

Analisa Perubahan Garis Pantai Tegal dengan Menggunakan Empirical Orthogonal Function (EOF)

Muhamad Luhwahyudin, Suntoyo, dan Wahyudi Citrosiswoyo

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— Bentuk garis pantai sangat dipengaruhi oleh keadaan lingkungan dan sifat-sifat dari sedimen pantai dalam kurun waktu. Perubahan garis pantai ini juga terjadi di sepanjang pantai Tegal. Analisa perubahan garis pantai didasarkan pada data batimetri, data gelombang dan data angin. Aplikasi perhitungan perubahan garis pantai ini menggunakan metode *empirical orthogonal function* (EOF). Analisa EOF yang dinyatakan dengan persamaan *eigenfunction* dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola dominan perubahan garis pantai secara temporal dan spasial. Semua data digunakan untuk peramalan garis pantai dua bulanan. Koordinat garis pantai dua bulanan digunakan sebagai input model EOF. Berdasarkan data perubahan garis pantai yang ada dan hasil model EOF, kemudian dilakukan analisa perubahan garis pantai. Hasil eksekusi model menunjukkan terjadinya perubahan garis pantai yang cukup signifikan pada sel 6-9 (daerah Randusangan Kulon), sel 18-20 (daerah Randusangan Kulon), sel 36-40 (daerah Randusangan Wetan). Hasil validasi model EOF menunjukkan kesesuaian hasil yang mendekati dengan data peta tahun 2005.

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

I. PENDAHULUAN

ANALISA keseimbangan sedimen pantai dapat digunakan untuk mengevaluasi terjadinya erosi pada pantai. Erosi yang terjadi disertai dengan maju mundurnya garis pantai. Perubahan garis pantai dapat diprediksi dengan membuat model matematika yang didasarkan pada imbalanced sedimen pantai pada daerah yang ditinjau. Analisa data morfologi pantai merupakan pemahaman proses pembentukan pantai. Dan tujuan dari analisa data morfologi adalah untuk menetapkan properti dasar dari data set dan derajat keterkaitan antara properti tersebut. Analisa *Empirical orthogonal function* (EOF) merupakan metode untuk menentukan pola-pola dominan pada data dan berevolusi dalam ruang dan waktu. Tujuan dari penggunaan teknik analisa EOF untuk mengurangi data asli yang terlalu luas untuk dikelola.

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]. Proses ini berlangsung dengan sangat kompleks, dimana dipengaruhi oleh tiga faktor yaitu kombinasi gelombang dan arus, transpor sedimen, dan konfigurasi pantai tersebut, yang saling mempengaruhi satu sama lain.

Metode Empirical Orthogonal Function (EOF) merupakan salah satu metode yang berkembang dan digunakan untuk analisa perubahan garis pantai adalah dengan analisa spasial dan temporal. Tujuan analisis EOF ini adalah 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 [2].

Dalam penelitian ini Empirical Orthogonal Function (EOF) digunakan untuk menguraikan mode signifikan variabilitas garis pantai secara temporal dan spasial dari data perubahan garis pantai Tegal yang diperoleh dari hasil pemodelan perubahan garis pantai dengan data batimetri.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Studi Literatur

Secara sederhana proses perubahan garis pantai disebabkan oleh angin dan air yang bergerak dari suatu tempat ke tempat lain, mengikis tanah dan kemudian mengendapkannya di suatu tempat secara kontinyu.

Pada dasarnya proses perubahan pantai meliputi proses erosi dan akresi. Erosi pada sekitar pantai dapat terjadi apabila angkutan sedimen yang keluar ataupun yang pindah mreninggalkan suatu daerah lebih besar dibandingkan dengan angkutan sediment yang masuk, apabila terjadi sebaliknya maka yang terjadi adalah sedimentasi [3]. Perubahan garis pantai sangat dipengaruhi oleh interaksi antara angin, gelombang, arus, pasang surut, jenis dan karakteristik dari material pantai yang meliputi bentuk, ukuran partikel dan distribusinya di sepanjang pantai sehingga mempengaruhi proses sedimentasi di sekitar pantai.

B. Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang meliputi data peta batimetri 2000 dan 2005, gelombang, pasang surut, dan angin dari tahun 2000 – 2005 untuk daerah Tegal. Dalam penelitian yang terkait ini bersifat studi pemodelan numerik perubahan garis pantai dengan *one-line* model dan analisa *Empirical Orthogonal Function* (EOF). Analisa EOF digunakan untuk mendapatkan variabilitas spasial dan temporal data garis pantai.

C. Analisa perubahan garis pantai

Analisa perubahan pantai pada dasarnya adalah untuk mendiskripsikan perubahan yang terjadi antara profil maupun garis pantai yang berbeda melalui fungsi yang terkecil. Dari penggunaan metode EOF adalah *eigenfunction* pertama terpilih sebagai kemungkinan terbesar varians data. Urutan berikutnya terpilih dari salah satunya, yang mempresentasikan kemungkinan jumlah terbesar dari perbedaan tersebut [4].

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*.

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

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).

Setiap set data dianalisis menggunakan metode EOF yang kemudian digunakan untuk mengidentifikasi pola-pola dominan variabilitas dalam kumpulan data. Sebelum dilakukan analisis EOF, nilai rata-rata untuk setiap posisi dihitung dan digunakan untuk pengurangan dengan data survey [2]. Perubahan garis pantai dapat dinyatakan dalam bentuk superposisi sebagai berikut [5]:

$$y(x,t) = \sum_{k=1}^N e_k(x) c_k(t) \quad (2)$$

Dimana y adalah jarak tegak lurus pantai (*cross-shore*), x jarak sejajar pantai (*longshore*), $e_k(x)$ adalah *eigenfunction* spasial, $c_k(t)$ *eigenfunction* temporal, t waktu dan k mode variasi.

Mode pertama menyatakan varians tertinggi pada data dan akan dikurangi dengan mode yang lebih tinggi. Setiap kombinasi menggambarkan mode orthogonal dari perubahan pada data dan variasinya terhadap waktu [6]. Dalam penelitian ini, analisa EOF dilakukan dengan program numerik yang dikembangkan dalam bahasa pemrograman Fortran.

D. Validasi

Kinerja analisa perubahan garis pantai hasil *one-line* model dan EOF model dapat dihitung dengan menggunakan *root-mean-square-error* (RMSE) dengan persamaan berikut :

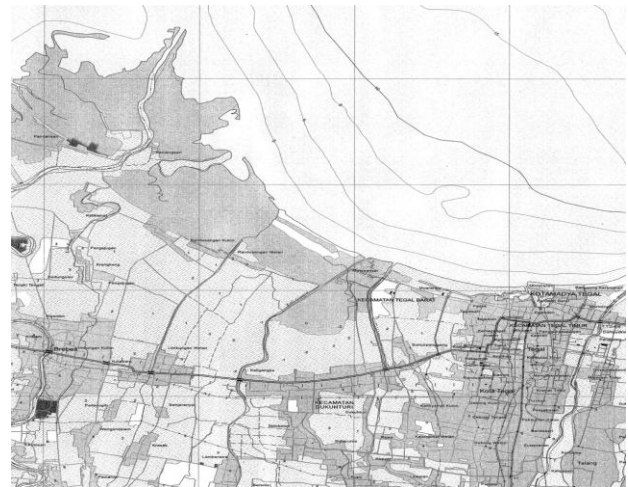
$$RMSE = \sqrt{\{(1/N) \sum_{t=1}^N (Y_{mi} - Y_{pi})^2\}} \quad (3)$$

Dimana Y_{mi} adalah ordinat garis pantai model pada sel ke-*i*, Y_{pi} merupakan ordinat garis pantai peta 2005 pada sel ke-*i*, dan N adalah total jumlah data (sel), dan i adalah indeks. Kinerja yang paling baik mendekati data pada peta tahun 2005 ditunjukkan dengan nilai RMSE terkecil yang mendekati nol. Dalam hal ini, nilai ordinat garis pantai digunakan sebagai data dengan total jumlah data adalah 200 data.

