

## PEMODELAN PERUBAHAN GARIS PANTAI DENGAN METODE END POINT RATE PADA CITRA SATELIT LANDSAT

I Made Agus Wirahadi Putra<sup>1)</sup>, Adhi Susanto<sup>2)</sup>, Indah Soesanti<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Pascasarjana Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada

<sup>2),3)</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Universitas Gajah Mada Yogyakarta  
Jalan Grafika No.2 Kampus UGM Yogyakarta 55281

[wirahadi\\_s2te12@mail.ugm.ac.id](mailto:wirahadi_s2te12@mail.ugm.ac.id)<sup>1)</sup>, [susanto@te.ugm.ac.id](mailto:susanto@te.ugm.ac.id)<sup>2)</sup>, [indah@mti.ugm.ac.id](mailto:indah@mti.ugm.ac.id)<sup>3)</sup>

### Abstrak

*Analisis garis pantai menjadi hal yang sangat penting dalam mengelola kawasan pesisir. Analisis garis pantai memberikan gambaran mengenai perubahan garis pantai yang diakibatkan oleh abrasi dan akresi selain itu dapat memberikan estimasi terbaik mengenai kemungkinan-kemungkinan garis pantai yang akan terjadi didasarkan pada garis pantai waktu sebelumnya. Metode BILKO dan multispektrum dibandingkan dalam melakukan ekstraksi garis pantai. Metode end point rate (MPR) merupakan salah satu metode dalam menghitung laju perubahan garis pantai sehingga memungkinkan untuk melakukan prediksi garis pantai di masa depan. Dalam penelitian ini menggunakan citra satelit Landsat pada pantai selatan taman Nasional Ujung Kulon pada tahun 1992, 2009 dan 2014. dalam penelitian ini menunjukkan adanya penambahan area pantai (akresi) pada pantai bagian timur pada wilayah kajian. Berdasarkan data EPR dilakukan prediksi garis pantai pada tahun 2020 dan 2030.*

**Kata kunci:** Segmentasi Garis pantai, BILKO, Abrasi, Akresi EPR

### 1. Pendahuluan

Kawasan pesisir merupakan kawasan yang dinamis, dimana kawasan pesisir mengalami proses perubahan secara terus menerus dan dapat terjadi sewaktu-waktu. Perubahan garis pantai dapat terjadi karena adanya proses fisik seperti adanya proses perubahan pasang surut air laut, angkut sedimen yang dibawa oleh sungai, gelombang air laut serta arus yang bergerak mengikuti atau menyusuri garis pantai. Perubahan garis pantai berupa abrasi maupun akresi merupakan salah satu contoh hasil dari proses fisik yang terjadi. Abrasi merupakan fenomena perubahan garis pantai yang diakibatkan oleh pengikisan tepi pantai oleh gelombang laut maupun dari pengikisan yang disebabkan oleh angin. Gelombang laut mengikis bagian dasar (daerah interaksi) sehingga membentuk cekung-cekungan yang berdampak pada pergeseran struktur pasir atau bebatuan ke arah bawah [1]. Akresi merupakan proses perubahan garis pantai yang disebabkan oleh bertambahnya wilayah daratan dikarenakan adanya proses pengendapan sedimen yang

dibawa oleh sungai maupun yang terbawa oleh laut. Sedimentasi umumnya terjadi pada daerah delta, maupun daerah yang memiliki tingkat kerapatan trumbu karang maupun vegetasi pantai yang tinggi. Karang serta akar dari vegetasi pantai akan mengikat atau menghalangi pergerakan dari sedimen sehingga terjadi penimbunan sedimen dan memunculkan daerah daratan baru [2].

Garis pantai merupakan garis interaksi antara kawasan perairan dan kawasan daratan dan memiliki sifat yang dinamis [3]. Perubahan garis pantai yang dinamis selain dipengaruhi oleh adanya faktor fisik juga dipengaruhi oleh faktor antropogenik yang berdampak besar pada lingkungan [4]. Antropogenik merupakan fenomena perusakan atau pencemaran yang terjadi secara tidak alami yang disebabkan oleh adanya pencemaran yang dilakukan oleh manusia.

