

**ALGORITMA UNTUK ESTIMASI KEDALAMAN PERAIRAN DANGKAL
MENGUNAKAN DATA LANDSAT-7 ETM⁺
(Studi Kasus: Perairan Gugus Pulau Pari, Kepulauan Seribu, Jakarta)**

*Algorithm to estimate shallow water depth by using
Landsat-7 ETM⁺ Data
(Case study: Pari Island, Seribu Islands, Jakarta)*

Oleh:

P. Ika Wahyuningrum^{1*}, Indra Jaya², Domu Simbolon¹

Diterima: 9 Februari 2008; Disetujui: 9 November 2008

ABSTRACT

The need for accurate shallow water mapping is highly desirable for various engineering work and navigational safety. The current research attempts to estimate shallow water depth using Landsat-7 ETM⁺ and to formulate the best combination of Van Hengel and Spitzer algorithm and the best original digital number model. The best digital number model is obtained by correlation analysis, Principal Component Analysis (PCA) and application of regression model to 1st, 2nd and 3rd bands of Landsat-7 ETM⁺ satellite images. The results show that: (1) Shallow water depth in Pari Island, as a study site, can be estimated from Landsat-7 ETM⁺; (2) Combination of 321 bands of Land Satellite-7 Enhanced Thematic Mapper Plus (Landsat-7 ETM⁺) is the best combination of algorithm of Van Hengel and Spitzer; (3) The best model to estimate shallow water depth from original digital number is exponential equation: $y = 21.07e^{-0.0591x}$; (4) The best original digital number model has smaller mean error at the depth of less than 9 meter while the Van Hengel and Spitzer algorithm has smaller mean error at the depth of more than 9 meter.

Key words: *Shallow water depth, Van Hengel and Spitzer algorithm, original digital number model, mean error*

ABSTRAK

Kebutuhan terhadap pemetaan batimetri perairan dangkal sangat diperlukan sekali untuk berbagai macam pekerjaan keteknikan dan keamanan pelayaran. Penelitian ini mencoba mengestimasi kedalaman perairan dangkal menggunakan citra satelit *Landsat-7 ETM⁺* dan menentukan kombinasi terbaik dari algoritman Van Hengel dan Spitzer (VHS) mencari model nilai digital asli (NDA) terbaik. Model NDA terbaik diperoleh melalui analisis korelasi, analisis komponen utama (PCA) dan menerapkan beberapa model regresi terhadap citra satelit *Landsat-7 ETM⁺* band 1, 2 dan 3. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: 1) Kedalaman perairan dangkal di Pulau Pari, sebagai lokasi penelitian, dapat diestimasi dari citra satelit *Landsat-7 ETM⁺*; 2) Kombinasi band 321 citra satelit Landsat 7 ETM⁺ adalah kombinasi terbaik dari algoritma VHS; 3) Model NDA terbaik untuk estimasi kedalaman perairan dangkal adalah persamaan eksponensial $y = 21.07e^{-0.0591x}$; 4) Model NDA terbaik mempunyai galat rata-rata yang lebih kecil pada kedalaman kurang dari 9 meter sedangkan algoritma VHS mempunyai galat rata-rata yang lebih kecil pada kedalaman lebih dari 9 meter.

Kata kunci: kedalaman perairan dangkal, algoritma Van Hengel dan Spitzer (VHS), model nilai digital asli (NDA), galat

¹ Dept. Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan, FPIK, IPB.

* Email: prieha@yahoo.com

² Dept. Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK, IPB.

1. PENDAHULUAN

Batimetri atau kedalaman perairan adalah ukuran tinggi rendahnya dasar laut. Peta batimetri memberikan informasi bahwa dasar lautan bukanlah suatu permukaan yang sederhana tetapi memiliki struktur, bentuk dan penampakan yang sangat beragam. Dasar laut merupakan suatu sistem yang dinamis, sering terjadi perubahan-perubahan sehingga perbaikan peta-peta batimetri perlu dilakukan agar informasi-informasi mengenai dasar suatu perairan bisa terjadi seiring dengan perubahan yang terjadi.

Pemetaan batimetri di perairan dangkal mempunyai peranan penting untuk kegiatan perikanan dan kelautan baik secara langsung maupun tidak langsung, terlebih lagi dengan kondisi Indonesia yang memiliki banyak pulau kecil yang tersebar di seluruh nusantara.

