

Ekstraksi Garis Pantai Pada Citra Satelit Landsat dengan Metode Segmentasi dan Deteksi Tepi

I Made Agus Wirahadi Putra, Adhi Susanto, Indah Soesanti

Pascasarjana Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada

Jalan Grafika No.2 Kampus UGM Yogyakarta 55281

wirahadi_s2te12@mail.ugm.ac.id, susanto@te.ugm.ac.id, indah@te.ugm.ac.id

Abstract—Garis pantai merupakan kawasan yang dinamis yang dapat berubah setiap saat. Perubahan ini disebabkan oleh adanya abrasi dan akresi. Pemantauan terhadap perubahan garis pantai dapat dilakukan dengan menggunakan citra satelit. Analisis citra satelit memberikan data yang lengkap dan dapat dilakukan dengan sedikit atau tanpa bantuan manusia. Makalah ini, menggunakan metode segmentasi dan deteksi tepi pada multi-spektrum yang berkeja secara otomatis. Proses pemunculan informasi garis pantai dilakukan dalam dua tahapan, yaitu *pre-processing* dan *processing*. *Pre-processing* merupakan tahapan awal yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas masing-masing citra (*noise remover* dan *edge enhancement*). Tahapan *processing* merupakan tahapan pemunculan informasi garis pantai dengan segmentasi dan deteksi tepi. Penerapan metode ini diharapkan dapat memunculkan informasi mengenai garis pantai.

Keywords—*deteksi tepi, segmentasi, citra satelit*

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan Negara Kepulauan dengan panjang garis pantai 95.181 km yang membentang di 17.504 pulau dan merupakan garis pantai terpanjang ke-4 di dunia. Garis pantai merupakan batas antara kawasan daratan dan kawasan perairan. Garis pantai menjadi wilayah transisi antara daratan dan lautan yang mengalami interaksi yang intens yang menyebabkan garis pantai menjadi dinamis atau dapat berubah sewaktu-waktu. Perubahan garis pantai dapat berupa abrasi maupun akresi.

Abrasi merupakan peristiwa terkikisnya daratan yang disebabkan oleh gelombang laut. Gelombang laut membentuk celah-celah cekung pada bagian dasar, sehingga memberi peluang kerja gaya/berat dari batuan di atas (*overhanging*), dan menjatuhkannya ke bawah. [2]. Akresi ialah bertambahnya daratan yang berbatasan dengan laut karena adanya proses pengendapan, baik oleh material endapan yang dibawa oleh sungai maupun endapan laut. Bentuk akresi berupa *delta*, *estuaria*, dan pematang pantai. Kecepatan bertambahnya daratan atau akresi akibat sedimentasi dipercepat dengan terdapatnya karang-karang dan tumbuhan pantai. Material-material sedimen terhalang oleh karang-karang pantai maupun akar-akar tumbuhan. Hal ini menyebabkan

penimbunan sedimen semakin lama semakin tebal dan terbentuklah daratan baru. [3]

Satelit observasi umumnya memiliki sensor yang menggunakan panjang gelombang yang berbeda-beda untuk memetakan kondisi permukaan bumi. *Multi-spectrum image* merupakan citra yang terbentuk dari gelombang yang dipancarkan ke permukaan bumi dengan berbagai macam panjang gelombang antara 0.45 μm sampai dengan 12.5 μm yaitu dari cahaya biru sampai dengan inframerah termal (TIR or LWIR). Landsat 7 ATM+ merupakan salah satu satelit observasi yang memiliki sensor elektromagnetik tersebut [1].

Analisis garis pantai dilakukan dengan menggunakan *image processing* dengan algoritma yang tepat. Secara umum, digunakan dalam menganalisis data-data citra yang dihasilkan oleh satelit untuk mengetahui atau menganalisis informasi-informasi tertentu. *Digital image processing* merupakan disiplin ilmu yang berfokus pada ekstraksi informasi yang terdapat pada citra. Analisis citra satelit dilakukan dengan komputer, yang dalam penerapannya hanya sedikit maupun tanpa bantuan manusia [4].

