

ESTIMASI BATIMETRI DARI DATA SPOT 7 STUDI KASUS PERAIRAN GILI MATRA NUSA TENGGARA BARAT

(BATHYMETRY ESTIMATION OF SPOT 7 CASE STUDY OF GILI MATRA WEST NUSA TENGGARA WATERS)

Kuncoro Teguh Setiawan^{1,*}, Masita Dwi Mandini Manessa², Gathot Winarso¹, Nanin Anggraini¹,
Gigih Giarrastowo¹, Wikanti Asriningrum¹, Herianto³, Syamsu Rosid⁴ dan A. Harsono Supardjo⁴

¹Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, LAPAN

²Departemen Geografi, Universitas Indonesia

³Badan Informasi Geospasial

⁴Departemen Fisika, Universitas Indonesia

*E-mail: kunteguhs@gmail.com

Diterima 31 Agustus 2018; Direvisi 26 Desember 2018; Disetujui 3 Januari 2019

ABSTRACT

Indonesia is an archipelagic state consists of five large islands and thousands of small islands surrounded by shallow marine waters. For this reason, complete and accurate bathymetric information is needed. Large scale bathymetry data in Indonesian waters is still limited, including in the shallow sea waters of Gili Matra, NTB Province. To overcome these problems, remote sensing technology is used. The aim of the study was to analyze the effect of shallow marine habitat base objects on estimating bathymetry from SPOT 7 satellite images. Many methods can be used to produce estimated bathymetry with this technology. The analysis used in this study is multiple linear regression (MLR). The data used is SPOT 7 satellite imagery in the shallow sea waters of Gili Matra, West Nusa Tenggara Province. The estimation of bathymetry was carried out using insitu depth data with two modifications. The first modification did not pay attention to the basic habitat object types and the second modification paid attention to the coral habitat, seagrass, macroalgae and substrate objects. The results of this study provide the value of determination R^2 which increased from 72.1% to 78.6% and decreased the RMSE value from 3.3 meters to 2.9 meters.

Keywords: *Bathymetry, Multiple Linier Regression, SPOT 7*

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terdiri dari lima pulau besar dan ribuan pulau kecil yang dikelilingi perairan laut dangkal. Untuk itu diperlukan informasi batimetri yang lengkap dan akurat. Data batimetri skala besar diperairan Indonesia keberadaannya masih terbatas termasuk di wilayah perairan laut dangkal Gili Matra Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB), untuk mengatasi permasalahan tersebut digunakan teknologi penginderaan jauh. Tujuan penelitian adalah menganalisis pengaruh objek habitat dasar perairan laut dangkal terhadap estimasi batimetri dari citra satelit SPOT 7. Banyak metode yang dapat digunakan untuk menghasilkan estimasi batimetri dengan teknologi tersebut. Analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah regresi linier berganda (MLR). Data yang di gunakan adalah citra satelit SPOT 7 di perairan laut dangkal Gili Matra Provinsi NTB. Estimasi batimetri dilakukan dengan menggunakan data kedalaman insitu dengan dua modifikasi. Modifikasi yang pertama tidak memperhatikan jenis objek habitat dasar dan modifikasi kedua memperhatikan objek habitat dasar karang, lamun, makroalga dan substrat. Hasil dari penelitian ini memberikan nilai determinasi R^2 yang meningkat dari 72,1% menjadi 78,6% serta penurunan nilai RMSE dari 3,3 meter menjadi 2,9 meter.

Kata Kunci: *Batimetri, Regresi Linier Berganda, SPOT 7*

1 PENDAHULUAN

Teknologi penginderaan jauh sangat efektif dan efisien dimanfaatkan untuk menyusun dan merevisi informasi sumber daya alam sehingga teknologi tersebut berguna untuk mendukung perencanaan dan manajemen sumber daya (Manessa *et al.*, 2016). Salah satu informasi sumber daya alam yang dapat dihasilkan dari teknologi penginderaan jauh adalah batimetri. Batimetri merupakan informasi penting yang berisi kedalaman perairan dan topografi bawah laut. Banyak aspek laut baik perencanaan spasial, lingkungan laut, budidaya perairan memerlukan data batimetri (Hell *et al.*, 2012). Saat ini, teknologi penginderaan jauh memberikan peluang bagi pemetaan batimetri. Pemetaan batimetri penting untuk zona pesisir dan peta navigasi keselamatan pelayaran. Pengukuran batimetri secara konvensional di daerah dangkal dan bergelombang seperti di daerah terumbu sangat sulit dan mahal bahkan terkadang sangat berbahaya (Kanno *et al.*, 2011). Oleh karena itu teknologi penginderaan jauh sangat diharapkan dalam mendukung pemetaan batimetri khususnya pada perairan dangkal.

Kedalaman maksimum yang dapat dideteksi oleh citra satelit adalah fungsi dari panjang gelombang dan kecerahan perairan. Pada kondisi air jernih, 490 nm saluran spektral dapat mendeteksi hingga kedalaman 30 meter. Pada kondisi air yang sama, saluran dengan spektrum 430-580 nm dan 400 hingga 610 nm mampu mendeteksi hingga 20 meter dan kedalaman 10 meter masing-masing. Variasi spektral ini per

kedalaman adalah dasar dari sistem penginderaan jauh untuk mendeteksi objek perairan bawah dan batimetri (Manessa *et al.*, 2016). Informasi kedalaman merupakan salah satu aspek yang sangat penting untuk kegiatan manajemen sumber daya kelautan, estimasi batimetri perairan laut dangkal.

Perkembangan pemanfaatan teknologi penginderaan jauh untuk ekstraksi batimetri sudah banyak dilakukan baik dari data citra satelit yang berbeda maupun metode ekstraksi yang berbeda. Dengan menggunakan data Landsat - OLI sudah dilakukan beberapa metode ekstraksi batimetri oleh Pacheco *et al.* (2015); Jagalingan *et al.* (2015); Vinayaraj *et al.* (2016); Pushparaj dan Hegde (2017) menurut Manessa *et al.* (2016). Metode estimasi batimetri dengan menggunakan data SPOT 6/7 juga telah dilakukan oleh Arya *et al.* (2016), dan Manessa *et al.* (2016). Metode estimasi batimetri dengan menggunakan data Worldview telah dilakukan pula oleh Kanno *et al.* (2013); Yuzugullu dan Aksoy (2014); Eugenio *et al.* (2015); Manessa *et al.* (2016); Guzinski *et al.* (2016); Hernandez & Armstrong (2016).

Manessa *et al.* (2017) melakukan pemetaan batimetri analisis regresi linier berganda (MLR) dengan menggunakan data SPOT 6. Penelitian ini merupakan pengembangan yang telah dilakukan Manessa *et al.* (2017) dengan memperhatikan tutupan dasar perairan laut dangkalnya dalam kelas karang, lamun, makroalga dan substrat. Menurut Budhiman *et al.* (2013), pengambilan *training sample*

pada substrat dasar perairan yang tidak sama dan memiliki nilai radiansi yang sangat berbeda.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan analisis linier regresi berganda (MLR) yang dikembangkan Kanno *et al.* (2011) dengan melakukan modifikasi penggunaan data insitu. Penggunaan data insitu dilakukan dengan memperhatikan obyek habitat dasar perairan dangkal yang dikelaskan dalam karang, lamun, makroalga dan substrat dasar. Data citra satelit yang digunakan adalah data citra SPOT 7 yang dilengkapi dengan band Biru, band Hijau, band Merah dan band Inframerah dekat.

Pada penelitian ini mengkaji dan menganalisis pengaruh dari setiap objek habitat dasar perairan laut dangkal tersebut terhadap hasil ekstraksi informasi batimetri. Keempat objek yang digunakan dalam proses pemodelan adalah karang, lamun, makroalga, dan substrat dasar. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh objek habitat dasar perairan laut dangkal terhadap model estimasi batimetri dari citra satelit SPOT 7 serta menentukan akurasi yang dihasilkan dari model tersebut.

2 METODOLOGI

2.1 Lokasi dan Data

Lokasi penelitian berada pada daerah perairan laut dangkal Gili Matra meliputi perairan Gili Trawangan, Gili Meno dan Gili Air NTB (Gambar 2-1). Penelitian ini dilakukan di lokasi tersebut karena memiliki perairan yang

jernih serta memiliki empat objek habitat dasar perairan laut dangkal yang terdiri karang, lamun, makro alga, dan substrat. Kondisi tersebut merupakan dukungan terkait persyaratan yang harus dipenuhi bila akan menggunakan teknologi penginderaan jauh serta model yang digunakan. Selain itu lokasi tersebut merupakan daerah konservasi perairan nasional, sehingga berharap penelitian dapat dimanfaatkan untuk mendukung dalam pengelolaan kawasan konservasi terutama terkait peta batimetri yang dihasilkan.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data citra satelit SPOT 7 dengan resolusi spasial 6 meter multispektral. Waktu perekaman citra adalah 28 Juni 2018 pukul 10:12:49 Waktu Indonesia Bagian Tengah. SPOT 7 merupakan satelit yang diluncurkan oleh SPOT Image. Citra SPOT 7 memiliki empat band spektral yang meliputi Biru, Hijau, Merah, dan Inframerah-dekat.

Selain itu digunakan data survei hidrografi di Perairan Gili Matra Provinsi NTB. Data tersebut dikumpulkan pada saat survei lapangan yang dilaksanakan pada tanggal 22 – 28 Juni 2018 dengan cara mengukur menggunakan *single beam echosounder* dan sistem penentu posisi global *Differential Global Positioning System* (DGPS). Studi ini mengkaji pengaruh objek dasar perairan terhadap ekstraksi batimetri dengan menggunakan metode regresi linier berganda di Kepulauan Gili Matra, Lombok Nusa Tenggara Barat.



Gambar 2-1: Lokasi penelitian

2.2 Metode

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan pemrosesan data yaitu koreksi pasang surut, prapengolahan citra dan ekstraksi batimetri.

Koreksi Pasang Surut

Data kedalaman yang diukur dari survei hidrografi dipengaruhi oleh kondisi pasang surut. Koreksi kedalaman diukur dari rata-rata permukaan laut (MSL). Data pasang surut di peroleh dari pengukuran lapangan serta data dari stasiun pasang surut.

Prapengolahan Citra

Pengolahan awal citra satelit meliputi koreksi radiometrik dan atmosferik. Proses pengolahan awal dilakukan dalam rangka untuk mendapatkan data citra standar sebelum proses pengolahan lanjutan.

Estimasi Batimetri

Metode estimasi batimetri dilakukan menggunakan citra satelit SPOT 7. Estimasi batimetri merupakan tahapan proses penurunan informasi kedalaman laut dari citra penginderaan jauh dengan memanfaatkan setiap nilai piksel citra yang merupakan pantulan dari masing-masing panjang gelombang visible dari citra SPOT 7. Estimasi batimetri menggunakan model *Satellite Derived Bathymetry* (SDB) dengan analisis regresi linier berganda dikembangkan dari Kanno *et al.* (2011). Proses pengolahan dilakukan menggunakan perangkat lunak pengolahan yang dijalankan dengan script yang ditulis pada perangkat lunak pemrograman R32 yang di kembangkan oleh Manessa *et al.* (2016).

Proses perhitungan batimetri dengan analisis regresi linier berganda (MLR) menggunakan data SPOT 7 dengan modifikasi penggunaan data lapangan. Modifikasi pertama adalah dengan menggunakan semua data kedalaman insitu tanpa memperhatikan objek habitat dasarnya. Modifikasi

kedua menggunakan data kedalaman insitu yang dipisahkan menurut jenis objek habitat dasarnya yang terdiri dari karang, lamun, makroalga dan substrat.

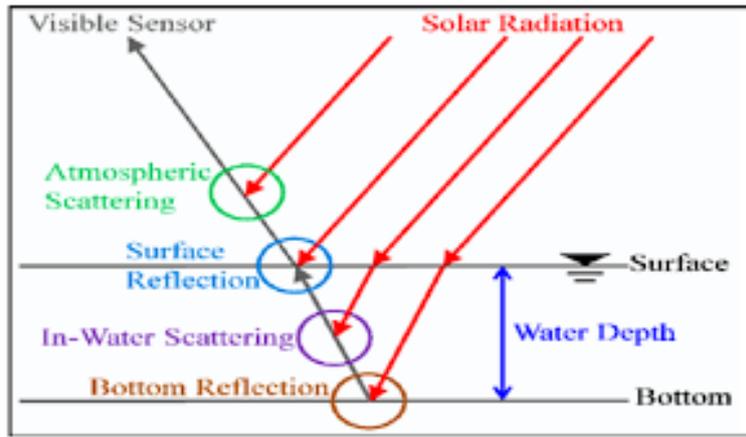
Kedua modifikasi tersebut dilakukan dalam rangka mencari nilai akurasi terbaik dari metode yang digunakan. Berdasarkan pemantauan saat survei lapangan kondisi perairan laut dangkal di Gili Terawangan, Gili Meno, Gili Air, selain memiliki perairan jernih juga memiliki habitat dasar dari keempat objek yang diinginkan.

Dalam konsep estimasi batimetri laut dangkal dengan citra satelit, terdapat tiga komponen pokok yaitu: kondisi atmosfer, reflektansi tutupan dasar dan skater kolom air (Gambar 2-2). Konsep inilah yang menjadi dasar untuk mengkaji pengaruh reflektansi tutupan dasar yang merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi estimasi batimetri.

Komponen reflektansi permukaan dasar laut merupakan komponen utama yang digunakan sebagai nilai dalam menghasilkan kedalaman laut, sedangkan tiga komponen lainnya sebagai komponen residu atau *noise* yang perlu dihilangkan atau dicari nilainya untuk mengkoreksi nilai spektral dari citra yang diterima oleh sensor satelit. Refleksi dari semua komponen tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$L(\lambda) = \{V+(B-V) \exp(-kh)\} TE+S+A \dots\dots\dots (1)$$

- L(λ) : *Spectral radiance* dari panjang gelombang sinar tampak
- V : Nilai *scattering* air (*in water scattering*)
- B : Nilai reflektan dasar laut (*Bottom reflectan*)
- k : Nilai koefisien atenuasi
- h : Nilai kedalaman insitu (*Insitu depth*)
- T : Nilai transmisi pada atmosfer dan permukaan air
- E : Nilai transmisi kebawah (*downwelling irradiance atmosphere*)
- S : Nilai Pantulan permukaan air (*Surface reflection*)
- A : Nilai hamburan Atmosferik (*Atmosphere Scatering*)



Gambar 2-2: Konsep Estimasi Batimetri (Kanno *et al.*, 2011)

Kanno *et al.* (2011) memasukkan nilai saluran NIR (*Near Infra Red*) dalam modelnya. Hal ini dipertimbangkan sebagai nilai untuk mengkoreksi nilai piksel pada saluran Biru, Hijau dan Merah karena pada saluran NIR dianggap seluruhnya terabsorpsi oleh air sehingga nilai saluran NIR digunakan sebagai pengganti nilai piksel pada perairan laut dalam yang dianggap seluruhnya sebagai *noise*. Kemudian dirumuskan sebagai berikut:

$$L_{\infty}(\lambda) = VTE + S + A = \alpha_0 + \alpha_1 L(\lambda_{NR}) \dots\dots (2)$$

$$L(\lambda) = (B - V) \exp(-kh) TE + \alpha_0 + \alpha_1 L(\lambda_{NR}) \dots (3)$$

- $L_{\infty}(\lambda)$: *Spectral radiance* dari panjang gelombang NIR
- α_0 : Nilai konstanta pada saluran tampak
- $\alpha_1 L(\lambda_{NR})$: Nilai konstanta pada saluran NIR

Ketika rumus persamaan 2 disubstitusikan ke dalam rumus persamaan 1 dan dimasukkan ke dalam nilai kuantitas X maka dirumuskan sebagai berikut:

$$X(\lambda) = \log\{L(\lambda) - \alpha_0 - \alpha_1 L(\lambda_{NR})\} = -kh + \log\{(B - V)TE\} \dots\dots\dots (4)$$

$$X = (1X_1 \dots X_M)$$

$$K = (0k_1 \dots k_M)$$

$$C = (1 \log\{(B_1 - V_1)T_1E_1\} \dots \log\{(B_M - V_M)T_ME_M\})$$

$$X = -hk + C \dots\dots\dots (5)$$

Pada metode Lyzenga nilai estimasi kedalaman dirumuskan sebagai berikut:

$h = X \beta \dots\dots\dots (6)$
 dengan β memiliki dimensi $M+1$ dan M adalah jumlah band yang digunakan dan memenuhi kondisi sebagai berikut:

$$k\beta = -1$$

$$C\beta = 0$$

Hasil batimetri dari setiap piksel reflektansi citra SPOT 7 di perairan laut dangkal dengan menggunakan model regresi linier berganda adalah sebagai berikut:

$$h = \beta_0 + \beta_{blue} \cdot X_{blue} + \beta_{green} \cdot X_{green} + \beta_{red} \cdot X_{red} \dots\dots\dots (7)$$

- h : hasil nilai kedalaman perhitungan model
- β_0 : Offset
- β_{blue} : koefisien untuk band Biru
- β_{green} : koefisien untuk band Hijau
- β_{red} : koefisien untuk band Merah
- X_{blue} : nilai spektral reflektansi dari band Biru citra SPOT 7
- X_{green} : nilai spektral reflektansi dari band Hijau citra SPOT 7
- X_{red} : nilai spektral reflektansi dari band merah citra SPOT 7

Proses perhitungan nilai kedalaman h dilakukan dengan menggunakan 30% data kedalaman insitu yang dipilih secara acak dengan model dinamis sebanyak 100 kali pengulangan yang dilakukan dengan menggunakan *script software* R32 yang dikembangkan oleh Manessa *et al.* (2016).

Uji Akurasi

Akurasi model diperhitungkan berdasarkan koefisien determinasi (R^2) dan RMSE (*Root Mean Square Error*). Proses perhitungan dilakukan melalui validasi silang secara acak dengan menggunakan 70% data kedalaman insitu dengan 100 kali pengulangan. Semua proses perhitungan dilakukan dengan *software* R32 yang dikembangkan oleh Manessa *et al.* (2016). Persamaan yang digunakan untuk menghitung determinasi R^2 dan RMSE adalah sebagai berikut:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i (h_i - \hat{h}_i)^2}{\sum_i (h_i - \bar{h})^2} \dots (8)$$

$$RMSE = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \hat{h}_i)^2}{n} \right)^{0.5} \dots (9)$$

- h : adalah kedalaman insitu
- \hat{h} : adalah kedalaman hasil ekstraksi citra SPOT 7
- \bar{h} : adalah mean dari kedalaman insitu
- n : adalah jumlah data input

Proses validasi selanjutnya adalah menentukan pemenuhan standar ketelitian berdasarkan IHO S44 (IHO, 2008). Data batimetri hasil model linier berganda dianalisis dengan menggunakan data lapangan dan dihitung orde ketelitian berdasarkan standar IHO-S44 yang terdiri dari orde spesial, orde 1A/1B, dan orde 2. Kriteria yang digunakan adalah nilai total ketidakpastian vertikal (TVU). Ada dua macam kesalahan yang dapat mempengaruhi ketidakpastian kedalaman, yaitu kesalahan yang bergantung pada kedalaman dan yang tidak bergantung pada kedalaman. Persamaan 10 berikut, digunakan untuk menghitung TVU maksimum. Adapun parameter “a” dan “b” pada masing-masing ordo diberikan dalam Tabel 2-1.

$$TVU = \pm \sqrt{a^2 + (b \times d)^2} \dots (10)$$

- a : koefisien ketidakpastian yang tidak bergantung dengan kedalaman
- b : koefisien ketidakpastian yang bergantung pada kedalaman
- d : kedalaman

Pembagian orde merupakan bagian dari pengelompokan tingkat akurasi yang dibangun dalam rangka pemanfaatan untuk peta hidrografi. Orde spesial dikhususkan untuk penentuan arah pelayaran hingga penentuan dermaga. Untuk orde 1A/1B dan orde 2 mempunyai akurasi yang lebih rendah dari orde spesial.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan batimetri dari modifikasi pertama dengan menggunakan semua data kedalaman lapangan secara langsung tanpa melakukan pemisahan objek habitat dasarnya. Hasil perhitungan algoritma MLR yang diproses dengan menggunakan *software* R32 dengan *script* yang dikembangkan oleh Manessa *et al.* (2016) mendapatkan nilai koefisien untuk nilai band 1, band 2 dan band 3 serta konstanta masing-masing adalah 23.65245, -25.4205, 1.166488, dan -1.81045, sehingga persamaan MLR yang digunakan untuk menentukan batimetri dari citra SPOT 7 adalah

$$h = 23,65245 X1 - 25,4205 X2 + 1,166488 X3 - 1,81045$$

- h : nilai batimetri dari metode MLR
- X1 : nilai reflektansi band Biru citra SPOT 7
- X2 : nilai reflektansi band Hijau citra SPOT 7
- X3 : nilai reflektansi band Merah citra SPOT 7

TABEL 2-1: NILAI MAKSIMUM TVU DENGAN TINGKAT KEPERCAYAAN 95% (Sumber: IHO, 2008)

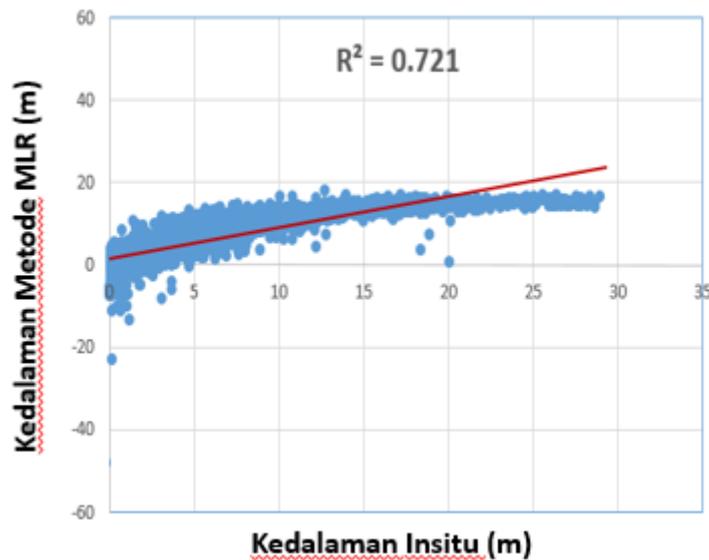
Ordo	a	b
Ordo Spesial	0,250	0,0075
Ordo 1A	0,500	0,0130
Ordo 1B	0,500	0,0130
Ordo 2	1,000	0,0230

Hasil pengolahan penentuan batimetri dengan modifikasi pertama yang dilakukan secara menyeluruh dengan penggunaan data kedalaman insitu sebanyak 3254 data menghasilkan R^2 dan nilai RMSE sebesar 72,1% dan 3,3 meter (Gambar 3-1). Nilai R^2 72,1% menjelaskan bahwa nilai batimetri yang dihasilkan dari pemodelan mempunyai keterwakilan pada model tersebut sebesar 72,1%. RMSE menjelaskan masih adanya kesalahan vertikal dari hasil pemodelan batimetri sebesar 3,3 meter.

Hasil ketelitian berdasarkan standar IHO S44 yang dibuat berdasarkan interval kedalaman terlihat bahwa yang masuk dalam orde spesial terbesar terdapat pada interval kedalaman kurang dari 10,1 sampai dengan 15 meter dengan memiliki

akurasi 1,6 meter. Pada model ini akurasi batimetri yang dihasilkan cukup baik terjadi pada interval kedalaman antara 10 meter hingga 15 meter.

Dari Tabel 3-1, hasil ketelitian berdasarkan standar IHO S44 dapat dijelaskan bahwa, dengan menggunakan data lapangan sebanyak 3254 buah data yang terbagi dalam 7 interval kedalaman menghasilkan nilai akurasi yang berbeda-beda. Pada kedalaman kurang dari 1 meter memiliki ketelitian 1,9 meter dengan rincian data kedalaman yang diperoleh sebanyak 395 data dan terdiri dari 10 % masuk pada ketelitian orde spesial; 10 % masuk pada ketelitian orde 1a/1b; 21 % masuk pada ketelitian orde 2 serta 59 % *exclude*.



Gambar 3-1: Distribusi hasil batimetri modifikasi pertama

TABEL 3-1: HASIL KETELITIAN MODIFIKASI PERTAMA (TVU, IHO S44)

DATA KEDALAMA N (meter)	Total Jumlah Data (3254)	Orde			Exclud e (%)	Ketelitia n (meter)
		Spesial (%)	1A/1B (%)	2 (%)		
< 1	395	10	10	21	59	1.9
1 - 2	565	11	6	20	63	2.2
2.1 - 5	909	9	6	16	69	2.5
5.1 - 10	600	4	6	14	76	2.6
10.1 - 15	402	13	12	20	55	1.6
15.1 - 20	244	4	2	6	88	3.4
> 20	139	0	0	0	100	9.5

Pada kedalaman 1 sampai dengan 2 meter memiliki ketelitian 2,2 meter dengan rincian data kedalaman yang diperoleh sebanyak 565 data dan terdiri dari 11 % masuk pada ketelitian orde spesial; 6 % masuk pada ketelitian orde 1a/1b; 20 % masuk pada ketelitian orde 2 serta 63 % *exclude*.

Pada kedalaman 2,1 meter hingga 5 meter memiliki ketelitian 2,5 meter dengan rincian data kedalaman yang diperoleh sebanyak 909 data dan terdiri dari 9 % masuk pada ketelitian orde spesial; 6 % masuk pada ketelitian orde 1a/1b; 16 % masuk pada ketelitian orde 2 serta 69 % *exclude*.

Pada kedalaman 5,1 meter hingga 10 meter memiliki ketelitian 2,6 meter dengan rincian data kedalaman yang diperoleh sebanyak 600 data dan terdiri dari 4 % masuk pada ketelitian orde spesial; 6 % masuk pada ketelitian orde 1a/1b; 14 % masuk pada ketelitian orde 2 serta 76 % *exclude*.

Pada kedalaman 10,1 meter hingga 15 meter memiliki ketelitian 1,6 meter dengan rincian data kedalaman yang diperoleh sebanyak 402 data dan terdiri dari 13 % masuk pada ketelitian orde spesial; 12 % masuk pada ketelitian orde 1a/1b; 20 % masuk pada ketelitian orde 2 serta 55 % *exclude*.

Pada kedalaman 15,1 meter hingga 20 meter memiliki ketelitian 3,4 meter dengan rincian data kedalaman yang diperoleh sebanyak 244 data dan terdiri dari 4 % masuk pada ketelitian orde spesial; 2 % masuk pada ketelitian orde 1a/1b; 6 % masuk pada ketelitian orde 2 serta 88 % *exclude*.

Pada kedalaman lebih dari 20 meter memiliki ketelitian 9,5 meter dengan rincian data kedalaman yang diperoleh sebanyak 139 data dan semua ketelitian 100% *exclude* tidak ada yang masuk dalam orde spesial, orde 1A/1B maupun orde 2 (Gambar 3-2).

Perhitungan penentuan batimetri modifikasi kedua yang menggunakan data kedalaman insitu dengan memperhatikan pemisahan objek habitat dasar, yaitu karang, lamun,

makrolaga dan substrat. Perhitungan pertama dilakukan dengan menggunakan data kedalaman insitu yang objek dasarnya adalah karang. Pada objek karang tersebut model regresi linier berganda yang digunakan berhasil mendapatkan nilai koefisien untuk masing-masing nilai band 1, band 2 dan band 3 serta konstanta berturut-turut adalah 25,98088; -27,0049; 0,680573 dan -2,87402 sehingga persamaan MLR yang digunakan untuk menentukan batimetri dari citra SPOT 7 untuk objek karang adalah sebagai berikut:

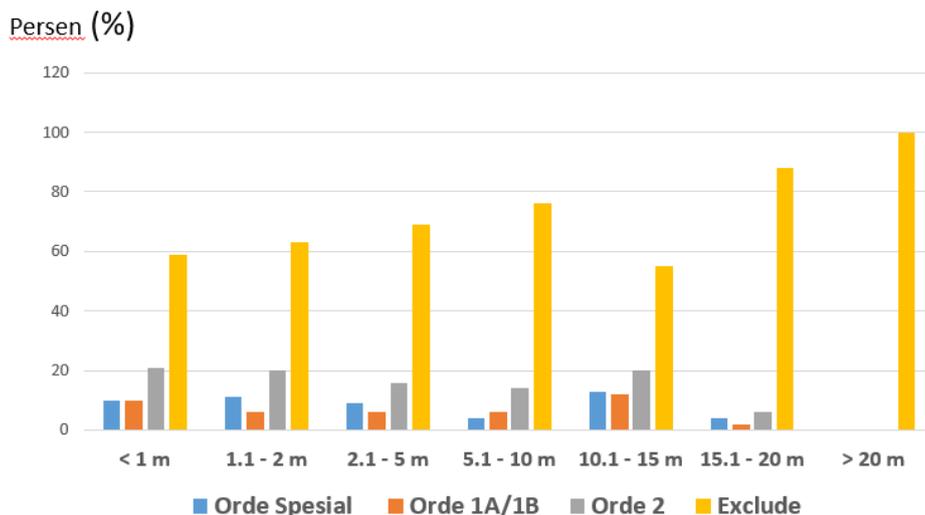
$$h = 25,98088 X_1 - 27,0049 X_2 + 0,680573 X_3 - 2,87402$$

Perhitungan kedua dilakukan penggunaan data kedalaman insitu yang objek dasarnya adalah lamun. Pada objek lamun dengan model regresi linier berganda yang digunakan berhasil mendapatkan nilai koefisien untuk nilai band 1, band 2 dan band 3 serta konstanta masing-masing adalah 0,115803; 2,307965; -1,86274 dan 0,123422 sehingga persamaan MLR yang digunakan untuk menentukan batimetri dari citra SPOT 7 adalah sebagai berikut:

$$h = 0,115803 X_1 + 2,307965 X_2 - 1,86274 X_3 + 0,123422$$

Perhitungan selanjutnya dilakukan penggunaan data kedalaman insitu yang objek dasarnya adalah substrat. Pada objek substrat dengan model regresi linier berganda yang digunakan berhasil mendapatkan nilai koefisien untuk nilai band 1, band 2 dan band 3 serta konstanta masing-masing adalah 11,86864; -11,9228; -0,68281 dan -2,93844 sehingga persamaan MLR yang digunakan untuk menentukan batimetri dari citra SPOT 7 adalah sebagai berikut:

$$h = 11,86864 X_1 - 11,9228 X_2 - 0,68281 X_3 - 2,93844$$



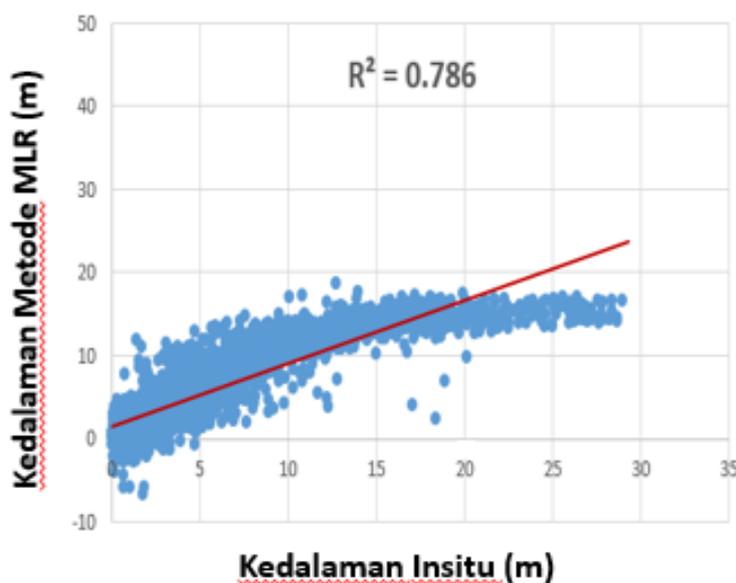
Gambar 3-2: Distribusi hasil ketelitian TVU modifikasi pertama

Hasil pengolahan penentuan batimetri dengan modifikasi kedua yang menggunakan data kedalaman insitu sebanyak 3254 yang dengan memperhatikan pemisahan objek habitat dasar, yaitu karang, lamun, makrolaga dan substrat menghasilkan determinasi R^2 dan nilai RMSE yang dihasilkan adalah 78,6% dan 2,9 meter (Gambar 3-3). Nilai R^2 dan RMSE tersebut merupakan hasil gabungan nilai dari masing-masing persamaan kedalaman dari setiap objek dasarnya.

Dari Tabel 3-2 Hasil ketelitian berdasarkan standar IHO S44 dapat dijelaskan bahwa dengan menggunakan data lapangan sebanyak 3254 data yang terbagi dalam 7 interval kedalaman

menghasilkan nilai akurasi yang berbeda-beda. Pada kedalaman kurang dari 1 meter memiliki ketelitian 1,3 meter dengan rincian data kedalaman yang diperoleh sebanyak 395 data dan terdiri dari 26 % masuk pada ketelitian orde spesial; 21 % masuk pada ketelitian orde 1a/1b; 22 % masuk pada ketelitian orde 2 serta 31% *exclude*.

Pada kedalaman 1 sampai dengan 2 meter memiliki ketelitian 1,7 meter dengan rincian data kedalaman yang diperoleh sebanyak 565 data dan terdiri dari 24% masuk pada ketelitian orde spesial; 15% masuk pada ketelitian orde 1a/1b; 23% masuk pada ketelitian orde 2 serta 38% *exclude*.



Gambar 3-3. Distribusi Hasil Batimetri Modifikasi Kedua

TABEL 3-2: HASIL KETELITIAN MODIFIKASI KEDUA (TVU, IHO S44)

DATA KEDALAMA N (meter)	Total Jumlah Data (3254)	Orde			Exclude (%)	Ketelitian (meter)
		Spesial (%)	1A/1B (%)	2 (%)		
< 1	395	26	21	22	31	1.3
1 - 2	565	24	15	23	38	1.7
2.1 - 5	909	20	11	18	51	2.1
5.1 - 10	600	5	6	15	75	2.6
10.1 - 15	402	14	12	20	54	1.8
15.1 - 20	244	4	2	6	88	3.4
> 20	139	0	0	0	100	9.5

Pada kedalaman 2,1 meter hingga 5 meter memiliki ketelitian 2,1 meter dengan rincian data kedalaman yang diperoleh sebanyak 909 data dan terdiri dari 20% masuk pada ketelitian orde spesial; 11 % masuk pada ketelitian orde 1a/1b; 18% masuk pada ketelitian orde 2 serta 51 % *exclude* Pada kedalaman 5,1 meter hingga 10 meter memiliki ketelitian 2,6 meter dengan rincian data kedalaman yang diperoleh sebanyak 600 data dan terdiri dari 5% masuk pada ketelitian orde spesial; 6% masuk pada ketelitian orde 1a/1b; 15% masuk pada ketelitian orde 2 serta 75% *exclude*. Pada kedalaman 10,1 meter hingga 15 meter memiliki ketelitian 1,8 meter dengan rincian data kedalaman yang diperoleh sebanyak 402 data dan terdiri dari 14% masuk pada ketelitian orde spesial; 12% masuk pada ketelitian orde 1a/1b; 20% masuk pada ketelitian orde 2 serta 54% *exclude*.

Pada kedalaman 15,1 meter hingga 20 meter memiliki ketelitian 3,4 meter dengan rincian data kedalaman yang diperoleh sebanyak 244 data dan terdiri dari 4% masuk pada ketelitian orde spesial; 2% masuk pada ketelitian orde 1a/1b; 6% masuk pada ketelitian orde 2 serta 88% *exclude*.

Pada kedalaman lebih dari 20 meter

memiliki ketelitian 9,5 meter dengan rincian data kedalaman yang diperoleh sebanyak 139 data dan semua ketelitian 100% *exclude* tidak ada yang masuk dalam orde spesial, orde 1A/1B maupun orde 2 (Gambar 3-4).

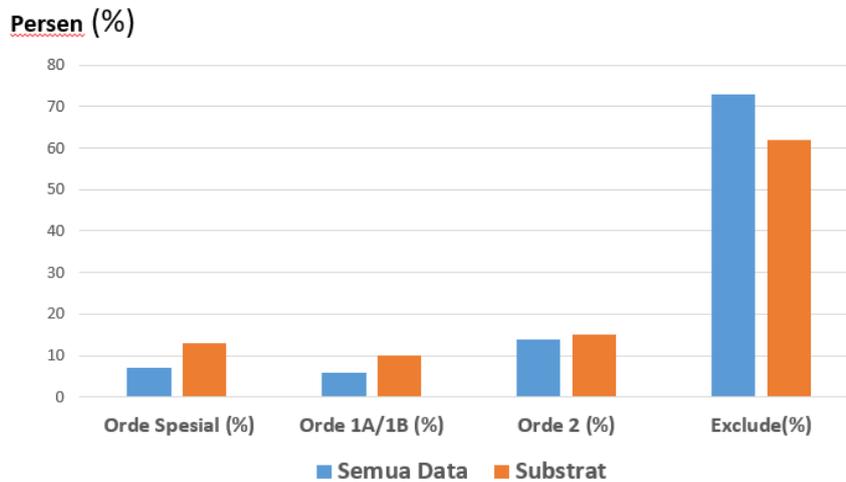
Hasil ketelitian berdasarkan interval kedalaman terlihat bahwa yang masuk dalam orde spesial terbesar terdapat pada interval kedalaman kurang dari 1 meter tetapi memiliki akurasi 1,3 meter.

Hasil dari kedua modifikasi penggunaan data lapangan tersebut menunjukkan bahwa melakukan pemisahan data lapangan dengan memperhatikan objek dasarnya menghasilkan nilai determinasi R² yang meningkat dari 72,1% menjadi 78,6% dan nilai RMSE mengalami penurunan dari 3,3 meter menjadi 2,9 meter.

Selain itu hasil ketelitian TVU juga mengalami peningkatan di setiap ordonya khususnya pada orde spesial dari 7 % menjadi 13 %, untuk nilai *exclude* mengalami penurunan sebesar dari 72 % menjadi 63 % (Gambar 3-5). Untuk ketelitian disetiap interval juga secara dominan terjadi penurunan tingkat kesalahan antara yang menggunakan semua data dan yang memperhatikan substrat dasar.



Gambar 3-4. Distribusi Hasil Ketelitian TVU Modifikasi Kedua



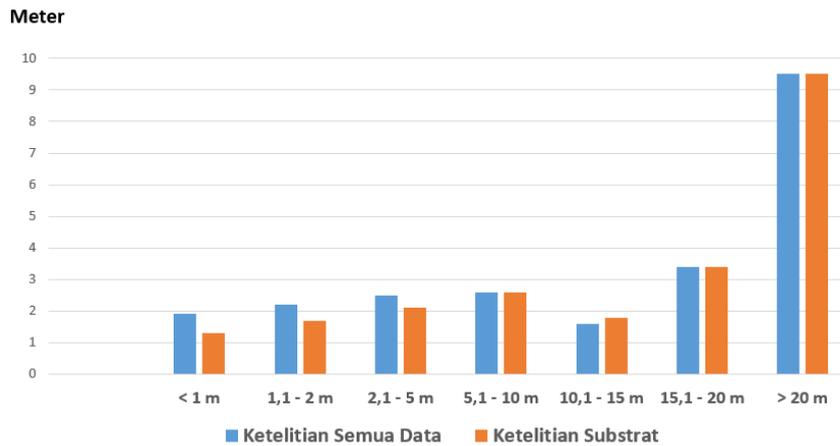
Gambar 3-5: Perbandingan hasil TVU antara modifikasi pertama dan modifikasi kedua

Penurunan nilai kesalahan terjadi di interval kedalaman kurang dari 5 meter. (Gambar 3-6)

Oleh karena itu model MLR dengan penggunaan data kedalaman insitu yang memperhatikan objek dasar perairan laut dangkal sangat berpengaruh terhadap perhitungan batimetri yang dihasilkan. Bila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya oleh Manessa *et al.* (2017) dengan model MLR yang juga dilakukan di perairan Gili trawangan Gili Meno dan Gili Air menghasilkan nilai determinasi R^2 sebesar 0,45. Hasil penelitian tersebut menggunakan data citra SPOT 6 tahun 2013 dengan tidak melakukan modifikasi penggunaan data lapangan yang memperhatikan tutupan dasar perairan laut dangkal. Arya *et al.* (2016) dengan data SPOT 7 di Perairan

Teluk Belangbelang Kabupaten Mamuju Sulawesi Barat dengan menggunakan model Kanno STR dan TNP memberikan hasil yang terbaik dengan akurasi 0,25 m. Mohamed *et al.* (2017) dengan data SPOT 6 menggunakan model Lyzenga *generalized linear model* (GLM) menghasilkan akurasi hingga 0,35 m.

Penentuan perhitungan nilai batimetri dari analisis MLR yang dikembangkan Kanno *et al.* (2011) menunjukkan bahwa salah satu faktornya dipengaruhi oleh nilai reflektansi dari objek yang berada didasar laut seperti karang, lamun, makroalga dan substrat. Namun dalam merumuskan penentuan nilai batimetri tersebut dilakukan penyederhanaan model dengan mengasumsikan penyeragaman objek dasarnya.



Gambar 3-6: Perbandingan hasil kesalahan setiap interval kedalaman modifikasi pertama dan modifikasi kedua

Modifikasi kedua dengan melakukan pemisahan keempat objek dasar tersebut meningkatkan nilai R^2 hasil batimetri dan menurunkan nilai RMSE.

Peningkatan nilai determinasi dan penurunan nilai RMSE yang terjadi belum terlihat signifikan. Hal ini dapat dikarenakan ada faktor lain yang berpengaruh terhadap estimasi batimetri perairan laut dangkal yaitu dari skater kolom air.

4 KESIMPULAN

Data SPOT 7 memiliki potensi sangat baik untuk dimanfaatkan dalam estimasi bathimetri di wilayah perairan laut dangkal Gili Matra. Pemanfaatan model MLR yang dimodifikasi dengan teknik pemisahan berdasarkan tutupan objek dasarnya (lamun, karang, makroalgam, dan substrat) dapat meningkatkan koefisien R^2 dari 72,1% menjadi 78,6% dan menurunkan RMSE dari 3,3 meter menjadi 2,9 meter.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terimakasih atas dukungan yang diberikan oleh Kemenristekdikti melalui program Insentif Riset Sistem Inovasi Nasional (Insinas) Tahun 2018 serta Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Dr. Indah Prasasti

yang telah membimbing dalam penulisan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Arya A., Winarso G., & Santoso AI. (2016). *Ekstraksi Kedalaman Laut Menggunakan Data SPOT 7 di Teluk Belangbelang Mamuju (Accuracy Assesment of Satellite Derived Bathymetry using Lyzenga Method and it's Modification using SPOT 7 Data at the Belangbelang Bay Waters Mamuju)*. J Ilm Geomatika 22:9-19.
- Budhiman. S., Winarso. G. Asriningrum.W. (2013). *Pengaruh Pengambilan Training Sample Substrat Dasar Berbeda pada Koreksi Kolom Air Menggunakan Data Penginderaan Jauh*. Jurnal Penginderaan Jauh Vol.10. No. 2 Desember: 83-92. LAPAN. Indonesia.
- Eugenio F., Marcello J., & Martin J. (2015), *High Resolution Maps of Bathymetry and Benthic Habitats in Shallow-Water Environments Using Multispectral Remote Sensing Imagery*. IEEE Trans Geosci Remote Sens 53:3539-3549. doi: 10.1109/TGRS.2014.2377300.
- Guzinski R., Spondylis E., & Michalis M. (2016), *Exploring the Utility of Bathymetry Maps Derived With Multispectral Satellite*

- Observations in the Field of Underwater Archaeology*. Open Archaeol 2:243–263. doi: 10.1515/opar-2016-0018.
- Hell. B., Broman. B., Jakobsson. L., Jakobsson. M., Magnusson. A., & Wiberg. P. (2012). *The Use of Bathymetric Data in Society and Science: A review from the Baltic Sea*. AMBIO 41:138–150
- Hernandez W., Armstrong R. (2016). *Deriving Bathymetry from Multispectral Remote Sensing Data*. J Mar Sci Eng 4:8. doi: 10.3390/jmse4010008.
- IHO (2008). *IHO Standards for Hydrographic Surveys 5th Edition*, Special Publication No. 44, Monaco.
- Jagalingam. P., Akshaya. B. J., & Hedge. A. V. 2016. *Bathymetry Mapping Using Landsat 8 Satellite Imagery*. Procedia Engineering 116 (2015) 560 – 566.
- Kanno, A., Y. Koibuchi, & M. Isobe. (2011). *Shallow Water Bathymetry From Multispectral Satellite Images: Extensions Of Lyzenga's Method For Improving Accuracy*. Coastal Engineering journal, Vol. 53, No. 4 (2011) 431–450, Japan.
- Kanno A., Tanaka Y., Kurosawa A., Sekine M. (2013), *Generalized Lyzenga's Predictor of Shallow Water Depth for Multispectral Satellite Imagery*. Mar Geod 36:365–376. doi: 10.1080/01490419.2013.83997
- Manessa MDM., Kanno A., & Sekine M. (2016). *Lyzenga Multispectral Bathymetry Formula for Indonesian Shallow Coral Reef: Evaluation and Proposed Generalized Coefficient*. In: Bostater CH, Neyt X, Nichol C, Aldred O (eds) *Proc. Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2016*. SPIE, Edinburgh, UK, 999900.
- Manessa MDM., Haidar. M., & Hartuti. M. (2017). *Determination of The Best Methodology For Bathymetry Mapping Using Spot 6 Imagery: A Study Of 12 Empirical Algorithms*. International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences Vol.14 No. 2 December 2017: 127 – 136. LAPAN. Indonesia.
- Mohamed H., Abdelazim Negm, & Salah M. (2017). *Assessment of Proposed Approaches for Bathymetry Calculations Using Multispectral Satellite Images in Shallow Coastal/Lake Areas: a Comparison of Five Models*. Arab J Geosci 10:1–17. doi: 10.1007/s12517-016-28031.
- Pacheco A., Horta J., Loureiro C., & Ferreira (2015). *Retrieval of Nearshore Bathymetry From Landsat 8 Images: A Tool for Coastal Monitoring in Shallow Waters*. Remote Sens Environ 159:102–116. doi: 10.1016/j.rse.2014.12.004.
- Pushparaj J. & Hegde AV. (2017). *Estimation of Bathymetry Along the Coast of Mangaluru using Landsat-8 Imagery*. Int J Ocean Clim Syst 8:71–83. doi: 10.1177/17593131166.
- Vinayaraj P., Raghavan V., & Masumoto S. (2016). *Satellite-Derived Bathymetry using Adaptive Geographically Weighted Regression Model*. Mar Geod 39:458–478. doi: 10.1080/01490419.2016.12452
- Yuzugullu O. & Aksoy A. (2014). *Generation of the Bathymetry of a Eutrophic Shallow Lake Using WorldView-2 Imagery*. J. Hydroinformatics 16:50. doi: 10.2166/hydro.2013.133.