Mendeteksi garis pantai dan melakukan analisis terhadap garis pantai sehingga menghasilkan peramalan posisi garis pantai yang akan terjadi menjadi hal yang sangat penting dalam kajian dinamika pesisir. Kajian ini akan membantu dalam pengelolaan kawasan pesisir seperti pembentukan zona bahaya, studi pengelolaan dan pengembangan wilayah, transportasi laut, *sediment budget* dan pemodelan morfodinamika pesisir [5][6][7].

Beberapa metode dikembangkan dalam melakukan ekstraksi garis pantai dan peramalan. Pendekatan metode yang dilakukan seperti menggunakan algoritma *Empirical Orthogonal Functions* (EOF) pada data *bathymetric*, penerapan algoritma jaringan saraf tiruan dalam memodelkan garis pantai akibat adanya pengaruh badai, dan inferensineuro-fuzzy adaptif (ANFIS) [8][9][10]. Model dengan perhitungan matematis yang lebih sederhana dalam menganalisis perubahan garis pantai sehingga mampu menghasilkan peramalan yang menggunakan *historical* garis pantai seperti menggunakan metode End Point Rate (EPR) model, Average of Rates (AOR), Linear Regression (LR) and Jackknife (JK).

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah melakukan analisis EPR dalam memantau perubahan garis pantai sehingga nantinya dapat memprediksi garis pantai yang terbentuk di masa depan.

#### A. Citra Satelit Landsat

Landsat merupakan salah satu satelit pengindraan

jauh yang dikembangkan oleh *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* dan *United States Geological Survey (USGS)*.

Tabel 1. Landsat

Nama Satelit	Tanggal Peluncuran	Tanggal dinonaktifkan
Landsat 1 (Earth Resources Technology Satellite 1)	23 Juli 1972	6 Januari 1978
Landsat 2	22 Januari 1975	22 Januari 1981
Landsat 3	5 Maret 1978	31 Maret 1983
Landsat 4	16 Juli 1982	1993
Landsat 5	1 Maret 1984	26 Desember 2012
Landsat 6	5 Oktober 1993	Gagal mencapai orbit
Landsat 7	15 Desember 1999	-
Landsat 8	11 Februari 2013	-

Landsat 8 merupakan satelit observasi sumber daya alam varian terbaru yang diluncurkan oleh NASA dan USGS. Landsat 8 diluncurkan pada tanggal 11 Februari 2013 dengan membawa sensor *onboard Operational Land Imager (OLI)* dan *Thermal Infrared Sensor (TIRS)*[11]. Keseluruhan jumlah kanal yang dimiliki adalah 11 buah dimana 9 kanal berada pada sensor OLI dan 2 kanal pada sensor TIRS. Resolusi spasial yang dimiliki oleh landsat 8 berkisar antara 15m – 100 m sesuai dengan kanal yang digunakan. Resolusi dan panjang gelombang yang digunakan pada landsat 8 secara detail disajikan pada Table 2.

Tabel 2. Kanal pada landsat 8.

Spectral Band	Wavelength	Resolution
Band 1 - Coastal / Aerosol	0.433 - 0.453 $\mu\text{m}$	30 m
Band 2 – Blue	0.450 - 0.515 $\mu\text{m}$	30 m
Band 3 – Green	0.525 - 0.600 $\mu\text{m}$	30 m
Band 4 – Red	0.630 - 0.680 $\mu\text{m}$	30 m
Band 5 - Near Infrared	0.845 - 0.885 $\mu\text{m}$	30 m
Band 6 - Short Wavelength Infrared	1.560 - 1.660 $\mu\text{m}$	30 m
Band 7 - Short Wavelength Infrared	2.100 - 2.300 $\mu\text{m}$	30 m
Band 8 – Panchromatic	0.500 - 0.680 $\mu\text{m}$	15 m