Ekstraksi garis pantai dapat dilakukan dengan mengombinasikan beberapa metode yang ada di *image processing*. Metode yang digunakan adalah segmentasi dan deteksi tepi. Segmentasi merupakan upaya penemuan objek-objek yang ada di dalam citra berdasarkan kedekatan nilai piksel. Proses deteksi tepi bertujuan untuk meningkatkan penampakan batas-batas objek berdasarkan besar defrensiasi atau dengan memperkuat komponen frekuensi tinggi. Metode segmentasi dan deteksi tepi pada citra satelit multi-spektrum diharapkan mampu meningkatkan akurasi dalam ekstraksi garis pantai.

II. LANDASAN TEORI

A. *Multi-spectrum image*

Multi-spectrum image merupakan citra yang diambil dengan menggunakan frekuensi khusus pada saluran spektrum elektromagnetik. Panjang gelombang dapat dipisahkan oleh filter atau dengan menggunakan instrumen yang sensitif terhadap panjang gelombang tertentu. *Special image* dapat

memunculkan informasi-informasi tertentu yang tidak dapat ditangkap oleh pengelihat manusia.

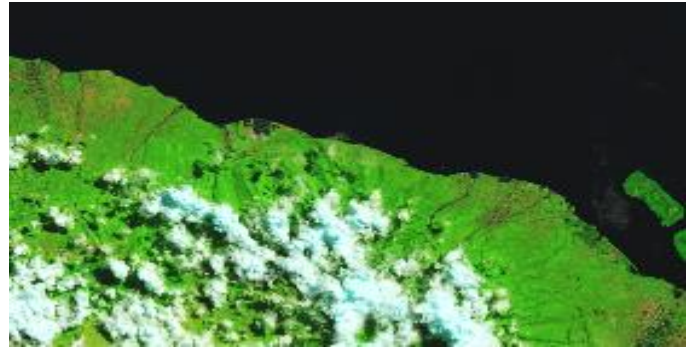
Citra multi-spektrum merupakan tipe citra yang diperoleh dari pengindraan jauh. Sensor multi-spektrum menangkap total radiasi pada setiap pikselnya. Umumnya satelit observasi memiliki lebih dari satu radiometer yang menangkap gelombang dengan frekuensi berbeda. *Visible spectram* mencakup panjang gelombang yang memiliki rentang dari 0.7 μm sampai dengan 0.4 μm dengan warna *red*, *green*, dan *blue* serta gelombang infra merah yang memiliki rentang lebih dari 0.7 μm yang diklasifikasikan kedalam *near infrared* (NIR), *middle infrared* (MIR) dan *far infrared* (FIR or thermal).

Gelombang dengan panjang 0.45-0.52 memiliki spektrum warna biru. 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.

Penggabungan beberapa spektrum dapat membentuk suatu citra baru yang menghasilkan atau memunculkan ciri maupun informasi tertentu. Seperti halnya penggabungan antara spektrum merah, hijau, dan biru yang menghasilkan citra baru yang memiliki warna seperti aslinya. Sedangkan kombinasi antara spektrum biru, NIR, dan MIR, menghasilkan citra baru yang memiliki informasi berupa kedalaman air, cakupan vegetasi, dan keadaan tanah.



Gambar 1. Penggabungan frekuensi merah, hijau, dan biru



Gambar 2. Penggabungan frekuensi biru, *near infrared* (NIR), dan *middle infrared* (MIR)

B. Median Filtering

Noise atau gangguan acak pada citra umumnya memiliki ukuran yang relatif kecil. *Noise* tetap dapat mengakibatkan kesalahan dalam analisis citra, sehingga perlu adanya upaya peningkatan kualitas citra. Penapisan seluas citra dapat digunakan dalam mengurangi atau menghilangkan *noise* [13].

Penapisan dilakukan dengan mengitung nilai piksel baru berdasarkan nilai piksel tetangga. Perhitungan nilai piksel baru didasarkan pada kombinasi piksel-piksel tetangga ataupun dapat diperoleh dengan mengambil nilai piksel tetangga [14]. Terdapat berbagai macam metode dalam menghilangkan *noise* seperti penerapan *Sobel filter* [5], *Prewitt filter* [6], dan lain sebagainya. *Median filter* merupakan salah satu metode dalam mengurangi atau menghilangkan *noise*.

