right\} \dots\dots\dots (11)$$

- Distribusi Weibull

Seperti distribusi Fisher Tippet I, distribusi Weibull menghubungkan seluruh data gelombang ke dalam suatu persamaan regresi linier sebagai berikut (Triatmodjo, 1999):

$$\hat{H}_{sm} = \hat{A} \cdot y_m + \hat{B} \dots\dots\dots (12)$$

Dengan y_m adalah sebagai berikut:

$$y_m = [-\ln\{1 - F(H_s \leq H_{sm})\}]^{1/k} \dots\dots (13)$$

$$F(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m-0,2-\frac{0,27}{\sqrt{k}}}{N_T+0,2+\frac{0,23}{\sqrt{k}}} \dots\dots (14)$$

Tinggi gelombang untuk periode ulang tertentu, dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$H_{sT} = H_{sr} + 1,28\sigma_r \dots\dots\dots (15)$$

$$H_{sr} = \hat{A} \cdot y_r + \hat{B} \dots\dots\dots (16)$$

$$\sigma_r = \sigma_{nr} \sigma H_s \dots\dots\dots (17)$$

Dengan:

$$y_r = \{\ln(L \cdot T_r)\}^{1/k} \dots\dots\dots (18)$$

Untuk distribusi Fisher Tippet I dan Weibull berlaku nilai-nilai interval keyakinan sebagai berikut:

$$\sigma_{nr} = \frac{1}{\sqrt{N}} [1 + \alpha(y_r - c + \varepsilon \cdot \ln v)^2]^{1/2} \dots\dots (19)$$

Dengan:

$$\alpha = \alpha_1 \cdot e^{\alpha_2 N^{(-1,3)} + k\sqrt{-\ln v}} \dots\dots\dots (20)$$

Dengan nilai parameter berdasarkan Tabel 4

Tabel 4 Koefisien Untuk Menghitung Deviasi Standar

Distribusi	α_1	α_2	k	c	ε
Fisher-Tippet Type I	0,64	9,00	0,93	0,00	1,33
Weibull (k = 0,75)	1,65	11,40	-0,63	0,00	1,15
Weibull (k = 1,00)	1,92	11,40	0,00	0,30	0,90
Weibull (k = 1,40)	2,05	11,40	0,69	0,40	0,72
Weibull (k = 2,00)	2,24	11,40	1,34	0,50	0,54

Sumber: Triatmodjo (1999)

Nilai deviasi standar dari tinggi gelombang signifikan dihitung melalui persamaan:

$$\sigma_{H_s} = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^N (H_{sm} - \bar{H}_{sm})^2}{N-1}} \dots\dots\dots (21)$$

Parameter fungsi regresi dari kedua distribusi didapat dengan persamaan:

$$\hat{A} = \frac{N \sum y_m \cdot H_{sm} - \sum y_m \sum H_{sm}}{N \sum y_m^2 - (\sum y_m)^2} \dots\dots\dots (22)$$

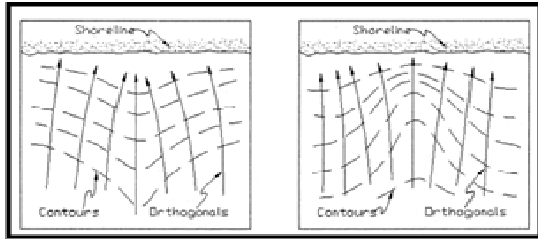
$$\hat{B} = \frac{\sum H_{sm}}{N} - \frac{\sum y_m}{N} \cdot \hat{A} \dots\dots\dots (23)$$

Deformasi Gelombang

Gelombang yang berasal dari laut dalam, menjalar menuju pantai dan akan mengalami perubahan bentuk (berdeformasi). Perubahan bentuk ini disebabkan oleh berbagai faktor antara lain, kelandaian pantai, perubahan kontur kedalaman gelombang dan adanya suatu penghalang gelombang. Proses-proses deformasi gelombang terdiri atas proses refraksi, difraksi dan gelombang pecah.

