

**METODE DUAL KANAL UNTUK ESTIMASI KEDALAMAN
DI PERAIRAN DANGKAL MENGGUNAKAN DATA SPOT 6
STUDI KASUS : TELUK LAMPUNG
(DUAL BAND METHOD FOR BATHYMETRY ESTIMATION
IN SHALLOW WATERS DEPTH USING SPOT 6 DATA
CASE STUDY: LAMPUNG BAY)**

Muchlisin Arief¹, Syifa Wismayati Adawiah, Ety Parwati, Sartono Marpaung

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

Jl. Kalisari Lapan No. 8, Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta Timur 13710, Indonesia

¹e-mail : muchlisin.arief@yahoo.com

Diterima 21 April 2017; Direvisi 18 Agustus 2017; Disetujui 28 Agustus 2017

ABSTRACT

Depth data can be used to produce seabed profile, oceanography, biology, and sea level rise. Remote sensing technology can be used to estimate the depth of shallow marine waters characterized by the ability of light to penetrate water bodies. One image that can estimate the depth is SPOT 6 which has three visible canals and one NIR channel with 6 meter spatial resolution. This study used SPOT 6 image on March 22, 2015. The image was first being dark pixel atmospheric corrected by making 30 polygons. The originality of this method was to build a correlation between the dark pixel value of red and green channels with the depth of the field measurement results, made on June 3 to 9, 2015. The algorithm derived experimentally consisted of: thresholding which served to separate the land by the sea and the correlation function. The correlation function was obtained: first correlating the observation value with each band, then calculating the difference of minimum pixel darkness value and minimum for red and green channel was 0.056 and 0.0692. The model was then constructed by using the comparison proportions, so that the linear equations were obtained in two channels: $Z(X_1, X_2) = 406.26 X_1 + 327.21 X_2 - 28.48$. Depth estimation results were for a 5-meter scale, the most efficient estimation with the smallest error relative mean occurred in shallow water depth from 20 to 25 meters, while the result of 10 meters scale from 20 to 30 meters and the estimated depth had similar patterns or could be said close to reality. This method was able to detect sea depths up to 25 meters and had a small RMS error of 0.653246 meters. Thus the two-channel method could offer a fast, flexible, efficient, and economical solution to map topography of the ocean floor.

Keywords: two channels, depth, SPOT 6, Lampung Bay, correlation, shallow waters depth, thresholding

ABSTRAK

Data kedalaman dapat digunakan untuk menghasilkan profil dasar laut, oseanografi, biologi, dan kenaikan muka air laut. Teknologi penginderaan jauh dapat digunakan untuk mengestimasi kedalaman perairan laut dangkal yang ditandai dengan kemampuan cahaya untuk menembus badan air. Salah satu citra yang mampu mengestimasi kedalaman tersebut adalah SPOT 6 yang memiliki tiga kanal *visible* dan satu kanal NIR dengan resolusi spasial 6 meter. Pada penelitian ini, Citra SPOT-6 yang digunakan adalah 22 Maret 2015. Citra terlebih dahulu dilakukan koreksi atmosferik *dark pixel* dengan membuat 30 poligon. Originalitas dari metode ini adalah membangun suatu korelasi antara nilai *dark pixel* kanal merah dan hijau dengan nilai kedalaman hasil pengukuran lapangan yang dilakukan pada 3 sampai dengan 9 Juni 2015. Algoritma diturunkan secara eksperimen yang terdiri dari *thresholding* yang berfungsi untuk memisahkan daratan dengan lautan dan fungsi korelasi. Fungsi korelasi diperoleh pertama-tama mengkorelasikan nilai pengamatan dengan masing-masing *band*, kemudian menghitung selisih nilai *dark pixel* maksimum dan minimum untuk kanal merah dan hijau yaitu 0,056 dan 0,0692. Selanjutnya, dibangun model dengan menggunakan dalil perbandingan sehingga diperoleh persamaan linier dalam dua kanal yaitu: $Z_{(X_1, X_2)} = 406,26 X_1 + 327,21 X_2 - 28,48$. Hasil estimasi kedalaman, untuk skala 5 meter, estimasi yang paling efisien dengan Mean relatif *error* terkecil terjadi pada kedalaman perairan dangkal dari 20 sampai dengan 25 meter, sedangkan untuk skala 10 meter dari 20 sampai dengan 30 meter dan juga hasil estimasi kedalaman yang diperoleh mempunyai pola kemiripan atau dapat dikatakan mendekati kenyataan. Metode ini mampu mendeteksi kedalaman laut hingga 25 meter dan mempunyai RMS *error* yang kecil yaitu 0,653246 meter. Dengan demikian, metode dua kanal ini dapat menawarkan solusi cepat, fleksibel, efisien, dan ekonomis untuk memetakan topografi dasar laut.

Kata kunci: *dua kanal, kedalaman, SPOT 6, teluk lampung, korelasi, perairan dangkal, thresholding*

1 PENDAHULUAN

Batimetri adalah ilmu yang mempelajari tentang kedalaman topografi dasar laut. Data kedalaman dapat digunakan untuk menghasilkan grafik navigasi, profil dasar laut, oseanografi biologi, erosi pantai, dan kenaikan permukaan laut. Secara tradisional kedalaman dapat dipetakan menggunakan *echo sounders* tetapi metode ini tidak efisien untuk perairan laut dangkal. Teknologi penginderaan jauh menyajikan cara yang efisien dan hemat biaya terutama untuk daerah terpencil dan cakupan yang luas. Sejak abad ke-20, teknik penginderaan jauh berkembang pesat, yang memberikan pemikiran baru tentang kedalaman. Dibandingkan dengan metode tradisional, kedalaman dengan teknik penginderaan jauh memiliki presisi lebih rendah tetapi lebih murah dan periode pendek.

Perairan laut dangkal merupakan salah satu wilayah yang mempunyai dinamika tinggi dan peranan penting baik secara ekonomi maupun ekologi. Terumbu karang dan lamun sebagai komponen utama penyusun ekosistem tersebut berfungsi sebagai habitat ikan, tempat pariwisata, pelindung pantai dari hantaman gelombang, dan pengadukan material tersuspensi. Dinamika yang tinggi idealnya selalu diikuti dengan pembaharuan informasi sehingga diperoleh gambaran wilayah yang sesuai dengan kenyataan. Perairan laut dangkal dalam istilah oseanografi didefinisikan sebagai wilayah laut yang terbentang dari batas pantai sampai dengan kedalaman 200 meter. Namun dalam lingkup penginderaan jauh, perairan laut dangkal yang dimaksud merujuk pada kemampuan citra satelit dalam menembus kolom perairan. Khusus untuk

perairan dangkal yang relatif jernih, metode penginderaan jauh optik mampu menembus kedalaman perairan maksimal 25 sampai 30 meter dan akan berkurang seiring semakin keruhnya perairan (Green *et al.*, 2000; Collet *et al.*, 2000).

Informasi kedalaman yang akurat sangat signifikan untuk navigasi, studi lingkungan dari wilayah laut dan elemen kunci dari modeling hidrologi, estimasi banjir, dan degradasi sedimen (Finkl *et al.*, 2005). Pemetaan fitur bawah laut seperti batu, daerah berpasir, sedimen akumulasi dan terumbu karang membutuhkan kedalaman air laut (Su *et al.*, 2008). Pemodelan kedalaman dengan skala spasial yang tidak mungkin dicapai dengan metode tradisional, dapat menggunakan penginderaan jauh dengan menggunakan beberapa teknik, masing-masing memiliki kemampuan pendeteksian kedalaman sendiri, akurasi/kesalahan/presisi, kelebihan, kekurangan, dan lingkungan aplikasi terbaik (Gao, 2009). Informasi kedalaman di pesisir Malang dengan menggabungkan informasi dari DIHIDROS dengan data satelit LANDSAT (Arief, 2012a).

Dalam dekade terakhir berbagai metode estimasi telah dibuat berdasarkan hubungan antara nilai *pixel image* dan air. Disebut nilai kedalaman antara lain: algoritma penyederhanaan persamaan *irradiation* dengan mengabaikan efek pelemahan (*attenuation effect*) dari badan air dan diperoleh hubungan antara energi radian dengan kedalaman air (Lyzenga, 1978; Lyzenga, 1979; Philpot 1989; Jupp, 1989; Maritorea *et al.*, 1994). Teorinya didasarkan pada koreksi efek *sun glint* menggunakan *band near infra red* dan penghapusan kolom air. Algoritma baru berdasarkan rasio kanal reflektansi diusulkan oleh (Stumpf *et al.*, 2003). Penelitian lain dalam hal menentukan kedalaman perairan laut dangkal telah dilakukan di Teluk Popoh

dengan menggunakan fungsi empiris yang diperoleh dengan cara mengkorelasikan titik-titik kedalaman dari peta DIHIDROS dengan nilai reflektansi dari kanal 1 SPOT-4 (Arief, 2012b). Sementara itu kegiatan penelitian terkait batimetri dengan menggabungkan data kedalaman yang diukur secara langsung dengan resultante reflektan (kanal 1 dan kanal 3) dari data SPOT-4 telah dilakukan (Arief *et al.*, 2013). Penelitian tentang kedalaman menggunakan kanal rasio reflektan dari citra IKONOS untuk menurunkan kedalaman, berkebalikan dengan algoritma transformasi linier standard (Su, *et al.*, 2008). Penelitian dengan melakukan analisis rasio kanal optimal (obra) bidang spektrum kontinyu dan spektrum *convolved* dengan kanal-kanal dari WorldView-2 dan LANDSAT 7 (Legleiter *et al.*, 2014). Sementara itu, penelitian lain dengan mengintegrasikan resolusi tinggi citra *WorldView-2* dengan kedalaman yang didasarkan pada algoritma *multi channel* baru telah dikembangkan (Eugenio *et al.*, 2015). Penelitian dengan menerapkan rasio kanal biru/hijau dan model statistik *ground calibration points* dengan menggunakan citra satelit *RapidEye* (Monteys *et al.*, 2015). Penelitian kedalaman menggunakan *linear radiative transfer Bathymetry models* atau model perpindahan radiasi kedalaman linear menggunakan citra IRS-1C, yang hasil informasinya dapat diintegrasikan *echo sounding* dan Data GPS (Pattanaik *et al.*, 2015), menghitung kedalaman dengan menggunakan *Ensemble Learning* (EL) dari algoritma *Least Squares Boosting* (LSB) dengan menggunakan citra SPOT-4 (Mohamed *et al.*, 2016). Penelitian penentuan kedalaman telah dilakukan berdasarkan algoritma rasio kanal biru/hijau di Sungai Gangga di Bangladesh (Khondoker dan Siddiquee, 2016). Terkait perbaikan resolusi spasial telah

dilakukan pengembangan ekstraksi data kedalaman menggunakan data SPOT 5 yang mencoba membandingkan penggunaan data dari kanal merah dan hijau serta dual kanal dari merah dan hijau (Liu *et al.*, 2010).

Teluk Lampung adalah salah satu contoh bentuk teluk yang ada di perairan Indonesia, dimana banyak aktivitas yang membutuhkan informasi kedalaman perairan terkait dengan berbagai aktivitas di sana. Pengembangan model ekstraksi informasi kedalaman menggunakan data SPOT-4 yang mempunyai resolusi spasial 20 meter dirasa masih banyak kekurangannya (Arief, 2013). Penggunaan data SPOT-6 yang memiliki resolusi spasial 6 meter dan memiliki kanal biru yang tidak dimiliki data SPOT 5, diharapkan mampu menjawab kebutuhan akan estimasi kedalaman dengan tingkat ketelitian yang lebih baik.

Originalitas dari penelitian ini adalah menentukan kedalaman perairan dangkal dengan menggabungkan informasi kedalaman yang diperoleh dari pengamatan langsung yang dilakukan pada tanggal 3 Juni sampai 9 Juni 2015 dengan informasi nilai *dark pixel* kanal merah dan hijau. Metode tersebut diturunkan secara eksperimen yang terdiri dari : *Thresholding* yang berfungsi untuk memisahkan daratan dengan lautan dengan fungsi korelasi. Fungsi korelasi diperoleh pertama mengkorelasikan nilai pengamatan dengan masing-masing kanal, kemudian mencari selisih nilai maksimum dan minimum kanal. Terakhir adalah menggunakan dalil perbandingan antara kanal untuk menghitung konstanta fungsi korelasi, sehingga diperoleh persamaan untuk menurunkan kedalaman $Z_{(X_1, X_2)} = 406.26 X_1 + 327.21 X_2 - 28.48$. Dengan demikian metode dua kanal ini dapat menawarkan solusi

cepat, fleksibel, efisien, dan ekonomis untuk memetakan topografi dasar laut.

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. mengembangkan model ekstraksi informasi kedalaman menggunakan dua kanal data SPOT 6 tervalidasi dengan data lapang dan
2. mendapatkan informasi kedalaman perairan dangkal dari citra SPOT-6 di Teluk Lampung.

2 METODOLOGI

2.1 Lokasi dan Data

Teluk Lampung dipilih sebagai wilayah studi dengan luas 161,178 ha. Teluk ini diapit dua kabupaten yaitu Kabupaten Pesawaran di sebelah barat dan Kabupaten Lampung Selatan di sebelah timur serta satu kota yaitu kota Bandar Lampung sebelah utara, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2-1a. yang mana dalam setiap pengamatan lapangan hanya diwakili oleh satu *pixel* pengamatan (Gambar 2-1b). Titik pengamatan kedalaman di Teluk Lampung berjumlah 60 titik, dengan nilai kedalaman terendah 0,6 m dan tertinggi 26,5 m. Distribusi data kedalaman lapangan dari 0-5 m sebanyak 5 titik; 5-10 m sebanyak 4 titik; 10-15 m sebanyak 10 titik; 15-20 m sebanyak 13 titik; 20-25 m sebanyak 22 titik; dan 25-30 m sebanyak 6 titik pengamatan. Penyebaran titik pengamatan dengan nilai kedalaman dapat dilihat pada Gambar 2-1c.

2.2 Algoritma Kedalaman Perairan Dangkal

Dasar fisika dalam penginderaan jauh optik adalah bahwa dalam batas tertentu cahaya dapat menembus air dangkal. Kemampuan cahaya untuk menembus badan air merupakan teori dasar fisika untuk pemodelan kedalaman air dari data spektral penginderaan jauh. Di antara panjang gelombang elektromagnetik, *band visibel* memiliki

atmospheric transmittance dan koefisien atenuasi air terkecil sehingga band ini sangat baik untuk menentukan kedalaman air. Ketika air cukup jelas, sedimen relatif homogen dan atmosfer dalam kondisi baik, tingkat keabuan citra penginderaan jauh memiliki korelasi yang kuat dengan kedalaman air.

Metode statistik yang digunakan adalah metode inversi untuk kedalaman air. Keuntungan model ini relatif sederhana dan tingkat presisinya tinggi, tetapi masih membutuhkan data lapangan atau kedalaman yang diukur sebagai titik kontrol.

Menurut kuantitas kanal yang digunakan, metode ini dibagi menjadi model tunggal kanal dan model dual kanal. Metode model tunggal kanal dan dual kanal telah diaplikasikan untuk data Landsat TM dan SPOT-5 (Clerk, 1987;

Benny dan Dawson, 1983; Liu et al., 2010). Formula-formula yang digunakan pada kedua sumber tersebut adalah:

- Model tunggal kanal

$$L_i = L_{si} + C_i R_{bi} e^{-k_i Z} \quad (2-1)$$

Keterangan:

L_i : cahaya kanal ke-i

L_{si} : cahaya kanal ke-i di dalam air

C_i : konstanta radiasi matahari, atmosfer dan transmitansi air kanal ke-i

R_{bi} : substrat reflektansi kanal ke-i

k_i : difusi koefisien atenuasi kanal ke-i

f : panjang jalur transmisi cahaya dalam air

Z : nilai kedalaman air.



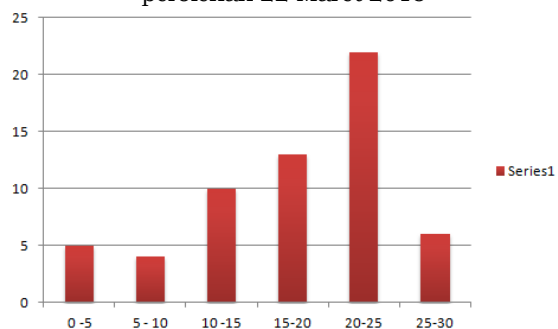
(a)

Gambar 2-1a: Lokasi Teluk Lampung dan citra SPOT-6 perolehan tgl. 22 Maret 2015



(b)

Gambar 2-1b: Lokasi Teluk Lampung dan citra SPOT-6 perolehan 22 Maret 2015



(c)

Gambar 2-1c: Grafik penyebaran titik pengamatan dengan nilai kedalaman

Dari persamaan (2-1) dapat diturunkan nilai Z sebagai berikut:

$$Z = \ln (C_1 R_{b1}) / f_{ki} - \ln (L_i - L_{s1}) / f_{ki} \quad (2-2)$$

Dengan asumsi bahwa air dan sedimen dasar laut memiliki reflektansi yang homogen diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$Z = A_0 + A_1 X_1 \quad (2-3)$$

Keterangan:

X_1 : $\ln (L_i - L_{s1})$

A_0 : konstanta

A_i : koefisien gradien band ke-i.

- Model dual kanal

Jika rasio reflektansi sedimen tidak ada hubungannya dengan perubahan sedimen, maka digunakan operasi pembagian untuk dua persamaan dari model tunggal kanal (merah, hijau, dan biru) dengan bentuk persamaan sebagai berikut:

$$Z = [1/f_{(k_2-k_1)}] \left[\ln \left(\frac{C_1 R_{b1}}{C_2 R_{b2}} \right) - \underbrace{\ln (L_1 - L_{s1})}_{X_1} + \underbrace{\ln (L_1 - L_{s2})}_{X_2} \right] \quad (2-4)$$

Keterangan:

k_1 : difusi koefisien atenuasi kanal merah

k_2 : difusi koefisien atenuasi kanal hijau

C_1 : konstanta radiasi matahari, atmosfer dan transmitansi air kanal merah

C_2 : konstanta radiasi matahari, atmosfer dan transmitansi air kanal hijau

R_{b1} : substrat reflektansi kanal merah

R_{b2} : substrat reflektansi kanal hijau

L_1 : cahaya kanal merah

L_2 : cahaya kanal hijau

L_{s1} : cahaya kanal merah di dalam air

L_{s2} : cahaya kanal hijau di dalam air

Persamaan (2-4) tersebut disederhanakan menjadi persamaan (2-5) berikut:

$$Z = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2 \quad (2-5)$$

Keterangan:

Z : nilai estimasi kedalaman air kombinasi kanal merah dan hijau

A_0 : konstanta

A_1 : koefisien gradien kanal merah

A_2 : koefisien gradien kanal hijau

X_1 : nilai piksel kanal merah

X_2 : nilai piksel kanal hijau

2.3 Data dan Peralatan yang Digunakan

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data SPOT-6, 22 Maret 2015 sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3-1. Pengukuran lapangan dilakukan pada 3 sampai 9 Juni 2015. Peralatan yang digunakan antara lain: *Global Positioning System* (GPS), *depth meter handheld*, perangkat lunak untuk memproses citra adalah ENVI dan IDL versi 5.0 dan ER- Mapper ver. 7.0.

2.4 Tahapan Pengolahan Data

Secara umum penelitian ini memanfaatkan algoritma yang telah diaplikasikan untuk data Landsat TM, ETM dan SPOT-5 yang tertuang dalam persamaan (2-1) sampai (2-5). Proses-proses pra pengolahan data sebagai prasyarat kelayakan data penginderaan jauh yang digunakan juga dilakukan. Tahapan pengolahan data yang dilakukan dituangkan dalam lima tahap berikut ini :

- Pertama, dilakukan pengumpulan data, baik data lapangan maupun data citra SPOT 6. Kemudian dilakukan pengintegrasian antara citra dengan titik-titik pengamatan. Tidak semua titik pengamatan yang telah dikumpulkan digunakan dalam penelitian ini. Dari 60 titik yang berhasil dikumpulkan, dipilih titik-titik pengamatan yang memiliki nilai kedalaman yang berbeda,

b. Koreksi atmosferik untuk menghasilkan nilai reflektan permukaan (*surface reflectance*) dilakukan dengan menggunakan metode *dark pixel* (Prayuda, 2014), di mana besarnya nilai reflektan permukaan sama dengan nilai reflektansi citra dikurangi hasil pengurangan nilai rata-rata dari poligon dikurangi nilai 2 kali standard deviasi:

$$L_i = L - (L_{\text{mean}} - (2 * L_{\text{stdv}})) \quad (2-6)$$

Keterangan:

L = nilai reflektansi asli

L_i = nilai reflektansi yang terkoreksi atmosfer

L_{mean} = rata-rata nilai reflektansi poligon laut dalam.

Untuk wilayah kajian dilakukan dengan menggunakan 30 poligon yang dibuat di laut dalam.

- c. Mengkorelasikan antara nilai kedalaman hasil pengukuran di lapangan dengan nilai *surface reflectance* untuk masing-masing kanal yang akan diuji, yaitu kanal merah, hijau, biru, dan dual kanal (merah dan hijau, merah dan biru, serta hijau, serta biru dan hijau),
- d. Menggunakan dalil perbandingan yang diperoleh dari selisih nilai maksimum dengan minimum dari masing-masing kanal untuk mencari koefisien/konstanta A_1 dan A_2 pada persamaan 2-5.
- e. Uji akurasi dilakukan dengan cara menghitung *Mean Relative Error* (MRE) dan *Mean Square Error* (MSE) yang diterapkan pada hasil yang diperoleh. Formula yang digunakan adalah:

$$\text{MRE} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta Z_i / Z_i}{.n} \quad (2-7)$$

$$\text{MSE} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta Z_i)^2}}{n} \quad (2-8)$$

Keterangan:

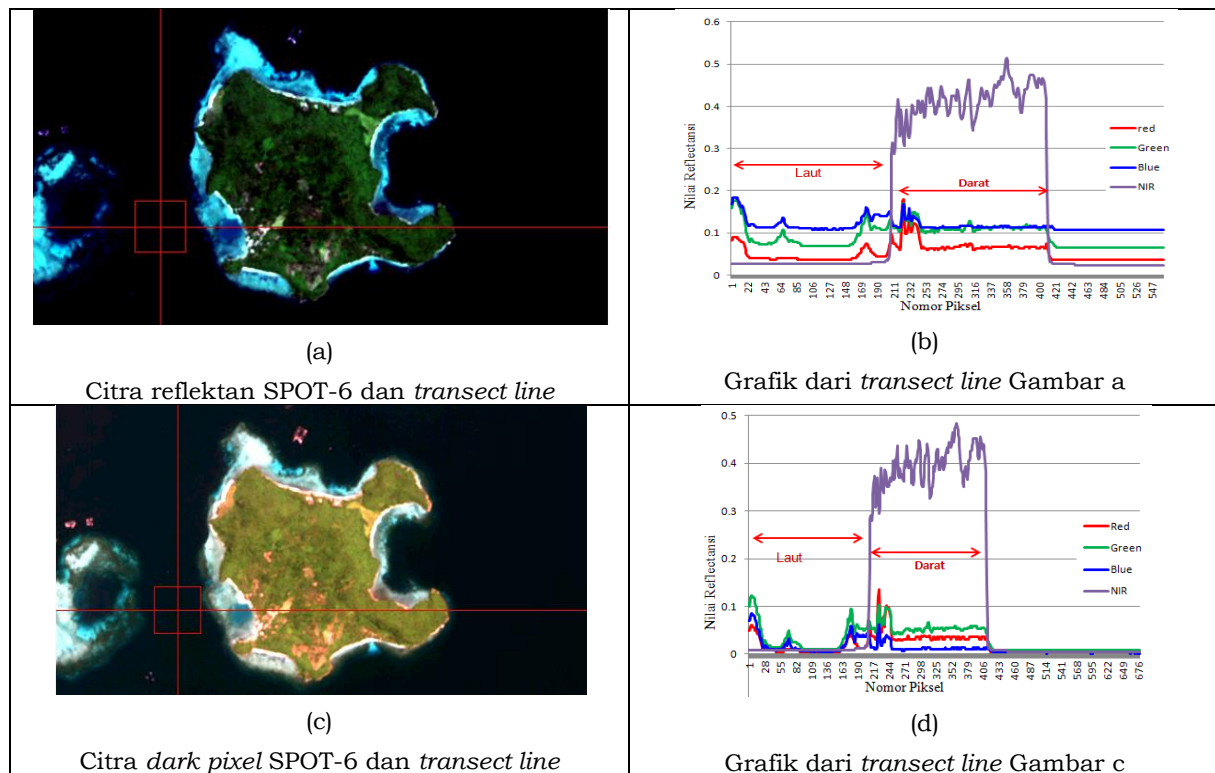
$\Delta Z_i = | Z_i - Y_i |$,

N = jumlah titik pengamatan, Z_i nilai kedalaman hasil pengukuran lapangan, dan Y_i nilai kedalaman hasil penerapan model.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses perhitungan nilai reflektansi permukaan menggunakan metode *dark pixel* untuk memisahkan daratan dengan lautan merupakan proses awal yang dilakukan. Gambar 3-1 merupakan salah satu contoh hasil perhitungan nilai reflektansi menggunakan metode *dark pixel* citra untuk Pulau Tegal yang ada di Teluk Lampung.

Dalam keadaan normal saat citra direkam, nilai kedalaman air sesaat lebih tinggi dari sebenarnya karena dipengaruhi oleh pasang-surut laut. Dalam hal ini digunakan kedalaman air sesaat. Untuk mengekstraksi data kedalaman dari data reflektan permukaan, dikorelasikan antara nilai hasil kedalaman pengamatan dengan *dark pixel* dari kanal merah dan hijau. Hasil korelasinya dapat dilihat pada Gambar 3.2.a dan b. Sebelumnya telah dicoba beberapa fungsi untuk menentukan bentuk persamaan dan nilai korelasi (R^2) seperti ditampilkan dalam Tabel 3-1.



Gambar 3-1: Citra SPOT-6 (reflektan dan dark pixel) dan garis transek

Tabel 3-1: BENTUK PERSAMAAN DAN NILAI KORELASI BAND MERAH DAN HIJAU

Band	Persamaan	Fungsi Persamaan	Nilai Korelasi (R ²)
Merah	Logaritmik	$y = 10.886\ln(x) + 35.451$	R ² = 0.6577
	Polinomial orde 2	$y = -8142.8x^2 + 1157.8x - 26.873$	R ² = 0.7058
Hijau	Logaritmik	$y = 13.116\ln(x) + 37.648$	R ² = 0.7327
	Polinomial orde 2	$y = -2689.8x^2 + 728.32x - 28.582$	R ² = 0.7496

Gambar 3-2a, 3-2b dan 3-2c adalah fungsi korelasi nilai kedalaman pengamatan dengan nilai *surface reflectance* dari kanal merah, hijau, dan gabungan menggunakan regresi linier. Untuk kanal merah persamaan liniernya adalah $y = 906,84x - 25,493$ dengan $R^2 = 0,7026$ dan untuk kanal hijau adalah $y = 592,77x - 27,28$ dengan $R^2 = 0,7491$. Persamaan regresi linier yang digunakan dalam perhitungan kedalaman air, mempunyai koefisien korelasi lebih baik dibandingkan dua fungsi sebelumnya, Sementara itu Gambar 3-2c adalah fungsi korelasi dua kanal yang diperoleh dengan menggunakan dalil perbandingan selisih nilai maksimum dengan minimum dari kanal merah dan kanal hijau, yang mana hasil regresinya adalah: $Z_{(x_1,x_2)} =$

$406,26 X_1 + 327,21 X_2 - 28,48$ di mana X_1 dan X_2 adalah kanal merah dan hijau.

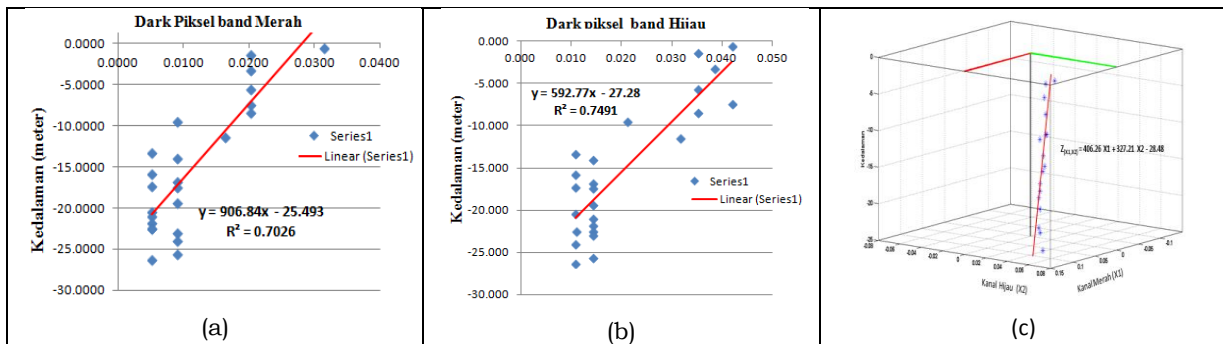
Pada Gambar 3-4a,b adalah citra kedalaman yang diturunkan dari *dark pixel* (citra yang dikoreksi atmosferik) dari kanal merah dan hijau. Gambar 3-4a menunjukkan bahwa maksimum kedalaman adalah -25 meter di tengah laut, kemudian ke 22-25 meter, dan langsung jatuh ke kedalaman -18 - -16 meter terdegradasi ke tepi pantai. Pada Gambar 3-4b, menunjukkan bahwa maksimum kedalaman adalah -28 meter di tengah laut bagian bawah, kemudian terdegradasi ke tepi pantai. Hasil pada Gambar 3-4a dan Gambar 3-4b kanal merah dan kanal hijau memiliki kecenderungan yang sama dari

kedalaman. Hal ini menandakan bahwa keadaan air laut keruh di bagian wilayah studi akan mempengaruhi hubungan linear antara *dark pixel* dengan kedalaman dan menghambat penerapan model pada seluruh gambar.

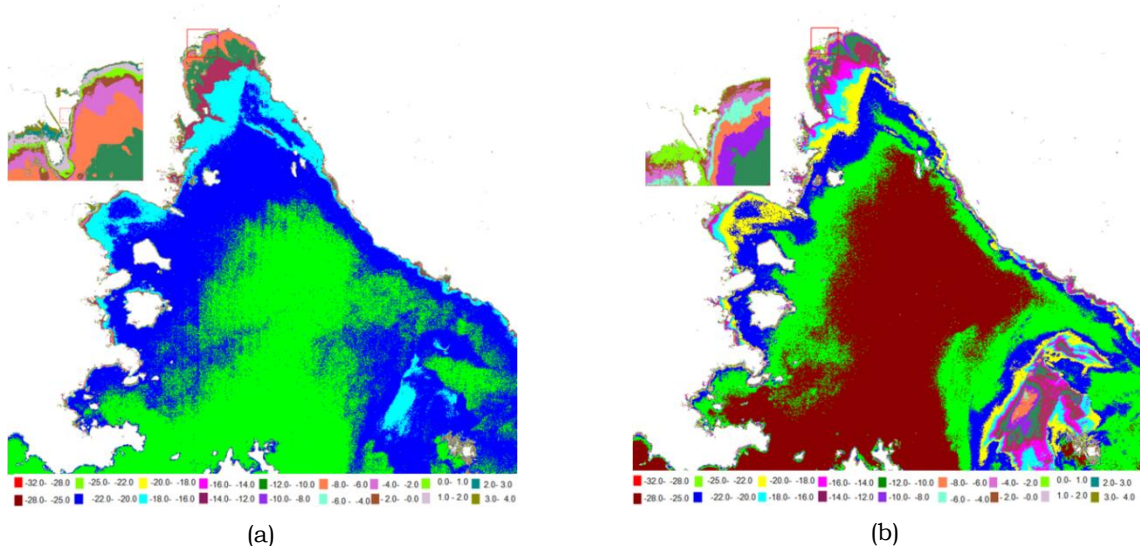
Teknik yang diusulkan dalam menaksir kedalaman laut perairan dangkal bergantung pada hubungan linear yang kuat antara citra *dark pixel* merah dan hijau yang tidak berubah pada kedalaman air dangkal. Kedua adalah bahwa model mengasumsikan bahwa kolom air vertikal homogen sesuai dengan sifat optiknya dan

terakhir model ini adalah bahwa hal itu tidak memperhitungkan variasi horizontal dalam sifat optik airnya. Hasil ini diperoleh dengan cara membandingkan antara interval kanal merah dengan kanal hijau yaitu 0,56: 0,692, untuk citra *dark pixel* $Z(x_1, x_2) = 406,26 X_1 + 327,21 X_2 - 28,48$.

Implikasi dari metode ini adalah pertama, metode ini mengasumsikan kolom air vertikal homogen sehubungan dengan sifat optiknya. Hasil perhitungan kedalaman untuk citra *dark pixel* pada gabungan kanal (kanal merah dan hijau) pada citra SPOT-6 dapat dilihat pada Gambar 3-5.



Gambar 3-2: Korelasi antara titik pengamatan dan *dark pixel* citra SPOT-6



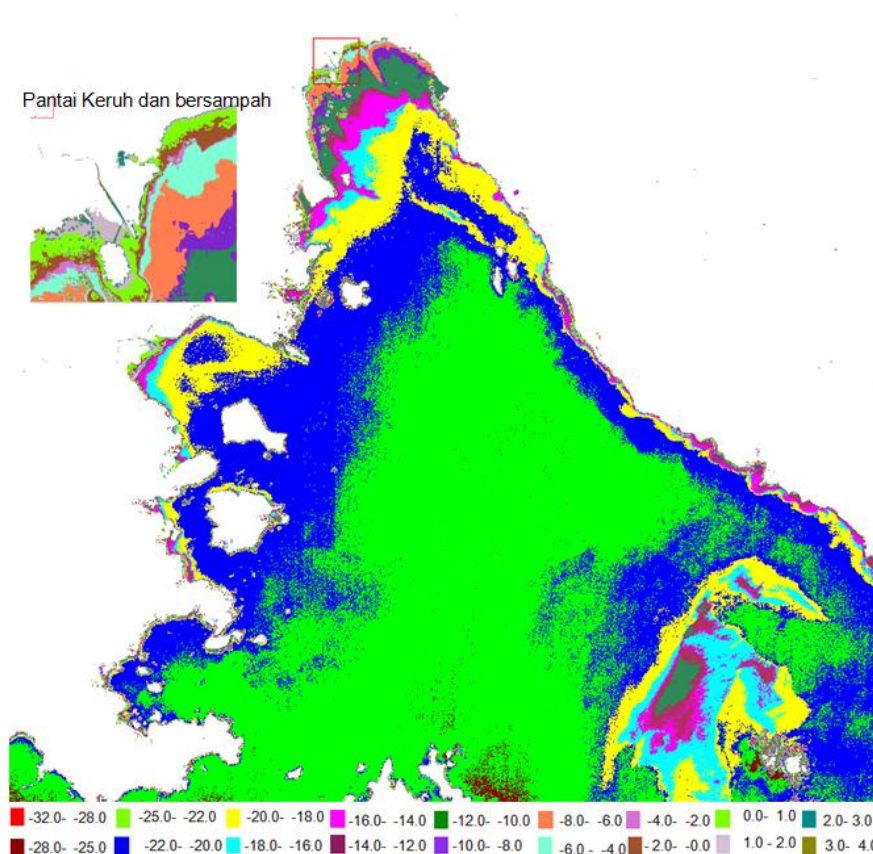
Citra kedalaman diturunkan dari *surface reflectance* kanal hijau

Citra kedalaman diturunkan dari *surface reflectance* kanal merah

Gambar 3-4: Citra kedalaman diturunkan dari *surface reflectance* kanal merah dan hijau

Pada Gambar 3-5 menunjukkan bahwa nilai maksimum kedalaman adalah -25 meter, kemudian terdegradasi untuk setiap 2 derajat ke pantai. Hal ini disebabkan oleh koefisien difusi air, di mana kanal merah dan hijau melemah lebih cepat dan tidak dapat menembus lebih lanjut (hanya dapat menembus pada kedalaman 25 meter). Pada perairan yang tidak jernih atau keruh dan bersampah yang akan menghalangi penetrasi sinar sampai ke dasar laut sehingga untuk bagian perairan ini akan terdeteksi dengan kedalaman sampai dengan + 2 meter. Akan tetapi, model dual kanal menggunakan data SPOT-6 memiliki respon yang jelas untuk air dangkal dan dapat menyimpan fitur/pola dengan ukuran spasial yang lebih rinci.

Model dual kanal menggunakan asumsi bahwa sesuai dengan sifat optiknya kolom air vertikal adalah homogen karena zona pesisir merupakan hidrodinamik kompleks lingkungan yang mengakibatkan pengaruh variasi vertikal biotik dan abiotik optik signifikan (sangat mempengaruhi) sifat kolom air. Walaupun kadang kala terjadi pelemahan pada seluruh air kolom. Metode ini tidak bergantung pada pengetahuan nilai redaman yang sebenarnya, tetapi hanya pelemahan sekitar kolom air yang dianggap sama untuk keseluruhan. Untuk mengetahui nilai kesalahan maka dihitung *mean* relatif *error* dan *mean square error* untuk tiap skala 5 dan 10 meter. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4-1.



Gambar 3-5: Citra kedalaman diturunkan dari gabungan band merah dan hijau dari *dark pixel*

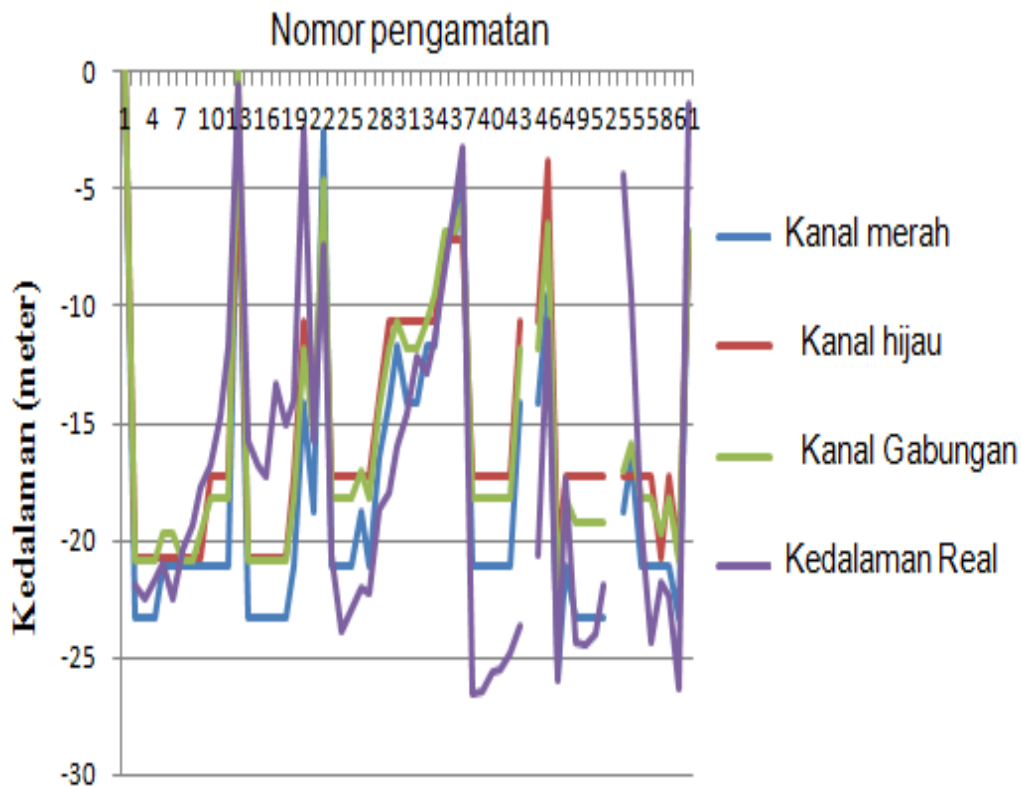
Tabel 4-1: MEAN RELATIF DAN SQUARE ERROR HASIL ESTIMASI BATIMETRIK

Kanal	Segment (meter)	Mean relatif error	Mean square error
Hijau	0 - 5	1.629272	1.107326
	5 - 10	0.385597	2.9716097
	10 - 15	0.291322	4.3703744
	15 - 20	0.261652	5.3487869
	20- 25	0.090483	4.8192862
Merah	25 - 30	0.146783	2.8777220
	0 - 5	3.540169	4.2184690
	5 - 10	0.320263	7.684962
	10 - 15	0.305576	4.029014
	15 - 20	17.7532	4.189968
Gabungan	20- 25	0.209391	3.844799
	25 - 30	0.291659	5.456463
	0 - 5	2.481655	7.763742
	5 - 10	0.36629	7.530095
	10 - 15	0.290736	3.648891
Gabungan	15 - 20	0.255845	4.029665
	20- 25	0.173462	3.755342
	25 - 30	0.260757	7.634569

Tabel 4-1 dapat dilihat bahwa hasil estimasi kedalaman laut yang paling efisien dalam menentukan kedalaman laut adalah yang mempunyai *mean relatif error* yang paling kecil, untuk skala 5 meter, *mean relatif error* yang paling kecil adalah pada kedalaman 20 sampai dengan 25 meter (yaitu untuk kanal hijau, merah, dan gabungan berturut-turut sebesar: 0,090483; 0,209391; dan 0,173462) sedangkan untuk skala 10 meter *mean relatif error* yang paling kecil adalah pada kedalaman 20 sampai dengan 30 meter (yaitu untuk kanal hijau, merah, dan gabungan berturut turut sebesar: 0,114853; 0,218924; dan 0,198494). Untuk estimasi kedalaman laut yang paling efisien juga dengan *mean square error* paling kecil untuk skala 5 meter adalah (untuk hijau adalah 20 sampai dengan 25 meter yaitu 2,877, untuk merah adalah pada kedalaman 15 sampai dengan 20 meter yaitu 3,844799 dan gabungan juga pada kedalaman 15 sampai dengan 20 meter yaitu 3,755) sedangkan untuk skala 10 meter yang mempunyai *mean square error* paling kecil untuk kanal

hijau yaitu pada kedalaman 20 sampai dengan 30 meter dengan *mean square error* adalah 3,303, untuk kanal merah yaitu pada kedalaman 15 sampai 20 meter dengan *mean square error* adalah 4,004 dan untuk kanal gabungan adalah 10 sampai dengan 20 meter dengan *mean square error* adalah 3.795. Kesimpulan yang didapat dari pernyataan di atas adalah untuk skala 5 meter, estimasi yang paling efisien untuk estimasi kedalaman perairan dangkal adalah 20 sampai dengan 25 meter sedangkan untuk skala 10 meter adalah 20 sampai dengan 30 meter.

Perhitungan/ ekstraksi kedalaman yang diturunkan dari penginderaan jauh pada sejumlah titik pengamatan, meliputi titik kedalaman air dan *dark* piksel pada tempat yang sama. Untuk melihat apakah hasil pemrosesan estimasi kanal merah, hijau dan kanal gabungan mendekati dengan hasil pengukuran, maka diplotkan hasil dari estimasi dan pengukuran tersebut dalam bentuk grafik. Hasil penggambaran tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 3-6.



Gambar 3-6: Plot hasil pengukuran dengan hasil pemrosesan per titik

Gambar 3-6 memperlihatkan bahwa hasil pemrosesan estimasi dengan hasil pengukuran mempunyai pola yang hampir sama dengan pola hasil pengukuran. Akan tetapi, hasil estimasi kelihatan lebih rendah dibandingkan dengan hasil pengukuran. Hal ini disebabkan karena analisis kedalaman sangat bergantung pada koefisien atenuasi yang sangat bergantung pada konsentrasi *fitoplankton*, *impurity*, konsentrasi garam mineral, dan partikel tersuspensi. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa hasil estimasi pemrosesan mendekati kesesuaian dengan hasil pengukuran. Hasil perhitungan diperoleh standard deviasi untuk *dark pixel* kanal merah, kanal hijau, dan gabungan dual kanal berturut turut adalah: 0,740331, 0,622513, dan 0,653246.

Berdasarkan analisis tersebut maka estimasi kedalaman menggunakan data satelit SPOT-6 menggunakan metode

dual kanal mampu menawarkan akurasi lebih tinggi dibandingkan dengan metode *single band* (satu kanal). Metode tersebut terbukti lebih hemat biaya dan waktu, cakupan spasial lebih luas, ekonomis untuk memetakan topografi dasar laut dibandingkan dengan survei menggunakan sonar secara konvensional. Pengukuran kedalaman berbasis satelit penginderaan jauh dapat menjadi metode alternatif dan alat pengintai dalam memfasilitasi permintaan kegiatan survei hidrografi di sekitar wilayah pesisir perairan dangkal.

4 KESIMPULAN

Citra satelit SPOT-6 dengan kanal spektral *visible* dapat memberikan informasi kedalaman perairan skala yang dibutuhkan seperti skala 1:10,000. Pada penelitian ini, digunakan metode dua kanal (kanal spektral merah dan hijau) dengan persamaan yaitu: $Z_{(X1,X2)} = 406,26 X1 + 327,21 X2 - 28,48$ yang

dapat digunakan untuk mengestimasi kedalaman perairan dangkal hingga -25 meter pada kondisi perairan jernih sedangkan untuk perairan yang keruh perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengingat pada daerah ini terdeteksi lebih tinggi dari sebenarnya.

Untuk skala 5 meter, estimasi yang paling efisien dengan *Mean relatif error* terkecil terjadi pada kedalaman perairan dangkal dari 20 sampai dengan 25 meter, sedangkan untuk skala 10 meter dari 20 sampai dengan 30 meter.

Nilai kedalaman hasil pengolahan citra SPOT-6 mempunyai pola kemiripan atau mendekati nilai kedalaman yang sebenarnya. Hal ini ditunjukkan oleh nilai *RMS error* yang kecil yaitu 0,653246 meter.

Kondisi kedalaman hasil pengolahan citra SPOT-6 menghasilkan nilai kedalaman yang relatif sama dengan data kedalaman sebenarnya. Dengan melihat hasil *RMS error* yang sangat kecil, maka penggunaan metode dual kanal mampu menawarkan solusi cepat, fleksibel, efisien, dan ekonomis menguntungkan untuk memetakan topografi dasar laut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan untuk Syarif Budhiman M.Sc, sebagai Kepala Bidang Program dan Fasilitas, yang telah banyak membantu dalam mengerjakan penyelesaian kegiatan ini serta Dr. Mahdi Kartasamita yang telah memberikan beberapa saran dalam penyelesaiannya.

DAFTAR RUJUKAN

Arief M., 2012a. *Aplikasi Data Satelit SPOT Untuk Pemetaan Kedalaman di Pesisir Selatan Malang*. Jurnal Teknologi, Universitas Muhammadiyah, ISSN

2085-1669; 2010; Oktober, Vol.2 No. 2. 143 - 150.

Arief, M., 2012b. *Pendekatan Baru Pemetaan Kedalaman Menggunakan Data Penginderaan Jauh SPOT : Studi Kasus Teluk Perigi dan Teluk Popoh*. Jurnal Teknologi Dirgantara, Vol. 10 no.1 Juni 2012, ISSN 1412-8063, 71-80.

Arief, M.; Hartuti, M.; Asriningrum, W.; Parwati, E.; Budhiman, S.,; Prayogo, T.; Hamzah, R., 2013. *Pengembangan Metode Pendugaan Kedalaman Perairan Dangkal Menggunakan Data Satelit SPOT-4: Studi Kasus: Teluk Ratai Kabupaten Pesawaran*. Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Citra Digital; ISSN-1412-8098, Vol. 10, No.1.

Benny, A.H.; and Dawson G.J., 1983. *Satellite Imagery as an Aid to Bathymetric Charting in the Red Sea*, The Cartographic Journal, vol.20, 5-16.

Collet, C.; Provost J.-N. ; Rostaing, P.; Perez, P. and Bouthemy, P., 2000. *SPOT Satellite Data Analysis for Bathymetric Mapping*. Proceedings of the International Conference on Image Processing, 3, 464-467. <http://dx.doi.org/10.1109/icip.2000.899440>.

Eugenio, F.; Marcello, J.; Martin, J., 2015. *High-Resolution Maps of Bathymetry and Benthic Habitats in Shallow-Water Environments Using Multispectral Penginderaan jauh Imagery*. IEEE Transactions on Geoscience and Penginderaan jauh, VOL. 53, NO. 7.

Finkl C.; Benedet L.; dan Andrews J., 2005. *Interpretation of Seabed Geomorphology Based on Spatial Analysis of High-Density Airborne Laser Bathymetry*. Journal of Coastal Research, vol. 21, 501-514.

Gao, J., 2009. *Bathymetric Mapping by Means of Penginderaan Jauh: Methods, Accuracy and Limitations*. Progress in Physical Geography, vol. 33, no.1, 103-116.

- Green, E.; Edward, A.; Mumby, P., 2000. *Mapping Bathymetry in Penginderaan Jauh Handbook for Tropical Coastal Management*. Coastal Management Sourcebok 3, UNESCO Paris, 219-233.
- Jupp, D. L. B., 1989. *Background and Extension to Depth of Penetration (DOP) Mapping in Shallow Coastal Waters*. Proceedings of symposium on penginderaan jauh of coastal zone, Gold Coast, Queensland, IV 2 (1) - IV 2 (19).
- Khondoker, I.S., and Siddiquee, H.Z, 2016. *Deriving River Bathymetry Using Space Borne Penginderaan jauh Techniques In Bangladesh*. IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN), ISSN (e): 225-3021, ISSN: 2278-8719, Vol. 6, 45-51.
- Legleiter, C.J.; Tedesco, M.; Smith, L.C.; Behar, A.E. and Overstreet, B.T., 2014. *Mapping The Bathymetry of Supraglacial Lakes and Streams on the Greenland Ice Sheet Using Field Measurements and High-Resolutionsatellite Images*. The Cryosphere, 8, doi:10.5194/tc-8-215-2014, 215 – 228.
- Liu S.; Zhang J. and Ma M., 2010. *Bathymetric Ability of SPOT-5 Multi-spectral Image in Shallow Coastal Water, 2010, 18th International Conference on Geoinformatics, Beijing, 2010, 1-5. doi: 10.1109/GEOINFORMATICS.2010.5567951*.
- Lyzenga, D. R., 1978. *Passive Penginderaan jauh Techniques for Mapping Water Depth and Bottom Features*. Applied Optics, 17 (3), 379-383.
- Lyzenga, D. R., 1979. *Shallow-Water Reflectance Modeling With Applications to Penginderaan Jauh of Ocean Floor*. Proceeding of 13th International Symposium on Penginderaan jauh of Environment, 583-602.
- Maritorena, S.; Morel, A.; and Gentili, B., 1994. *Diffuse-Reflectance of Oceanic Shallow Waters – Influence of Water Depth and Bottom Albedo*, Limnol. Oceanography, 39, 1689–1703.
- Mohamed H.; Negm A.; Zahran M.; dan Saavedra C.O., 2016. *Bathymetry Determination from High Resolution Satellite Imagery Using Ensemble Learning Algorithms in Shallow Lakes: Case Study El-Burullus Lake*. International Journal of Environmental Science and Development, Vol.7, No.4.
- Monteys, X.; Harris, P.; Caloca, S. and Cahalane C., 2015. *Spatial prediction of coastal bathymetry based on multispectral satellite imagery and multibeam data*. Penginderaan jauh Vol. 7, 13782-13806; doi:10.3390/rs71013782.
- Pattanaik, A.; Sahu, K.; Bhutiyan, M.R., 2015. *Estimation of Shallow Water Bathymetry Using IRS-Multispectral Imagery of Odisha Coast, India International Conference on Water Resources, Coastal And Ocean Engine*. (ICWRCOE 2015) ELSEVIER, Vol.4, 173-181.
- Philpot, W.D., 1989. *Bathymetry Mapping with Passive Multispectral Imagery*. Applied Optics. 28, 1569–1578.
- Prayuda B., 2014, *Panduan Teknis Pemetaan Habitat Dasar Perairan Laut Dangkal, Pemetaan Habitat Dasar Perairan Laut Dangkal Pusat Penelitian Oseanografi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, CRITC COREMAP II LIPI*.
- Stumpf, R.P.; Holderied, K.; Sinclair, M., 2003. *Determination of Water Depth With High Resolution Satellite Imagery over Variable Bottom Types*. Limnology Oceanography. 48, 547556. doi:10.4319/lo.2003.48.1_part_2.0547.
- Su, H.; Liu H.; Heyman, W., 2008. *Automated Derivation of Bathymetric Information from Multi Spectral Satellite Imagery Using a Non Linear Inversion Model*. Marine Geodesy. vol.31, pp. 281-298. doi:10.1080/01490410802466652.