Tapis median menghitung nilai piksel baru, yaitu nilai tengah (*median*) di dalam kernel. Nilai tengah dari piksel di dalam kernel tergantung pada ukuran kernel. Untuk ukuran kernel m baris dan n kolom maka banyaknya piksel dalam kernel adalah $(m \times n)$, m serta n adalah bilangan ganjil, karena posisi tengahnya untuk nilai baru yang diperoleh, yaitu posisi $(m \times n + 1)/2$. Semua nilai piksel bertetangga harus diurutkan besarnya dan diambil posisi tengah.

Secara matematis, tapis median dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$O(i, j) = \text{median}\{U(i + k - 1, j + l - 1), (k, l) \in W\}$$

C. Laplacian Operator

Tepian citra adalah posisi dimana intensitas piksel citra berubah secara signifikan dari nilai rendah ke nilai tinggi atau sebaliknya [15]. Tepi suatu citra mengandung berbagai macam informasi. Terdapat berbagai macam teknik dalam

pendeteksian tepi, diantaranya: 1) 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*) [16][15][14][13].

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

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

Berdasarkan bentuk diatas, *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. AGSO dan BILKO

AGSO (*Australian Geological Surveys Organization*) telah mengembangkan metode pemetaan perairan dangkal berdasarkan citra. Formula yang melandasi merupakan rumusan matematis yang digunakan dalam menjelaskan hubungan antara sinyal gelombang elektromagnetik, medium propagasi, partikel dalam air, serta efek kedalaman suatu perairan [9].

Berdasarkan karakteristik spektralnya, obyek air memiliki persentase reflektansi yang tinggi pada *band* dengan interval panjang gelombang antara 0.3-0.7 μm . *Band* dengan interval tersebut merupakan cahaya tampak (*band* 1, 2, dan 3). *Band-band* tersebut mampu melakukan penetrasi ke dasar perairan. Ketiga *band* tersebut juga dapat digunakan untuk mengestimasi kedalaman suatu perairan [17]. Secara matematis AGSO dapat dirumuskan sebagai berikut:

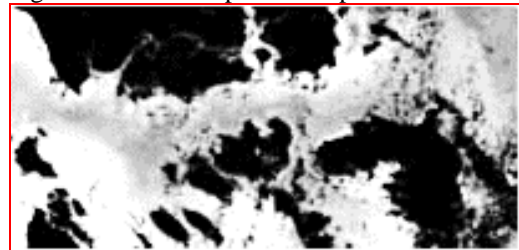
$$(If\ B5 < D\ and\ B1 > 0\ then\ (\log(B1-m1)/K1) + (\log(B2-m2)/K2) + (\log(B3-m3)/K3)\ else\ null$$

Keterangan:

- B5 = Band 5
- B1 = Band 1
- B2 = Band 2
- B3 = Band 3
- D = Nilai BV terendah untuk daratan pada band 5

- m1 = Nilai BV terendah *band* 1
- m2 = Nilai BV terendah *band* 2
- m3 = Nilai BV terendah *band* 3

K1, K2, K3 = Koefisien pengurangan cahaya pada *band* 1, 2, dan 3. Koefisien pengurangan cahaya pada *band* 1, 2, dan 3 berturut-turut adalah 0.1; 0.3 dan 0.19. Output citra satelit dengan algoritma AGSO dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. AGSO

Rumus AGSO menghasilkan warna hitam pekat yang munjukan kawasan daratan serta warna abu-abu yang menunjukkan wilayah lautan. Puncak ombak terbaca sebagai daratan sehingga pada daerah yang memiliki ombak besar mengalami kesalahan dalam menentukan batas.

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:

$$\text{Output}[i,j] = (((\text{band } 4[i,j]) / (bv * 2)) + 1) * -1$$

Keterangan:

- band 4 = *near infrared* (NIR),
- bv = drajat keabuahn terkecil untuk daratan

Sedangkan input 1 merupakan citra pada *band* 4. Gambar 4 merupakan hasil algoritma BILKO.



Gambar 4. Citra Algoritma Bilko

Algotima BILKO dapat meningkatkan rentang kontras antara daratan dan lautan. Daratan berwarna abu-abu menuju gelap sedangkan lautan berwarna putih. Algoritma BILKO memiliki kelemahan karena dalam algoritma ini membaca karakteristik puncak ombak yang tinggi dan menggulung sebagai daratan.