- Refraksi Gelombang

Peristiwa refraksi gelombang terjadi akibat perubahan kedalaman laut. Gelombang yang menjalar dengan membentuk sudut terhadap kontur dasar laut, akan berusaha membentuk sudut datang tegak lurus dengan kontur dasar. Proses refraksi dapat dilihat pada Gambar 1.



Sumber: CERC (2007)

Gambar 1 Ilustrasi Peristiwa Refraksi Gelombang

Sudut setelah proses refraksi dapat dihitung berdasarkan hukum *snell* dengan persamaan berikut:

$$\sin \theta_1 = \left(\frac{c_1}{c_0} \right) \cdot \sin \theta_0 \quad \dots\dots\dots (24)$$

Koefisien refraksi gelombang, K_r didapat melalui persamaan (CERC, 2007):

$$K_r = \sqrt{\frac{b_0}{b_1}} = \sqrt{\frac{\cos \theta_0}{\cos \theta_1}} \quad \dots\dots\dots (25)$$

Gelombang Pecah

Jika gelombang menjalar dari tempat yang dalam menuju ke tempat yang makin lama makin dangkal, maka pada suatu lokasi tertentu gelombang tersebut akan pecah (Triatmodjo, 1999). Kondisi gelombang pecah tergantung pada kemiringan dasar pantai m dan kecuraman gelombang. Adapun persamaan hubungan antara tinggi dan kedalaman gelombang pecah adalah sebagai berikut:

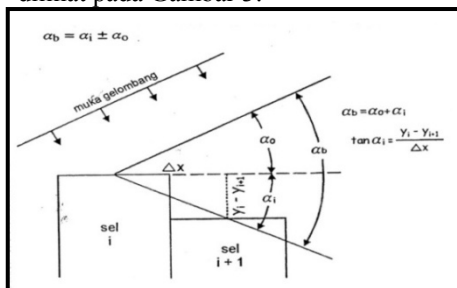
$$\frac{d_b}{H_b} = \frac{1}{b - (a \cdot H_b / g \cdot T^2)} \quad \dots\dots\dots (26)$$

Dengan:

$$a = 43,75(1 - e^{-19 \cdot m})$$

$$b = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5 \cdot m})} \quad \dots\dots\dots (27)$$

Peristiwa gelombang pecah juga menghasilkan sudut datang gelombang pecah. Sudut datang ini akan berubah-ubah akibat perubahan garis pantai. Adapun ilustrasi sudut datang gelombang pecah dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Proses Terbentuknya Sudut Gelombang Pecah (Sumber: Triatmodjo (1999))

Persamaan umum sudut datang gelombang pecah adalah:

$$\tan \alpha_b = \tan(\alpha_i \pm \alpha_0) = \frac{\tan \alpha_i \pm \tan \alpha_0}{1 \pm \tan \alpha_i \cdot \tan \alpha_0} \quad \dots\dots (28)$$

Transpor Sedimen Pantai

Telah dijelaskan sebelumnya bahwa peristiwa perubahan garis pantai dipengaruhi oleh transpor sedimen. Besarnya debit sedimen yang diangkut dapat diramalkan dengan metode *energy flux*. Dalam metode ini, angkutan sedimen dihitung mulai batas gelombang mulai pecah hingga garis pantai. Adapun persamaan untuk menghitung besarnya debit angkutan sedimen adalah sebagai berikut (CERC, 2007):

$$Q_s = K \cdot P_l^n \quad \dots\dots\dots (29)$$

Dengan:

$$P_l = E_b \cdot C_{gb} \cdot \sin \alpha_b \cdot \cos \alpha_b \quad \dots\dots\dots (30)$$

$$E_b = \frac{\rho \cdot g \cdot H_b^2}{8} \quad \dots\dots\dots (31)$$

$$C_{gb} = \sqrt{g \cdot d_b} \quad \dots\dots\dots (32)$$

Nilai koefisien K dan n berbeda tiap peneliti. Adapun beberapa pendapat mengenai nilai K dan n terdapat pada Tabel 5