Band 9 – Cirrus	1.360 - 1.390 $\mu\text{m}$	30 m
Band 10 - Long Wavelength Infrared	10.30 - 11.30 $\mu\text{m}$	100 m
Band 11 - Long Wavelength Infrared	11.50 - 12.50 $\mu\text{m}$	100 m

Sumber: *Jurnal processing and interpretation of satellite images landsat 8* [12]

Citra pada masing masing band umumnya memiliki rona warna grayscale dimana citra tersebut memiliki rentang nilai pixel dari 0 hingga 255. Masing-masing band memiliki tangkapan tingkat kecerahan warna yang berbeda terhadap suatu objek sehingga penggabungan citra antar band akan menghasilkan suatu informasi baru. Gelombang dengan panjang 0.45-0.52 memiliki spektrum warna biru dimana gelombang ini digunakan dalam memetakan tanah, tumbuhan, dan permukaan air karena memiliki sifat gelombang yang diserap oleh permukaan air. Gelombang dengan spektrum hijau dengan panjang gelombang 0.52-0.60 digunakan dalam mengukur nilai pantulan warna hijau vegetasi. Spektrum merah memiliki panjang gelombang 0.63-0.69 yang digunakan untuk melihat daerah yang menyerap klorofil dan juga untuk memisahkan spesimen vegetasi. Spektrum infra-merah dekat (*near infrared*) memiliki panjang gelombang 0.76-0.90 dan digunakan dalam pemantauan jenis atau kesehatan vegetasi dan biomasa. Spektrum infra-merah sedang (*middle infrared*) memiliki panjang gelombang 1.55-1.75 yang digunakan untuk mengukur kelembaban tanah, dan juga digunakan dalam membedakan salju dan awan. Infra-merah termal (TIR atau LWIR) mempunyai panjang gelombang 10.4-12.5 yang digunakan dalam memetakan suhu permukaan bumi.

### B. Median Filtering

Derau atau noise merupakan gangguan yang timbul pada citra yang diakibatkan oleh adanya gangguan dalam proses pengambilan citra maupun dalam pengolahan. Noise umumnya memiliki ukuran yang relative kecil namun tetap memberikan pengaruh yang besar dalam analisis citra. Penapisan dapat dilakukan untuk mengurangi atau menghilangkan noise yang muncul[13].

Median filtering merupakan salah satu metode dalam menghilangkan derau. Dalam median filtering nilai pixel derau diganti dengan nilai pixel baru yang diperoleh dari nilai tengah pixel tetangga. Untuk ukuran kernel m baris dan n kolom maka banyaknya piksel dalam kernel adalah (m x n), m serta n adalah bilangan ganjil, karena posisi tengahnya untuk nilai baru yang diperoleh, yaitu posisi (m x n + 1)/2. Semua nilai piksel bertetangga harus diurutkan besarnya dan diambil posisi tengah. Secara matematis, tapis median dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$(i,j)=me\{U(i+k-1,j+l-1),(k,l)\in W\}....(1)$$

C. Laplacian Operator

Tepi citra mengandung informasi penting dari citra bersangkutan. Tepian citra dapat menggambarkan mengenai informasi-informasi yang terkandung di dalam citra baik berupa bentuk, tekstur maupun ukuran dari objek yang ada di dalam citra. Tepian citra adalah posisi dimana merupakan perubahan nilai pixel secara ekstrim. Perubahan ekstrim yang dimaksud disini adalah perubahan nilai pixel dari tinggi ke rendah maupun dari rendah ke tinggi[14]. Deteksi tepi dapat dibagi menjadi dua yaitu deteksi tepi turunan pertama dan deteksi tepi turunan kedua. Operator Gradien Pertama (*Differential Gradient*) yang mencakup Operator Robert, Operator Sobel, Operator Prewitt, Operator Krisch, Operator Canny, dan Deteksi Tepi Isotropik, 2) Operator Turunan Kedua (*Laplacian of Gaussian* atau LOG), 3) Operator Kompas (*Compass Operator*) [15]. Deteksi tepi turunan kedua dapat menghasilkan tepian yang lebih baik dikarenakan menghasilkan tepian yang lebih tipis. Operator laplacian merupakan salah satu oprator deteksi tepi turunan kedua.