III. STUDI LITERATUR PEMBANDING

Penelitian mengenai ekstraksi garis pantai dengan menggunakan citra satelit banyak dikembangkan. Hal ini karena garis pantai dapat digunakan sebagai indikator dalam penelitian yang berkelanjutan. Salah satu penelitian yang mengembangkan deteksi garis pantai dilakukan oleh Sagar. Sagar [7] merumuskan suatu metode atau algoritma baru dalam menentukan batas antara daratan dan lautan pada citra satelit SAR (*Synthetic Aperture Radar*). Pendekatan *discrete wavelet transform* diterapkan dalam menganalisis citra SAR sehingga nantinya mampu membangkitkan batas antara daratan dan lautan atau garis pantai.

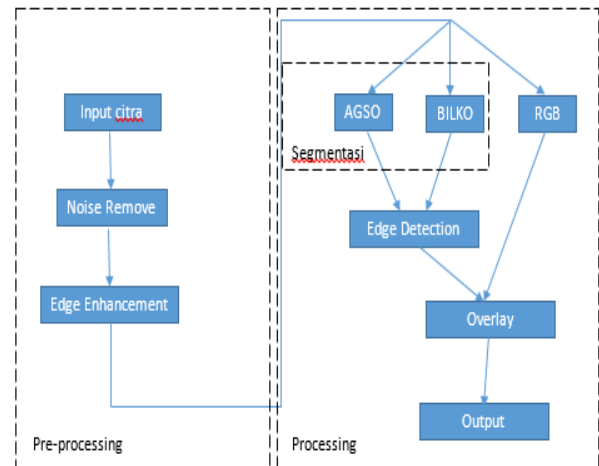
Liu [8] menggunakan pendekatan yang komprehensif dalam mengekstraksi garis pantai. Pendekatan yang digunakan dalam mengekstraksi garis pantai menggunakan *local adaptive threshold* dan kombinasi antara algoritma *Levenberg-Marquardt* dan *Canny edge detector* dalam menentukan garis pantai. Algoritma ini menghasilkan peningkatan nilai ambang batas segmentasi, sehingga nantinya memungkinkan penggunaan pengetahuan heuristik manusia mengenai ukuran serta kontinuitas padataran dan lautan sehingga mudah dalam membedakan antara garis pantai dan objek lainnya.

AGSO telah mengembangkan metode pemetaan perairan dangkal untuk setiap citra. Formula ini merupakan rumusan matematis yang digunakan dalam menjelaskan hubungan antara sinyal gelombang elektromagnet, medium propagasi, partikel dalam air, serta efek kedalaman suatu perairan [9].

Berdasarkan karakteristik spektralnya, obyek air memiliki persentase reflektansi yang tinggi pada *band* dengan interval panjang gelombang antara 0.3-0.7 μm . *Band* dengan interval tersebut merupakan cahaya tampak (band 1, 2, dan 3). *Band-band* tersebut mampu melakukan penetrasi ke dasar suatu perairan. Ketiga *band* tersebut juga dapat digunakan untuk mengestimasi kedalaman suatu perairan [10].

IV. METODE PENELITIAN

Ekstraksi garis pantai dilakukan dalam dua tahapan, yaitu tahap pertama merupakan tahap *pre-processing* yaitu perbaikan kualitas citra dan tahapan kedua merupakan tahapan segmentasi dan deteksi tepi. Secara sederhana dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Skema Sistem

a. *Pre-processing*

Pre-processing merupakan tahapan awal dari proses ekstraksi garis pantai yang berfokus pada perbaikan kualitas citra satelit baik untuk *noise reduction* maupun pada *edge enhancement*.

- *Noise Reduction*

Noise pada citra satelit ditimbulkan oleh adanya kesalahan dalam proses *acquisition* dan *transmission* [19,20]. Terdapat dua jenis *noise* yang terjadi pada citra satelit yaitu *random valued noised* dan *salt & pepper noise* [21]. *Noise salt and pepper* memiliki dua kemungkinan ekstrim yaitu nilai 0 atau 255. *Noise* memiliki nilai yang berbeda jauh dengan nilai piksel yang ada disekitarnya sehingga perubahan gradien nilai menjadi ekstrim, sehingga menimbulkan kesalahan dalam melakukan deteksi tepi [22]. Salah satu metode yang digunakan dalam menghilangkan *noise salt and pepper* adalah menggunakan tapis median.

