

# **PENGEMBANGAN METODE PENDUGAAN KEDALAMAN PERAIRAN DANGKAL MENGGUNAKAN DATA SATELIT SPOT-4 STUDI KASUS: TELUK RATAI, KABUPATEN PESAWARAN (METHODE DEVELOPMENT FOR SHALLOW WATER DEPTH BATHYMETRIC ESTIMATION USING SPOT-4 SATELLITE DATA, A CASE STUDY: RATAI BAY, PESAWARAN DISTRICT)**

**Muchlisin Arief, Maryani Hastuti, Wikanti Asriningrum, Ety Parwati, Syarif Budlman, Teguh Prayogo, Rossi Hamzah**

Peneliti Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lapan  
e-mail: muchlisin.arief@yahoo.com

Diterima 15 Februari 2013; Disetujui 16 Mei 2013

## **ABSTRACT**

Bathymetric estimation of shallow water depth using satellite remote sensing data becomes more prevalent. However, when these methods are implemented for areas with different environments, the results indicate the presence of irregularities. To minimize the deviation, conducted the merger of the information obtained from field measurements with reflectance values SPOT-4 satellite imagery. This paper proposed the methode development for bathymetric estimation of shallow water depth based on the correlation function between the depth value of direct measurements using a "handheld echo-sounder" to the resultante of reflectance values (band1 and band3). The algorithm for bathymetric estimation of a shallow water depth consists of thresholding method and correlation functions. Threshold value (T) depth of 0.5 meters is determined from observations of the correlation function graph polynomial ordre five and magnitude is  $0.35 < T < 0.47$ . Based on the results of the calculations show that the SPOT-4 satellite data can be used to estimate the shallow water depths up to approximately 18 meters

Key Words: *Bathymetry, Shallow water depth, SPOT-4, Resultante of reflectance value, Threshold, Ratai bay*

## **ABSTRAK**

Pendugaan batimetri perairan dangkal menggunakan data satelit penginderaan jauh semakin umum dilakukan. Namun, ketika metode tersebut diimplementasikan untuk wilayah dengan lingkungan yang berbeda, maka hasilnya menunjukkan adanya penyimpangan. Untuk meminimalkan penyimpangan tersebut, maka dilakukan penggabungan informasi diperoleh dari pengukuran lapangan dengan nilai reflektansi citra satelit SPOT-4. Pada makalah ini diusulkan pengembangan metode pendugaan kedalaman perairan didasarkan pada fungsi korelasi antara nilai kedalaman dari hasil pengukuran langsung menggunakan alat "handheld echo-sounder" dengan penjumlahan resultante nilai reflektansi (band1 dan band3). Algorithma pendugaan batimetri di perairan dangkal di Teluk Ratai terdiri dari metode *thresholding* dan fungsi korelasi. Nilai *threshold* (T) untuk kedalaman 0.5 meter ditentukan dari pengamatan grafik fungsi korelasi polynomial ordre lima dan besarnya adalah  $0.35 < T < 0.47$ . Berdasarkan hasil perhitungan menunjukkan bahwa data satelit SPOT-4 dapat digunakan untuk menaksir kedalaman perairan dangkal hingga kurang lebih 18 meter.

Kata-Kunci: *Batimetri, Perairan Dangkal, SPOT-4, Resultante nilai reflektansi, Threshold, Teluk ratai*

## 1 PENDAHULUAN

Istilah batimetri merujuk pada kedalaman laut relatif terhadap permukaan laut. Informasi kedalaman perairan dangkal di wilayah pesisir merupakan salah satu informasi utama untuk navigasi. Informasi batimetri ini juga sangat penting untuk mengelola sarana dan fasilitas pelabuhan, mendukung operasi pengerukan, dan memprediksi sedimen yang berasal dari sungai yang bermuara kelaut (Mumby et al., 1998). Disamping itu, kegunaan lain dari peta batimetri adalah: 1) Sebagai informasi dasar untuk mempelajari *ecosystem* dasar perairan, seperti pemetaan kondisi habitat karang, 2) Sebagai informasi dasar zona potensi wisata laut dan budidaya perairan. Namun, saat ini informasi batimetri maupun terumbu karang sulit diperoleh dan biasanya informasinya tidak akurat lagi (Arief, 2012).

Pemetaan batimetri secara konvensional dengan kapal menggunakan *echo-sounder* memberikan hasil yang cukup akurat untuk titik pengukuran tertentu (Leu and Chang, 2005; Lyzenga, 1985). Namun cara ini mempunyai keterbatasan antara lain: cakupan wilayah yang terbatas dan sangat sulit diterapkan pada perairan pesisir yang sangat dangkal serta membutuhkan biaya operasi yang tinggi (Liu et al., 2003). Pemetaan batimetrik menggunakan penginderaan jauh sudah dimulai sejak perang dunia ke dua ketika teknik fotogrametri yang menggunakan foto udara untuk mengukur kedalaman dekat pantai di Pasifik (Lundahl, 1948; George, 1997). Anjuran penggunaan teknik penginderaan jauh termasuk pengukuran LIDAR udara dan penginderaan jauh optik untuk digunakan dalam pemetaan batimetri (Mas, 2004; Lyon et al., 1992; Guenther, et al., 1996) serta menawarkan metode yang lebih fleksibel, efisien dan hemat biaya serta cakupan wilayah yang lebih luas.

Berbagai metode telah dikembangkan untuk memetakan batimetri menggunakan penginderaan jauh, antara lain:

Teknik yang paling sering digunakan adalah koreksi kolom air (Fonstad and Marcus, 2005; Gordon and Brown, 1974; Lyzenga, 1978) menerapkan koreksi kolom air sebagai kompensasi kedalaman perairan dengan persyaratan: kejernihan air konstan dan komposisi substrat dasar homogen. Metode Jupp (Jupp, 1988) melanjutkan algoritma batimetri Lyzenga yang dalam implementasinya dilakukan penghitungan zona penetrasi kedalaman, interpolasi dan kalibrasi. Kemudian Green *et al.*, (2000) mengimplementasikan metode Lyzenga, dengan kedalaman yang diperoleh mencapai sekitar 30 meter. Penelitian Louchard et al. (2003) telah melakukan klasifikasi jenis dasar (*bottom type*) dan kedalaman perairan dengan menggunakan perhitungan fungsi transfer radiasi (*radiative transfer calculations*). Penelitian dari Lafon dan Liceaga (Lafon et al. 2002; Liceaga and Euan 2002) telah melakukan penggabungan data pengukuran lapangan dengan *remote sensing imagery*. Penelitian yang dilakukan oleh Arief (Arief, 2012) menentukan kedalaman perairan dangkal di teluk Popoh menggunakan fungsi empiris korelasi yang diperoleh dengan cara mengkorelasikan titik-titik kedalaman dari peta DIHIDROS (Angkatan Laut Republik Indonesia) dengan nilai reflektansi dari *band-1* SPOT-4. Akan tetapi berbagai metode tersebut di atas, bila diimplementasikan di wilayah yang berbeda apalagi dengan kondisi atmosfer yang berbeda akan terjadi penyimpangan.