*Laplacian oprator* merupakan oprator turunan kedua dimana memiliki rumus matematis dari bentuk dasar citra kontinu adalah sebagai berikut [16]:

$$f''(x,y) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \dots\dots\dots(2)$$

Berdasarkan bentuk persamaan 2, *Laplacian oprator* memiliki bentuk diskret sebagai berikut:

$$L(i,j) = G(i-1,j) + G(i+1,j) + G(i,j-1) + G(i,j+1) + (-4G(i,j))$$

Berdasarkan bentuk diskrit tersebut maka dalam mealkukan proses deteksi tepi dengan oprator laplacian menggunakan karnel sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

D. Pembentukan garis pantai

Pembentukan garis pantai secara otomatis menjadi hal yang kompleks, hal ini dikarenakan adanya zona air jenuh pada batas antara air dan daratan[6][17]. Terdapat beberapa metode yang umum dilakukan dalam melakukan ekstraksi informasi kawasan air dan tanah. Metode pertama menggunakan 1 kanal yaitu kanal inframerah dekat. Metode yang menggunakan pendekatan ini adalah BILKO. Algoritma BILKO dikembangkan oleh Training and Education in Marine Science Programme (TREDMAR) – UNESCO. Algoritma ini menggunakan pendekatan nearest integer pada format citra 8-bit. Secara matematis algoritma BILKO dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{output}[i,j]=(((\text{band } 4[i,j])/(\text{bv} \cdot 2))+1) \cdot -1 \dots\dots\dots(3)$$

Pendekatan kedua dengan menggunakan multispektrum. Pendekatan ini memungkinkan untuk memunculkan batas antara daratan dan perairan dengan

membandingkan nilai tingkat kecerahan pada kanal biru dan kanal inframerah dekat. Kanal biru menghasilkan citra greyscale dengan wilayah perairan memiliki rona yang lebih gelap dibandingkan dengan wilayah darat sedangkan pada kanal inframerah dekat menghaiikan citra dengan wilayah daratan lebih terang dibandingkan dengan kawasan perairan. Secara matematis algoritma ini dapat dinotasikan sebagai berikut

$$\text{If } (b_4/b_1) \geq 1 \text{ then } 0 \text{ else } 1 \dots\dots\dots(4)$$

Dimana  $b_4$  merupakan kanal inframerah dekat sedangkan  $b_1$  merupakan kanal biru. Hasil dari metode ini adalah kawasan daratan akan memiliki nilai gelap sedangkan kawsan perairan akan memiliki warna terang.

E. End Point Rate (EPR) model

Pantai yang berbatasan langsung dengan samudra mengalami proses abrasi dan akresi yang tinggi. Tingkat akurasi dari peramalan garis pantai sangat ditentukan oleh adanya informasi mengenai sejarah perubahan garis pantai dari masa lalu. Dalam analisis dinamika pantai, perubahan laju konstan umum digunakan dalam menghitung perubahan yang terjadi[18]. Kecepatan perubahan garis pantai menjadi hal umum digunakan dalam melakukan peramalan garis pantai.

End poin rate (EPR) merupakan salah satu metode yang sederhana dalam meramalakan garis pantai. Metode ini mengasumsikan tingkat periodik diamati dari perubahan posisi garis pantai merupakan estimasi terbaik dalam memprediksi garis pantai di masa depan [19] dan metode EPR tidak memerlukan informasi mengenai transport sedimen yang terjadi atau interferensi gelombang yang terjadi pada masa pengamtan, hal ini dikarenakan metode EPR mengasumsikan proses fisik baik berupa pengaruh gelombang maupaun transport sedimen yang terjadi pada masa pengamatan dapat diwakilkan dalam perubahan garis pantai yang terjadi [20].

Laju perubahan diperoleh dari perubahan jarak antara satu titik dengan titik lainnya dibagi dengan lamanya proses perubahan titik terjadi [21],[22]. Secara matematis hal ini diformulasikan sebagai berikut [23]:

$$R_{se} = \frac{X_0}{t} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana  $R_{se}$  merupakan laju perubahan garis(meter/tahun),  $X_0$  merupakan jarak antara titik pada garis satu dengan titik pada garis pantai selanjutnya,  $t$  merupakan lamanya waktu pengamatan.

Dengan menggunakan laju perubahan maka dapat ditentukan perubahan garis pantai selanjutnya. Secara teknis pendugaan ditentukan dengan mengalikan nilai  $R_{se}$  dan lamanya waktu pengamtan. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut

$$\bar{Y} = R_{se} * (Y_t - Y_1) \dots\dots\dots(6)$$

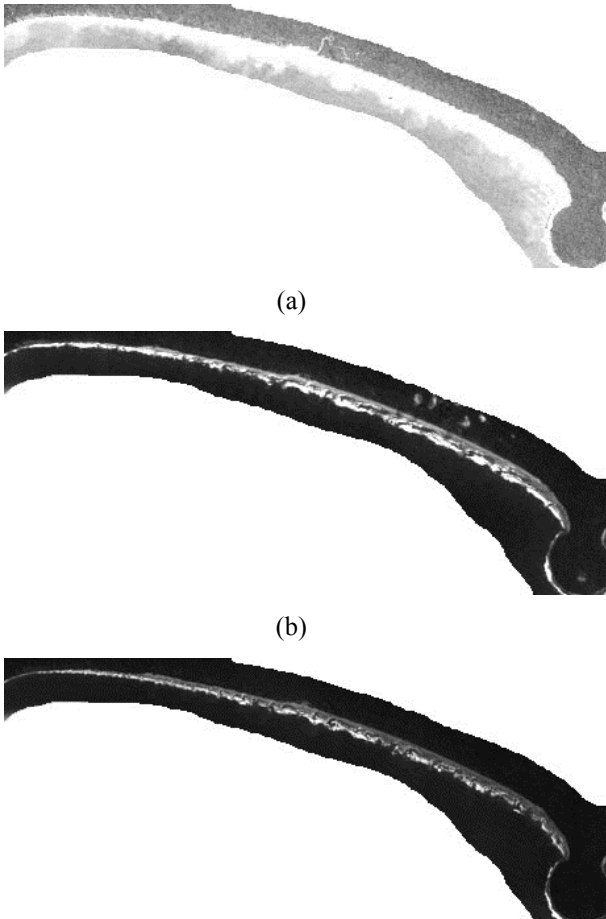
Dimana  $\bar{Y}$  merupakan titik baru sedangkan  $Y_t$  merupakan batas pengamatan. Validasi EPR dilakukan dengan menggunakan rumus RMSE.

$$RMSE = \left[ n^{-1} \sum_{i=1}^n (X_{MOD} - X_{ORG})^2 + (Y_{MOD} - Y_{ORG})^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

Dimana  $X_{MOD}$  dan  $Y_{MOD}$  merupakan koordinat dari garis panati hasil peramalan sedangkan  $X_{ORG}$  dan  $Y_{ORG}$  merupakan koordinat dari garis pantai acuan.

## 2. Pembahasan

Percobaan dilakukan dengan menggunakan data citra garis pantai landsat pada daerah Taman nasional ujung Kulon. Data landsat yang digunakan adalah data tahun 1992 yang diambil pada data landsat TM, data satelit landsat ETM+ tahun 2009 dan data Landsat OLI tahun 2004. Gambar 1 merupakan citra RGB daerah penelitian pada tahun 1992, 2009 dan 2014.



Gambar 1. Citra RGB Tahun 1992(a), tahun 2009(b), tahun 2014(c)

Ekstraksi fitur air-darat dilakukan dengan menggunakan dua metode yaitu metode BILKO dan metode perbandingan antar kanal biru dan kanal inframerah dekat. Gambar 2 menunjukkan perbedaan hasil ekstraksi fitur antara algoritma BILKO dan perbandingan antar band.