- *Edge Enhancement*

Anisotropic diffusion algorithm merupakan algoritma *noise reduction* namun dengan tetap mempertahankan kualitas tepi citra [11,18]. Algoritma dapat memperlambat area citra namun tetap mempertahankan kualitas tepi citra yang kuat.

b. *Processing*

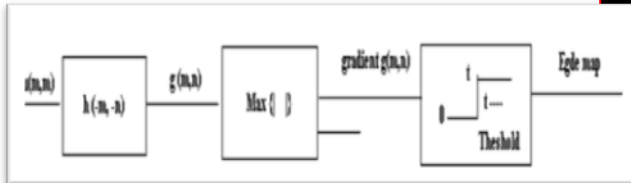
Tahapan *processing* merupakan tahapan utama pada sistem, yang dibagi menjadi *segmentation*, *composite RGB* dan *edge detection*.

- **Segmentation**
 Proses segmentasi menggunakan pendekatan rumus pada AGSO dan BILKO. AGSO dan BILKO mengkalsifikasikan citra kedalam dua bagian, yaitu wilayah daratan dan lautan dimana daratan memiliki nilai 255 (putih) dan air memiliki nilai 0 (hitam).AGSO dan BILKO memiliki perbedaan perihal frekuensi citra yang digunakan.AGSO mengkombinasikan citra pada frekuensi merah, hijau, biru, dan MIR untuk membentuk citra baru, sedangkan BILKO hanya menggunakan satu frekuensi, yaitu NIR.Kombinasi kedua metode tersebut menghasilkan citra baru dan citra yang dibentuk menggunakan kesamaan ciri pada pendekatan AGSO dan BILKO.

- **Edge Detection**
 Tahapan *edge detection* merupakan tahapan untuk memunculkan nilai batas dari citra hasil segmentasi. Pemunculan nilai batas citra menggunakan oprator laplecion dengan menggunakan matriks:

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

Batas citra dibentuk dengan menghitung perubahan drajat keabuan yang terjadi secara ekstrim antar piksel yang bertetangga.



- **Composite RGB**
Composite RGB merupakan teknik pembentukan citra baru dengan menggabungkan citra pada frekuensi *visible* yaitu frekuensi merah, hijau, dan biru. Proses penggabungna dengan memasukkan nilai pada masing-masing frekuensi ke dalam citra baru.

penggabungan nilai RGB (*band 1, band 2, band3*), sehingga nantinya terbentuk citra satelit berwarna dengan nilai garis pantai yang jelas.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan garis pantai merupakan hal yang sederhana dalam teknik pengindraan jauh, namun menjadi hal yang sulit apabila dilakukan secara otomatis.Segmentasi menjadi faktor yang sangat penting dalam proses ekstrasi garis pantai. Nilai bvdiperoleh dengan mencari nilai dengan perubahan ekstrim pada proses logaritma. Nilai bv menjadi acuan dalam proses segmentasi pada algoritma AGSO dan BILKO. Nilai 0 (hitam) merepresentasikan permukaan air dan nilai 255 (putih) merepresentasikan nilai dari daratan.Hasil dari proses segmentasi dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Segmentasi

Hasil dari proses segmentasi mengalami proses *edge detection*. Perubahan nilai pixel secara kontras menjadi indicator dalam penentuan nilai tepi.Hasil ekstraksi ditampilkan pada gambar 8.



Gambar 8. Deteksi tepi

Nilai 0 (putih) menunjukkan batas antara daratan dan perairan. Nilai dari hasil deteksi tepi nantinya mengalami proses overlay dengan citra hasil kompresi RGB. Gambar 9 menunjukkan hasil dari proses overlay.