Oleh karena itu, pada makalah ini, diusulkan metode penentuan batimetri perairan dangkal dengan menggabungkan data kedalaman yang diukur secara langsung dilapangan yang dilakukan pada tanggal 7 hingga 10 Agustus 2012 dengan data satelit SPOT-4 yang direkam pada tanggal 16 Juni 2012. Metode tersebut diturunkan secara eksperimen dengan *assumption* keadaan atmosfer waktu pengukuran dilapangan sama dengan kondisi atmosfer waktu perekaman citra. Algoritma tersebut terdiri dari

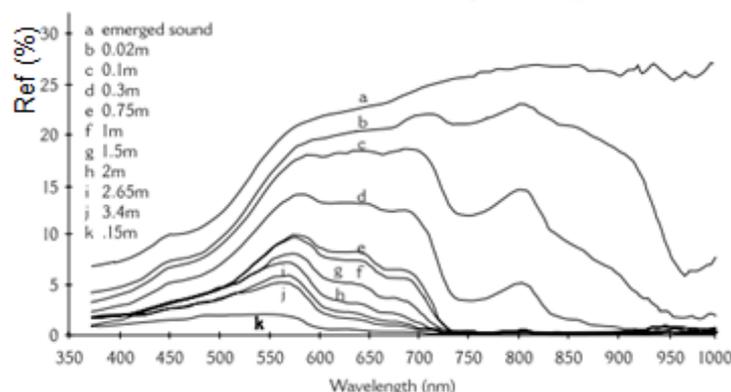
*thresholding* dan fungsi korelasi, yang mana fungsi korelasi diperoleh dengan cara mengkorelasikan data pengukuran lapangan menggunakan alat *handheld echo-sounder* dengan hasil penjumlahan *resultante* nilai reflektansi antara dua *band* dari citra SPOT-4. Kedua *band* yang dijumlahkan tersebut adalah *band* yang dapat saling melengkapi informasi spektral antara satu dengan yang lainnya atau dikatakan dua *band* yang tidak terkorrelasi linier (dua *band* yang mempunyai nilai koefisien korelasi yang paling kecil) yaitu *band1* dan *band3*. Karena Berdasarkan percobaan nilai koefisien korelasi yang paling kecil adalah  $R^2_{(B1,B3)}$  ( $R^2_{(B1,B3)} < R^2_{(B2,B3)}$ ).

## 2 PENENTUAN BATIMETRI

Batimetri dapat diartikan sebagai ukuran kedalaman laut, baik sebagai elevasi maupun mengenai depresi dasar laut yang dapat memberikan informasi tentang topografi dasar laut dan memberikan petunjuk tentang struktur dan kedalaman laut. Kedalaman laut dapat diukur dengan menggunakan dengan *Conventional Depth Echo Sounder* dimana kedalaman dasar laut dapat dihitung dari perbedaan waktu antara pengiriman dan penerimaan pulsa suara, atau menggunakan sistem *Side-Scan Sonar* yang dapat mengukur kedalaman dasar laut dan pemetaan dasar laut (*Sea Bed Mapping*) dan pengidentifikasian jenis-jenis lapisan sedimen di bawah dasar laut, atau dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh.

Pendugaan batimetri dengan pemodelan empiris menggunakan data penginderaan jauh telah banyak dilakukan, yang mana pemodelan tersebut didasarkan pada pemilihan kanal spektral yang berkemampuan untuk menembus air. Secara teoritis, energi matahari pada spektrum biru yang ditangkap oleh sensor SPOT-4 (0,45-0,52  $\mu\text{m}$ ) dapat menembus perairan hingga mencapai dasar perairan, kemudian dipantulkan oleh dasar perairan tersebut dan diterima oleh sensor biru yang terdapat di satelit SPOT-4. Namun *band* spektral yang dapat digunakan secara optimal untuk mengukur kedalaman perairan mempunyai kisaran panjang gelombang 0,5-0,6  $\mu\text{m}$  (Kumar et al., 1997). Sedangkan spektrum panjang gelombang pendek (seperti ultra violet) tidak dapat digunakan untuk pemetaan batimetri karena energinya akan diserap oleh air (terjadi pelemahan energi). Hasil pengukuran reflektansi terhadap kedalaman perairan yang dilakukan oleh Lafon et al., 2002 dapat dilihat seperti pada Gambar 2-1.

Pada Gambar tersebut terlihat bahwa nilai reflektansi berbanding terbalik dengan kedalaman perairan, yaitu nilai reflektansi bertambah besar bila perairan menjadi dangkal dan terjadi sebaliknya reflektansi bertambah kecil bila perairan bertambah dalam. Selain itu, gambar tersebut menunjukkan bahwa kedalaman perairan hanya dapat dideteksi sampai maksimum 15 meter pada kisaran spektrum dari 0.450  $\mu\text{m}$  sampai dengan 0.650  $\mu\text{m}$ .



Gambar 2-1: Reflektansi spektral perairan dangkal dari kedalaman 0.02 to 15 m Source (Lafon et al., 2002)

### 3 MATERIAL DAN METODE

Survei lapangan dilakukan dari tanggal 7 sampai dengan 11 Agustus 2012 dan citra satelit SPOT-4 yang digunakan hasil rekaman pada tanggal 16 Juni 2012. Data sekunder (seperti peta wilayah dan tata ruang) diperoleh dari pemerintah daerah Kabupaten Pesawaran. Peralatan yang digunakan untuk mendukung penelitian ini adalah alat pengukur kedalaman (*echosounder*), *Global Positioning System* (GPS) Garmin 12 XL, komputer berikut *software* pendukung untuk pengolahan data seperti: *Arc View* berfungsi untuk mengintegrasikan data primer maupun sekunder, *ER Mapper 6.4* berfungsi untuk mengolah data satelit dan melakukan operasi aritmatika dan *ENVI 4.5* melihat distribusi nilai spektral, menampilkan dan menganalisa hasil pemrosesan serta *software* lainnya. Peta Rupa Bumi daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 3-1.

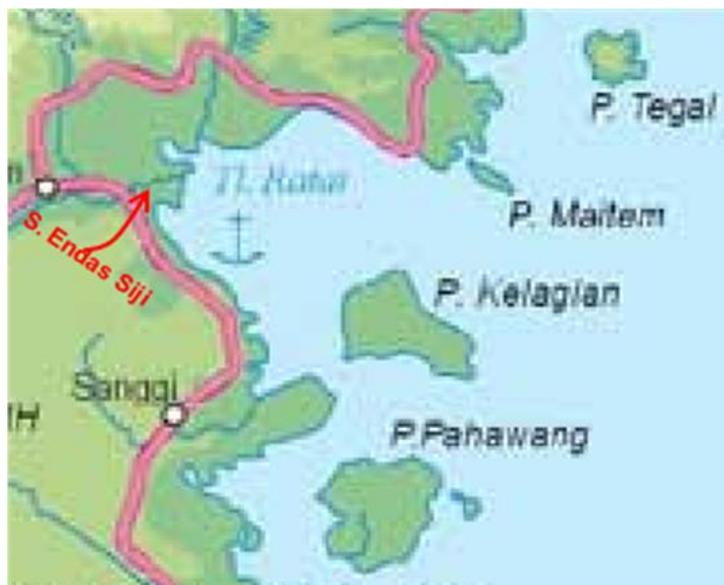
Ruang lingkup makalah ini difokuskan pada ekstraksi batimetri menggunakan data satelit SPOT-4 dengan wilayah studi perairan Pantai Teluk Ratai kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung. Sedangkan data satelit yang digunakan dalam penelitian ini direkam pada tanggal 16 Juni 2012 dan data lapangan yang diperoleh dari pengukuran lapangan yang dilakukan

pada tanggal 7 sampai dengan 11 Agustus 2012.