III. HASIL ANALISA DAN DISKUSI

A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Kabupaten Tegal yang merupakan bagian dari propinsi Jawa Tengah dan terletak di pesisir Laut Jawa pada koordinat $108^{\circ}57'6''$ - $109^{\circ}21'30''$ Bujur Timur serta $6^{\circ}50'41''$ - $7^{\circ}15'30''$ Lintang Selatan. Dalam penelitian ini garis pantai yang di analisa sepanjang ± 4000 m. Tegal terletak pada jalur utama Pantura dan jalur utara lintasan kereta api. Sepanjang garis pantai di Kabupaten Tegal merupakan daerah pantai yang di dominasi oleh pantai berpasir dan hanya beberapa bagian di muara sungai yang merupakan daerah lempung.



Gambar. 1. Peta Lokasi Penelitian Pantai Kabupaten Tegal.

B. Analisa Empirical Orthogonal Function

Bentuk variasi perubahan garis pantai hasil analisa EOF dalam Tabel 1 menunjukkan lima *eigenfunction* pertama yang mendominasi perubahan garis pantai dan nilai pembentuk karakteristik profil pantai di lokasi penelitian. Kelima *eigenfunction* tersebut mencapai 100% dari total variabilitas. Mode pertama dari *eigenfunction* $e_1(x)$ mendominasi variabilitas garis pantai. Prosentase setiap eigenvalue pada tabel tersebut menunjukkan besarnya dominasi perubahan yang terjadi pada setiap mode terhadap perubahan garis pantai secara keseluruhan secara spasial maupun temporal.

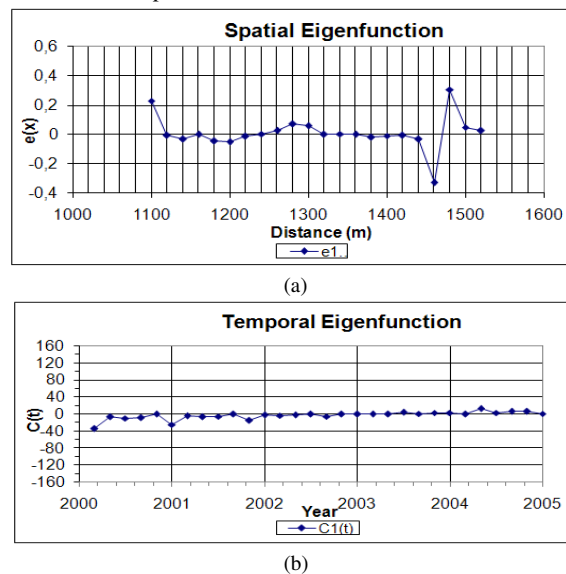
Tabel 1.
Prosentase *Eigenvalue* variabilitas garis pantai

| Mode | Variabilitas | Prosentase (%) |
|------|--------------|----------------|
| 1 | $e_1(x)$ | 30,8 |
| 2 | $e_2(x)$ | 26,0 |
| 3 | $e_3(x)$ | 22,0 |
| 4 | $e_4(x)$ | 20,1 |
| 5 | $e_5(x)$ | 1,2 |

Eigen mode pertama adalah profil kesetimbangan garis pantai. Eigen mode kedua menunjukkan titik poros (pivot point) yang memisahkan perilaku yang berbeda, yang

menunjukkan keseimbangan positif dalam garis pantai dari arah gelombang dominan. Nilai eigen value yang didapatkan masih memenuhi ijin dari metode *empirical orthogonal function* (EOF) yaitu diatas 90% sehingga model bisa dikatakan valid.

Variabilitas mode pertama



Gambar. 2. (a) *Spatial Eigenfunction* $e_1(x)$ dan (b) *Temporal Eigenfunction* $c_1(t)$ mode pertama.

Gambar 2 menunjukkan variabilitas mode pertama. *Eigenfunction spasial*, $e_1(x)$, menunjukkan bahwa secara spasial terjadi perubahan fluktuatif pada sebagian sel. Hal ini kemungkinan besar dipengaruhi oleh tingginya aktifitas manusia di kawasan tersebut. Sedangkan *eigenfunction temporal* $c_1(t)$, mengalami perubahan pada sebagian besar sel akan tetapi perubahannya cenderung kecil. Hal ini mungkin saja dipengaruhi oleh adanya muara sungai di sekitar garis pantai.

Variabilitas mode kedua, ketiga, keempat dan kelima

Variabilitas spasial $e_2(x)$ menunjukkan bahwa pada sebagian besar sel cenderung stabil dan sebagian sel mengalami fluktuasi yang signifikan. Nilai-nilai $c_2(t)$ menunjukkan perubahan yang lebih fluktuatif dibandingkan dengan mode pertama.

Variabilitas spasial $e_3(x)$ menunjukkan bahwa kontribusi pola perubahan yang hampir sama seperti pada mode pertama dan kedua, perubahan signifikan terjadi pada beberapa sel. Secara temporal $c_3(t)$, perubahan garis pantai diidentifikasi cenderung abrasi pada tahun 2000 - 2002, sedangkan pada periode 2003 - 2005 cenderung terjadi akresi. Kombinasi perubahan secara spasial dan temporal, $e(x).c(t)$, mencerminkan besarnya perubahan yang terjadi secara tegak lurus pantai, sesuai tanda dari $c(t)$.

Variabilitas spasial $e_4(x)$ menunjukkan bahwa terjadi pola perubahan yang relatif konstan terhadap mode sebelumnya pada sebagian besar sel. Sedangkan secara temporal $c_4(t)$ variasi perubahan yang cukup fluktuatif dan hampir sama seperti pada mode sebelumnya. Perubahan garis pantai diidentifikasi cenderung abrasi pada tahun 2000 - 2002,

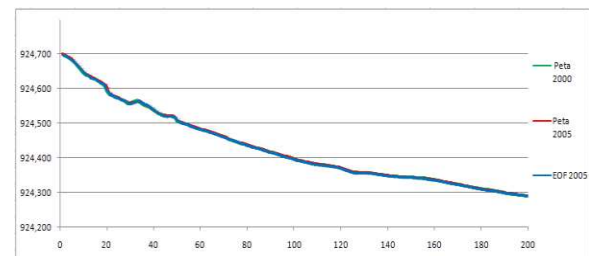
sedangkan pada periode 2003 - 2005 cenderung terjadi akresi.

Variabilitas mode kelima dengan kontribusi perubahan sebesar 1,2% menunjukkan perubahan secara spasial yang cukup signifikan pada sebagian sel. Namun perubahan secara temporal terutama pada periode 2000 - 2005 yang cenderung konstan dan hanya beberapa titik yang mengalami perubahan tetapi sangatlah kecil.

C. Analisa Perubahan Garis Pantai



Gambar. 3. Perbandingan hasil analisa EOF 2005, *Oonline Model* 2005, Peta 2000 dan peta 2005.



Gambar. 4. Perbandingan hasil analisa EOF 2005, Peta 2000 dan peta 2005.

Validasi model EOF terhadap data peta batimetri tahun 2005 dan hasil *online* model tahun 2005 (Gambar. 3.) menunjukkan bahwa hasil analisa EOF tahun 2005 mendekati nilai ordinat peta tahun 2005 maupun hasil *online* model 2005. Dengan menggunakan persamaan RMSE, diperoleh nilai RMSE untuk *online* model sebesar 0,05, lebih besar dari nilai RMSE untuk EOF model sebesar 0,0001. Dengan demikian maka dapat dikatakan bahwa EOF model memberikan kinerja yang lebih baik dari *online* model dalam analisa perubahan garis pantai di pantai Tegal.

Kondisi garis pantai hasil analisa EOF tahun 2005 menunjukkan bahwa sebagian besar sel yang ditinjau cukup stabil, dengan prosentase perubahan garis pantai sebesar 0,02%. Analisa perubahan garis pantai pada beberapa sel di lokasi penelitian terdapat perubahan yang relatif kecil. Pada beberapa sel awal di lokasi penelitian mulai dari ujung Randusangan Kulon menunjukkan perubahan yang relatif cukup signifikan, semakin ke arah timur prosentase perubahan garis pantai semakin berkurang. Perubahan yang relatif cukup besar antara lain pada sel 6-9 (daerah Randusangan Kulon), sel 18-20 (daerah Randusangan Kulon), sel 36-40 (daerah Randusangan Wetan) mencapai perubahan sekitar 0,0001% - 0,001% dari garis pantai awal (tahun 2000) sementara sebagian besar sel cenderung stabil.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan uraian dan bahasan yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil *analisa empirical orthogonal function* (EOF) didapatkan nilai *eigen value* dominan dengan 30,8% dari total variabilitas dan masih memenuhi ijin validitas dari metode *empirical orthogonal function* (EOF) yaitu diatas 90% sehingga model bisa dikatakan valid.
2. Dengan menggunakan persamaan RMSE, diperoleh nilai RMSE untuk *online* model sebesar 0,05, lebih besar dari nilai RMSE untuk EOF model sebesar 0,0001. Dengan demikian maka dapat dikatakan bahwa EOF model memberikan kinerja yang lebih baik dari *online* model dalam analisa perubahan garis pantai di pantai Tegal.
3. Kondisi garis pantai hasil analisa EOF tahun 2005 menunjukkan bahwa sebagian besar sel yang ditinjau cenderung stabil, dengan prosentase perubahan garis pantai sebesar 0,02%. Analisa perubahan garis pantai pada beberapa sel di lokasi penelitian terdapat perubahan yang relatif kecil. Pada beberapa sel awal di lokasi penelitian mulai dari ujung Randusangan Kulon menunjukkan perubahan yang relatif cukup signifikan, semakin ke arah timur prosentase perubahan garis pantai semakin berkurang. Perubahan yang relatif cukup besar antara lain pada sel 6-9 (daerah Randusangan Kulon), sel 18-20 (daerah Randusangan Kulon), sel 36-40 (daerah Randusangan Wetan) mencapai perubahan sekitar 0,0001% - 0,001% dari garis pantai awal (tahun 2000), sementara sebagian besar sel cenderung stabil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari banyak pihak yang telah memberikan dukungan dan kerjasama yang baik. Sehingga penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Ibu, Bapak, Adik dan Istri tercinta dan terkasih atas dukungan serta kasih sayangnya, kepada Bapak Suntoyo, ST., M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan ITS sekaligus dosen pembimbing pertama yang dengan sabar meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan, Bapak Dr. Ir. Wahyudi Citrosiswoyo, M.Sc. selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan dan penulisan ilmunya, Seluruh Staf Pengajar Jurusan Teknik Kelautan ITS yang telah banyak memberikan motivasi kepada penulis, Seluruh Staf Administrasi Jurusan Teknik Kelautan ITS, Kanda Arif Jaelani, S.T., Sahabatku Dian Wahyu Permana, S.T., rekan-rekan mahasiswa seperjuangan Gombez, Oyok, Uyhaw, Rembez, Unto, rekan intra dan ekstra kampus serta semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung ikut andil dalam menyelesaikan penelitian ini. Terima kasih atas semua bantuannya, semoga mendapat balasan pahala yang setimpal dari Allah SWT.

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] Triatmodjo, B. 1999. *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.
- [4] Dean, R. G. dan Dalrymple, R. A., 2002. *Coastal Processes with Engineering Applications*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [5] 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.
- [6] Miller, J. K. dan Dean, R. G., 2007. *Shoreline variability via empirical orthogonal function analysis: Part I temporal and spatial characteristics*. Jurnal Coastal Engineering. Vol. 54. 111-131p.