(a. Tahun 1992)



(b. Tahun 1992)



(a Tahun 2009)

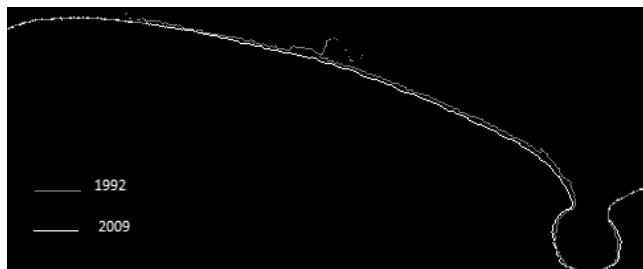


(b. tahun 2009)

Gambar 2. Ekstraksi fitur air-darat dengan metode BILKO(a), Perbandingan antar band(b)

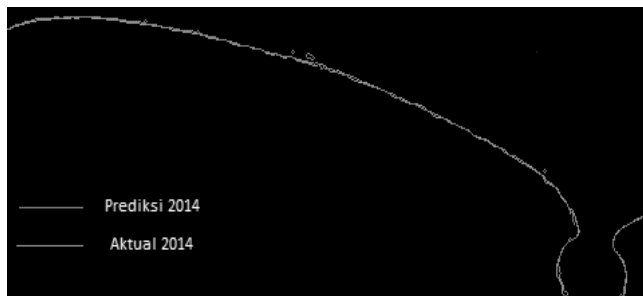
Penerapan algoritma segmentasi berperan sebagai pemunculan informasi mengenai kawasan daratan dan kawasan perairan dimana kawasan darat diwakilkan dengan warna terang sedangkan perairan diwakilkan dengan warna gelap. Algoritma BILKO memiliki kelemahan dimana puncak ombak yang memiliki tingkat kecerahan tinggi akan selalu dianggap sebagai kawasan daratan sehingga memungkinkan terjadinya kesalahan dalam proses ekstraksi. Sedangkan pada algoritma perbandingan puncak ombak yang memiliki nilai pixel yang tinggi akan tetap diidentifikasi sebagai daerah perairan sehingga memungkinkan untuk meminimalisir adanya kesalahan dalam proses ekstraksi. Perbandingan

garis pantai antara tahun 1992 dengan tahun 2009 dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan Garis pantai tahun 1992 dan 2009

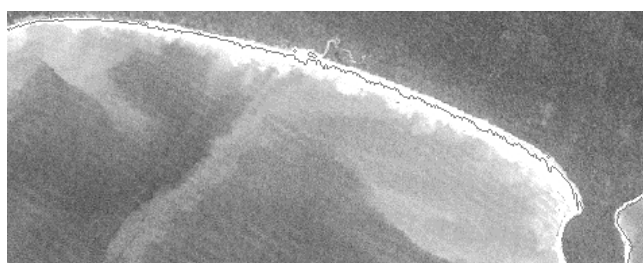
.Peramalan dilakukan dengan mengikuti sekenario dimana EPR dibentuk dengan menggunakan citra tahun 1992 dan 2009. Hasil dari laju perubahan di validasi dengan menggunakan citra pada tahun 2014. Validasi dihitung dengan menggunakan pendekatan RMSE. Gambar 5 merupakan hasil prediksi perubahan garis pantai pada tahun 2014 dan garis pantai aktual tahun 2014.



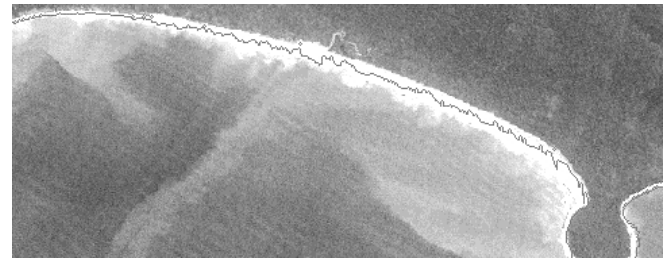
Gambar 5. Overlay Garis pantai prediksi dan Garis pantai aktual tahun 2014

Berdasarkan perhitungan, nilai error berkisar antara -51,17 meter hingga 65,29 meter dengan RMSE 15,19.