Urut-urutan proses untuk menghasilkan informasi bathimetri terdiri dari:

- *Process* koreksi radiometrik dan geometrik citra, dengan demikian citra yang akan diproses sudah tidak mempunyai kesalahan radiometrik dan citra dapat mempunyai korodinat yang sama dengan koordinat peta.
- Merubah citra digital number (*gray level*) dalam bentuk integer ke citra reflektansi dalam bentuk *real*.
- Menjumlahkan vektor nilai reflektansi band1 dengan band3 secara vektor atau  $Res(i,j) = \text{Sqrt} ((ref_{B1}(i,j))^2 + (ref_{B3}(i,j))^2)$ .
- Mengkorelasikan kedalaman perairan yang diperoleh dari pengamatan dengan nilai *resultante* reflektansi, kemudian menentukan fungsi korelasinya
- Menghitung batimetri atau menaksir kedalaman perairan dangkal dengan menggunakan fungsi korelasi, secara bersamaan menggunakan metode *thresholding* dengan bertujuan untuk memisahkan daratan dengan lautan. Hasil yang diperoleh kemudian dimasking kecitra aslinya, untuk mendapatkan wilayah laut saja.

Ekstraksi informasi batimetri dilanjutkan dengan proses *density slicing* atau pembuatan kontur untuk merepresentasikan hasilnya.



Gambar 3-1: Peta rupa bumi Kabupaten Pesawaran

#### 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Integrasi titik-titik pengukuran kedalaman perairan yang dilakukan pada tanggal 7 hingga 10 Agustus 2012 dengan citra SPOT-4 dapat dilihat pada Gambar 4-1. Pengukuran dimulai dari muara sungai Endas Siji (Pulau Sumatera) yang airnya sangat keruh kecoklat-coklatan dan berlumpur dengan kedalamannya 0.1 meter 0.5 meter hingga ke Pulau Kelagian dan Pulau Anak Kelagian dan kembali ke Pulau Sumatera.



Gambar 4-1: Data satelit SPOT-4 RGB 321 Teluk Ratai yang diintegrasikan titik-titik pengamatan

Untuk melihat variasi nilai reflektansi dari seluruh *band* citra SPOT-4 terhadap hasil pengukuran kedalaman perairan, maka setiap posisi titik pengukuran kedalaman diamati nilai reflektansi seluruh *band* dari citra SPOT-4. Variasi nilai reflektansi seluruh *band* SPOT-4 terhadap kedalaman dapat dilihat pada Tabel 4-1.

Pada Tabel 4-1 menunjukkan bahwa: Variasi nilai reflektansi seluruh *band* dari citra SPOT-4 terhadap kedalaman hasil pengukuran kedalaman perairan terdistribusi secara acak. Akibatnya pada kedalaman yang sama pada titik yang berbeda mempunyai nilai reflektansi yang berbeda (misalnya kedalaman 1.30 meter mempunyai nilai reflektansi 0.167544 dan 0.141663 pada

*band1*). Sebaliknya, nilai reflektansi yang sama mempunyai kedalaman yang berbeda (misalnya nilai reflektansi 0.129404 pada *band1* mempunyai kedalaman 18 meter di tempat tertentu dan 22.9 meter dan 1 meter ditempat lainnya). Oleh karena itu, untuk setiap pengamatan/pengukuran parameter perlu dilakukan secara berulang-ulang. Dengan mengamati data tersebut diatas, dapat disimpulkan bahwa setiap perubahan kedalaman perairan selalu dibarengi dengan perubahan nilai reflektansi (perubahan nilai untuk semua *band*). Akan sebaliknya pada perubahan nilai reflektansi tidak selalu diikuti dengan perubahan kedalaman perairan.

Tabel 4-1: HASIL PENGUKURAN KEDALAMAN PERAIRAN PENGAMATAN NILAI REFLEKTANSI BAND DARI DATA SPOT-4

No.	Kedalaman (meter)	B1	B2	B3	B4
1	-1.30	0.141663	0.07301	0.038797	0.025663
2.	-1.50	0.137577	0.073912	0.031407	0.013449
3.	-1.00	0.129404	0.063997	0.025601	0.013449
4.	-1.10	0.160733	0.100953	0.092375	0.005479
5.	-0.80	0.153923	0.08563	0.044868	0.004732
6.	-1.00	0.156647	0.091939	0.044868	0.003487
7.	-5.50	0.144388	0.062194	0.03659	0.002989
8.	-1.30	0.167544	0.095545	0.047507	0.003736
9.	-9.80	0.137577	0.058589	0.03695	0.004234
10.	-14.90	0.12668	0.054082	0.034313	0.002989
11.	-14.30	0.128042	0.055588	0.034313	0.002491
12.	-18.10	0.132128	0.05949	0.03695	0.002989
13.	-18.50	0.121231	0.052279	0.034316	0.002989
14.	-16.20	0.132128	0.05949	0.039589	0.002491
15.	-18.00	0.125318	0.054082	0.034312	0.002989
16.	-20.70	0.125318	0.054082	0.034312	0.002989
17.	-22.10	0.123955	0.054082	0.034312	0.003238
18.	-20.10	0.125318	0.055885	0.034312	0.002989
19.	-21.20	0.128042	0.056786	0.034312	0.00274
20.	-21.80	0.128042	0.056786	0.034312	0.004483
21.	-22.90	0.128042	0.056786	0.034312	0.002989
22.	-22.40	0.125318	0.054983	0.034312	0.00274
23.	-24.00	0.128042	0.054983	0.034312	0.00274
24.	-22.90	0.129404	0.055885	0.03695	0.002989
25.	-24.30	0.12668	0.055885	0.034312	0.00274
26.	-22.80	0.129404	0.055885	0.03695	0.003238
27.	-22.60	0.130766	0.056786	0.03695	0.00274
28.	-18.00	0.129404	0.055885	0.03695	0.002889

Untuk memperjelas pemahaman perubahan nilai reflektansi *band* SPOT-4 terhadap kedalaman perairan, maka diplotkan nilai reflektansi seluruh *band* terhadap nomor pengamatan dan juga

