

APLIKASI ALGORITMA VAN HENGEL DAN SPITZER UNTUK EKSTRAKSI INFORMASI BATIMETRI MENGGUNAKAN DATA LANDSAT

Kuncoro Teguh Setiawan^{*)}, Takahiro Osawa^{**)}, I. Wayan Nuarsa^{***)}

^{*)} Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, LAPAN

^{**)} Center of Remote Sensing and Ocean Science (CRESOS) Universitas Udayana

^{***)} Program Magister Ilmu Lingkungan Universitas Udayana

Email: kunteguhs@gmail.com

Abstract

Bathymetry is a measure of the depth of the water surface to the sea floor. Bathymetric mapping plays important roles for fisheries, hydrographic and maritime safety. Bathymetry data sources are generally bathymetry maps issued by the Department of Oceanography Hydro derived from the data echosounder, but these data are not cover the whole area in detailed. Remote sensing technology is one way that can be utilized to obtain bathymetry information. This research aims to produce a bathymetry map by applying the algorithm of estimate absolute depth developed by Van Hengel and Spitzer (1991). Three image data were used to comprise a LANDSAT TM data and two LANDSAT ETM+ data which were acquired at March 19, 1997, June 23, 2000 and March 12, 2003. The three data have an average error of 29%, accuracy of 80% and the correlation coefficient R^2 0.439 for 1997, an average error of 24%, accuracy of 70% and a correlation coefficient R^2 0.883 for 2000 and the average error of 21%, accuracy of 80% and a correlation coefficient R^2 0.998 for 2003. This study shows the LANDSAT imagery has the ability to produce bathymetric information.

Key Words: Bathymetry, LANDSAT ETM+, Van Hengel and Spitzer Algorithm

Abstrak

Batimetri adalah ukuran kedalaman dari permukaan air sampai dengan dasar laut. Pemetaan batimetri mempunyai peranan penting untuk kegiatan perikanan, hidrografi dan keselamatan pelayaran. Umumnya sumber data batimetri adalah peta batimetri yang dikeluarkan oleh Dinas Hidro Oseanografi yang diturunkan dari data echosounder, namun data tersebut belum mencakup seluruh wilayah dalam skala yang rinci. Teknologi penginderaan jauh merupakan salah satu cara yang dapat di manfaatkan untuk mendapatkan informasi batimetri. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan informasi batimetri dengan menerapkan algoritma yang dikembangkan oleh Van Hengel dan Spitzer (1991). Digunakan tiga data citra yang terdiri dari LANDSAT TM dan dua LANDSAT ETM+ yang diakuisisi pada 19 Maret 1997, 23 Juni 2000 dan 12 Maret 2003. Dari ketiga data tersebut dihasilkan kesalahan rata-rata masing-masing sebesar 29%, akurasi sebesar 80% dan koefisien korelasi R^2 sebesar 0,439 untuk data tahun 1997, kesalahan rata-rata sebesar 24%, akurasi sebesar 70% dan koefisien korelasi R^2 sebesar 0,883 untuk data tahun 2000 dan kesalahan rata-rata sebesar 21%, akurasi sebesar 80% dan koefisien korelasi R^2 sebesar 0,998 untuk data tahun 2003. Kajian ini menunjukkan citra LANDSAT memiliki kemampuan untuk menghasilkan informasi batimetri.

Kata Kunci: *Batimetri, LANDSAT ETM+, Algoritma Van Hengel dan Spitzer*

1. Pendahuluan

Batimetri atau kedalaman air laut merupakan ukuran kedalaman daerah perairan laut yang diukur dari atas permukaan air ke dasar laut. Peta batimetri adalah data spasial yang berisi informasi kedalaman suatu daerah perairan. Informasi batimetri dapat menggambarkan tentang kondisi struktur dan bentuk dasar perairan dari suatu daerah. Pemetaan batimetri di perairan dangkal memiliki peran penting untuk perikanan, keselamatan pelayaran serta aktivitas kelautan. Teknologi pemetaan batimetri terus berkembang, pertama kali batimetri diukur menggunakan tali. Metode ini sulit dan hasilnya hampir selalu kurang akurat karena sangat tergantung arus air dibawah permukaan yang dapat menarik tambang dan pemberat sehingga kedalaman yang dihasilkan seringkali tidak tepat. Kemudian teknik pengukuran

mengalami perkembangan dengan ditemukannya echo sounder, dengan alat tersebut kedalaman air lebih mudah diukur. Metode ini bekerja pada prinsip perambatan suara di dalam air. Metode ini dapat menghasilkan kedalaman yang akurat untuk air yang dalam tetapi metode tersebut sulit diterapkan di perairan dangkal (Sager, 1998).