Teknik *overlay* mertupakan teknik penggabungan antar dua buah citra. Citra hasil mengalami proses penggabungan dengan citra satelit yang sudah mengalami proses



Gambar 9. Hasil ekstraksi garis pantai

VI. KESIMPULAN

Identifikasi garis pantai menjadi indikator penting dalam teknik analisis citra karena garis pantai dapat dijadikan acuan dalam mengidentifikasi kondisi lingkungan di kawasan pantai. Dengan menerapkan algoritma segmentasi dan deteksi tepi pada citra multi-spektrum mampu memunculkan informasi garis pantai secara optimal. Penerapan segmentasi AGSO dan BILKO memiliki kekurangan dimana puncak ombak dan awan pada daerah perairan tetap dianggap sebagai daratan sehingga terjadi kesalahan dalam proses pemunculan informasi garis pantai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chander, Gyanesh, Brian L. Markham, and Dennis L. Helder. "Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors." *Remote sensing of environment* 113.5 (2009): 893-903.
- [2] Tarigan, M. Salam. "Perubahan garis pantai di wilayah pesisir Perairan Cisdane, Provinsi Banten." *MAKARA of Science Series* 11.1 (2010).
- [3] Hermanto, Bambang. "Pemantauan Garis Pantai Dengan Menggunakan Citra LANDSAT." *Oseana* XI (4): 163-170 (1986).
- [4] T.E Chan and L.A. Vese, "A level set algorithm for minimizing the Mumford-Shah functional in image processing" *IEEE Workshop on Variational and Level Set Method in Computer Vision*, pp 161-168.
- [5] J. W. Goodman. "Speckle Phenomena in and Applications," Englewood, CO: Company, 2007
- [6] V. Caselles, R. Kimmel, and G. Sapiro, "G contours," *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 22, no Feb. 1997.
- [7] SriVeeraSagar, Ch, and K. RamaDevi. "A NEW APPROACH OF EDGE DETECTION IN SAR IMAGES USING REGION-BASED ACTIVE CONTOURS."
- [8] Liu, H., and K. C. Jezek. "Automated extraction of coastline from satellite imagery by integrating Canny edge detection and locally adaptive thresholding methods." *International Journal of Remote Sensing* 25.5 (2004): 937-958.
- [9] Hanifa NR, Djunarsjah E, Wikantika K. 2007. Reconstruction of Maritime Boundary between Indonesia and Singapore Using Landsat- ETM Satellite Image. TS9 Marine Cadastre and Coastal Zone Management. 3rd FIG Regional Conference, October 3-7, 2004. Jakarta, Indonesia
- [10] Bierwith dkk. 1993. *Shallow Water Sea-Floor Reflectance and Water Depth Derived by Unmixing Multispectral Imagery*. PERS. Australia
- [11] PERONA, P., and MALIK, J., 1990, Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 12, 629-639.
- [12] Vrieling, Anton. "Satellite remote sensing for water erosion assessment: A review." *Catena* 65.1 (2006): 2-18.
- [13] R. Munir, *Pengolahan Citra Digital dengan Pendekatan Algoritmik*. Bandung: Penerbit Informatika, 200
- [14] D. Putra, *Pengolahan Citra Digital*, 1st ed. Yogyakarta: Penerbit Andi, 2010.
- [15] A. K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*, 1st ed. United States of America: Prentice-Hall, 1989.
- [16] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins, *Digital Image Processing Using MATLAB*, 2nd ed. United States of America: Gatesmark Publishing, 2009.
- [17] Bierwith dkk. 1993. *Shallow Water Sea-Floor Reflectance and Water Depth Derived by Unmixing Multispectral Imagery*. PERS. Australia
- [18] SAINT-MARC, P., CHEN, J., and MEDIONI, G., 1991, Adaptive smoothing: a general tool for early vision. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 13, 514-529.
- [19] Bovik, A. C. (2010). *Handbook of image and video processing*. Academic Press.
- [20] Motta, G., Ordentlich, E., Ramirez, I., Seroussi, G., & Weinberger, M. J. (2009). *The DUDE Framework for Grayscale Image Denoising*.
- [21] Petrovic, N. I., & Crnojevic, V. (2008). Universal impulse noise filter based on genetic programming. *Image Processing, IEEE Transactions on*, 17(7), 1109-1120.
- [22] Chen, P. Y., & Lien, C. Y. (2008). An efficient edge-preserving algorithm for removal of salt-and-pepper noise. *Signal Processing Letters, IEEE*, 15, 833-836.