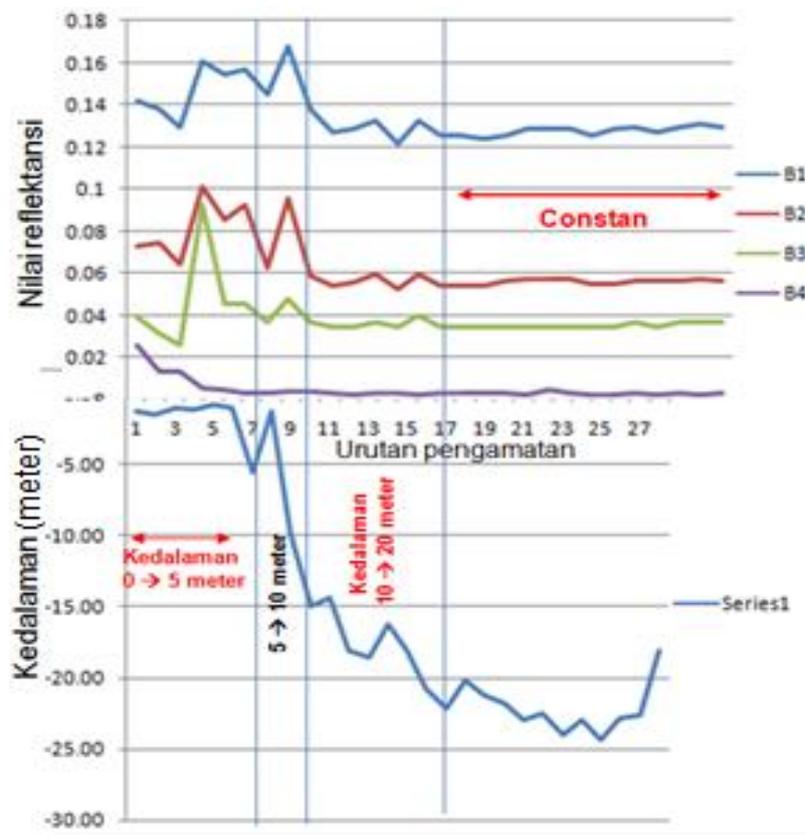
diplotkan kedalaman perairan terhadap nomor pengamatan. Kedua plot grafik tersebut dapat dilihat pada grafik di bawah ini (Gambar 4-2).

Pada Gambar 4-2 adalah variasi nilai tiap *band* SPOT-4 terhadap nilai kedalaman perairan hasil pengamatan, yang menunjukkan bahwa:

- Untuk *band* 4, nilai reflektansi dengan cepat menurun dan cenderung menuju ke suatu nilai yang konstan (menuju ke titik nol) setelah melewati titik pengamatan nomor 5 (setelah mencapai kedalaman satu meter), berarti apabila spektrum melewati perairan maka energinya akan dilemahkan/*fully attenuated* (Jupp; 1988) sehingga *band* 4 tidak dapat digunakan untuk menentukan kedalaman perairan dangkal (*Shallow Water Depth*).
- *Band*3 mempunyai nilai yang hampir konstan setelah titik pengamatan nomor 10 (artinya *band*3 akan mempunyai respon spektral yang hampir konstan setelah mencapai

kedalaman 14 meter). Dengan demikian, *band*3 dari citra SPOT-4 dalam kasus ini hanya dapat digunakan untuk menduga kedalaman perairan dangkal hingga maksimum 14 meter.

- *Band* dan *band*2 mempunyai nilai yang hampir konstan setelah titik pengamatan nomor 17 (artinya *band*1 dan *band*2 akan mempunyai respon spektral yang hampir konstan setelah mencapai kedalaman 20 meter). Dengan demikian, *band*1 dan *band*2 dari citra SPOT-4 dalam kasus ini hanya dapat digunakan untuk menduga kedalaman perairan dangkal hingga maksimum 20 meter.
- Pola grafik distribusi reflektansi *band*1 dan *band*2 mempunyai pola perubahan terhadap kedalaman hampir sama atau boleh dikatakan ekuivalen. Hal ini berarti *band*1 dan *band*2 mempunyai respon yang ekuivalen, atau dapat dikatakan *band*1 berkorelasi dengan *band*2 (dapat disebutkan terkorelasi linier).



Gambar 4-2: Distribusi kedalaman tiap titik pengamatan dan nilai reflektansi *band* SPOT-4

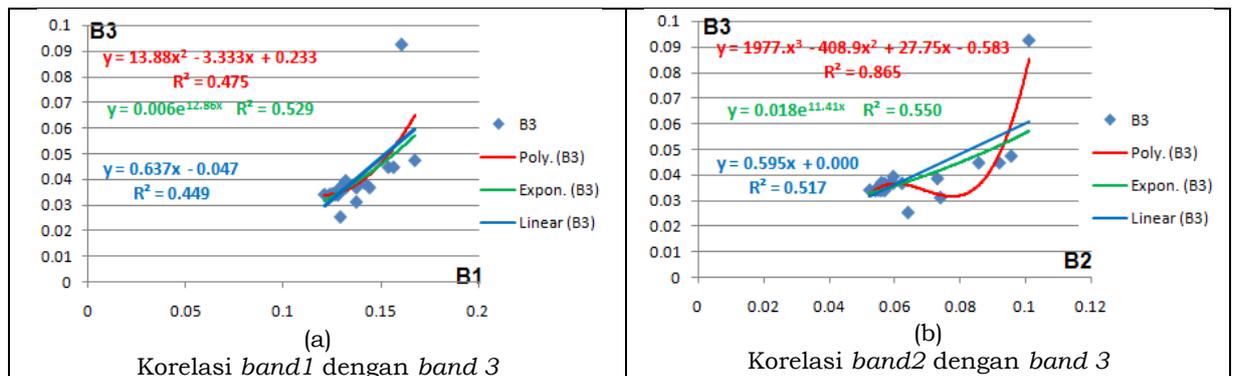
Berdasarkan analisa di atas, untuk menambah informasi pada *band*, maka dilakukan penggabungan *band*. Penggabungan *band* ini, dipilih dua *band* yang tidak berkorelasi secara linier (kalau *band* berkorelasi secara linier, maka tidak ada penambahan informasi). Untuk memilih *band* mana yang tidak berkorelasi maka dipilih korelasi diantara *band1* dengan *band3* atau *band2* dengan *band3* yang mempunyai koefisien korelasi paling kecil. Artinya semua nilai reflektansi (Tabel 4-1) dikorelasikan. Hasil dari grafik korelasi antara *band1* dengan *band3* dan *band2* dengan *band3* dapat dilihat pada Gambar 4-3.

Pada Gambar 4-3a dan 4-3b adalah grafik korelasi antara *band3* dengan *band1* dan grafik korelasi antara *band3* dengan *band2* dengan menggunakan fungsi polynomial, eksponensial dan linier. Gambar 4-3 menunjukkan bahwa koefisien korelasi (*Band1,band3*) lebih kecil dari pada koefisien korelasi (*band2, band3*) atau dituliskan dengan  $R^2_{(B1,B3)} < R^2_{(B2,B3)}$ . Hal ini berarti bahwa *band2* berkorelasi dengan *band3*, sedangkan *band1* dengan *band3* tidak berkorelasi. Sehingga *band* yang diguna-

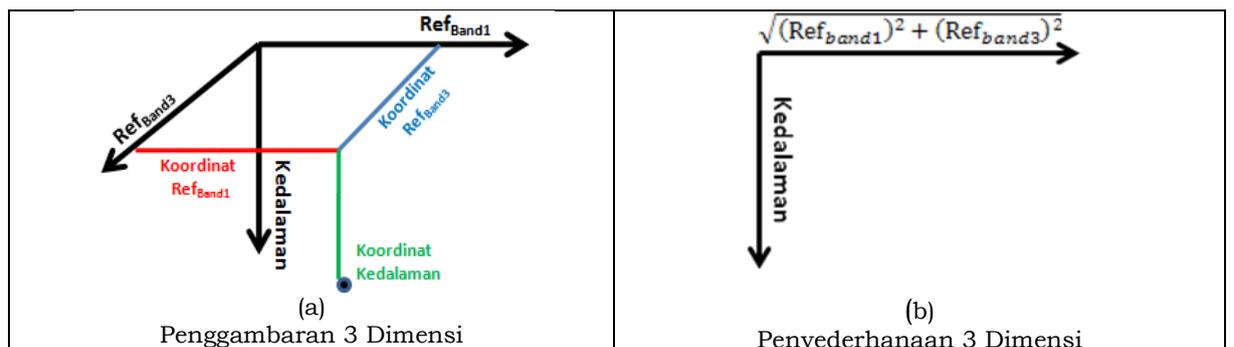
kan untuk analisis selanjutnya adalah *band1* dan *band3*.