Prediksi garis pantai jangka pendek dilakukan dengan mprediksi garis pantai selatan taman nasional ujung kulon pada tahun 2020 sedangkan untuk jangka panjang dilakukan untuk tahun 2030. Overlay garis pantai tahun 2020 dan 2030 dapat dilihat pada Gambar 6



(a)



(b)

Gambar 6. Garis pantai tahun 2020 (a), Garis pantai tahun 2030 (b)

### 3. Kesimpulan

Pada penelitian ini dilakukan ekstraksi garis pantai dengan metode BILKO dan segmentasi multispektrum untuk dijadikan acuan dalam peramalan garis pantai dengan metode end point rate (EPR). Dalam penelitian ini menghasilkan kesimpulan dimana metode segmentasi multispektrum menghasilkan segmentasi lebih baik dibandingkan dengan BILKO. Hal ini dikarenakan metode BILKO merepresentasikan puncak ombak sebagai daratan sehingga akan mengakibatkan kesalahan dalam pembentukan garis pantai. Berdasarkan gambar validasi model, metode MPR dapat diterima dengan tingkat kesalahan yang masih dapat diterima. Metode peramalan dengan MPR menjadi efektif ketika diasumsikan faktor interaksi fisik yang terjadi konstan, seperti tidak adanya pengaruh perubahan yang diakibatkan oleh badai.

Resolusi citra yang digunakan memiliki pengaruh yang besar dalam menentukan keakurasaan dalam melakukan proses deteksi tepi sehingga memungkinkan untuk mendapatkan hasil peramalan yang lebih akurat.

### Daftar Pustaka

- [1] M. S. Tarigan, "Perubahan garis pantai di wilayah pesisir perairan cisadane, provinsi banten," vol. 11, no. 1, pp. 49-55, 2007.
- [2] B. Hermanto, "Pemantauan Garis Pantai Dengan Menggunakan Citra LANDSAT," *Oseana XI*, p. 163 170, 1986.
- [3] L. X. Cui B., "Coastline change of Yellow River estuary and its response to the sediment and runoff (1976-2005)," *Geomorphology*, 2011.
- [4] T. Q. Chen S., Chen L., Liu Q., Li X., "Remote sensing and GIS based integrated analysis of coastal changes and their environmental impacts in Lingding Bay, Pearl River Estuary, South China. Ocean & Coastal Management," *Ocean Coast. Manag.*, pp. 65-83, 2005.
- [5] Al Bakri D., "Natural Hazards of Shoreline Bluff Erosion: A Case Study of Horizon View, Lake Huron," *Geomorphology*, vol. 17, no. Geomorphology, pp. 323-337, 1996.
- [6] B. A. Maiti S., "Shoreline change analysis and its application to prediction: A remote sensing and statistics based approach," *Mar. Geol.*, 2009.
- [7] Zuzek P. Naim R. Thieme S., "Spatial and temporal consideration for calculating shoreline change rates in the Great Lakes Basin," *J. Coast. Res.*, 2003.
- [8] J. J. Muñoz-pérez, R. Medina, and B. Tejedor, "Evolution of longshore beach contour lines determined by the E . O . F . method \*," vol. 65, no. 4, pp. 393-402, 2001.

- [9] and G. G. Peter Ruggiero<sup>1\*</sup>, Maarten Buijsman<sup>2</sup>, George M. Kaminsky<sup>3</sup>, "MODELING THE EFFECTS OF WAVE CLIMATE AND SEDIMENT SUPPLY," pp. 1-63, 2006.
- [10] F.-J. Chang and H.-C. Lai, "Adaptive neuro-fuzzy inference system for the prediction of monthly shoreline changes in northeastern Taiwan," *Ocean Eng.*, vol. 84, pp. 145-156, Jul. 2014.
- [11] "LANDSAT DATA CONTINUITY MISSION ( LDCM ) LEVEL 0 REFORMATTED ( L0R ) DATA FORMAT CONTROL BOOK ( DFCB ) October 2012," no. October, 2012.
- [12] M. V. Herbei, L. Dragomir, C. Popescu, and R. Pirsan, "PROCESSING AND INTERPRETATION OF SATELLITE IMAGES LANDSAT 8," vol. XLIII, pp. 109-118, 2013.
- [13] R. Munir, *Pengolahan Citra digital dengan Pendekatan Algoritmik*. Penerbit Informatika Bandung, 2004.
- [14] A. K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*. United States of America: Prentice-Hall, 1989.
- [15] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins, *Digital Image Processing Using MATLAB*. United States of America: Gatesmark Publishing, 2009.
- [16] D. Putra, *No Title Pengolahan Citra Digital*. Yogyakarta: Andi Offset, 2010.
- [17] M. K. D. RYU J.H., WON J.S., "WATERLINE EXTRACTION FROM LANDSAT TM DATA IN A TIDAL FLAT: A CASE STUDY IN GOSMO BAY, KOREA," *Remote Sens. Environ.*, vol. 83, 2002.
- [18] C. D. Eliot J., "Temporal and spatial bias in the estimation of shoreline rate-of-change statistics from beach survey information," *Coast. Manag.*, 1989.
- [19] Fenster M. Dolan R. Elder j, "A new method for predicting shoreline positions from historical data," *J. Coast. Res.*, vol. 9, pp. 147-171, 1993.
- [20] Li R. Liu J. Felus Y., "Spatial modelling and analysis for shoreline change and coastal erosion monitoring," *Mar. Geod.*, vol. 24, 2001.
- [21] Thieler ER O'Connell JF Schupp CA, "The Massachusetts Shoreline Change Project: 1800s to 1994," *Tech. Report. USGS Adm Rep. NOAA*.
- [22] K. M. L. J. T. E. Hapke CJ Himmelstoss EA, "National Assessment of Shoreline Change: Historical Shoreline Change along the New England and Mid-Atlantic Coasts," *USGS Rep.*, 2010.
- [23] Faizal Kasim, "Pendekatan Beberapa Metode dalam Monitoring Perubahan Garis Pantai Menggunakan Dataset Penginderaan Jauh Landsat dan SIG," vol. 5, no. April 2012, pp. 620-635.
- Universitas Gajah Mada Yogyakarta, lulus tahun 2001. Memperoleh gelar Doktor (Dr.), Prodi S3 Ilmu Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada Yogyakarta, lulus tahun 2011. Saat ini menjadi staf pengajar di jurusan Teknik Elektro dan teknologi Informasi Universitas Gajah Mada Yogyakarta.

## Biodata Penulis

**I Made Agus Wirahadi Putra, S.Pd**, memperoleh gelar Sarjana Pendidikan (S.Pd), Jurusan Pendidikan Teknik Informatika Universitas Pendidikan Ganesha Singaraja, lulus tahun 2011. Saat ini melanjutkan pendidikan Pasca Sarjana Magister Teknik Informatika Universitas Gajah Mada Yogyakarta.

**Prof. Adhi Susantho, M.Sc, Ph.D**. memperoleh gelar Sarjana Komputer (S.Kom), Jurusan Fisika Universitas Gajah Mada Yogyakarta, lulus tahun 1963. Memperoleh gelar Master of Science (M.Sc), jurusan Electrical Engineering University of California, Davis, lulus tahun 1986. Saat ini menjadi Dosen (Professor) di Teknik Elektro Universitas Gajah Mada Yogyakarta

**Dr. Indah Soesanti M.T**. memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T), Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada Yogyakarta, lulus tahun 1998. Pasca Sarjana Teknik Elektro Fakultas Teknik