Teknologi pemetaan bathimetri berkembang dari waktu ke waktu. Pada awalnya, kedalaman diukur dengan menggunakan tambang yang ujungnya diberi pemberat dan mencoba untuk memperhitungkan kapan pemberat tersebut menyentuh dasar. Tetapi metode ini sulit dilakukan dan hasilnya hampir selalu tidak akurat karena arus yang kuat dapat menarik tambang dan pemberatnya ke samping, jika perairan yang diukur relatif lebih dalam maka tambang yang dibutuhkan akan lebih panjang dan sulit mengetahui kapan pemberat menyentuh dasar. Selain itu juga membutuhkan waktu yang lama untuk menurunkan dan menaikkan tambang.

Dengan ditemukannya *echo sounder* kedalaman perairan lebih mudah diukur. Metode ini bekerja berdasarkan prinsip perambatan suara di dalam air. Metode ini bisa menghasilkan kedalaman yang akurat untuk perairan dalam. Tetapi metode ini cukup sulit untuk diterapkan di perairan dangkal. Kapal-kapal yang membawa berbagai perlengkapan peralatan pemetaan sulit masuk ke perairan dengan leluasa sehubungan dengan karakteristik yang khas di perairan tersebut, seperti kondisi perairan yang dangkal serta keadaan substrat dasar yang tidak beraturan. Di samping itu, mengingat ekosistem perairan dangkal sangat luas maka kegiatan pemetaan dengan metode ini akan membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang sangat tinggi pula.

Dewasa ini pemanfaatan teknologi penginderaan jauh telah banyak dilakukan karena dipandang sebagai salah cara yang efektif dan efisien serta cukup terlihat kegunaannya dalam mengkompilasi dan merevisi peta-peta sumberdaya. Teknologi ini mampu mendapatkan informasi secara sinoptik sehingga dapat meng-

amati fenomena yang terjadi di lautan yang luas dan dinamis dan mampu memberikan informasi secara kontinu karena telah diprogram melintas daerah yang sama dalam waktu tertentu. Pemetaan perairan dangkal dapat dilakukan dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh (Lyzenga 1978; Lyzenga 1981; Spitzer and Dirks 1987; Hengel and Spitzer 1991; Bierwith 1993; Leu and Chang 2005).

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah: (1) mengetahui kemampuan citra digital Landsat 7 ETM+ dalam memetakan kedalaman perairan dangkal; (2) mendapatkan kombinasi *band* terbaik pada algoritma Van Hengel dan Spitzer untuk mengekstrak kedalaman perairan dangkal di Pulau Pari; (3) menentukan model terbaik yang paling efektif untuk memetakan kedalaman perairan dangkal; (4) mengetahui nilai galat (*error*) algoritma kedalaman yang dihasilkan terhadap data lapangan

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah: (1) bermanfaat bagi pengembangan ilmu dan teknologi kelautan dalam hal metode, teknik dan dayaguna citra penginderaan jauh khususnya citra Landsat 7 ETM+ untuk pemetaan kedalaman perairan dangkal; (2) bermanfaat bagi pembangunan karena penelitian ini dapat digunakan sebagai data dasar dalam bidang perikanan dan rekayasa kelautan.

2. METODOLOGI

2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Juni 2004 sampai bulan Agustus 2004. Lokasi yang dipilih untuk studi kasus adalah Gugus Pulau Pari, Kepulauan Seribu. Pemrosesan data satelit dilakukan di Laboratorium Penginderaan Jauh dan SIG Kelautan, Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB, Bogor.

2.2 Alat dan Bahan

Peralatan lapangan yang diperlukan yaitu GPS *Sounder* untuk menentukan kedalaman lapangan, kapal bermotor untuk transportasi pengambilan data lapangan dan papan skala untuk mengukur pasang surut. Alat untuk pengolahan data citra yaitu sebuah personal komputer yang dilengkapi dengan perangkat lunak *ER Mapper 6.1* untuk mengolah data citra Landsat 7-ETM+, *Arc View 3.3* untuk layout peta, *MINITAB 13.3* dan *Microsoft excel* untuk mengolah data statistik.

Bahan yang digunakan meliputi data digital citra Landsat 7-ETM, Peta bathimetri skala 1:50.000, Peta Rupa Bumi 1:25.000, data pasang surut pada saat peliputan citra dan saat pengambilan data kedalaman dengan *GPS Sounder* di Gugus Pulau Pari Kepulauan Seribu.