Agar supaya nilai reflektansi kedua band dapat dikorelasikan dengan nilai kedalaman secara bersamaan, maka harus digambar dalam koordinat *Cartesian* 3 dimensi, dengan masing-masing sumbunya berturut-turut *band1*, *band3* dan kedalaman (Gambar 4-3a). Akan tetapi agar memudahkan penggambarannya, maka penggambaran 3 dimensi tersebut dapat disederhanakan dalam 2 dimensi dengan sumbu horizontalnya merupakan hasil penjumlahan dari nilai reflektansi dari *band1* dan *band3* (Gambar 4-3b). Karena nilai sumbu koordinat merupakan besaran vektor, maka penjumlahannya pun harus mengikuti aturan penjumlahan vektor atau dengan menggunakan operator vektor. penjumlahan *band1* dan *band3* dilakukan dengan menggunakan rumus akar pangkat dua dari penjumlahan kuadrat dari nilai reflektansi *band1* dan *band3* atau dapat dituliskan dengan persamaan:

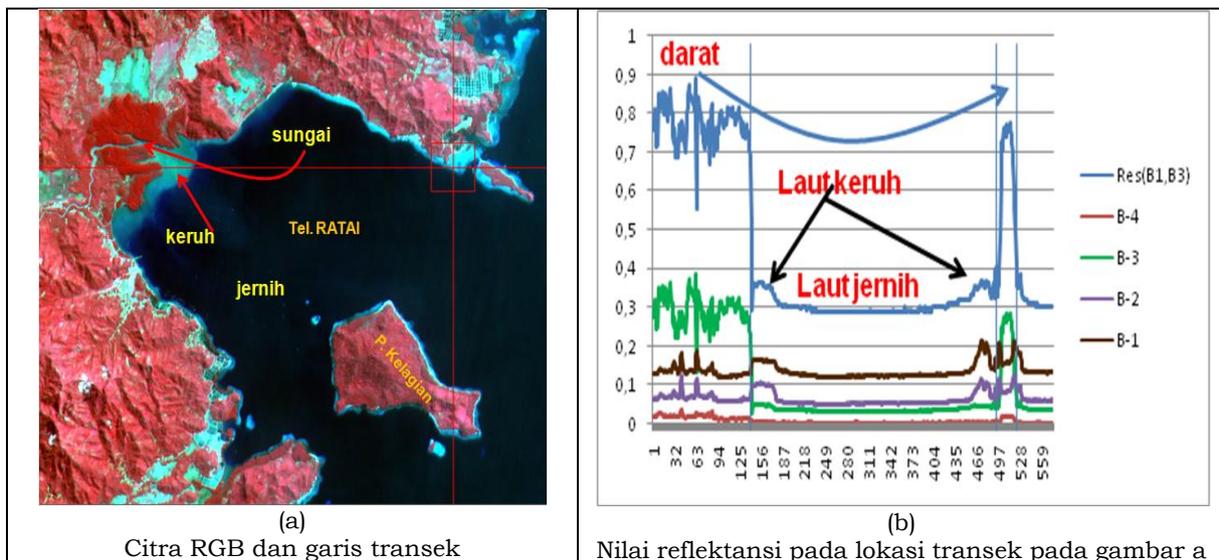
$$Res(i, j) = \sqrt{RefB1(i, j)^2 + RefB3(i, j)^2}$$



Gambar 4-3: Grafik korelasi antara *band3* dengan *band1* dan *band2*



Gambar 4-3: Penggambaran 3 dimensi dan penyederhanaannya



Gambar 4-4: Citra RGB 321 dengan garis transek garis horizontal (a) dan nilai reflektansi hasil penjumlahan vektor dari setiap panjang gelombang

Untuk melihat hasil dari penjumlahan vektor dibandingkan dengan masing-masing nilai spektral dari *band* SPOT-4 pada sepanjang garis transek pada Gambar 4-4a dapat dilihat pada Gambar 4-4b.

Gambar 4-4a memperlihatkan bahwa transek horizontal mengikutsertakan daratan, perairan jernih dan keruh dan sungai dan Gambar 4-4b adalah nilai spektral masing-masing *band* SPOT-4 (*band1*, *band2*, *band3*, *band4* dan nilai penjumlahan vektor(*b1,b3*)). Gambar 4-4b menunjukkan bahwa:

- Nilai *band4* untuk lautan hampir mendekati nol.
- Nilai reflektansi *band2* sepanjang garis transek selalu lebih kecil dari pada nilai reflektansi *band1* dan mempunyai pola yang sama. Hal ini membuktikan bahwa *band2* berkorelasi linier dengan *band1*, sehingga dalam analisis selanjutnya dapat digunakan salah *band1* saja.
- Nilai reflektan *band3* untuk wilayah lautan/perairan selalu lebih kecil dari pada nilai *band1* dan *band2* sedangkan diluar itu (didarat), *band3* selalu lebih besar.
- Nilai hasil penjumlahan vektor(*b1,b3*) selalu lebih besar dan mempunyai nilai kisaran lebih lebar (0.3 sampai dengan 0.9). Hal ini memudahkan

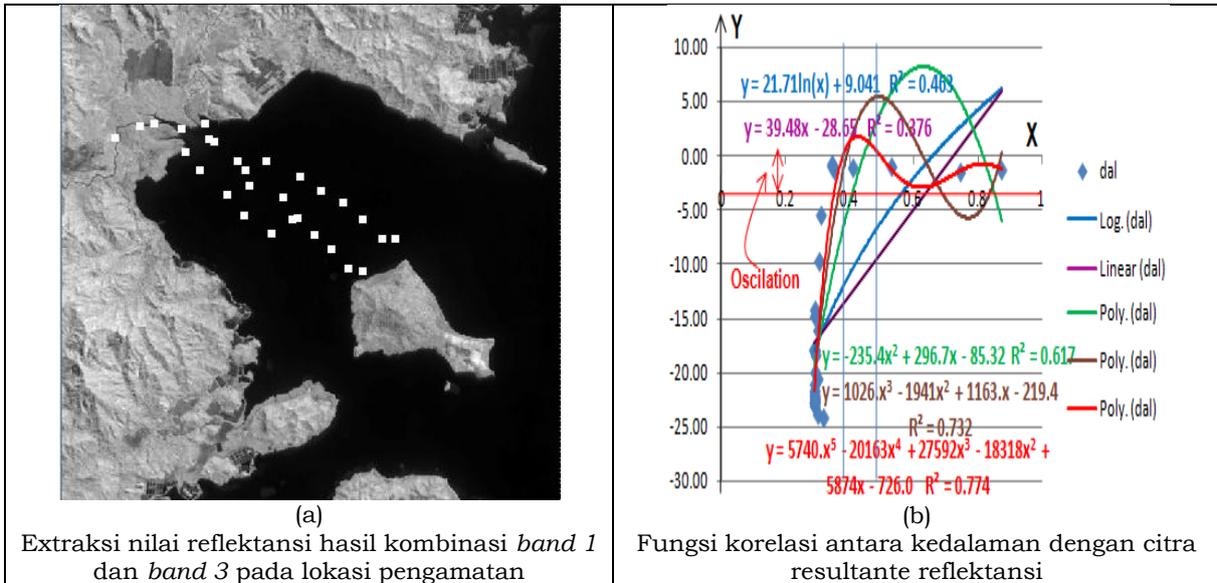
dalam menginterpretasi citra untuk memisahkan daratan dari lautan atau memisahkan perairan jernih dan keruh.

- Nilai reflektansi hasil penjumlahan untuk perairan jernih terdegradasi secara jelas, tidak datar seperti *band1* maupun *band2* (Gambar 4-4b).

Integrasi citra hasil penjumlahan nilai reflektansi (*band1*, *band3*) dengan titik lokasi pengamatan kedalaman serta fungsi korelasi antara nilai hasil penjumlahan (*band1*, *band3*) terhadap kedalaman dapat dilihat berturut-turut pada Gambar 4-5a dan 4-5b.

Beberapa fungsi korelasi yang telah dicoba antara lain: linier, logarithmic dan polynomial, sedangkan fungsi power dan eksponensial tidak dapat dicoba, karena distribusi titiknya yang tidak memungkinkan untuk menggambarkan kedua fungsi tersebut. Hasil fungsi korelasi dari Gambar 4-5b dan nilai koefisien korelasinya dapat dilihat pada persamaan di bawah ini:

- $y = 39.48 x - 28.65$   $R^2 = 0.376$
- $y = 39.48 x - 28.65$   $R^2 = 0.376$
- $y = -235.4x^2 + 296.7x - 85.32$   $R^2 = 0.617$
- $y = 1026.x^3 - 1941x^2 + 1163.x - 219.4$   $R^2 = 0.732$
- $y = 5740.x^5 - 20163x^4 + 27592x^3 - 18318x^2 + 5874x - 726.0$   $R^2 = 0.774$



Gambar 4-5: Citra resultante dan fungsi korelasinya

Dengan mengamati koefisien korelasi dari kelima fungsi di atas, maka yang digunakan untuk menghitung kedalaman perairan dangkal adalah persamaan orde 5. Akan tetapi, pada Gambar 4-5b memperlihatkan bahwa fungsi polinomial orde 5 mempunyai kelemahan, antara lain: Pertama, untuk nilai reflektansi dalam interval 0.35 sampai dengan 0.47 fungsi bernilai positif. Sedangkan nilai kedalaman harus selalu negatif. Persoalan ini dapat diatasi dengan menggunakan pendekatan metode pengambangan/*thresholding* pada saat pemerosesannya. Kedua untuk kedalaman nol hingga satu meter nilai fungsi terjadi *oscillation* (satu nilai fungsi terdapat lebih dari dua nilai reflektansi), ini menyebabkan kesalahan perhitungan kedalaman perairan. Akibatnya fungsi tersebut tidak optimal digunakan untuk menduga kedalaman di perairan pada kedalaman tersebut. Hal ini disebabkan oleh kondisi perairan yang keruh material padat yang tersuspensi/melayang didalam air. Sedangkan untuk kedalaman lebih dari satu meter dan kondisi air jernih, nilai fungsi hanya ditentukan oleh satu nilai reflektansi atau dapat dikatakan terjadi relasi satu-satu (satu nilai fungsi hanya ditentukan oleh satu nilai reflektansi). Oleh karena itu, persamaan polinomial orde 5 dapat digunakan secara optimal untuk

menduga kedalaman perairan secara optimal bila kedalamannya lebih dari satu meter.

Untuk menghindari beberapa kelemahan yang telah disebutkan di atas, maka algoritma untuk menduga kedalaman perairan dilakukan beberapa pendekatan yaitu: pertama bila *band3* lebih besar dari *band1* maka citra diklaskan sebagai daratan (agar memudahkan dalam pewarnaan diberi nilai pixel 200). Kedua melakukan *thresholding* apabila nilai reflektansi hasil penjumlahan  $Res_{(i,j)}$  lebih besar dari 0.35 dan lebih kecil dari 0.47 maka pixel diklaskan ke kedalaman 0.5 meter. Ketiga apabila hasil perhitungan fungsi polinomial lebih besar dari nol, maka pixel diklaskan ke kedalaman satu. Urut-urutan proses tersebut di atas, dapat diformulasikan sebagai berikut ini.

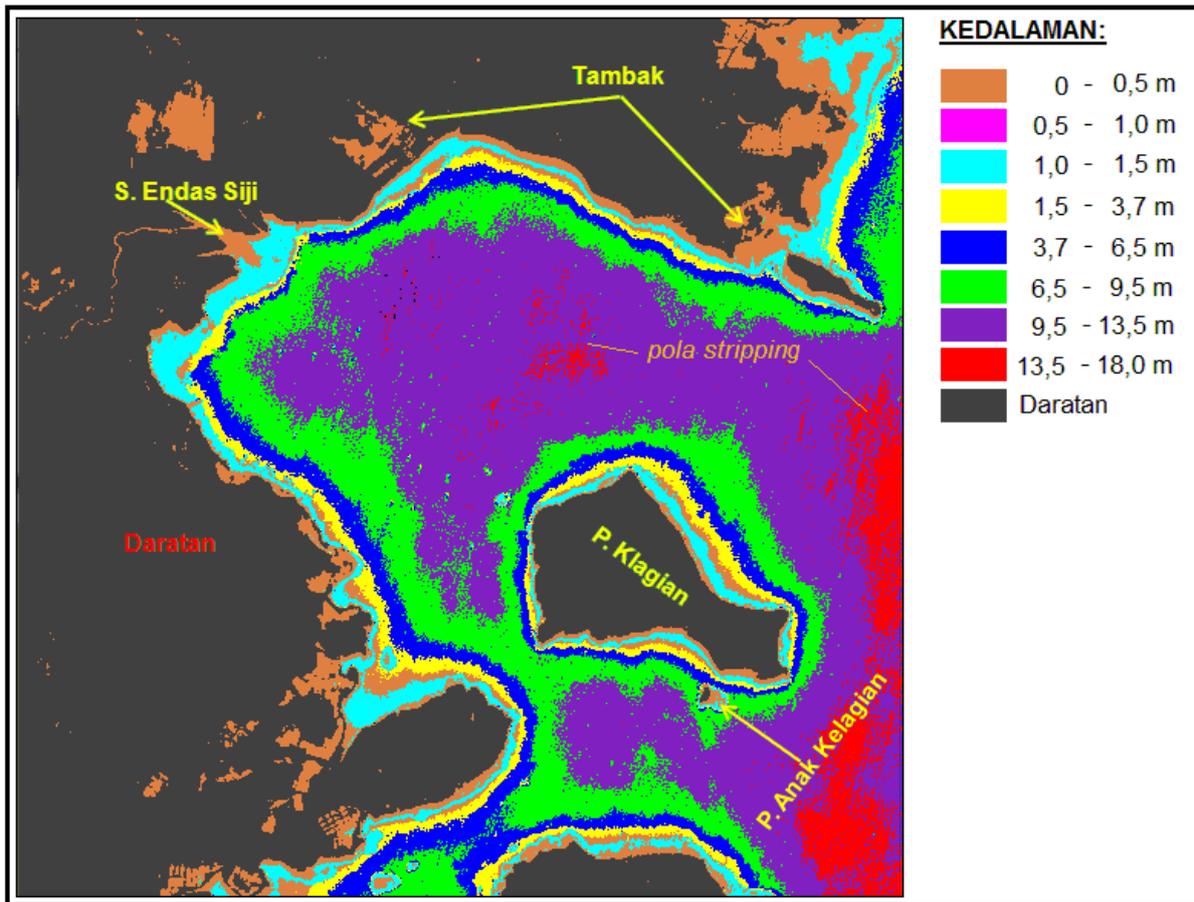
$$Y(i,j) = \begin{cases} 200 & \text{Jika } B3 > B1 \\ -0.5 & \text{Jika } 0.47 \geq Res(i,j) \geq 0.35 \\ Z(i,j) & \text{other wise} \end{cases}$$

Dimana:

$$Z(i,j) = 5740 \cdot X^5 - 20163 \cdot X^4 + 27592 \cdot X^3 - 18318 \cdot X^2 + 5874 \cdot X - 726$$

B1, B3= nilai reflektansi dari *band 1* dan *band 3*

Hasil perhitungan formulasi di atas diaplikasikan pada citra nilai reflektansi hasil kombinasi *band1* dan *band 3* dapat dilihat pada Gambar 4-6.

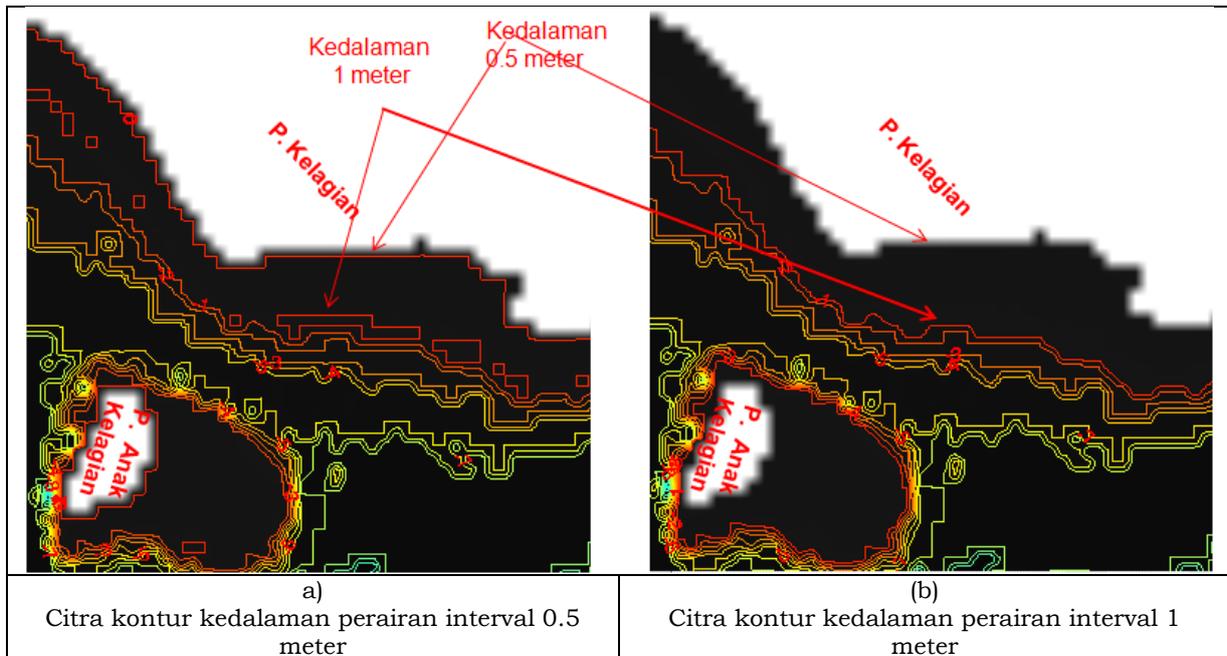


Gambar 4-6: Citra kedalaman hasil perhitungan

Gambar 4-6 menunjukkan bahwa kedalaman nol sampai 0,5 meter terdapat di muara sungai, di pinggir pantai dan beberapa daratan (perairan tambak), diikuti dengan kedalaman 1 meter hingga 1,5 meter dan kedalaman maximum diteluk Ratai dari data satelit penginderaan jauh SPOT-4 hanya 18 meter. Walaupun dalam pengukuran lapangan ada kedalaman yang mencapai 22 meter, akan tetapi berdasarkan perhitungan bahwa kedalaman maksimum di teluk Ratai yang terdeteksi hanya sampai kedalaman 18 meter (kedalaman 22 meter tidak nampak pada citra). Hal ini diduga bahwa daerah yang mempunyai kedalaman lebih dari 20 meter merupakan daerah palung yang kemungkinan ukuran spasialnya kurang (lebih kecil) dari ukuran pixel (kurang dari 20X20 m) atau karena kemampuan citra SPOT-4 untuk kondisi saat itu hanya mampu mendeteksi kedalaman hingga 18 meter saja. Juga pada Gambar 4-6, menunjuk-

kan bahwa citra seperti terlihat agak bergaris-garis sehingga kedalaman laut seperti kumpulan dari beberapa kumpulan garis lurus/*stripping* (yang menandakan bahwa kualitas Citra SPOT-4 yang kurang baik). Untuk memperjelas visualisasi kedalaman berdasarkan citra SPOT-4 dapat dilakukan dengan penggambaran garis kedalaman (kontur batimetri) sebagaimana terlihat pada Gambar 4-7.

Gambar 4-7a adalah kedalaman antara P. Kelagian dengan P. Anak Kelagian dengan interval 0,5 meter (kedalaman nol tidak tervisualisasikan), sehingga garis yang paling dangkal adalah 0,5 meter dan terlihat juga ada beberapa kontur kedalaman yang tertutup (berbentuk polygon). Hal ini disebabkan *software* yang digunakan hanya dapat melakukan pembuatan garis pada batas/tepi region homogen saja. Akibatnya kadang kala suatu region dengan kedalaman tertentu direpresentasikan dengan dua garis tepi.



Gambar 4-7: Citra Kontur kedalaman perairan antara P. Kelagian dengan P. Anak Kelagian

Begitu pula Gambar 4-7b adalah kedalaman antara P. Kelagian dengan P. Anak kelagian dengan interval 1 meter (kedalaman nol tidak tervisualisasikan), sehingga garis kontur yang tervisualisasi mulai dari 1 meter (mulai 1 meter dari pantai) dan juga garis kontur masih berbentuk polygon.

Jika dibandingkan kedua gambar tersebut (Gambar 4-7a dan 4-7b), maka dapat ditarik kesimpulan: kontur pada Gambar 4-7b terlihat lebih sederhana dari pada kontur pada Gambar 4-7a serta kedua citra masih menampilkan kontur polygon. yang diperoleh dari citra satelit SPOT-4 tampak kurang halus (*smooth*) dikarenakan garis tersebut merupakan hasil konversi *raster* menjadi polygon, dimana bentuk piksel masih terlihat pada tepi obyek.

Selain itu, garis kedalaman 0,5 meter dapat menunjukkan bentuk yang mendekati bentuk garis pantai (kontur 0 meter), dimana kedalaman 0 meter merupakan batas antara daratan dengan laut. Berdasarkan perbandingan kedua tampilan garis kontur tersebut di atas maka metode ini dapat diterapkan untuk menentukan garis kedalaman atau menentukan kondisi batimetri khususnya di perairan dangkal dan pendekatan ini dapat digunakan untuk

menentukan garis pantai (menghitung panjang garis pantai) dalam skala terbatas sesuai dengan resolusi spasial citra SPOT-4.

## 5 KESIMPULAN

Pada penelitian ini, telah dikembangkan suatu metode yang mengkorelasikan *band* spektral dengan kedalaman perairan laut dangkal. Suatu metode untuk menduga batimetri perairan dangkal di Teluk Ratai kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung telah dibangun dengan pendekatan *thresholding* dan fungsi korelasi. Algoritma dari metode tersebut terdiri dari tiga bagian yaitu: pertama, pemisahan lautan dengan daratan dengan cara mengurangi *band3* dengan *band1*. Kedua pendugaan perhitungan kedalaman perairan itu sendiri menggunakan fungsi korelasi. Fungsi korelasi diperoleh dengan cara mengkorelasikan titik pengukuran dilapangan menggunakan "*handheld echo-sounder*" dengan hasil resultante nilai reflektansi *band1* dengan *band3* dari data satelit SPOT-4. Ketiga melakukan *thresholding* apabila nilai reflektansi hasil penjumlahan vektor lebih besar dari 0.35 dan lebih kecil dari 0.47 ( $0.47 > \text{Res}(i,j) > 0.35$ ).

Fungsi korelasi yang mempunyai nilai koefisien tertinggi adalah fungsi polynomial ordre 5 dengan nilai koefisiennya 0,774 dan fungsi tersebut akan mempunyai kesalahan yang kecil (sedikit kesalahan) bila digunakan untuk menduga kedalaman perairan lebih dari satu meter. Akan tetapi, akan mempunyai kelemahan bila digunakan untuk perairan dengan kedalaman kurang dari satu meter. Kelemahan tersebut bisa diakibatkan oleh faktor reflektansi dari material yang tersuspensi/melayang di dalam air.

Berdasarkan analisa hasil perhitungan analisa, algoritma yang telah dibangun dengan menggunakan data satelit SPOT-4 hanya dapat menduga kedalaman perairan dangkal hingga kedalaman kurang lebih 18 meter.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Arief M., 2012. *Pendekatan Baru Pemetaan Bathymetric Menggunakan Data Penginderaan Jauh SPOT, Studi Kasus Teluk Perigi dan Teluk Popoh*, Jurnal Teknologi Dirgantara, Vol. 10 no.1 Juni 2012, ISSN 1412-8063, Pp. 71-80 No akreditasi: 208/AU1/P2MBI/08/2009.
- Fonstad, M.A., Marcus, W.A., 2005. *Remote Sensing of Stream Depths with Hydraulically Assisted Bathymetry (HAB) Models*, *Geomorphology* 72 (4), 320e339.
- George, D. G., 1997. *Bathymetric Mapping Using a Compact Airborne Spectrographic Imager (CASI)*, *International Journal of Remote Sensing* 18, 2067-71.
- Gordon, H.R., Brown, O.B., 1974. *Influence of Bottom Depth and Albedo on the Diffuse Reflectance of a Flat Homogeneous Ocean*, *Applied Optics* 13, 2153-2160.
- Green E., MUMBY P., EDWARDS A. (ed.) and CLARK C., 2000. *Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management*, Coastal Management Sourcebooks, 3, Paris, UNESCO.
- Guenther, G.C., Thomas, R.W.L., and LaRocque, P.E., 1996. *Design Considerations for Achieving High Accuracy with the SHOALS Bathymetric Lidar System*, SPIE: Laser Remote Sensing of Natural Waters, From Theory to Practice, Vol. 2964, 26-37.
- Jupp D., 1988. *Background and Extensions to Depth of Penetration (DOP) Mapping in Shallow Coastal Waters*, Proceedings of the Symposium on Remote Sensing of the Coastal Zone, Brisbane, Department of Geographic Information, pp. IV. 2.1-IV.2.19.
- Kumar, V.K., Palit, A. and Bhan, S.K., 1997. *Bathymetric mapping in Rupnarayan-Hooghly River Confluence Using IRS Data*. *International Journal of Remote Sensing* 18, 2269-70.
- Lafon, V., Froidefond, J.M., Lahet, F. and Castaing, P., 2002. *SPOT Shallow Water Bathymetry of a Moderately Turbid Tidal Inlet based on Field Measurements*, *Remote Sensing of Environment* 81, pp. 136-48.
- Leu, L., and Chang, H., 2005. *Remotely Sensing in Detecting the Water Depths and Bed Oad of Shallow Waters and Their Changes*, *Ocean Engineering* 32, pp. 1174-1198.
- Liceaga-Correa, M.A., Euan-Avila, J.I., 2002. *Assessment of Coral Reef Bathymetric Mapping Using Visible Landsat Thematic Mapper Data*. *International Journal of Remote Sensing* 23 (1), pp. 3-14.
- Liu, Y., Anisul, I. M., and Jay Gao, J., 2003. *Quantification of Shallow Water Quality Parameters*, *Progress in Physical Geography* 27(1), pp. 24-43.
- Louchard, E.M., Reid, R.P., Stephens, F.C., Davis, C.O., Leathers, R.A., Downes, T.V., 2003. *Optical Remote Sensing of Benthic Habitats And*

- Bathymetry in Coastal Environments at Lee Stocking Island, Bahamas: a Comparative Spectral Classification Approach*, *Limnology and Oceanography* 48 (1, 2), 511-521.
- Lyon, J.G., Lunetta, R.S., Williams, D.C., 1992. *Airborne Multi-Spectral Scanner Data for Evaluating Bottom Sediment Types and Water Depths of St. Mary's River Michigan*, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 58 (7), 951-956.
- Lyzenga D., 1978. *Passive Remote Sensing Techniques for Mapping Water Depth and Bottom Features*, *Applied Optics*, 17(3), Washington, Optical Society of America, pp. 379-383.
- Lyzenga, D., 1981. *Remote Sensing of Bottom Reflectance and Water Attenuation Parameters in Shallow Water Using Aircraft and LANDSAT Data*, *International Journal of Remote Sensing*, vol. 2, no. 1, pp. 71-82.
- Lyzenga, D.R., 1985. *Shallow-Water Bathymetry Using Combined Lidar and Passive Multispectral Scanner Data*. *International Journal of Remote Sensing* 6 (1),pp. 15-125.
- Lundahl, A.C., 1948. *Underwater Depth Determination by Aerial Photography*. *Photogrammetric Engineering* 14 (4),pp. 454-462.
- Mas, J.F., 2004. *Mapping Land Use/Cover in a Tropical Coastal Area Using Satellite Sensor Data, GIS and Artificial Neural Networks*, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 59, pp. 219-230.
- Mumby P.J., Clark C.D., Green E.P. & Edwards A.J., 1998. *Benefits of Water Column Correction and Contextual Editing for Mapping Coral Reefs*, *International Journal of Remote Sensing*, 19(1), London, Taylor & Francis Ltd, pp. 203-210.