Tabel 5 Beberapa Konstanta Rumus Transpor Sedimen Sepanjang Pantai

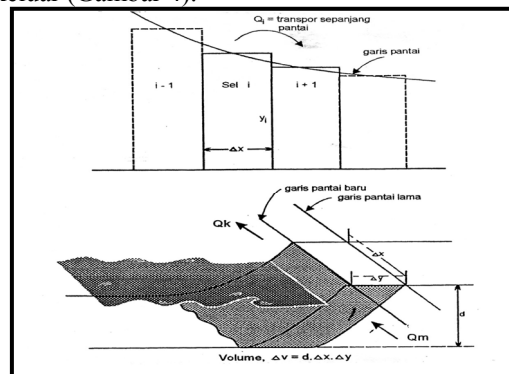
No	Peneliti	K	n
1	Caldwell	1.200	0,8
2	Savage	0,219	1,0
3	Ijima, Sato, Aono, Ishii	0,130	0,54
4	Ichikawa, Achiai, Tomita, Mourobose	0,130	0,8
5	Ijima, Sato	0,060	1,0
6	Tanaka	0,120	1,0
7	Komar, Inman	0,778	1,0
8	Das	0,325	1,0
9	CERC	0,401	1,0

Q_s ($m^3/hari$) dan P_l ($ton m/hari/m$)

Sumber: Triatmodjo (1999)

Perubahan Garis Pantai Dengan One-Line Model

Salah satu model matematika yang dapat digunakan dalam mensimulasikan perubahan garis pantai adalah *One-Line Model*. Dalam *One-Line Model* diasumsikan bentuk profil garis pantai tidak berubah selama proses simulasi berlangsung. Dalam model ini garis pantai dibagi menjadi beberapa pias dan pada masing-masing pias akan dihitung angkutan sedimen yang masuk dan yang keluar (Gambar 4).



Gambar 4 Pembagian Beberapa Sel Garis Pantai

Sumber: Triatmodjo (1999)

Adapun persamaan umum dari One-Line Model adalah sebagai berikut:

$$y_i^{n+1} = y_i^n - \frac{\Delta t}{\Delta x} (Q_{i+1}^n - Q_i^n)$$

(33)

Berikut ini adalah tahapan-tahapan dalam memprediksi perubahan garis pantai dengan *One-Line Model*:

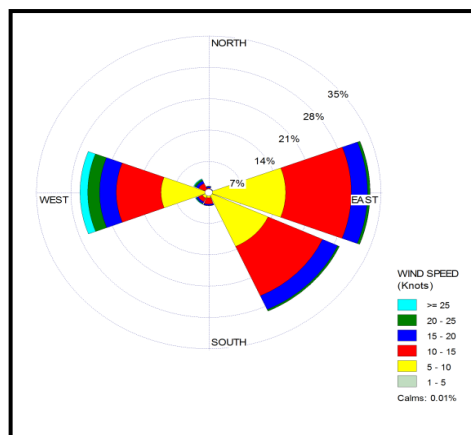
1. Tentukan bentuk garis pantai awal.
2. Bagi garis pantai dalam sejumlah pias atau sel.
3. Tentukan berbagai sumber sedimen dan sedimen yang hilang pada seluruh pias.
4. Hitung debit transport sedimen pada setiap pias berdasarkan periode gelombang serta sudut datang gelombang.
5. Hitung perubahan garis pantai pada tiap pias untuk setiap langkah waktu t .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini data angin yang digunakan adalah data angin tahun 1991-2010. Berdasarkan analisis distribusi frekuensi data angin, didapat hasil bahwa pada pantai Nusa Dua, arah angin dominan dari arah Timur. Arah yang ditinjau dalam analisis adalah arah timur laut dengan presentase kejadian 0,9857%, arah timur 32,731% dan tenggara 29,1308%. Analisis tersebut dilakukan dengan bantuan program *Wr-Plot View*. Gambar 3.1 adalah *Wind Rose* dari data angin 1991-2010.