2.3 Pengolahan Data

2.3.1 Pengolahan awal citra

Tahap awal dalam pemrosesan citra adalah *preprocessing* yang meliputi koreksi radiometrik dan koreksi geometrik. Koreksi radiometrik bertujuan untuk memperbaiki nilai-nilai digital yang tidak sesuai dengan nilai pantulan atau pancaran spektral obyek yang sebenarnya, sedangkan koreksi geometrik

bertujuan untuk mendapatkan citra yang sesuai dengan posisi sebenarnya di permukaan bumi. Setelah itu dilakukan cropping citra untuk membatasi wilayah penelitian. Image masking yaitu penghilangan obyek yang bukan termasuk wilayah kajian serta transformasi citra untuk mengaplikasikan algoritma kedalaman.

2.3.2 Algoritma Van Hengel dan Spitzer

Algoritma yang dirumuskan oleh Van Hengel dan Spitzer (1991) merupakan algoritma transformasi nilai citra satelit untuk menghasilkan nilai kedalaman relatif air laut. Algoritma ini membutuhkan tiga masukan citra yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(r) \cos(s) & \sin(r) \cos(s) & \sin(s) \\ -\sin(r) & \cos(r) & 0 \\ -\cos(r) \sin(s) & -\sin(r) \sin(s) & \cos(s) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

keterangan:

X_1 : Citra pertama
 X_2 : Citra kedua
 X_3 : Citra ketiga
 Y_1 : Hasil transformasi utama
 Y_2 dan Y_3 : Hasil sampingan transformasi
 r dan s : Sudut arah rotasi

Formula diatas dapat dijabarkan dalam bentuk perkalian matrik 3x3 sebagai berikut:

$$Y_1 = X_1 \cos(r) \cos(s) + X_2 \sin(r) \cos(s) + X_3 \sin(s) \quad (2)$$

$$Y_2 = -X_1 \sin(r) + X_2 \cos(r) \quad (3)$$

$$Y_3 = -X_1 \cos(r) \sin(s) - X_2 \sin(r) \sin(s) + X_3 \cos(s) \quad (4)$$

Nilai sudut arah rotasi (r dan s) dalam algoritma tersebut adalah konstanta yang diperoleh dari perhitungan dengan rumus sebagai berikut:

Keterangan:

$\text{var } x_i$: nilai varian band_i

$\text{var } x_i x_j$: adalah covarian band_i dan band_j

$$r(s) = \arctan(u + \sqrt{u^2 + 1}) \quad (5)$$

sedangkan u diperoleh dari rumus

$$u_r = \frac{\text{var } X_2 + \text{var } X_1}{2 \text{ var } X_1 X_2} \quad (6)$$

$$u_s = \frac{\text{var } x_3 + \text{var } x_1}{2 \text{ var } x_3 x_1} \quad (7)$$

Nilai kedalaman hasil rotasi diatas merupakan nilai kedalaman relatif yang ditunjukkan oleh variabel Y_1 . Sedangkan hasil rotasi Y_2 dan Y_3 hanyalah efek yang dihasilkan oleh matriks 3x3 ini.

Langkah diatas diberlakukan untuk enam kombinasi citra masukan. Kombinasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Susunan 6 kombinasi citra masukan algoritma Van Hengel dan Spitzer

No	Masukan 1 (X_1)	Masukan 2 (X_2)	Masukan 3 (X_3)	Kombinasi <i>Band</i>
1	<i>Band 1</i>	<i>Band 2</i>	<i>Band 3</i>	123
2	<i>Band 1</i>	<i>Band 3</i>	<i>Band 2</i>	132
3	<i>Band 2</i>	<i>Band 1</i>	<i>Band 3</i>	213
4	<i>Band 2</i>	<i>Band 3</i>	<i>Band 1</i>	231
5	<i>Band 3</i>	<i>Band 1</i>	<i>Band 2</i>	312
6	<i>Band 3</i>	<i>Band 2</i>	<i>Band 1</i>	321

Untuk mendapatkan model hubungan data kedalaman dengan nilai respon spektral data Landsat-7 ETM⁺ yang terbaik, maka dilakukan analisis regresi. Analisis regresi digunakan untuk menentukan besarnya pengaruh setiap perubahan yang dilakukan terhadap koefisien atau variabel nilai dari masing-masing operasi penajaman yang dilakukan terhadap nilai kedalaman. Model regresi yang dicobakan

yaitu model linear, logaritmik, power dan eksponensial.

2.4 Galat (*Error*)

Penghitungan kedalaman dengan survei *echo sounder* maupun dengan penginderaan jauh akan menimbulkan galat (*error*).