Metode berikutnya adalah dengan menggunakan aplikasi teknologi penginderaan jauh, teknologi tersebut telah banyak diterapkan karena efektif dan efisien. Hasil dari teknologi ini dapat digunakan dalam penyusunan dan merevisi sumber daya peta yang ada serta berguna sebagai bantuan dalam perencanaan dan pengelolaan sumber daya (Butler, 1988; Lillesand dan Kiefer, 1994; Danoedoro, 1996). Teknologi ini mampu memperoleh informasi sinoptik untuk mengamati fenomena yang terjadi di lautan yang luas dan dinamis. Prinsip dasar penggunaan penginderaan jauh untuk memetakan batimetri adalah bahwa panjang gelombang setiap band dari satelit dapat menembus air pada kedalaman tertentu sesuai dengan panjang gelombangnya masing-masing. Jupp (1988) menyimpulkan bahwa citra LANDSAT dapat digunakan dalam menentukan kedalaman air, untuk band 1 memiliki kemampuan menembus kedalaman air hingga kedalaman 25 meter, band 2 mampu menembus hingga kedalaman 15 meter, band 3 mampu menembus hingga kedalaman 5 meter sedangkan band 4 mampu menembus hingga kedalaman 0,5 meter. Ketika cahaya melewati air itu menjadi antenuasi oleh interaksi dengan kolom air (Benny dan Dawson, 1983). Metode Jupp (1988) membuat asumsi-asumsi yang sama seperti Benny dan Dawson (1983) yaitu : (a) Redaman Cahaya merupakan fungsi eksponensial dari kedalaman, (b) kualitas air tidak berbeda dalam satu citra, (c) Albedo substrat cukup konstan.

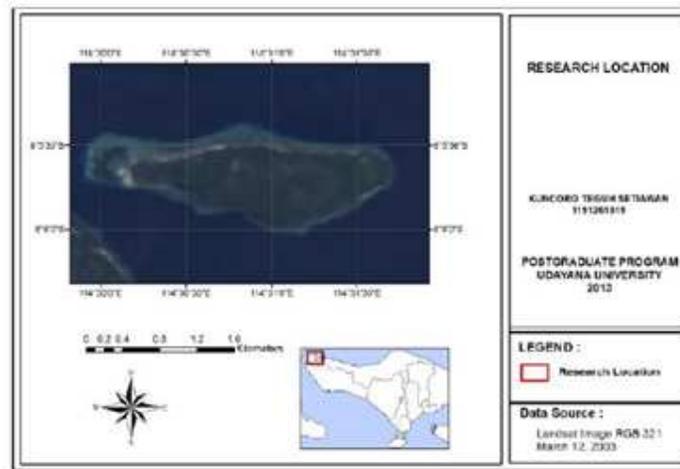
Algoritma untuk pemetaan batimetri di wilayah pesisir dengan menggunakan citra satelit tersebut dikembangkan oleh Lyzenga (1978, 1981, 1985), Paredes dan Spero (1983) dan Spitzer dan Dirks (1987). Van Hengel dan Spitzer (1991) (V-S 1991) memperkenalkan sebuah algoritma untuk menghasilkan informasi batimetri menggunakan data citra LANDSAT TM dengan menggunakan matriks transformasi rotasi. Metode V-S (1991) telah digunakan untuk menghasilkan informasi batimetri di Pulau Pari Kepulauan Seribu DKI Jakarta dengan menggunakan data citra LANDSAT 7 ETM+ kombinasi band 1, band 2 dan band 3 (Wahyuningrum, *et al.*, 2008).

Akurasi informasi yang dideteksi oleh sensor dari satelit sangat dipengaruhi oleh kondisi perairannya, oleh karena itu untuk mendapatkan hasil informasi batimetri yang terbaik dibutuhkan kejernihan air pada wilayah perairan tersebut. Pulau Menjangan adalah sebuah pulau yang terletak di Desa Labuan Lalang Gerokgak Kabupaten Buleleng Bali yang merupakan bagian dari Taman Nasional Bali Barat memiliki kondisi perairan yang jernih (Sidabutar, 2000). Oleh karena itu, penelitian ini memilih pulau Menjangan, sehingga diharapkan hasil penelitian ini dapat mendukung pengembangan pengelolaan Taman Nasional Bali Barat terutama dalam hal informasi batimetri dari pulau tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan informasi batimetri dari LANDSAT menggunakan algoritma V-S (1991) di Pulau Menjangan Bali serta menghitung akurasi dari informasi batimetri yang dihasilkan.

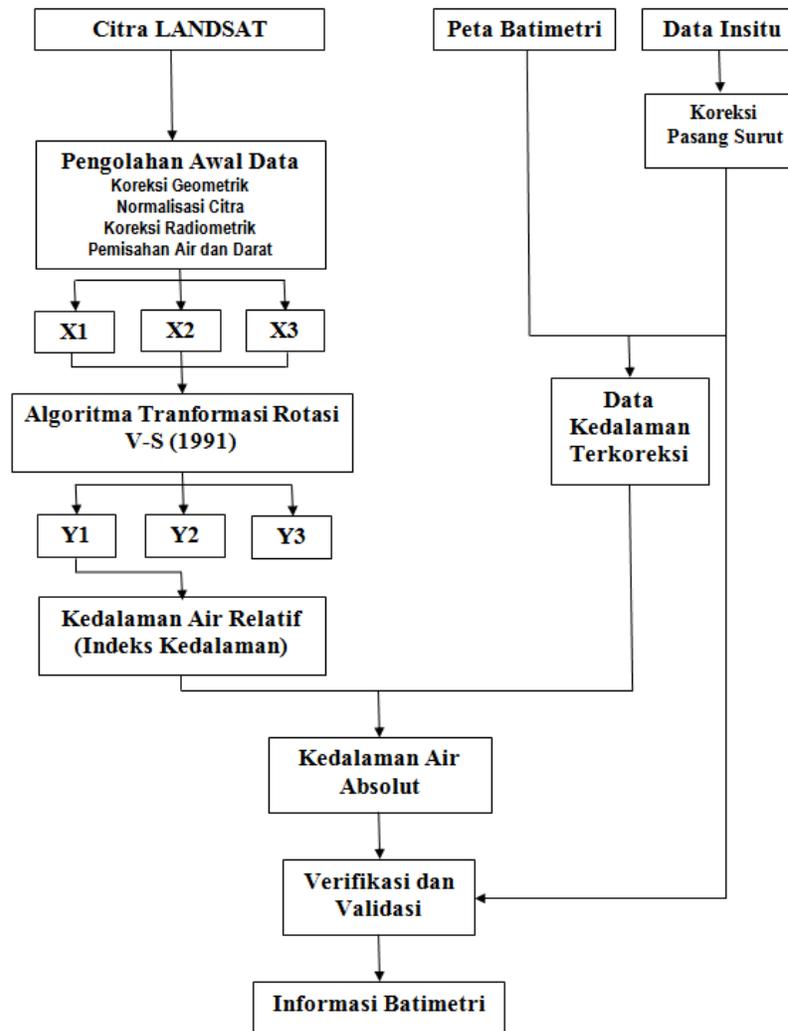
2. Metodologi Penelitian

Lokasi penelitian adalah Pulau Menjangan di Propinsi Bali (Gambar 2-1). Posisi Pulau Menjangan secara geografis terletak antara $114^{\circ} 29' 00''$ - $114^{\circ} 32' 00''$ Bujur Timur dan $08^{\circ} 05' 00''$ - $08^{\circ} 06' 30''$

Lintang Selatan dan secara administratif Pulau Menjangan berbatasan dengan laut Bali pada bagian Timur dan Utaranya dan berbatasan dengan Selat Bali pada bagian Selatan dan Baratnya.



Gambar 2-1. Lokasi Penelitian



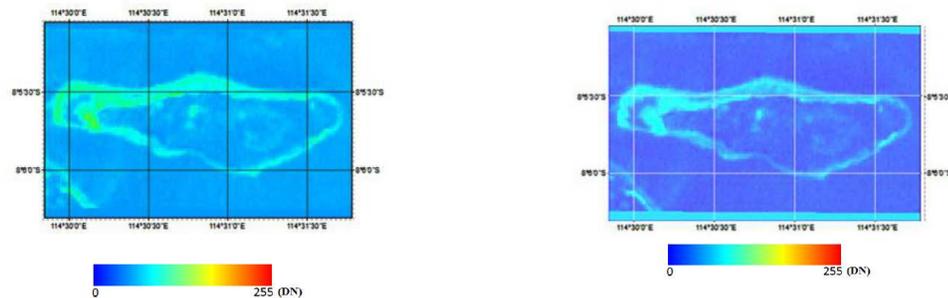
Gambar 2-2. Diagram Alir Penelitian

Kajian ini menggunakan tiga data citra satelit LANDSAT yang terdiri dari satu citra LANDSAT TM yang diakuisisi tanggal 19 Maret 1997 dan dua citra LANDSAT ETM+ yang diakuisisi pada tanggal 23 Juni 2000 dan 12 Maret 2003. Kemudian Peta Rupa Bumi skala 1: 25.000 dari BIG, Peta Batimetri skala 50.000 dari Dinas Hidrografi Februari 2006, data pasang surut periode Oktober 2006 – Agustus 2012 di stasiun Celukan Bawang Bali Utara BIG serta data kedalaman dari survei lapangan pada tanggal 21 Mei 2013.

Metode penelitian diawali dengan pengumpulan data, koreksi geometrik dengan referensi peta rupa bumi, normalisasi dengan referensi citra LANDSAT ETM+ yang diakuisisi tanggal 12 Maret 2003 (Trisakti, 2011), koreksi atmosferik dengan metode Jensen (1986) serta proses konversi dari digital number dari setiap band menjadi nilai reflektansi. Selanjutnya dilakukan pemisahan objek darat dan air dengan menggunakan rasio band antara band 4 dan band 2. Penggunaan metode algoritma V-S (1991) dimulai setelah dilakukan pemisahan antara objek darat dan air. Transformasi rotasi algoritma dari V-S (1991) dilakukan pada objek air untuk menghasilkan informasi kedalaman relatif (indeks kedalaman). Nilai kedalaman dari survei lapangan (data insitu) di gunakan dalam membuat model regresi untuk menghasilkan kedalaman absolut. Diagram alir penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 2-2.

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian ini menggunakan 4 band dari citra LANDSAT yaitu band 1, band 2, band 3, serta band 4 yang masing-masing memiliki resolusi spasial 30 meter. Band tersebut digunakan karena mampu menembus kedalaman air hingga kedalaman tertentu dan mampu membedakan objek darat dan air. Pengolahan data diawali dengan melakukan koreksi geometrik dari ketiga citra dan data hidrografi yang digunakan. Koreksi geometrik ini menggunakan referensi peta rupa bumi skala 1 : 25.000 yang dikeluarkan oleh BIG dengan RMS eror yang dihasilkan kurang dari 0,5 piksel. Untuk koreksi atmosferik dilakukan dengan menggunakan metode Jensen dengan hasil nilai masing-masing band setelah dikoreksi dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3-1. Band 1 Citra LANDSAT ETM+ (12 Maret 2003) sebelum (kiri) dan setelah (kanan) koreksi atmosferik

Selanjutnya dilakukan proses normalisasi yaitu suatu metode untuk meminimalkan nilai perbedaan dari nilai digital suatu objek yang sama pada ketiga citra tersebut. Pada proses normalisasi citra LANDSAT ETM+ yang diakuisisi pada tanggal 12 Maret 2003 dijadikan acuan dan memilih 4 daerah

objek yang invarian yaitu objek vegetasi, tanah terbuka, pasir dan laut. Model regresi normalisasi untuk dua citra yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3-1.

Tabel 3-1. Persamaan Regresi Proses Normalisasi

| Band | Citra LANDSAT TM 19 Maret 1997 | | Citra LANDSAT ETM+ 23 Juni 2000 | |
|------|-----------------------------------|----------------|------------------------------------|----------------|
| | Persamaan Regresi | R ² | Persamaan Regresi | R ² |
| B1 | y = 1.028x - 1.245 | 0.989 | y = 1.240x - 11.31 | 0.974 |
| B2 | y = 1.865x + 0.226 | 0.995 | y = 1.226x - 6.316 | 0.954 |
| B3 | y = 1.601x + 1.379 | 0,991 | y = 1.220x - 8.361 | 0.894 |
| B4 | y = 1.218x - 9.564 | 0.907 | y = 1.421x - 3.687 | 0.931 |
| B5 | y = 1.186x + 0.426 | 0.990 | y = 0.870x + 18.22 | 0.898 |

Setelah proses normalisasi dilakukan pada citra LANDSAT ETM+ yang diakuisisi tanggal 23 Juni 2000 dan citra LANDSAT TM yang diakuisisi tanggal 19 Maret 1997 selanjutnya nilai digital dari ke empat band tersebut dikonversi menjadi nilai reflektansi. Untuk mendapatkan nilai reflektansi dari masing-masing band digunakan persamaan (3-1) . Distribusi nilai hasil reflektansi band 1, band 2, dan band 3 dari citra LANDSAT TM 19 Maret 1997 , LANDSAT ETM + 23 Juni 2000 dan LANDSAT ETM + 12 Maret 2003 ditunjukkan pada gambar 3.2.

$$\rho_p = \frac{\pi \times L\lambda \times d^2}{ESUN\lambda \times \cos \theta_s} \dots\dots\dots(3-1)$$

$$L\lambda = \frac{(L_{Max\lambda} - L_{Min\lambda})}{(255 - 1)} \times (DN - 1) + L_{Min\lambda} \dots \dots(3-2)$$

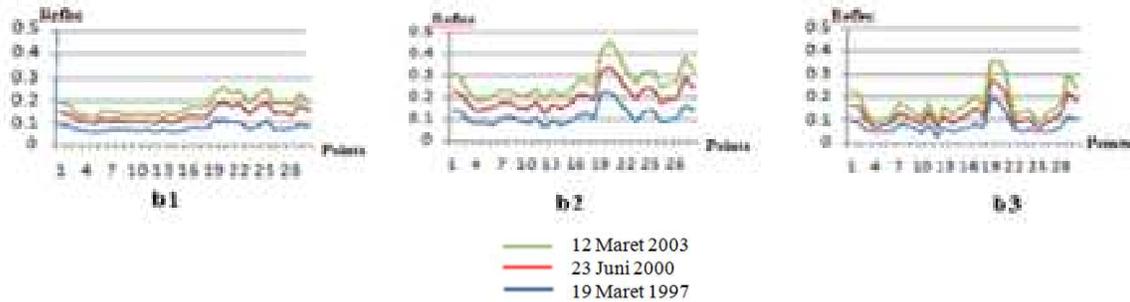
Dimana

- ρ_p : Reflektansi (Nilai antara 0 dan 1)
- π : Konstanta (3,142)
- $L\lambda$: Radians (μm)
- d : Jarak antara Matahari dan Bumi (m)
- $ESUN\lambda$: Irradians (watt)
- θ_s : Sudut Zenit (derajat)
- $L_{Max\lambda}$: Radians Maksimum pada panjang gelombang λ (μm)
- $L_{Min\lambda}$: Radians Minimum pada panjang gelombang λ (μm)
- DN : Nilai Digital (0 sampai 255)

Penelitian ini difokuskan pada objek air sehingga objek darat tidak disertakan dalam pengolahan. Untuk proses pemisahan obyek air dan darat menggunakan rasio band antara nilai spektral band 4 dengan nilai spektral band 2. Pemilihan rasio band tersebut karena band 4 merupakan band inframerah dekat yang memiliki daya serap tinggi terhadap obyek air sedangkan band 2 memiliki daya tembus yang besar dalam obyek air.

Adanya perbedaan waktu antara data survei lapangan dengan citra yang digunakan maka dilakukan analisa reflektansi di 30 daerah pada ke tiga data citra satelit yang digunakan. Distribusi nilai reflektansi dari ketiga citra ditunjukkan pada Gambar 3-2. Dengan melihat stabilitas pantulan dari tiga data

disimpulkan tidak ada perubahan yang terjadi didasar perairan Pulau Menjangan sehingga dapat meyakinkan bahwa data survei lapangan bisa digunakan sebagai alat untuk melakukan pembuatan model dan validasi. Kondisi ini berkaitan dengan perubahan data batimetri dapat terjadi dalam waktu yang relatif lama atau terjadi karena adanya peristiwa gempa bumi dengan kekuatan besar (Delescluse, 2012).



Gambar 3-2. Distribusi Nilai Reflektansi Band 1, Band 2 dan Band 3 dari 3 Data Citra LANDSAT

Algoritma V-S (1991) adalah pengembangan algoritma yang telah dipopulerkan oleh Lyzenga (1981). Algoritma ini menghasilkan nilai indeks kedalaman relatif yang didefinisikan dalam persamaan (3-3). Band yang digunakan dalam algoritma ini adalah tiga band yaitu band 1, band 2 dan band 3 yaitu band yang memiliki respon spektral yang terbaik untuk objek perairan. Menggunakan algoritma pengolahan citra V-S (1991), dimulai dengan mencari nilai dari arah rotasi r dan s menggunakan rumus dalam persamaan (3-4) dan (3-5), nilai rotasi r dan s yang di hasilkan adalah berturut-turut adalah 74,3934° dan 77,4170° untuk LANDSAT TM 19 Maret 1997, kemudian 69,6075° dan 81,7182 ° untuk LANDSAT ETM + 23 Juni 2000 serta 70,3309° dan 75,6532° untuk LANDSAT ETM + 12 Maret 2003. Setelah mendapatkan nilai-nilai r dan s selanjutnya menentukan nilai indeks kedalaman (kedalaman air relatif) menggunakan rumus (3-3). Hasil nilai kedalaman air relatif dari ketiga citra tersebut ditunjukkan pada Gambar 3-3.

Proses selanjutnya adalah untuk menentukan nilai kedalaman absolut dari data citra satelit. Nilai-nilai kedalaman absolut diperoleh dengan menggunakan persamaan regresi yang dibentuk dari nilai-nilai kedalaman relatif citra dengan data kedalaman di lapangan. Gambar 3-4 menunjukkan model regresi yang di buat untuk menentukan nilai kedalaman absolut. Untuk LANDSAT TM tanggal 19 Maret 1997 persamaan regresi yang digunakan adalah $Y = 1,874\ln(X) + 0,639$ dengan nilai R^2 0,671, untuk LANDSAT ETM + tanggal 23 Juni 2000 persamaan yang digunakan $Y = 2,447\ln(X) + 5,336$ dengan nilai R^2 0,796 dan untuk LANDSAT ETM + tanggal 12 Maret 2003 persamaan yang digunakan $Y = 2,988 \ln(X) + 5,535$ dengan nilai R^2 0,931. Kedalaman absolut yang dihasilkan memiliki nilai satuan meter.

$$Y1 = (\cos(r) \times \sin(s) \times X1) + (\sin(r) \times \cos(s) \times X2) + (\sin(s) \times X3) \dots \quad (3-3)$$

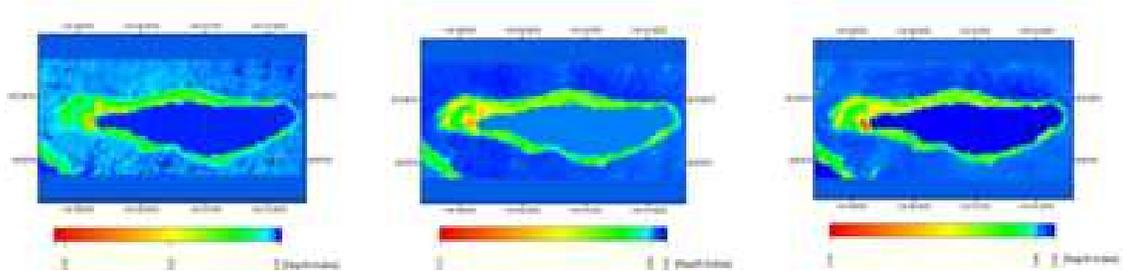
$$r = \arctan (Ur + \sqrt{Ur^2 + 1}) \dots \dots \dots \quad (3-4)$$

$$s = \arctan (Us + \sqrt{Us^2 + 1}) \dots \dots \dots \quad (3-5)$$

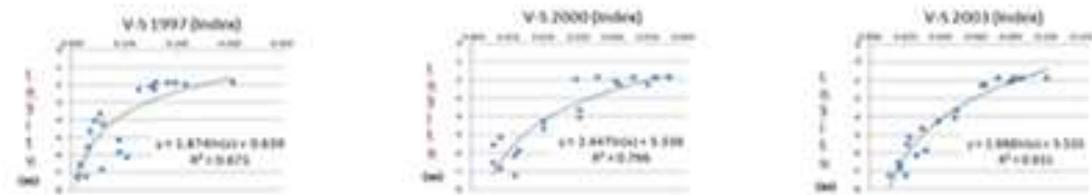
$$Ur = \frac{Var x2 + Var x1}{2 Cov x1x2} \dots \dots \dots \quad (3-6)$$

$$U_s = \frac{Var\ x_3 + Var\ x_1}{2\ Cov\ x_1x_3} \dots\dots\dots(3-7)$$

- Dimana
 Y1 : Kedalaman air relatif (Indeks Kedalaman)
 Xi : Reflektansi spektral band ke i (i=1,2,3)
 r dan s : Parameter rotasi
 Var Xi : Nilai Variansi dari spektral band i
 Cov XiXj : Nilai Kovariansi dari spektral band i dan band j



Gambar 3-3. Kedalaman air Relatif hasil Algoritma Tranformasi Rotasi V-S (1991) dari Citra LANDSAT TM 19 Maret 1997 (kiri), Citra LANDSAT ETM+ 23 Juni 2000 (tengah) dan Citra LANDSAT ETM+ 12 Maret 2003 (kanan)

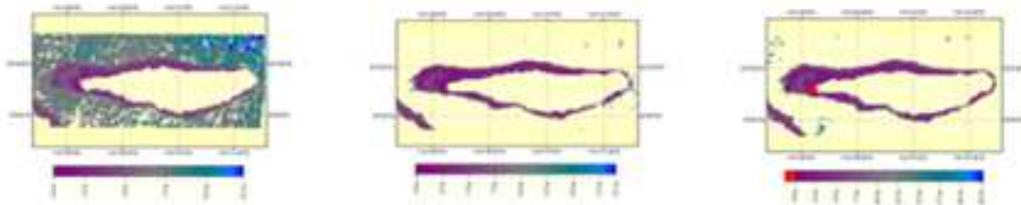


Gambar 3-4. Persamaan regresi untuk menghasilkan kedalaman absolut dari Citra LANDSAT TM 19 Maret 1997 (kiri), Citra LANDSAT ETM+ 23 Juni 2000 (tengah) dan Citra LANDSAT ETM+ 12 Maret 2003 (kanan)

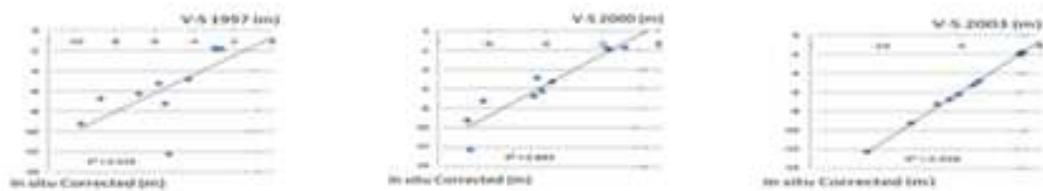
Hasil kedalaman absolut dari masing-masing citra LANDSAT TM 19 Maret 1997, LANDSAT ETM + 23 Juni 2000 dan LANDSAT ETM + 12 Maret 2003 ditunjukkan pada Gambar 6 . Dari gambar terlihat untuk citra LANDSAT TM tanggal 19 Maret 1997 menghasilkan nilai kedalaman absolut pada interval -0,6 m sampai -12,3 m. Untuk citra LANDSAT ETM + tanggal 23 Juni 2000 interval kedalaman absolut yang dihasilkan pada interval 0 m sampai -19,1 m. Sedangkan dari citra LANDSAT ETM + tanggal 12 Maret 2003 menghasilkan nilai kedalaman absolut pada interval 0 m sampai -22,5 m (Gambar 3-5). Kondisi ini mendekati dengan hasil Jupp (1988) yang mampu mencapai penetrasi hingga -25 m.

Hasil dari ekstraksi kedalaman absolut dari ketiga citra LANDSAT tersebut masih menghasilkan nilai kedalaman pada area laut dalam yang kedalaman nya lebih dari 25 m menurut peta batimetri dari dinas hidrografi. Kondisi tersebut terjadi pada citra LANDSAT TM tanggal 19 Maret 1997 yaitu munculnya nilai ekstraksi kedalaman absolut pada daerah laut dalam. Kejadian tersebut juga terjadi pada dua citra LANDSAT ETM+ lainnya, namun relatif lebih sedikit. Hal tersebut terjadi berkaitan dengan kualitas data citra yang digunakan masih terdapat awan tipis. Kemudian ekstraksi kedalaman absolut pada citra LANDSAT ETM+ tanggal 12 Maret 2003 juga menghasilkan daerah yang berwarna merah yang bernilai positif yang teridentifikasi merupakan daerah akresi.

Validasi informasi batimetri yang dihasilkan dilakukan dengan cara menentukan nilai error yang di hasilkan dengan menggunakan sepuluh titik yang di kumpulkan pada saat survei lapangan. Informasi batimetri menggunakan algoritma V-S (1991) menghasilkan nilai error yang bervariasi di setiap titik kedalaman. Sedangkan untuk akurasi di hitung menggunakan matriks eror yang dibuat pada interval kedalaman 4 m. Rata-rata eror yang terjadi pada citra LANDSAT TM 19 Maret 1997 adalah 29% sedangkan akurasi yang dihasilkan adalah 80 % serta memiliki korelasi R^2 0,439. Untuk citra LANDSAT ETM + tanggal 23 Juni 2000 rata-rata eror yang dihasilkan adalah 24% nilai akurasi 70% koefisien korelasi R^2 0,883. Sedangkan untuk citra LANDSAT ETM + tanggal 12 Maret 2003 rata-rata eror yang dihasilkan adalah 21%, nilai akurasi 80% serta koefisien korelasi R^2 0,998 (Gambar 3-6). Sedangkan dalam Wahyuningrum, *et.al.* (2008) aplikasi metode V-S (1991) di perairan Pulau Pari Kepulauan Seribu DKI Jakarta menghasilkan koefisien korelasi R^2 0.8 menggunakan data citra LANDSAT 7 ETM+.



Gambar 3-5. Hasil Kedalaman Absolut dari Citra LANDSAT TM 19 Maret 1997 (kiri), Citra LANDSAT ETM+ 23 Juni 2009 (tengah) dan Citra LANDSAT ETM+ 12 Maret 2003 (kanan)



Gambar 3-6. Korelasi kedalaman absolut dengan kedalaman lapang dari Citra LANDSAT TM 19 Maret 1997 (kiri), Citra LANDSAT ETM+ 23 Juni 2009 (tengah) dan Citra LANDSAT ETM+ 12 Maret 2003 (kanan)

4. Kesimpulan

Algoritma transformasi rotasi V-S (1991) dapat digunakan untuk mengekstraksi informasi batimetri di Pulau Menjangan Bali. Ekstraksi informasi batimetri dari citra LANDSAT TM tanggal 19 Maret 1997 menghasilkan rata-rata eror sebesar 29 %, akurasi sebesar 80 % serta memiliki korelasi R^2 0,439. Untuk citra LANDSAT ETM + tanggal 23 Juni 2000 menghasilkan rata-rata eror sebesar 24 %, akurasi sebesar 70 % serta koefisien korelasi R^2 0,883. Sedangkan untuk citra LANDSAT ETM + tanggal 12 Maret 2003 menghasilkan rata-rata eror sebesar 21 %, akurasi sebesar 80 % serta koefisien korelasi R^2 0,998. Penelitian ini menunjukkan bahwa citra satelit LANDSAT berpotensi untuk mengekstraksi informasi batimetri dan variasi eror yang di hasilkan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya dipengaruhi oleh kualitas data citra yang digunakan.

5. Daftar Rujukan

- Benny, A. H. and Dawson, G. J. 1983. *Satellite imagery as an aid to bathymetric charting in the Red Sea*. *Cathographic Journal*, 20: 5-16.
- Butler, M.J.A, Mouchot C, Barote V, Blanc LC. 1988. *The Application of Remote Sensing Technology to Marine Fisheries*. An Introductory Manual. FAO Fisheries Technical Paper No.295. Rome: FAO.129 p.
- Danoedoro, P. 1996. *Pengolahan Citra Digital: Teori dan Aplikasinya dalam Bidang Penginderaan Jauh*. Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gajah Mada. 254 hlm.
- Delescluse. 2012. From The World Web Wide : http://www.bbc.co.uk/indonesia/majalah/2012/09/120927_sumatra_quake.shtml
- Jensen, J.R. 1986. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. New Jersey: Prentice Hall. 276 p.
- Jerlov NG, Nielsen ES. 1974. *Optical Aspect of Oceanography*. London and New York: Academic Press. 494 p.
- Jupp, D.L.B. 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. Gold Coast. Queensland. IV.2.1 – IV.2.19.
- Lillesand, T.M., Kiefer RW. 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation*.
- Lyzenga, D.R. 1978. *Passive Remote Sensing Techniques for Mapping Water depth and Bottom Features*. *Applied Optics* 17:379-383.
- Lyzenga, D.R. 1981. *Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameter in shallow water using aircraft and Landsat data*. *International Journal of Remote Sensing*, 2:71-82.
- Lyzenga, D.R. 1985. *Shallow-water Bathymetry Using Combined Lidar and Passive Multispectral Scanner Data*. *Int. J. Remote Sens.* 6: 115–125.
- Paredes, J.M., Spero RE. 1983. *Water Depth Mapping from Passive Remote Sensing Data Under a Generalized Ratio Assumption*. *Applied Optics* 22:1134-1378.
- Sager, W. 1998. *Measuring The Depth*. *Quarterdeck Online* Winter 1998 / Spring 1999; Vol. 6, No. 3. <http://oceanography.tamu.edu/Quarterdeck/1998/3/sager-2.html>.
- Sidabutar, H.M. 2000. *Pemetaan Terumbu Karang Menggunakan Citra Satelit LANDSAT TM Di Pulau Menjangan, Bali Barat*. [Skripsi]. Bogor: Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor.
- Spitzer, D., Dirks RW. 1987. *Bottom Influence on The Reflection of The Sea*. *International Journal of Remote Sensing* 8:279-290.
- Trisakti, B. dan Nugroho, G. b. 2011, *Standarisasi Koreksi Data Satelit Multi Temporal dan Multi Sensor (LANDSAT TM / ETM + AND SPOT-4)*, Bidang Sumber Daya Wilayah Darat, Pusfatja. LAPAN. 2011.
- Van Hengel, W. and Spitzer D. 1991. *Multi-temporal Water Depth Mapping by Means of Landsat TM*. *International Journal of Remote Sensing* 12:703-712.
- Wahyuningrum, I.P., Jaya I, Simbolon D. 2008. *Algoritma untuk Estimasi Kedalaman Perairan Dangkal Menggunakan Data Landsat-7 ETM+ (Studi Kasus : Gugus Pulau Pari, Kepulauan Seribu Jakarta)* Buletin PSP. Volume XVII. No. 3.