Gambar 5 Lokasi Penelitian



Gambar 6 Windrose Tahun 1991-2010

Dari hasil analisis distribusi frekuensi, dilakukan perhitungan peramalan gelombang untuk arah-arah yang berpengaruh (timur laut, timur dan tenggara). Analisis fetch menunjukkan keekstriman jarak F_{eff} pada arah tenggara, hal ini karena untuk seluruh sudut di arah tenggara jarak terdekat dengan daratan adalah di atas 1000 Km. Hasil perhitungan Fetch Efektif seperti pada Tabel 6.

Tabel 6 Hasil Perhitungan Fetch Efektif

Arah	Feff (Km)
Timur Laut	96.943
Timur	574.427
Tenggara	1000

Setelah dilakukan perhitungan F_{eff} dilakukan perhitungan peramalan gelombang berdasarkan *Fetch Limited* dan *Time Duration Limited* (Tabel 7)

Tabel 7 Hasil Perhitungan Peramalan Gelombang

Tahun	Fetch Limited				Td Limited	
	Arah	Feff (Km)	Hs (m)	Ts (dt)	Hs (m)	Ts (dt)
1991	Timur	574.427	6.5	13.25	1.7	5.4
1992	Tenggara	1000	6.25	13.25	1.6	5.25
1993	Timur	574.427	8.2	14.5	2.26	6.2
1994	Timur	574.427	7.2	13.8	1.88	5.65
1995	Timur Laut	96.943	3.25	7.9	2.23	6
1996	Timur	574.427	6.9	13.6	1.75	5.5
1997	Tenggara	1000	9	15.7	1.9	5.75
1998	Timur	574.427	7.4	13.9	1.9	5.75
1999	Timur	574.427	8.1	14.3	2.25	6.1
2000	Timur	574.427	4.2	10.75	1.2	4.75
2001	Timur	574.427	5.25	12	1.38	5
2002	Timur Laut	96.943	2.4	7.1	1.5	5.2
2003	Timur	574.427	3.75	10.25	1.13	4.6
2004	Timur	574.427	4.6	11.25	1.26	4.8
2005	Timur	574.427	5.7	12.6	1.5	5.2
2006	Tenggara	1000	9	15.7	1.9	5.75
2007	Tenggara	1000	5.7	12.6	1.5	5.2
2008	Tenggara	1000	6.9	13.9	1.7	5.4
2009	Tenggara	1000	12	18	2.4	6.3
2010	Timur	574.427	6.9	13.6	1.75	5.5

Dari hasil peramalan gelombang didapat data-data gelombang seperti Tabel 7. Data gelombang yang digunakan adalah yang berdasarkan *Time Duration Limited*, karena menghasilkan nilai yang lebih kecil dibandingkan *Fetch Limited*. Data gelombang maksimum tiap tahun tersebut kemudian dianalisis secara statistik untuk

mendapatkan tinggi dan periode gelombang yang direncanakan. Hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 8. Dari hasil analisis dipilih tinggi gelombang (Ho) 2,1801 m dan periode (T) 6,0523 dt.

Data gelombang yang direncanakan tersebut akan digunakan untuk analisis refraksi (persamaan 24 dan 25) dan gelombang pecah (persamaan 26 dan 27). Analisis menghasilkan kedalaman dan tinggi gelombang saat mulai pecah dari berbagai arah (Tabel 9).

Tabel 8 Hasil Perhitungan Statistik Gelombang

Kala Ulang (Tahun)	Tinggi Helombang, H (m)			Periode Gelombang, T (dt)		
	Fisher-Tippet I	Weibull	Gumbel	Fisher-Tippet I	Weibull	Gumbel
2	1.7888	1.7503	1.6807	5.5368	5.4883	5.3940
5	2.1801	2.1890	2.0702	6.0523	6.0617	5.9080
10	2.4559	2.6059	2.3281	6.4159	6.6068	6.2483

Tabel 9 Hasil Perhitungan Gelombang Pecah Pada Seluruh Segmen Groin

No	Segmen Groin	db (m)			Hb (m)		
		TL	T	TG	TL	T	TG
1	GA2 - GA3	2.45	2.55	2.25	2.16	2.24	2.01
2	GA3 - GA8	2.30	2.40	2.10	2.18	2.26	2.02
3	GA8 - G0	2.20	2.30	2.05	2.18	2.26	2.05
4	G0 - G1	2.20	2.25	2.00	2.22	2.27	2.05
5	G1 - G4	2.10	2.14	1.90	2.22	2.26	2.04
6	G4 - G5	1.95	2.05	1.80	2.23	2.32	2.08
7	G5 - GN1	1.95	2.00	1.76	2.26	2.31	2.07
8	GN1 - G9	2.15	2.23	1.95	2.22	2.29	2.04
9	G9 - G10	2.20	2.30	2.03	2.19	2.27	2.04
10	G10 - UG1	1.94	2.00	1.75	2.26	2.32	2.07
11	UG1 - GN2	2.00	2.05	1.80	2.25	2.30	2.06
12	GN2 - G12	1.87	1.95	1.70	2.26	2.34	2.09
13	G12 - Nusa Kecil	2.05	2.15	1.87	2.22	2.31	2.05
14	Nusa Kecil - Nusa Besar	2.05	2.10	1.85	2.24	2.29	2.06

Setelah dilakukan analisis gelombang pecah pada masing-masing segmen, maka dilakukan tahap terakhir yaitu tahap pemodelan (*Modelling*).

Tahap pertama dalam simulasi perubahan garis pantai, dilakukan validasi model terhadap garis pantai tahun 2008. Berdasarkan hasil validasi, terdapat kemiripan model garis pantai antara garis pantai model dengan garis pantai hasil monitoring 2008 pada hampir seluruh segmen

groin (Gambar 7). Secara umum, pada tengah bentang segmen tidak terjadi perbedaan yang signifikan akan tetapi pada ujung segmen groin terjadi perbedaan yang cukup besar. Hal ini dikarenakan dinamika yang sangat kompleks pada daerah ujung groin terutama pada groin dengan bentuk selain bentuk lurus.

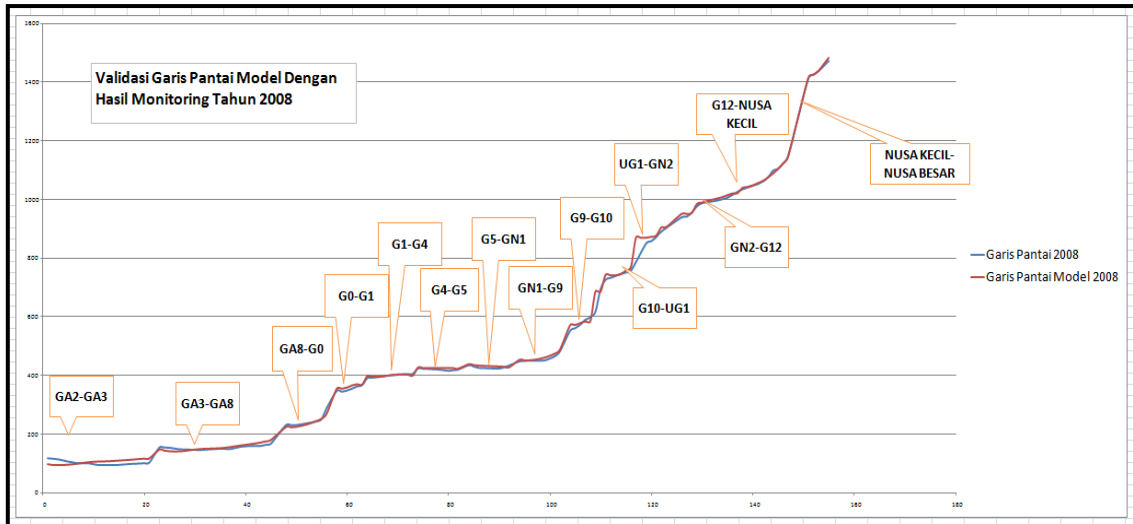
Setelah melalui tahap pertama yaitu validasi dan diyakini model sudah mendapatkan hasil validasi terbaiknya, maka dilakukanlah simulasi perubahan garis pantai sampai kurun waktu tertentu. Dalam penelitian ini dilakukan simulasi perubahan garis pantai sampai tahun 2030. Garis pantai hitam merupakan garis pantai 2004, warna merah adalah 2015, warna biru adalah 2020, warna kuning adalah 2025 dan warna hijau adalah 2030.

Dari hasil simulasi didapatkan bahwa untuk segmen groin GA2-GA3, GA3-GA8 (Gambar 8), dan G12-Nusa Kecil, garis pantai cenderung lebih stabil karena segmen ini adalah segmen panjang dan cenderung lurus. Perubahan besar terjadi pada ujung-ujung groin segmen tersebut.

Pemunduran Garis Pantai yang besar terjadi pada segmen GA8-G0 (Gambar 9). Pemunduran terjadi pada ujung groin G0. Pemunduran ini menyebabkan isian pasir pada ujung groin G0 ini habis. Hal ini terjadi kemungkinan karena bentuk groin yang lurus sehingga cenderung terbuka, selain itu akibat pemasangan groin yang condong ke timur laut menyebabkan segmen ini hampir sepenuhnya dipengaruhi oleh gelombang dari timur yang cenderung tegak lurus garis pantai.

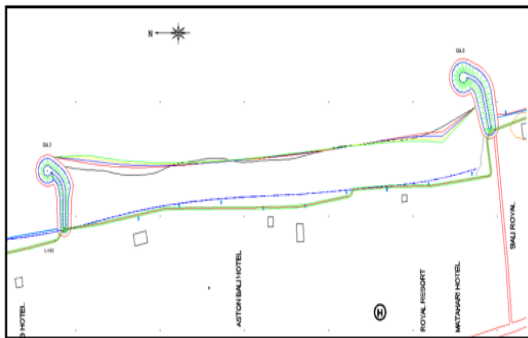
Untuk segmen groin G0-G1, G1-G4, G4-G5, G5-GN1, G9-G10, G10-UG1, UG1-GN2, dan GN2-G12 cenderung mengalami keseimbangan antara maju dan mundurnya garis pantai (Gambar 10).

Hal ini dapat dilihat dari Gambar perubahan garis pantai di mana besarnya pemunduran cenderung sama dengan majunya garis pantai. Pada segmen GN1-G9 keseimbangan antara erosi dan akresi belum terjadi, terlihat dari gambar yang Menunjukkan kecenderungan garis pantai yang maju (Gambar 11).