Perhitungan galat (*error*) menggunakan rumus (Chapra, 2001):

$$\epsilon_a = \frac{\text{Aproksimasi sekarang} - \text{Aproksimasi sebelumnya}}{\text{Aproksimasi sekarang}} \times 100 \% \quad (8)$$

Keterangan:

ϵ_a : nilai galat (*error*)

: galat (*error*)

Aproksimasi sekarang : pengukuran kedalaman menggunakan survei *echo sounder*

Aproksimasi sebelumnya : estimasi kedalaman menggunakan data penginderaan jauh.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada dasarnya satelit yang digunakan (Landsat 7 ETM⁺) bertujuan untuk memperoleh kondisi dan informasi serta kajian-kajian dengan obyek darat. Hal ini terlihat dari nama satelit yaitu Landsat (*Land Satellite*) yang artinya satelit untuk daratan. Sedangkan untuk kajian-kajian kelautan masih sedikit sekali porsinya.

Penelitian ini hanya memanfaatkan 3 saluran citra dari 8 saluran yang terdapat pada satelit Landsat 7 ETM⁺. Ketiga saluran tersebut memiliki karakteristik tersendiri terhadap obyek air. Band biru memiliki nilai pantulan tertinggi dan terus menurun seiring dengan meningkatkan panjang gelombang yaitu band hijau dan band merah (Sutanto 1992).

Secara umum, penggunaan jenis satelit Landsat 7 ETM⁺ untuk kajian-kajian kelautan memiliki tingkat keberhasilan yang relatif rendah. Tetapi pada penelitian ini dengan menerapkan algoritma Van Hengel dan Spitzer serta model nilai digital asli terbaik diperoleh hasil yang cukup memuaskan dengan R² lebih dari 80%.

3.1 Algoritma Van Hengel dan Spitzer

Hasil pengolahan citra dengan menggunakan algoritma Van Hengel dan Spitzer untuk satu kombinasi citra masukan akan menghasilkan citra baru yang dinyatakan dalam Y₁, Y₂ dan Y₃. Citra Y₁ merupakan citra yang nilai pikselnya menunjukkan nilai kedalaman

relatif sedangkan citra Y₂ dan Y₃ hanya merupakan hasil sampingan dari pengolahan dan belum diketahui informasi apa yang terkandung di dalam nilai pikselnya (Hengel and Spitzer 1991).

Pada prinsipnya untuk mengekstraksi kedalaman air laut dari citra satelit tidak seluruhnya murni dari hasil pengolahan citra satelit. Pengolahan citra satelit hanyalah untuk memperjelas faktor yang mempengaruhi nilai kedalaman air laut. Sedangkan penentuan nilai kedalaman yang sebenarnya tetap membutuhkan data kedalaman air laut yang sudah diketahui kebenarannya secara pasti. Begitu pula dalam penerapan algoritma Van Hengel dan Spitzer ini. Pengolahan dengan algoritma Van Hengel dan Spitzer hanya digunakan untuk menentukan kedalaman air relatif. Nilai digital Y₁ (yang menunjukkan kedalaman relatif) diregresikan dengan nilai kedalaman air laut pada titik sampel hasil pengukuran lapang (Z lapang). Sumbu x sebagai kedalaman lapang dan sumbu Y sebagai data kedalaman air relatif.

Cara transformasi pada Tabel 2 didasarkan pada persamaan $y=a+bx$, dengan y adalah citra hasil pengolahan yang menunjukkan kedalaman relatif. Pada transformasi persamaan diubah menjadi KR (kedalaman relatif), a merupakan *slope* (kemiringan garis) persamaan, b konstanta *intercept* atau nilai perpotongan garis regresi pada sumbu y dan x merupakan nilai obyek di lapangan dalam hal ini adalah kedalaman laut. Untuk mengetahui nilai x atau kedalaman absolut (kedalaman

lapang), maka persamaan tersebut harus dirubah menjadi $z=(y-b)/a$, dengan z merupakan kedalaman absolut (kedalaman lapang). Persamaan regresi dengan algoritma Van

Hengel dan Spitzer menjadi persamaan untuk menentukan kedalaman laut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Persamaan regresi linear sederhana dan persamaan untuk penentuan kedalaman absolut

Kombinasi Band	Persamaan Regresi Linear Sederhana (Kedalaman Relatif)	R^2	R	Persamaan untuk Kedalaman Absolut (Z)
123	$y = -2.5861x + 43.201$	67.50%	-0.822	$Z=(43.201-KR)/2.5861$
132	$y = -3.5217x + 55.542$	76.35%	-0.874	$Z=(55.542-KR)/3.5217$
213	$y = -2.5854x + 43.189$	67.50%	-0.822	$Z=(43.189-KR)/2.5854$
231	$y = -2.917x + 47.815$	79.52%	-0.892	$Z=(47.815-KR)/2.917$
312	$y = -3.622x + 56.650$	78.28%	-0.885	$Z=(56.650-KR)/3.622$
321	$y = -3.1496x + 50.615$	80.42%	-0.897	$Z=(50.615-KR)/3.1496$

Keterangan: Y merupakan kedalaman relatif (KR) dan x merupakan kedalaman absolut (Z)

Citra hasil pengolahan dengan algoritma Van Hengel dan Spitzer yang telah ditransformasi ulang menggunakan persamaan regresi sudah menunjukkan nilai kedalaman laut. Nilai-nilai digitalnya secara langsung dapat menunjukkan estimasi nilai kedalaman laut sebenarnya di lapangan (kedalaman absolut).

Hasil analisa regresi diperoleh enam persamaan regresi yang akan digunakan untuk mencari nilai kedalaman absolut. Hasil persamaan regresi memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) yang bervariasi antara 67.5%-80.42%. Koefisien determinasi (R^2) tertinggi yaitu 80.4% dihasilkan dari kombinasi *band* 321 (hasil selengkapnya bisa dilihat pada Tabel 2 diatas). Artinya bahwa model yang dihasilkan mampu menerangkan keragaman nilai peubah Y (dalam kasus ini adalah kedalaman relatif) sebesar 80.4%. Berdasarkan nilai Koefisien determinasi (R^2) dapat disimpulkan bahwa kombinasi *band* 321 merupakan kombinasi terbaik pada pengolahan citra dengan algoritma Van Hengel dan Spitzer.

Berdasarkan analisa korelasi terhadap kedalaman lapang dan nilai digital Y_1 (kedalaman relatif) diperoleh nilai koefisien korelasi (r) yang cukup tinggi yaitu berkisar antara -0.822 sampai dengan -0.897. Nilai koefisien korelasi tertinggi ada pada kombinasi *band* 321 dengan r -0.897. Nilai koefisien korelasi -0.822 sampai dengan -0.897 menunjukkan keeratan hubungan linear antara kedalaman lapang dengan kedalaman relatif. Koefisien korelasi bernilai negatif, artinya ada hubungan terbalik antara nilai spektral dari kedalaman relatif dengan nilai kedalaman lapang perairan. Semakin dalam perairan

maka nilai spektral yang dihasilkan semakin rendah. Demikian pula sebaliknya, semakin dangkal suatu perairan maka nilai spektral yang dihasilkan semakin tinggi.

Dari analisis regresi linear dan korelasi menunjukkan bahwa kedalaman lapang dan kedalaman relatif mempunyai hubungan yang erat. Kombinasi terbaik terdapat pada kombinasi *band* 321. Dari hasil yang diperoleh maka algoritma Van Hengel dan Spitzer dapat dipergunakan untuk memetakan kedalaman perairan khususnya di perairan Pulau Pari.

3.2 Model Kedalaman dengan Nilai Digital Asli

Secara teori panjang gelombang yang bisa menembus kolom air adalah sinar tampak dengan panjang gelombang berkisar antara 0.4-0.69 μ . Pada satelit Landsat, panjang gelombang tersebut ada pada *band* 1 (biru; 0,45 – 0,52 μ m), *band* 2 (hijau; 0,52 – 0,60 μ m) dan *band* 3 (merah; 0,63 – 0,69 μ m). Panjang gelombang tersebut yang digunakan sebagai input dalam model nilai digital asli.

Penentuan model terbaik dilakukan dengan melihat koefisien determinasi (R^2) yang tertinggi kemudian melihat secara visual sisaan yang dihasilkan dari model tersebut. Hasil koefisien determinasi (R^2) antara *band* 1 dan *band* 2 bisa dikatakan tinggi karena lebih dari 75%, artinya model yang dibuat bisa menerangkan keragaman kedalaman perairan dangkal sampai lebih dari 75 %. Tetapi kandidat model terkuat adalah *band* 1 karena secara realitas di lapang kemampuan *band* 1 untuk berpenetrasi ke dalam kolom air jauh lebih baik dibandingkan dengan *band* 2. Kandidat model

terkuat tersebut kemudian dianalisis residual untuk memeriksa asumsi-asumsi yang mendasari model regresi. Semua kandidat model terkuat memenuhi asumsi yang mendasari model regresi. Sehingga kandidat model yang ditetapkan sebagai model untuk menduga

kedalaman perairan dangkal adalah bentuk eksponensial dengan nilai R^2 84.07 % dengan persamaan $y=21.07e^{-0.0591x}$. Lebih lengkapnya kandidat model yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Kandidat model penduga kedalaman

Kandidat Model	Band 1	R^2	Band 2	R^2	Band 3	R^2
Linear	$y = -0.3669x + 14.543$	80.7%	$y = -0.2624x + 13.556$	77.2%	$y = -0.3501x + 12.805$	52.9%
Logaritmik	$y = -7.2696\ln(x) + 28.45$	83.3%	$y = -6.0314\ln(x) + 25.844$	77.5%	$y = -5.925\ln(x) + 23.161$	56.0%
Power	$y = 175.98x^{1.1302}$	80.89%	$y = 117.86x^{0.9391}$	75.54%	$y = 82.549x^{0.9457}$	57.29%
Eksponensial	$y = 21.07e^{-0.0591x}$	84.07%	$y = 18.03e^{-0.0424x}$	80.93%	$y = 16.238e^{-0.0576x}$	57.61%

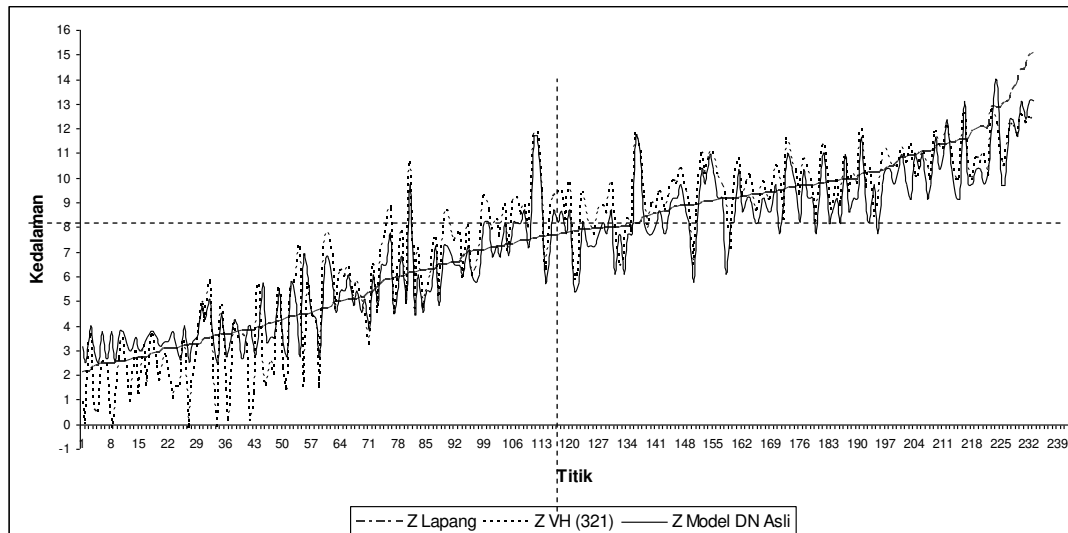
3.3 Evaluasi Kemampuan Algoritma Van Hengel dan Spitzer serta Model Kedalaman Nilai Digital Asli Terbaik dalam Menyajikan Informasi Kedalaman Perairan

Citra hasil pengolahan dengan menggunakan algoritma Van Hengel dan Spitzer (321) dan model Nilai Digital Asli Terbaik sudah tentu menunjukkan hasil yang berbeda walaupun penelitian ini menggunakan citra dan data kedalaman yang sama.

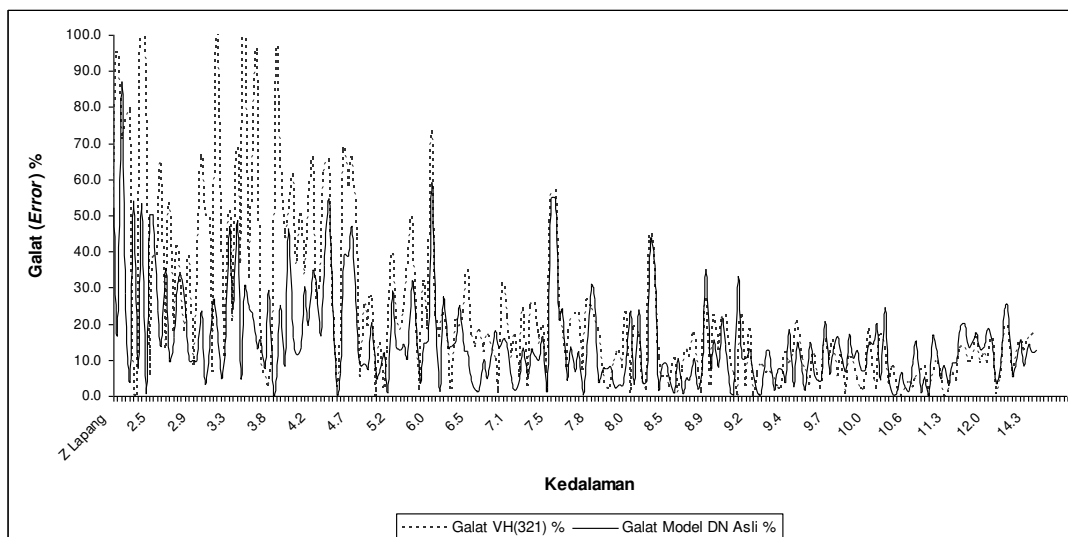
Secara umum kedua algoritma ini mampu menunjukkan kedalaman di perairan Gugus Pulau Pari dengan cukup baik seperti yang ditunjukkan dengan nilai R^2 lebih dari 80% (80.42% untuk algoritma Van Hengel dan Spitzer (321) dan 84.07% untuk model Nilai Digital Asli Terbaik). Umumnya untuk penelitian kedalaman perairan yang dilakukan di wilayah Indonesia angka tersebut tergolong baik. Tetapi apabila dilihat dari nilai galat (*error*) untuk masing-masing algoritma maka akan terdapat beberapa perbedaan seperti terlihat pada Gambar 1 dan 2.

Algoritma Van Hengel dan Spitzer (321) menunjukkan nilai galat yang tinggi pada kedalaman ≤ 5 meter, dengan rata-rata galat lebih dari 40%, bahkan pada beberapa titik ada yang mempunyai galat 100%. Kemudian rata-rata galat ini menurun seiring dengan bertambahnya kedalaman. Pada kedalaman antara 5-7 meter mempunyai rata-rata galat 22% dan 23%, pada kedalaman 7-9 meter mempunyai rata-rata galat 17% dan 14%. Rata-rata galat ini menjadi semakin kecil pada kedalaman lebih dari 9 meter.

Model nilai digital asli terbaik mempunyai rata-rata galat yang lebih kecil dari algoritma Van Hengel dan Spitzer (321) sampai dengan kedalaman 9 meter. Pada kedalaman lebih dari 9 meter rata-rata galat meningkat kembali. Sehingga estimasi kedalaman perairan dangkal yang kurang dari 9 meter akan lebih baik menggunakan model nilai digital asli terbaik sedangkan pada kedalaman lebih dari 9 meter menggunakan algoritma Van Hengel dan Spitzer.



Gambar 1 Kedalaman lapang dengan survei *echosounder* dan estimasi kedalaman menggunakan algoritma Van Hengel dan Spitzer serta Model nilai digital asli terbaik.



Gambar 2. Galat (*error*) estimasi kedalaman algoritma Van Hengel dan Spitzer serta model nilai digital asli terbaik terhadap data lapang.

3.4 Evaluasi Kemampuan Citra Satelit Landsat 7 ETM+ dalam Menyajikan Informasi Kedalaman Perairan

Dari penjelasan-penjelasan diatas dapat diketahui kekurangan dan kelebihan Landsat 7 ETM⁺ dalam mengestimasi kedalaman perairan. Landsat mempunyai *band* 1, *band* 2 dan *band* 3 yang merupakan *band* panjang gelombang sinar tampak. *Band-band* inilah yang sering digunakan untuk mengestimasi

kedalaman perairan karena mempunyai karakteristik tersendiri. *Band* biru merupakan *band* yang mempunyai kemampuan berpenetrasi terhadap kedalaman air paling baik dibandingkan dengan *band-band* lainnya. Selain itu *band* biru juga tidak banyak terpengaruh oleh material dasar perairan dan unsur-unsur fisik laut seperti konsentrasi sedimen dan kandungan klorofil di perairan.

Citra Landsat 7 ETM⁺ juga memiliki kekurangan dalam hal resolusi spasialnya terutama untuk aplikasi pemetaan dengan skala yang detail. Resolusi spasial *band* 1-5 dan *band* 7 dari Landsat 7 ETM⁺ adalah 30 meter yang menunjukkan bahwa obyek terkecil yang dapat direkam oleh sensor adalah obyek yang minimal berukuran 30x30 meter. Untuk obyek yang berukuran kurang dari itu maka akan digeneralisir dengan obyek lainnya yang dominan pada luas 30x30 meter. Untuk pemetaan yang bersifat detail atau memerlukan kedetailan yang lebih baik lagi citra ini kurang tepat untuk digunakan. Karena satu piksel di citra belum tentu menunjukkan kedalaman yang sama di lapangan. Ukuran 30x30 meter di lapang dapat menunjukkan angka yang sangat bervariasi terutama pada wilayah perairan yang didominasi oleh terumbu karang atau pada perairan yang mempunyai kedalaman yang menu-run secara tajam. Resolusi spasial ini lebih cocok digunakan pada pemetaan kedalaman laut yang memiliki topografi dasar laut yang landai.

Metode pemrosesan yang digunakan pada penelitian ini menekankan pada proses penajaman citra untuk ekstraksi kedalaman laut dengan menggunakan transformasi terhadap nilai digital saluran asli. Transformasi ini memegang peranan penting dalam manipulasi data untuk analisa kualitatif. Transformasi yang digunakan merupakan transformasi matematis baik untuk algoritma Van Hengel dan Spitzer maupun untuk model nilai digital asli.

4. KESIMPULAN

Ada beberapa hal yang bisa disimpulkan dari penelitian ini, yaitu:

- 1). Citra satelit Landsat 7 ETM⁺ *band* biru, *band* hijau dan *band* merah mempunyai korelasi yang baik terhadap kedalaman sehingga dapat digunakan untuk mengestimasi kedalaman perairan dangkal;
- 2). Kombinasi *band* 3, *band* 2 dan *band* 1 merupakan kombinasi terbaik pada algoritma Van Hengel dan Spitzer untuk mengekstrak kedalaman perairan dangkal di Pulau Pari;
- 3). Model nilai digital asli terbaik diperoleh dari *band* 1 dengan persamaan eksponensial; dan
- 4). Adanya galat (*error*) antara kedalaman lapang dengan kedalaman hasil estimasi. Model nilai digital asli terbaik memberikan

nilai galat rata-rata yang lebih kecil dibandingkan Algoritma Van Hengel dan Spitzer (321) pada kedalaman kurang dari 9 meter. Pada kedalaman lebih dari 9 meter algoritma Van Hengel dan Spitzer (321) memberikan nilai galat rata-rata yang lebih kecil dibandingkan dengan model nilai digital asli terbaik.

DAFTAR PUSTAKA

- Bierwirth PN., Lee TJ, Burne. 1993. *On-Line Algorithm Development*. 1997. [http:// atlas / marine / coastal_atlas / remote_sensing / AGSO1_docs / report1 / AGSOrept1b.html](http://atlas/marine/coastal_atlas/remote_sensing/AGSO1_docs/report1/AGSOrept1b.html) [23 Mei 2004].
- Chapra W. 2001. *Analisa Numerik*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Hengel VW, Spitzer, D. 1988. *Water Depth Mapping Using TM Imagery*. Report 88-12, Netherlands Remote Sensing Board. Delft.
- Hengel VW, Spitzer D. 1991. *Multi-temporal Water Depth Mapping by Means of Landsat TM*. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 12:pp 703-712.
- Leu LG, Chang HW. 2005. *Remotely sensing in detecting the water depths and bed load of shallow waters and their changes*. *Ocean Engineering* 2005; 32:1174–1198. <http://www.elsevier.com/locate/oceaneng>. [16 April 2007].
- Lyzenga DR. 1978. *Passive Remote Sensing Techniques for Mapping Water depth and Bottom Features.. Applied Optics*. Vol. 17:pp. 379-383.
- Lyzenga, DR. 1981. *Remote Sensing of Bottom Reflectance and Water Attenuation Parameter in Shallow Water Using Aircraft and Landsat Data*. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 2:pp 71-82.
- Spitzer D. and Dirks RW. 1987. *Bottom Influence on The Reflection of The Sea*. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 8:pp 279-290.
- Sutanto. 1992. *Penginderaan Jauh Jilid I*. Gajah Mada Press. Yogyakarta.
- Walpole, E. R. 1993. *Pengantar Statistika Edisi ke-3*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta