

Analisa Perubahan Garis Pantai Tuban, Jawa Timur dengan Menggunakan *Empirical Orthogonal Function* (EOF)

Moch. Rizal Azhar, Suntoyo, Mahmud Musta'in

Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: suntoyo@oe.its.ac.id

Abstrak— Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola dominan dari variasi perubahan garis pantai Tuban, yang dinyatakan dengan persamaan *Empirical Orthogonal Function* (EOF). Persamaan EOF tersebut memerlukan data input garis pantai dua bulanan yang diperoleh dari peramalan menggunakan *online model*. Hasil analisa EOF dengan validasi peta tahun 2011 menunjukkan terjadi perubahan pada pias 1-30, pias 31-60, pias 61-90, pias 91-120, dan pias 121-150. Perubahan terjadi pada pias 31-60 sebesar 0.0005%, sedangkan pada pias lainnya sebesar 0-0.0001%. Sebagian besar pias tetap stabil apabila dibandingkan dengan garis pantai awal tahun 2005. Setelah itu, *eigenvalue* dari hasil analisa EOF dihubungkan dengan parameter dekat pantai. Dari hasil analisa semakin besar *eigenvalue* yang dihasilkan, maka semakin besar pula nilai dari energi gelombang (E), *Wave Stepness* (Ho/Lo), Fluks energi gelombang *cross shore* (Fx) ataupun *longshore* (Fy) sehingga terjadi suatu perbandingan yang lurus. Sedangkan untuk *eigentemporal* c(t), dimana semakin besar sudut datang maka energi gelombang (E), *Wave Stepness* (Ho/Lo), Fluks energi gelombang *cross shore* (Fx) ataupun *longshore* (Fy) akan bernilai semakin kecil sehingga terjadi suatu perbandingan yang terbalik.

Kata Kunci— Analisa EOF, *eigenfunction*, *eigenvalue*, perubahan garis pantai.

I. PENDAHULUAN

GARIS pantai adalah batas pertemuan antara bagian laut dan daratan pada saat terjadi air laut pasang tertinggi. Dan perubahan garis pantai dapat diprediksi dengan membuat model matematika yang didasarkan pada imbalanced sedimen pantai pada daerah yang ditinjau. Terjadinya perubahan garis pantai sangat dipengaruhi oleh proses-proses yang terjadi pada daerah sekitar pantai (*nearshore process*), dimana pantai selalu beradaptasi dengan berbagai kondisi yang terjadi [1].

Salah satu metode yang berkembang dan digunakan untuk analisa perubahan garis pantai adalah dengan analisa spasial dan temporal menggunakan metode *Empirical Orthogonal Function* (EOF). [2] Analisa EOF ini bertujuan untuk memisahkan keterkaitan data temporal dan spasial sehingga dapat dihasilkan sebagai kombinasi linier fungsi yang sesuai dari ruang dan waktu. Fungsi tersebut secara objektif mewakili variasi konfigurasi pantai terkait perubahan terhadap jarak dan waktu pada garis pantai selama waktu studi.

Selain itu, [2] melakukan analisa perubahan topografi di muara sungai Natori akibat pembangunan pelabuhan Yuriage

dan di sekitar pelabuhan Sendai di Jepang. [3] mengembangkan model *empirical eigenfunction* dua dimensi baru dari yang diusulkan sebelumnya pada tahun 1986 untuk prediksi perubahan pantai akibat kombinasi pengaruh transportasi sedimen arah *longshore* dan *cross-shore*. [4] melakukan riset terbaru menggunakan metode EOF untuk menganalisa perubahan garis pantai di belakang dua jenis desain *detached breakwater*, dengan menggunakan data rekaman video selama 30 bulan, di pantai Sea Paling, Inggris.

Pantai Tuban merupakan kawasan dengan nilai ekonomis tinggi, misalnya wisata Pantai Tasik Harjo yang berada di Desa Sugihwaras, Kecamatan Jenu. Selain itu, pihak DKP juga mengusulkan untuk menjadikan rest area di wilayah Desa Sugihwaras, Pantai Panyuran, hingga Desa Kradenan, Kecamatan Palang. Namun abrasi menjadi kendala atas penataan kawasan pantai di daerah tersebut. Bukti paling mencolok adalah tempat Wisata Pantai Tasik Harjo di Desa Sugihwaras, Kecamatan Jenu yang kini tinggal puing-puingnya. Disamping faktor-faktor alamiah tersebut, semakin ramainya aktivitas industri di perairan laut Tuban semakin menjadikan kawasan pesisir Tuban terancam.

Analisis dilakukan pada penelitian ini untuk mengetahui kondisi perubahan garis pantai Tuban secara spasial dan temporal dengan menggunakan metode EOF tersebut. Dan hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi informasi terhadap pihak yang berkepentingan dalam mengembangkan wilayah pesisir pantai Tuban.

II. URAIAN PENELITIAN

Gelombang juga akan mengalami perubahan arah akibat variasi kedalaman dasar laut karena kecepatan rambat gelombang tergantung kepada kedalaman dasar laut. Peristiwa berubahnya arah perambatan dan tinggi gelombang disebut dengan *refraksi*. Sedangkan jika gelombang yang merambat tersebut terhalangi oleh suatu bangunan laut (mis: Breakwater) maka akan terjadi penyebaran energi gelombang kearah samping dari arah perambatan gelombang dan peristiwa semacam ini yang disebut dengan *difraksi*.

Refraksi Gelombang

Kecepatan rambat gelombang bergantung pada kedalaman air dimana gelombang menjalar. Bila cepat rambat gelombang berkurang dengan kedalaman, panjang gelombang juga

berkurang secara linier. Variasi cepat rambat gelombang terjadi sepanjang garis puncak gelombang yang bergerak dengan membentuk sudut terhadap garis kedalaman laut karena bagian dari gelombang di laut dalam bergerak lebih cepat daripada bagian di laut yang lebih dangkal. Variasi tersebut menyebabkan puncak gelombang membelok dan sejajar dengan garis kontur dasar laut. Selama perambatan gelombang dari laut dalam menuju pantai, gelombang akan mengalami *refraksi* yaitu perubahan karakteristik gelombang yang disebabkan oleh perubahan kedalaman air [5]. Studi refraksi berdasarkan pada persamaan berikut ini :

$$\sin \phi_1 = C_1/C_0 \sin \phi_0 \dots\dots\dots(1)$$

Dimana, ϕ_1 = Sudut datang gelombang di perairan pantai, ϕ_0 = Sudut datang gelombang di laut dalam, C_1 = Cepat rambat gelombang di daerah pantai dan C_0 = Cepat rambat gelombang di laut dalam.

Koefisien refraksi (*Kr*) dapat dihitung dengan perumusan pada persamaan berikut ini :

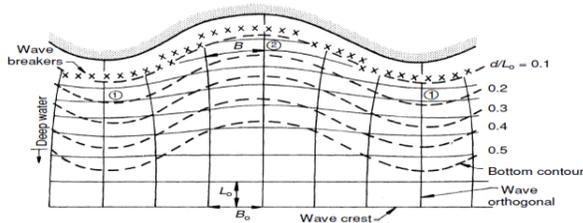
$$Kr = (\cos \alpha_0 / \cos \alpha_1) \dots\dots\dots(2)$$

Selanjutnya tinggi gelombang pada kedalaman tertentu dapat dihitung dengan menggunakan formulasi pada persamaan berikut ini :

$$H = Ksh.Kr.H_0 \dots\dots\dots(3)$$

Di mana , H = Tinggi gelombang dititik yang ditinjau, H_0 = Tinggi gelombang di laut dalam, Ksh = Koefisien Shoaling, Kr = Koefisien Refraksi.

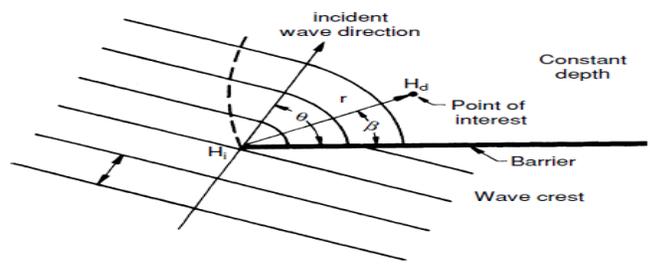
Untuk lebih jelasnya proses refraksi pada kontur dasar laut dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut ini :



Gambar. 1. Proses Refraksi Gelombang.

Difraksi Gelombang

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 seperti ditunjukkan pada gambar 2.2. Fenomena ini dikenal dengan difraksi gelombang. Perbandingan antara tinggi gelombang di suatu titik di daerah tersebut dan tinggi gelombang datang disebut dengan *Koefisien Difraksi (Kd)*. Dengan $KD = f(\theta, r/L)$ dimana θ dan r seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2, sedangkan L adalah panjang gelombang. Pola garis puncak gelombang dibalik bangunan dapat didekati dengan busur lingkaran.



Gambar. 2. Difraksi Gelombang.

Gelombang Pecah

Gelombang pecah dipengaruhi oleh kemiringannya, yaitu perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang. Di laut dalam kemiringan gelombang maksimum dimana gelombang mulai tak stabil diberikan suatu formula sebagai berikut :

$$H_0/L_0 = 1/7 = 0.142 \dots\dots\dots(3)$$

Pada kemiringan tersebut kecepatan partikel puncak gelombang sama dengan kecepatan rambat gelombang. Kemiringan yang lebih tajam dari batas maksimum tersebut menyebabkan kecepatan partikel di puncak gelombang lebih besar daripada kecepatan rambat gelombang sehingga terjadi ketidakstabilan dan gelombang pecah. Tinggi gelombang pecah dapat dihitung dengan rumus hasil percobaan Munk (Cerc, USACE, 1984) berikut ini :

$$Hb/H_0' = 1/(13.3 H_0'/L_0)^{1/3} \dots\dots\dots(4)$$

Kedalaman gelombang pecah dihitung dengan rumus :

$$Db = Hb/b \cdot (a \cdot Hb/gT^2) \dots\dots\dots(5)$$

Dimana, $a = 43.75 (1 - e^{-19m})$ $b = 1.56/(1 + e^{-19.5m})$

di mana, Hb = tinggi gelombang pecah (m), H_0' = tinggi gelombang di laut dalam (m), L_0 = panjang gelombang di laut dalam, db = kedalaman air pada saat gelombang pecah (m), m = kemiringan dasar laut, g = percepatan gravitasi (9.8 m/dt²), T = periode gelombang (dt). Sudut gelombang pecah dapat dihitung berdasarkan hasil hitungan refraksi pada kedalaman di mana terjadi gelombang pecah.

One Line Model Untuk Perubahan Garis Pantai

Model numerik untuk perubahan garis pantai sangat bermanfaat dalam memprediksi bentuk pantai berpasir. Pada kasus tertentu, model numerik digunakan untuk menghitung perubahan garis pantai akibat *groin, jetty, breakwater, revetment, seawall* dan rekayasa pantai seperti reklamasi dan penambangan pasir. Proses pantai yang sangat kompleks dapat diselesaikan dengan menggunakan model analitis maupun numerik. Model ini merupakan bagian dari model matematika. Persamaan proses pantai meliputi gelombang dekat pantai, sirkulasi gelombang dan perubahan garis pantai. Model matematik yang digunakan harus memperhatikan persamaan

kedalaman gelombang dan periode gelombang. Model matematik yang telah dibuat diharapkan dapat mewakili keadaan yang sebenarnya. Model ini memperlihatkan transformasi gelombang di sekitar pantai. Gelombang badai yang terjadi dalam waktu singkat dapat menyebabkan terjadinya erosi pantai. Selanjutnya gelombang biasa yang terjadi sehari-hari akan membentuk kembali pantai yang tererosi. Dengan demikian dalam satu siklus yang tidak terlalu lama profil pantai kembali pada bentuk semula. Dalam penelitian ini model numerik perubahan garis pantai, profil pantai diasumsikan menjadi sejumlah sel (ruas) (Gambar 2.1). Asumsi ini digunakan apabila profil pantainya seimbang. Formula model *one-line* berdasarkan persamaan konservasi sedimen pada volume sedimen atau garis pantai yang dijangkau. Formula ini diasumsikan bahwa pada *offshore closure depth* (DC) tidak terdapat perubahan profil pantai, dan pada bagian atas profil pada *berm crest elevation* (DB) terjadi perubahan profil pantai. One line model yang digunakan disini adalah model perubahan garis pantai metode [6] yang dikembangkan oleh [7] yang kemudian diaplikasikan pada tahun 1998 dan kemudian dimodifikasi oleh [8] untuk memasukkan formula longshore sediment transport.

Adapun model ini didasarkan pada persamaan berikut ini :

$$\delta y/\delta t = 1/db \cdot \delta Q_{lst}/\delta x \dots \dots \dots (6)$$

Dimana : Y = jarak antara garis pantai dan garis referensi, db = kedalaman air saat gelombang pecah, Q_{lst} = transportasi sedimen sepanjang pantai, t = waktu, x = absis searah panjang pantai.

Metode Empirical Orthogonal Function (EOF)

Empirical Orthogonal Function (EOF) adalah salah satu teknik dalam statistika untuk memetakan data observasi menjadi suatu bentuk fungsi yang diekstraksi dari data itu sendiri. Metode EOF dapat mencari sejumlah kecil variable independen yang dapat memberikan sebanyak mungkin informasi tetapi tidak berlebihan. Analisis EOF dapat digunakan untuk eksplorasi variabilitas data secara objektif dan untuk menganalisa hubungan antara variable [2].

Konsep Dasar EOF

Tujuan aplikasi metode EOF untuk analisa perubahan morfologi pantai pada dasarnya adalah untuk mendeskripsikan perubahan yang terjadi antara beberapa profil atau garis pantai yang berbeda melalui suatu fungsi terkecil, yang biasa disebut dengan *eigenfunction*. Keuntungan utama dari penggunaan metode EOF adalah *eigenfunction* pertama terpilih sebagai kemungkinan terbesar varians data. Urutan *eigenfunction* berikutnya dipilih dari salah satunya, yang merepresentasikan kemungkinan jumlah terbesar dari perbedaan tersebut [11]. Selanjutnya [11] juga menyatakan bahwa untuk kondisi suatu profil yang stabil, dimana profil dimulai dari suatu ketinggian di pantai melintas batas air laut, kemudian menuju suatu kedalaman tertentu di dasar laut, merupakan hasil suatu survey k, dimana pada pada setiap survey, pengukuran dilakukan pada lokasi i yang sama sepanjang profil tersebut. Elevasi

yang terjadi pada pengukuran tersebut dilambangkan dengan h_{ik} . Metode EOF ini didasarkan pada asumsi bahwa elevasi ini merupakan jumlah dari hasil kali antara *eigenfunction* dan konstanta pada posisi profil ke-i dan survey ke-k.

$$h_{ik} = \sum_{n=1}^N C_{nk} e_{ni} \dots \dots \dots (7)$$

dimana e_{ni} menyatakan berbagai nilai eigenfunction ke-n di lokasi ke-i pada suatu profil. Sementara C_{nk} menyatakan koefisien dari survey ke-k dan eigenfunction ke-n. (pada posisi ini analogi persamaan tersebut mendekati analogi analisis *Fourier*, dimana *eigenfunction* adalah berbentuk sinus dan kosinus).

Salah satu karakter dari *eigenfunction* adalah masing-masing berdiri sendiri dan tidak saling bergantung satu dengan yang lainnya (orthogonal), dimana :

$$\sum_{i=1}^I e_{ni} e_{mi} = \delta_{nm} \dots \dots \dots (8)$$

dimana $\delta_{nm} = 1$ jika $n = m$, dan $\delta_{nm} = 0$ jika n tidak sama dengan m .

Dengan mempertimbangkan e_{nm} , dimana λ adalah pengali *Langrange*. Dengan menurunkan persamaan tersebut, diperoleh :

$$\sum_{i=1}^I e_{ni} \{ (1/IK) \sum_{k=1}^K h_{ik} h_{mk} \} = \lambda e_{nm} \dots \dots \dots (9)$$

Akhirnya, jika diketahui bahwa

$$a_{im} = 1/IK \sum_{k=1}^K h_{ik} h_{mk} \dots \dots \dots (10)$$

Maka diperoleh suatu persamaan matriks simetris :

$$\sum_{i=1}^I e_{ni} a_{im} = \lambda e_{nm} \dots \dots \dots (11)$$

Persamaan ini adalah persamaan matriks nilai eigen dari matrik simetris koefisien real. Dimana seperti kebanyakan *eigenfunction* lainnya, terdapat titik I di profil, oleh karena itu, $N = I$, dan setiap *eigenfunction* dihubungkan dengan nilai eigen λ_n yang berbeda-beda. Hal ini dapat ditunjukkan dengan relatif lebih mudah bahwa nilai-nilai eigen tersebut berhubungan dengan total varian sebagai berikut :

$$\sigma^2 = \sum_{n=1}^I \lambda_n \dots \dots \dots (12)$$

Dengan mengaplikasikan metode pemisahan variabel, Shu et al. (1994) menyatakan elevasi dasar dapat ditulis sebagai :

$$H(x, y, t) = \sum_k e_k(x) e_k(y) c_k^*(t) \dots \dots \dots (13)$$

Dimana $e_k(x)$ adalah *eigenfunction* arah tegak lurus pantai (cross-shore), $e_k(y)$ *eigenfunction* arah sepanjang pantai (longshore), dan $ck^*(t)$ adalah *temporal eigenfunction*. Persamaan tersebut mewakili variasi perubahan pantai pada arah tegak lurus pantai dan arah sepanjang pantai pada suatu waktu tertentu.

Eigenfunction arah tegak lurus pantai (*cross-shore*) pada

persamaan di atas merupakan suatu set orthonormal :

$$\sum_x e_m(x) e_n(x) = \delta_{mn} \dots \dots \dots (14)$$

Dimana δ_{mn} adalah delta *Kronecker*. Untuk menghasilkan *eigenfunction* arah tegak lurus pantai dari data profil pantai, dibentuk matriks A dengan elemen a_{ij} didefinisikan sebagai :

$$a_{ij} = (1/N_x N_y N_t) \sum_{t=1}^{N_t} \sum_{y=1}^{N_y} h(i,y,t) h(j,y,t) \dots \dots \dots (15)$$

Dimana N_x adalah jumlah titik data per profil, N_y adalah jumlah profil yang diukur sepanjang pantai, dan N_t adalah jumlah waktu pengukuran. Persamaan di atas diinterpretasikan sebagai korelasi silang (*cross-correlation*) antara titik i dan j pada arah tegak lurus pantai. Matriks A yang memiliki suatu *eigenvalue* λ_{kx} dan *eigenfunction* (x) didefinisikan oleh persamaan matriks sebagai :

$$Ae_k(x) = \lambda_{kx} e_k(x) \dots \dots \dots (16)$$

Sesuai dengan langkah-langkah tersebut di atas, maka dapat diperoleh matriks B sebagai berikut:

$$b_{ij} = (1/N_x N_y N_t) \sum_{t=1}^{N_t} \sum_{x=1}^{N_x} h(i,x,t) h(j,x,t) \dots \dots \dots (17)$$

eigenvalue λ_{ky} dan *eigenfunction* arah *longshore* $e_k(y)$ dievaluasi dengan

$$Be_k(y) = \lambda_{ky} e_k(y) \dots \dots \dots (18)$$

Perkalian $\sum_x \sum_y (x) e_n(y) h(x,y,t)$ dan penggunaan *orthonormality* dari $e_m(y)$ dan $e_n(x)$, masing-masing, menghasilkan *eigenfunction* temporal yang diberikan oleh

$$C_k^*(t) = \sum_y \sum_x e_k(x) e_k(y) h(x,y,t) \dots \dots \dots (19)$$

$C_k^*(t)$ dibiarkan tetap menjadi *eigenfunction* orthonormal dengan

$$C_k(t) = C_k^*(t) / \sqrt{\sum_k C_k^*(t)^2} = C_k^*(t) / a_k \dots \dots \dots (20)$$

Dengan substitusi, maka diperoleh

$$h(x,y,t) = \sum_k a_k e_k(x) e_k(y) C_k(t) \dots \dots \dots (21)$$

Dalam rangka menggambarkan variasi temporal untuk kedua komponen angkutan sedimen, maka perlu menyertakan $e_n(y)$ dan $e_k(y)$ untuk memanfaatkan *orthonormality* dari kedua variable tersebut agar diperoleh

$$e_k(x,t) = h(x,y,t) e_k(y) = \sum_k a_k e_k(x) c_k(t) \dots \dots \dots (22)$$

Dengan cara sama, dengan mengalikan $e_m(x)$ sehingga diperoleh

$$e_k(y,t) = h(x,y,t) e_k(x) = \sum_k a_k e_k(y) c_k(t) \dots \dots \dots (23)$$

Persamaan 2.38 dan 2.39 tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi perubahan garis pantai arah tegak lurus pantai (*cross-shore*) dan arah sepanjang pantai (*longshore*).

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metode Analisa Data

Langkah pertama yang harus dilakukan pada tahap ini adalah melakukan digitasi peta bathymetri tahun pertama untuk mendapatkan inputan kordinat peta yang digunakan dalam peramalan garis pantai Tuban dengan One Line Model. Setelah itu akan dihasilkan data garis pantai Tuban per 2 bulanan yang akan dijadikan data inputan untuk analisa EOF. Dari data inputan yang diperoleh akan dibuat suatu prediksi perubahan garis pantai Tuban dengan analisa EOF. Hasil output dari proses tersebut berupa persamaan *eigenvalue* yang akan digunakan untuk perhitungan temporal dan spasial *eigenfunction*. Dari perhitungan tersebut akan diperoleh hasil akhir berupa prediksi perubahan garis pantai Tuban untuk beberapa tahun ke depan. Setelah itu, hasilnya akan dihubungkan dengan parameter-parameter yang ada di sekitar pantai seperti energi gelombang (E), fluks energi gelombang *cross-shore* dan *longshore* (Fx dan Fy), dan wave steepness (H_0/L_0).

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Analisa Empirical Orthogonal Function (EOF)

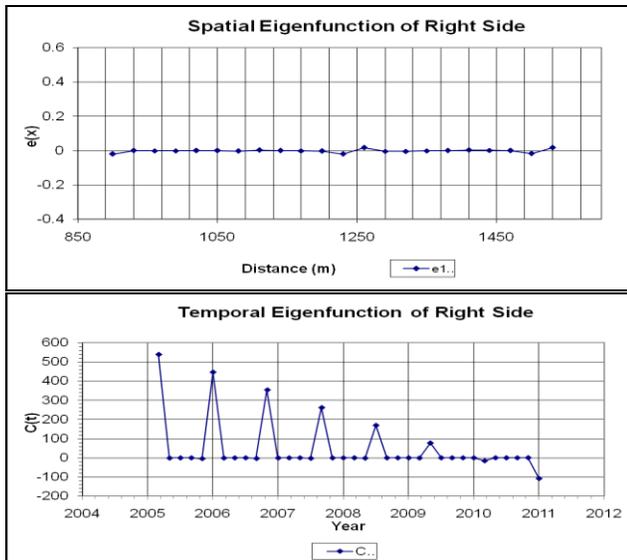
Prinsip dasar dari analisa perubahan garis pantai menggunakan metode EOF adalah untuk memisahkan parameter spasial dan temporal dari perubahan garis pantai tersebut.

Data garis pantai dua bulanan hasil dari peramalan menggunakan *online model* disusun dalam suatu matriks, dengan susunan baris adalah data temporal atau waktu, dan kolom menyatakan data *spasial* yang merupakan pias. Setelah menggunakan *online model* dan mendapatkan hasilnya, maka hasil tersebut digunakan sebagai masukan untuk program *Make Data*. Model numerik pertama yang digunakan adalah program *Make Data* yang digunakan untuk menyusun data mentah dari hasil program *online model* yang akan menjadi data posisi garis pantai dua bulanan pada setiap jarak *spasial*. Hasil program ini menjadi inputan data program *MeanShore*. Pada model numerik *MeanShore*, posisi garis pantai dikurangi dengan nilai posisi rata-rata. Hasil dari *MeanShore* disusun setiap jarak *spasial*, yang menjadi input untuk model numerik EOF.

Hasil dari model numerik EOF yaitu nilai *meanshore*, *eigenvalue*, *eigen-vector* dan *C-value*.

Tabel 1.
Eigenvalue yang menyatakan prosentase variabilitas garis pantai.

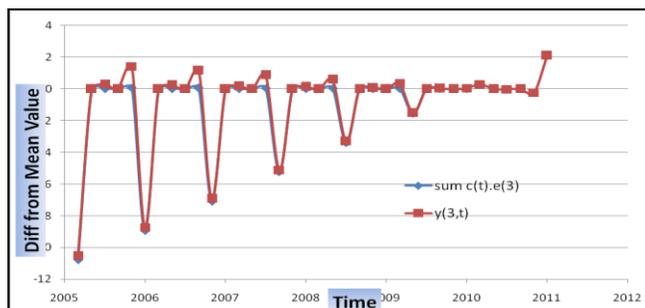
e1(x)	e2(x)	e3(x)	e4(x)	e5(x)
39.22%	32.69%	27.67%	0.23%	0.19%



Gambar 3. Spatial Eigenfunction $e_1(x)$ dan Temporal Eigenfunction $c_1(t)$ mode pertama.

Pada gambar 3. menunjukkan variabilitas mode pertama. Eigenfunction spasial, $e_1(x)$, menunjukkan bahwa secara spasial pada arah sejajar pantai (*long shore*) tidak terjadi perubahan yang sangat signifikan bahkan pada sebagian banyak sel sangatlah stabil. Sedangkan eigenfunction temporal $c_1(t)$, mengalami perubahan yang fluktuatif yaitu terjadi *akresi* periode tahun 2005 – 2010. Sedangkan pada periode tahun 2010 – 2011 terjadi *abrasi* yang sangatlah kecil pada akhir tahun 2011. Gabungan $c_1(t)$ dan $e_1(x)$ mencerminkan maju mundurnya garis pantai tergantung pada tanda $c_1(t)$. Oleh karena itu, $e_1(x)$ menggambarkan proses tegak lurus pantai (*cross-shore*) yang mendominasi variabilitas di daerah ini berdasarkan nilai kontribusi pada tabel 4.1.

Chek Hasil Perhitungan

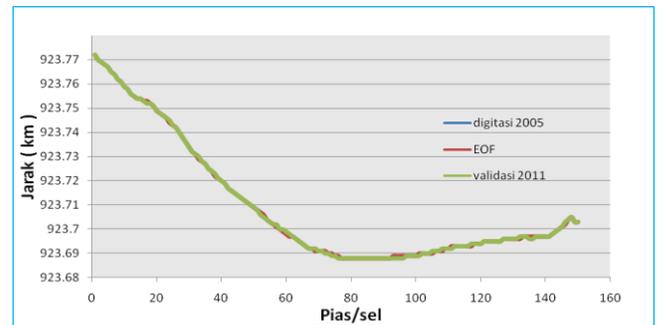


Gambar 4. Cheking nilai mean shore dengan $\Sigma e(x).c(t)$.

Gambar 4. menunjukkan perbandingan antara jumlah perkalian eigenfunction spasial dan temporal $\{\Sigma e(x).c(t)\}$

dengan nilai rata-rata (*mean shore*) pada sel 3. Pada gambar di atas, menunjukkan bahwa $\{\Sigma e(x).c(t)\}$ sudah mendekati nilai rata-rata perubahan pada sel 3.

Perbandingan Hasil Analisa



Gambar 5. Perbandingan hasil digitasi 2005, EOF, dan validasi 2011.

Gambar 5 diatas menunjukkan bahwa sebagian besar tiap sel tetap stabil, sedangkan sel yang lainnya mengalami variasi nilai perubahan namun tidak signifikan. Dari 150 pias/sel tersebut dibagi lagi menjadi per-30 pias agar variasi nilai perubahan lebih terlihat.

Hubungan Analisa EOF dengan Kondisi Lingkungan

Tabel 2.
Hubungan $C(t)$ dengan parameter lingkungan dan sudut datang gelombang.

Mode	Eigenvalue	E	Ho/Lo	(Fx)	(Fy)
1	39.22	3.86	0.033	24.79	17.70
2	32.69	2.95	0.030	13.51	10.46
3	27.67	2.37	0.027	8.41	6.76
4	0.23	1.95	0.026	5.56	4.56
5	0.19	1.61	0.024	3.76	3.12

Tabel 3.
Hubungan antar Eigenvalue dengan parameter lingkungan pantai.

Mode	Eigenvalue	E	Ho/Lo	(Fx)	(Fy)
1	39.22	3.86	0.033	24.79	17.70
2	32.69	2.95	0.030	13.51	10.46
3	27.67	2.37	0.027	8.41	6.76
4	0.23	1.95	0.026	5.56	4.56
5	0.19	1.61	0.024	3.76	3.12

Dari tabel 3 maka dapat dilihat hubungan antara parameter lingkungan di sekitar pantai menurut (J.K Miller dan Dean, 2007) bahwa dengan nilai perubahan garis pantai secara temporal, $c(t)$, dimana semakin besar sudut datang maka

energi gelombang (E), *Wave Stepness* (Ho/Lo), Fluks energi gelombang *cross shore* (Fx) ataupun *longshore* (Fy) akan bernilai semakin kecil sehingga terjadi suatu perbandingan yang terbalik. Sedangkan untuk tabel 4.8 semakin besar *eigenvalue* yang dihasilkan maka semakin besar pula nilai dari energi gelombang (E), *Wave Stepness* (Ho/Lo), Fluks energi gelombang *cross shore* (Fx) ataupun *longshore* (Fy) sehingga terjadi suatu perbandingan yang lurus.

V. KESIMPULAN

Variasi dari perubahan garis pantai hasil analisa EOF menunjukkan bahwa lima *eigenfunction* pertama yang mendominasi perubahan garis pantai di lokasi penelitian. Kelima *eigenfunction* tersebut mencapai 100% dari total variabilitas. Secara *spasial* $e(x)$ pada arah sejajar pantai tidak terjadi perubahan yang sangat signifikan bahkan sebagian banyak sel sangatlah stabil. Sedangkan secara *temporal* $c(t)$, mengalami kecenderungan terjadinya akresi dan abrasi namun tidak terlalu signifikan. Gabungan antara $e(x)$ dan $c(t)$ mencerminkan maju mundurnya garis pantai.

Dalam kaitannya dengan hubungan antara parameter di dekat pantai dengan nilai *eigenvalue*. Maka dari hasil analisa semakin besar *eigenvalue* yang dihasilkan maka semakin besar pula nilai dari energi gelombang (E), *Wave Stepness* (Ho/Lo), Fluks energi gelombang *cross shore* (Fx) ataupun *longshore* (Fy) sehingga terjadi suatu perbandingan yang lurus. Sedangkan untuk *eigentemporal* $c(t)$, dimana semakin besar sudut datang maka energi gelombang (E), *Wave Stepness* (Ho/Lo), Fluks energi gelombang *cross shore* (Fx) ataupun *longshore* (Fy) akan bernilai semakin kecil sehingga terjadi suatu perbandingan yang terbalik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis M.R.A. mengucapkan terima kasih kepada Bpk. Suntoyo dan Bpk. M. Musta'in yang telah memberikan dukungan dan bimbingan, serta semua pihak yang ikut membantu hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Munoz-Perez, J. J., Medina, R., dan Tejedor, B., 2001. *Evolution of longshore beach contour lines determined by the E.O.F. method*. Jurnal Scientia Marina. Vol. 65. 393-402p
- [2] Ritphring, S. dan Tanaka, H., 2007. *Topographic Variability via Empirical Orthogonal Function Analysis in The Vicinity of Coastal Structure*. Prosiding International Conference of Violent Flow, Kyushu University, Fukuoka.
- [3] Hsu, T. W., Ou, S. H, dan Wang, S. K. 1994. *On the prediction of beach changes by a new 2-D empirical eigenfunction model*, Journal Coastal Engineering, Vol 23. Elsevier. 255-270p.
- [4] Fairley, I., Davidson, M., Kingston, K., Dolphin, T., dan Phillips, R., 2009. *Empirical orthogonal function analysis of shoreline changes behind two different design of detached breakwaters*. Journal Coastal Engineering. Vol 56. Elsevier (Scencedirect). 1097-1108p
- [5] Sorensen, R. M., 2006. *Basic Coastal Engineering*, John Wiley & Son, Inc., New York, 226 hal.
- [6] Komar, P. D. 1984. CRC Handbook of coastal processes and erosion. CRC Press, inc. Florida.
- [7] Suntoyo, 1995. *Kajian Pengamanan dan Perlindungan Pantai Candidasa Bali*, Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

- [8] Arkwright, D., 2010. *Analisa Perubahan Garis Pantai Bangkalan Madura Menggunakan Metode Empirical Orthogonal Function (EOF)*. Tesis Magister. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [9] Inman, D.L., Bagnold, R.A., 1963. *Littoral Processes, in the Sea*, vol. 3. Interscience, In: Hill, M.N. (Ed.), New York, pp. 529-533.
- [10] [CERC] Coastal Engineering Research Center 1984. *Shore Protection Manual Volume I*, Fourth Edition. Washington: U.S. Army Coastal Engineering Research Center.
- [11] Dean, R. G. dan Dalrymple, R. A., 2002. *Coastal Processes with Engineering Applications*. Cambridge: Cambridge University Press.