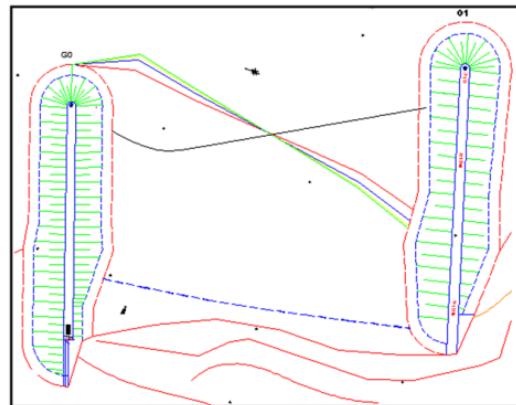
Gambar 7 Hasil Validasi Model

• Segmen GA3-GA8



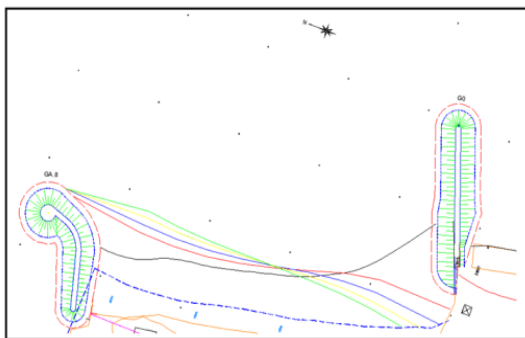
Gambar 8 Model Perubahan Garis Pantai Segmen GA3-GA8

• Segmen G0-G1



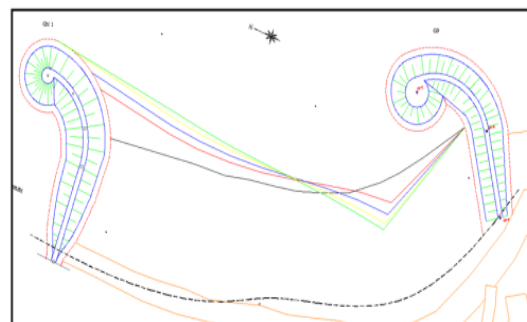
Gambar 10 Model Perubahan Garis Pantai Segmen G0-G1

• Segmen GA8-G0



Gambar 9 Model Perubahan Garis Pantai Segmen GA8-G0

• Segmen GN1-G9



Gambar 11 Model Perubahan Garis Pantai Segmen GN1-G9

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

- Perubahan garis pantai Nusa Dua terjadi pada seluruh segmen.

- Pemunduran garis pantai terbesar terjadi pada segmen GA8-G0, ujung groin G0 hingga isian pasir menjadi habis.
- Sebagian besar segmen groin di pantai Nusa Dua mencapai keseimbangan antara maju dan mundurnya garis pantai.

Adapun saran yang dapat diberikan untuk perbaikan pada penelitian serupa yaitu:

- Perlu adanya perhitungan difraksi gelombang untuk semakin meningkatkan ketelitian dalam perhitungan.
- Perlu dilakukannya survey diameter butiran sedimen pada pantai yang ditinjau agar dapat digunakan persamaan angkutan sedimen yang memperhitungkan properties butiran.
- Perlu dilakukan penelitian serupa dengan model numerik lainnya seperti EOF dan EPR.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada ketua jurusan Teknik Sipil Universitas Udayana beserta jajarannya, kepada tim JITS (Jurnal Ilmiah Teknik Sipil) Universitas Udayana, dan kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan jurnal ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraeni, Retno; Suntoyo; Sambodho, Kriyo. *Analisa Perubahan Profil Pantai Di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya Dengan Menggunakan Empirical Orthogonal Function (EOF)*. Fakultas Teknologi Kelautan. Institiut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- CERC. 2007. *Coastal Engineering Manual*. US Army Coastal Engineering Research Center, Washington.
- Nizam. *Model Perkembangan Garis Pantai*. Media Teknik Edisi No. 3 Tahun VIII, Agustus 1986.
- Pranoto, Sumbogo. *Prediksi Perubahan Garis Pantai Menggunakan Model GENESIS*. Berkala Ilmiah Teknik Keairan Vol. 13, No. 3, 2007.
- Rustamaji, dkk. *Model Kerentanan Kawasan Pantai, Studi Kasus Di Kecamatan Jawai Selatan Dan Jawai Kabupaten Sambas Kalimantan Barat*. Jurnal Dialog Penanggulangan Bencana Vol. 1, No. 1, 2010.
- Triatmodjo, Bambang. 1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset, Yogyakarta.
- Yuwono, Nur. 1992. *Teknik Pantai, Dasar-Dasar Perencanaan Bangunan Pantai, Volume II*. Laboratorium Hidraulika dan Hidrologi, PAU-IT Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta.