

Aplikasi Citra WorldView-2 untuk Pemetaan Batimetri di Pulau Kemujan Taman Nasional Karimunjawa

Waskito Rahman¹, Pramaditya Wicaksono^{2*}

^aSIG dan Penginderaan Jauh, Sekolah Vokasi, UGM, Yogyakarta

^bLaboratorium Penginderaan Jauh, Departemen Sains Informasi Geografi, Fakultas Geografi, UGM, Yogyakarta

* Korespondensi Penulis, E-mail: prama.wicaksono@geo.ugm.ac.id



*Dikirim: 1 Feb 2019;
Diterima: 26 Feb 2019;
Diterbitkan: 28 Feb 2019.*

Abstrak. Citra penginderaan jauh telah berkembang dan menyediakan peluang untuk dapat menyediakan informasi kedalaman di perairan dangkal melalui pemodelan empiris, dengan memanfaatkan energi yang dipantulkan oleh objek di dasar perairan dan direkam oleh sensor penginderaan jauh. Tujuan penelitian ini adalah memetakan batimetri di Pulau Kemujan menggunakan pemodelan empiris penginderaan jauh. Penelitian ini menggunakan citra WorldView-2 sebagian Pulau Kemujan dengan empat saluran multispektral, yaitu band biru, hijau, merah dan inframerah dekat, yang dikombinasikan menjadi 12 band rasio dan diintegrasikan dengan data kedalaman hasil pengukuran lapangan sebanyak 369 titik sampel untuk uji akurasi dan 120 titik sampel untuk pemodelan batimetri pada rentang kedalaman 0-7 m. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa model empiris batimetri terbaik adalah rasio band hijau dan band biru dengan nilai R^2 sebesar 0,632 dan standard error of estimate (SE) sebesar 1,2 m. Penelitian ini menunjukkan bahwa band biru yang dikombinasikan dengan band lain memiliki kontribusi yang signifikan dalam pemodelan batimetri.

Kata kunci: Batimetri, Pemetaan, Band rasio, WorldView-2.

The Application of WorldView-2 Image for Bathymetry Mapping in Kemujan Island Karimunjawa National Park

Abstract. The development of remote sensing technology gives an opportunity to extract bathymetry information on the optically shallow water area. This was done by utilizing the reflectance of spectral bands with the ability to penetrate water body. The aim of this research is to map bathymetry of Kemujan Island using remote sensing empirical modeling. Quickbird image was used in this study. It has four spectral bands namely blue, green, red and near infrared band. These bands were rationed and acquired 12 band ratios. In total, 120 samples were used to produce bathymetry model and 379 samples were used for validation. The models were created for up to the depth of 7 m. The result showed that the model from band ratio of green and blue band produced the highest accuracy with R^2 of 0.632 and SE of 1.2 m. The result proved that blue band is the most effective band to be combined with other bands for band ratio input for bathymetry modeling.

Keywords: Bathymetry, Band ratio, Mapping, WorldView-2.

I. PENDAHULUAN

Informasi kedalaman merupakan salah satu informasi yang sangat penting untuk berbagai kajian kegiatan sumberdaya kelautan [1] [2]. Secara umum, pengukuran kedalaman hanya dilakukan pada lokasi yang mampu dilalui kapal, sehingga untuk perairan dangkal seringkali tidak dapat dilakukan, dan akibatnya informasi kedalaman untuk perairan dangkal sangat

terbatas. Informasi batimetri pada zona intertidal diperlukan untuk studi morfologi dasar laut, lingkungan, pengelolaan sumberdaya pesisir dan pemodelan oseanografi. Pengetahuan tentang struktur detail dasar perairan dapat membantu pengenalan adanya gusung karang, beting karang, gobah dan struktur lainnya [3]. Pemetaan variabilitas struktur tersebut pada skala detail akan memudahkan upaya karakterisasi habitat, baik

untuk terumbu karang maupun untuk berbagai biota yang hidup dalam ekosistem tersebut. Informasi batimetri tidak hanya diperlukan untuk pengelolaan pulau-pulau terpencil, tetapi juga untuk pemetaan kondisi ekosistem terumbu karang dan pendugaan potensi pemutihan terumbu karang (*coral bleaching*). Informasi batimetri juga dapat digunakan untuk estimasi pantulan dasar perairan (*bottom albedo*), sehingga dapat meningkatkan akurasi pemetaan habitat bentik [4] [5].

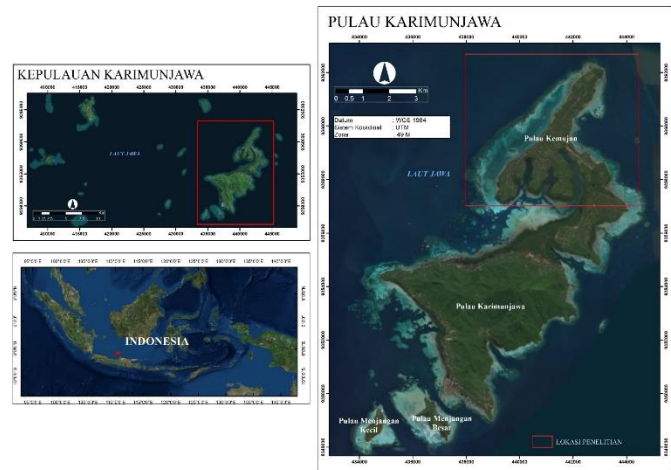
Nilai pantulan spektral citra penginderaan jauh pada laut dangkal optis dapat digunakan untuk memprediksi kedalaman perairan [3] [6] [7] [8] [9]. Diantara beberapa metode pemetaan batimetri yang telah dikembangkan, metode yang banyak digunakan adalah band tunggal dan metode band rasio, seperti yang dikembangkan oleh [3] dan telah dibandingkan akurasinya oleh [9].

Saat ini informasi batimetri di Pulau Kemujan Taman Nasional Karimunjawa masih sangat terbatas. Tujuan penelitian ini adalah memetakan batimetri di Pulau Kemujan menggunakan pemodelan empiris penginderaan jauh. Hasil penelitian ini akan sangat bermanfaat bagi pengelolaan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil, khususnya di Kepulauan Karimunjawa. Lebih lanjut, informasi batimetri dapat digunakan untuk membantu dalam menentukan dan mengevaluasi zona ideal untuk wisata bahari, zona konservasi dan zonasi lainnya dalam upaya meningkatkan kelestarian sumberdaya pesisir.

II. METODOLOGI

2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Daerah penelitian adalah Taman Nasional Laut Karimunjawa yang terletak di Kabupaten Jepara, Provinsi Jawa Tengah. Pemilihan daerah penelitian didasarkan pada karakteristik perairan yang memiliki variasi kedalaman yang cukup tinggi. Perairan di sekitar Taman Nasional Laut Karimunjawa merupakan perairan konservasi sumberdaya, yang akan dikembangkan menjadi kawasan konservasi alam. Kepulauan Karimunjawa terletak di sebelah timur laut kota Semarang, tepatnya pada posisi 50°40' – 50°57' LS dan 110°04' – 110°40' BT, dan terdiri dari tiga Desa yaitu Desa Karimunjawa, Kemujan dan Parang. Luas wilayah daratan dan perairan Taman Nasional Karimunjawa adalah 107.225 ha, dimana sebagian besar berupa lautan (100.105 ha) dengan luas daratan 7.120 ha yang terdiri atas gugusan pulau berjumlah 27 pulau besar dan kecil. Dari 27 pulau tersebut, terdapat empat pulau berpenghuni yaitu P. Karimunjawa, P. Kemujan, P. Parang dan P. Nyamuk. Pulau terbesar yaitu P. Karimunjawa dengan luas 4.302,5 ha. Peta lokasi penelitian ini, yaitu Pulau Kemujan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

2.2 Data

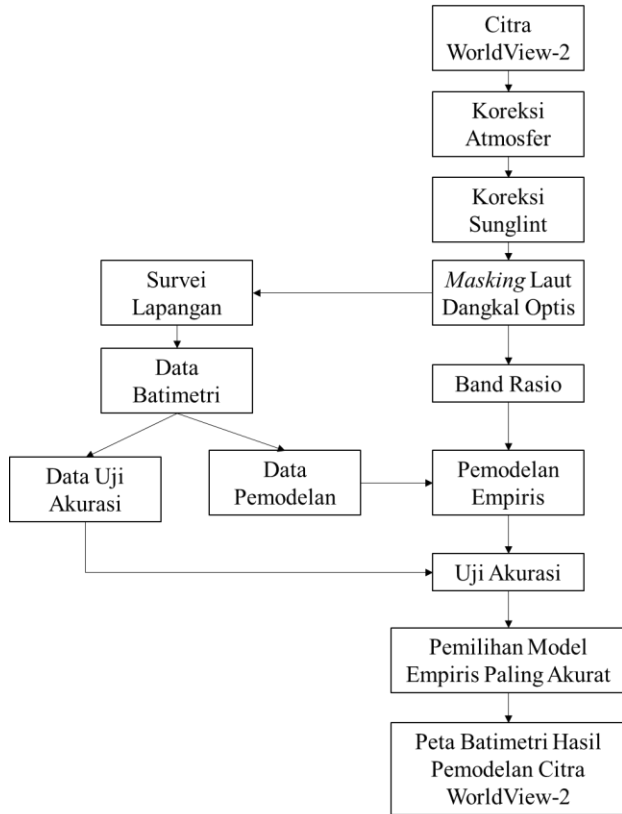
Data penginderaan jauh yang digunakan dalam penelitian ini adalah Citra WorldView-2 dengan menggunakan empat band yaitu biru, merah, hijau, dan inframerah dekat, hasil perekaman 24 Mei 2012. Beberapa koreksi yang diterapkan pada citra ini antara lain koreksi atmosfer dan sunglint. Spesifikasi citra WorldView-2 dapat dilihat pada Tabel 1 [10].

TABEL 1. SPESIFIKASI CITRA WORLDVIEW-2.

Mode Pencitraan	Pankromatik	Multispektral
Resolusi Spasial Pada Nadir	0,46 m pada nadir	1,84 m pada nadir
Rentang spektral	450 – 800 nm	Biru (450-510 nm) Hijau (510-585 nm) Merah (625-705 nm) Inframerah dekat-1 (745-860 nm)
Lebar Sapuan	16,4 km pada nadir	
Jangkauan Dinamik	11-bit per piksel	
Geolocalational accuracy (CE90)	Spesifikasi 12,2 m CE90, dengan kinerja diprediksi pada kisaran 4,6-10,7 m (15-35 kaki) CE90 belum termasuk efek dari kelereng dan <i>off-nadir</i> <2 m akurasi dengan memasukkan GCP pada citra	

Alasan hanya menggunakan empat band dari total delapan band multispektral yang dimiliki oleh citra WorldView-2 adalah untuk memfokuskan pemodelan band rasio pada band biru, hijau, merah dan inframerah dekat, sehingga hasilnya dapat digunakan untuk mewakili kemampuan citra resolusi spasial tinggi dengan resolusi spektral empat kombinasi saluran VNIR (*visible near-infrared*) seperti Quickbird, Geoeye-1, Pleiades, dan

IKONOS. Sehingga, nantinya hasil penelitian ini dapat dibandingkan dan dijadikan rujukan terkait pemodelan batimetri menggunakan band rasio pada citra yang hanya mempunyai empat band VNIR standar. Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

2.3 Koreksi Sunglint

Koreksi *sunglint* dilakukan pada citra terkoreksi atmosfer dengan menggunakan teknik yang dikembangkan oleh [11]. Pada metode ini dibangun persamaan antara saluran inframerah dekat dengan saluran-saluran tampak. Input untuk membangun persamaan tersebut adalah sampel piksel tubuh air yang mempunyai intensitas *sunglint* paling sedikit atau dari daerah laut yang tidak mempunyai *sunglint* hingga daerah laut yang memiliki banyak *sunglint*. Dari hubungan tersebut, besarnya *sunglint* pada saluran tampak dapat dikoreksi berdasarkan besarnya intensitas *sunglint* yang ada di saluran inframerah dekat.

2.4 Masking Citra

Masking citra diperlukan untuk menghilangkan piksel yang tidak digunakan dalam penelitian ini. Hal ini bertujuan untuk memfokuskan kajian dan mengurangi beban pemrosesan citra. Dalam penelitian ini *masking* yang dilakukan berupa penghilangan piksel daratan dan

laut dalam optis. Batas garis pantai hasil interpretasi visual digunakan sebagai dasar proses *masking*.

2.5 Pemodelan Empiris Batimetri

Berdasarkan penelitian sebelumnya, kedalaman efektif yang dapat dipetakan melalui penginderaan jauh di Pulau Kemujan adalah 7 m [9], sehingga informasi kedalaman yang digunakan dalam pemodelan empiris pada penelitian ini adalah hingga 7 m. Survei batimetri dilakukan menggunakan alat GPS *echosounder* Garmin 520S. Data batimetri yang diperoleh dari lapangan disimpan dalam format .ADM, dimana data tersebut harus melalui proses konversi data agar nilai kedalamannya dapat diekstraksi. Konversi format data .ADM dilakukan dengan menggunakan program GlobalMapper 11. Data dengan format .ADM tersebut dikonversi ke format *shapefile* (.shp). Data *shapefile* tersebut kemudian dibuka pada aplikasi ArcGIS dan dikonversi menjadi data format .dbf untuk mendapatkan data atribut dari titik hasil perekaman *echosounder*. Pemodelan empiris selanjutnya dilakukan pada *Spreadsheet*.

Pemodelan batimetri pada penelitian ini menggunakan metode yang dikembangkan oleh [3], yaitu dengan menggunakan band rasio. Dari empat saluran WorldView-2 yang digunakan, diperoleh 12 kombinasi band rasio. Penggunaan band rasio bertujuan untuk menormalisasi variasi nilai piksel akibat perbedaan tutupan dasar perairan dan fungsi Ln digunakan untuk melinearisi pengaruh pelemahan energi pada kolom air yang bersifat eksponensial.

Pemodelan empiris batimetri dilakukan dengan mencari hubungan antara nilai piksel yang terekam oleh sensor dan data survei lapangan batimetri. Total sampel hingga kedalaman 7 m adalah sebanyak 120 sampel untuk pemodelan dan 379 sampel uji akurasi. Jumlah sampel uji akurasi dibuat lebih banyak daripada sampel untuk pemodelan dengan pertimbangan sebagai berikut. Kebanyakan pengguna data penginderaan jauh menggunakan sampel uji akurasi yang sangat sedikit dibandingkan sampel untuk model. Sehingga akurasi yang dihitung berdasarkan sampel yang sedikit tersebut akan menghasilkan akurasi yang relatif tinggi atau *overestimate* dari kenyataan di lapangan. Dalam penelitian ini, model dikembangkan dengan jumlah sampel yang terbatas dan diuji dengan sampel uji akurasi yang banyak untuk mengetes kekuatan dari modelnya. Pendekatan ini juga sesuai dengan konsep penginderaan jauh dimana hanya membutuhkan kontak minimal dengan objek kajian, dan dalam konteks penelitian ini adalah sampel yang minimal untuk pembuatan modelnya.

Pemodelan empiris dilakukan melalui pemilihan band atau band rasio yang berhubungan signifikan dengan informasi batimetri hasil survei lapangan pada taraf signifikansi 95%. Band rasio yang mempunyai hubungan signifikan dengan batimetri digunakan sebagai input dalam

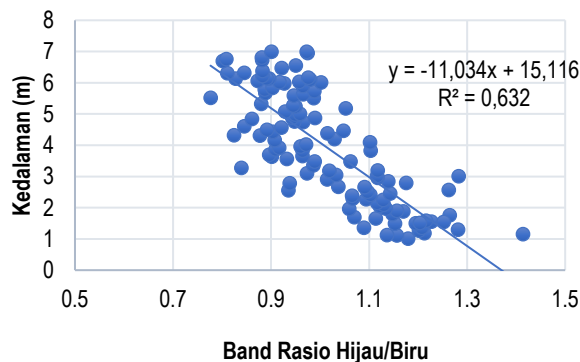
analisis regresi linear. Fungsi regresi yang dihasilkan digunakan untuk mengubah nilai piksel menjadi nilai kedalaman. Uji akurasi dilakukan pada nilai prediksi kedalaman dengan menghitung *Standard Error of Estimate* (SEE).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

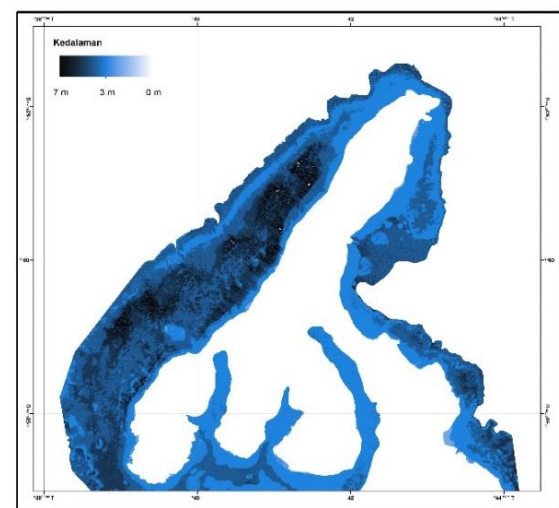
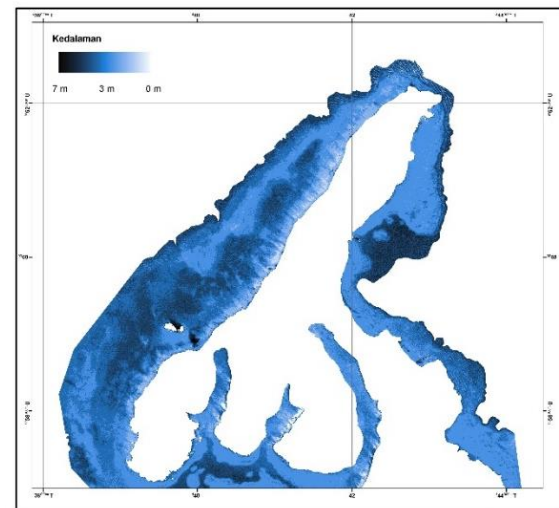
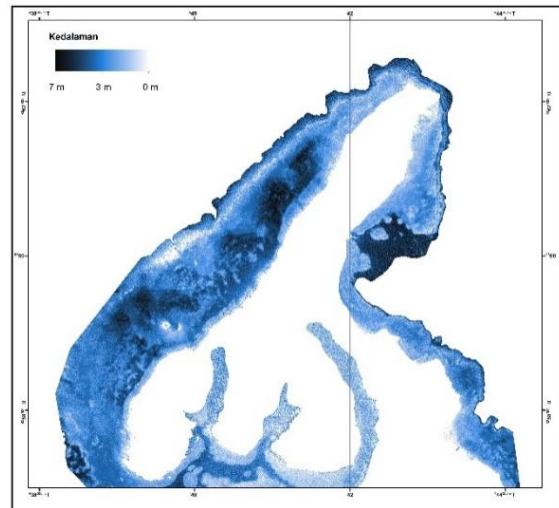
Hasil pemodelan batimetri menggunakan seluruh kombinasi band dapat dilihat pada Tabel 2. Nilai koefisien determinasi tertinggi (R^2) dihasilkan oleh band rasio saluran Hijau/Biru dengan R^2 0,632. Scatter plot antara band rasio Hijau/Biru dan data lapangan batimetri disajikan pada Gambar 3.

TABEL 2. HASIL ANALISIS REGRESI SELURUH KOMBINASI BAND RASIO MENGGUNAKAN EMPAT BAND MULTISPEKTRAL CITRA WORLDVIEW-2.

No. Model	Band rasio (x)	Fungsi regresi	R2
1	Hijau/Biru	$(-11,034x) + 15,116$	0,632
2	Biru/Hijau	$(11,473x) - 7,5627$	0,624
3	Inframerah Dekat/Merah	$(4,1786x) + 1,0951$	0,444
4	Merah/Biru	$(-6,297x) + 7,8246$	0,335
5	Biru/Merah	$(1,7126x) + 0,9442$	0,262
6	Inframerah Dekat/Hijau	$(4,6715x) + 2,0147$	0,237
7	Merah/Inframerah Dekat	$(-0,2926x) + 4,5666$	0,173
8	Hijau /Inframerah Dekat	$(-0,1489x) + 4,4806$	0,136
9	Biru/Inframerah Dekat	$(-0,1418x) + 4,4332$	0,095
10	Inframerah Dekat/Biru	$(2,9011x) + 2,7423$	0,090
11	Merah/Hijau	$(-4,5475x) + 6,6717$	0,080
12	Hijau /Merah	$(1,239x) + 1,7916$	0,073



Gambar 3. Scatter plot antara band rasio Hijau/Biru dan data lapangan batimetri.



Gambar 4. Perbandingan hasil pemodelan batimetri Pulau Kemujan menggunakan band rasio dengan tingkat akurasi yang bervariasi (a) Hijau/Biru, (b) Inframerah dekat/Merah, dan (c) Biru/Merah.

Hasil pemodelan terbaik menggunakan band rasio menghasilkan nilai R^2 0,632, yang di hasilkan oleh pemodelan rasio band Hijau/Biru. Fungsi regresinya adalah $-11,034*(\text{Hijau/Biru}) + 15,116$. Metode band rasio digunakan karena pada metode band tunggal, nilai pantulan pada setiap saluran akan semakin melemah sejalan dengan bertambahnya kedalaman perairan dan terpengaruh variasi tutupan dasar perairan. Hal ini dapat mengakibatkan nilai akurasi dari kedalaman laut menjadi rendah. Band rasio memanfaatkan dua saluran pada citra yang berbeda, sehingga dapat memberikan nilai yang lebih baik dalam pemodelan batimetri karena setiap saluran memiliki respon yang berbeda terhadap variasi tutupan dasar perairan dan perbedaan pelemahan kolom air yang terjadi.

Hasil penelitian menunjukkan hasil yang berbeda-beda pada setiap input. Band Biru yang memiliki penetrasi tubuh air paling baik memungkinkan untuk dikombinasikan dengan band lain untuk dijadikan input pemodelan batimetri kecuali jika dikombinasikan dengan band Inframerah dekat. Hasil band rasio Biru/Inframerah dekat memiliki nilai R^2 0,095 sedangkan band rasio Inframerah dekat/Biru memiliki nilai R^2 0,090. Nilai ini sangat rendah dan tidak signifikan untuk pemodelan batimetri karena nilai R^2 mendekati angka nol. Hal ini dapat terjadi karena nilai pantulan band biru yang tinggi tubuh air tidak berimbang dengan besarnya penyerapan energi inframerah dekat yang diserap oleh tubuh air.

Dalam penelitian ini, band merah mampu memodelkan batimetri, namun R^2 yang dihasilkan relatif rendah. Hasil penelitian menunjukkan nilai R^2 terbaik band merah adalah kombinasi dengan band biru sebesar 0,335. Sedangkan nilai terendah band merah adalah dengan band hijau dengan nilai R^2 0,080. Band inframerah dekat hanya menghasil nilai regresi yang baik dengan kombinasi band merah yaitu dengan R^2 0,444. Selebihnya, kombinasi band inframerah dekat dengan band lainnya menghasilkan nilai R^2 yang tidak signifikan untuk pemodelan bathimetri. Band hijau memberikan nilai R^2 terbaik dalam penelitian ini dengan nilai 0,632, melalui kombinasi saluran hijau dan biru. Nilai ini sangat bertolak belakang apabila saluran hijau dipasangkan dengan saluran merah atau inframerah dekat yang menghasilkan nilai R^2 yang rendah. Nilai R^2 yang tinggi yang dihasilkan oleh band rasio Hijau/Biru dapat dipengaruhi oleh tingginya nilai pantulan oleh band biru dan band hijau untuk objek di perairan hingga kedalaman 7 m. Kedua nilai pantulan yang tinggi ini memungkinkan hasil nilai band rasio efektif untuk kedua band tersebut. Berbeda dengan kombinasi rasio band biru dan band inframerah dekat dan sebaliknya, rasio band biru dan band merah, dan rasio band hijau dan band merah yang memiliki respon yang saling bertolak belakang sehingga menghasilkan nilai R^2 yang rendah. Penelitian lain yang dilakukan di daerah kajian yang sama menghasilkan nilai regresi yang berbeda dan kombinasi band rasio yang berbeda. Penelitian oleh [9] menghasilkan nilai R^2 0,881 menggunakan band rasio Biru/Kuning, sedangkan dalam

penelitian lainnya oleh [12], citra Quickbird menghasilkan nilai R^2 0,711 melalui band rasio Biru/Hijau yang dinormalisasi. Perbandingan dengan penelitian lain yang menggunakan empat band multispektral Quickbird juga menghasilkan R^2 yang relatif sama yaitu 0,66 – 0,92 [2].

Gambar 4a adalah hasil pemodelan band rasio Hijau/Biru, dimana nilai kedalaman terdistribusi secara merata dan memiliki nilai yang relatif mendekati hasil pengukuran sebenarnya di lapangan. Dalam gambaran tersebut, kedalaman terdistribusi merata mulai dari kedalaman 0 – 7 m, dimana kedalaman tersebut merupakan batas kedalaman efektif pemodelan. Hasil pemodelan band rasio Biru/Merah dan Inframerah dekat/Merah kurang begitu akurat hasilnya, dimana dapat dilihat dari distribusi kedalaman yang tidak merata. Pada hasil pemodelan band rasio Inframerah Dekat/Merah, distribusi kedalaman dengan nilai kedalaman 0-1 m dan 7 m tidak mampu digambarkan dengan jelas (Gambar 4b). Sedangkan pada pemodelan band rasio Biru/Merah tidak mampu menentukan kedalaman batimetri dengan kedalaman 0 – 1 m seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4c. Daerah dekat garis pantai yang seharusnya memiliki kedalaman mendekati 0 m terlihat memiliki kedalaman diatas 1 m.

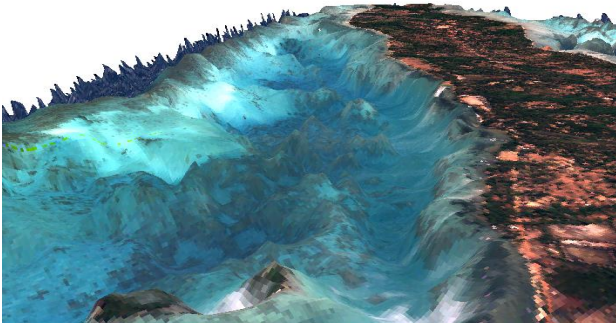
Hasil uji akurasi menunjukkan bahwa akurasi pemodelan batimetri menggunakan band rasio Hijau/Biru mempunyai SE sebesar 1,2 m, yang artinya hasil pemodelan memiliki deviasi kurang lebih 1,2 m dari kedalaman asli di lapangan. Band rasio inframerah dekat/merah memiliki nilai SE sebesar 2 m, sedangkan band rasio biru/merah adalah sebesar 2,1 m. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa WorldView-2 empat band multispektral mempunyai akurasi sedikit lebih rendah daripada menggunakan WorldView-2 delapan band. Pada penelitian yang dilakukan oleh [9], nilai SE terendah yang dihasilkan oleh pemodelan batimetri sebesar 1,01 m melalui band rasio Biru/Kuning. Meskipun demikian, WorldView-2 empat band mempunyai akurasi yang lebih tinggi daripada Quickbird empat band. Penelitian lain yang dilakukan oleh [12] menunjukkan nilai RMSE sebesar 2,3 m saat menggunakan citra Quickbird untuk pemodelan batimetri menggunakan band rasio Biru/Hijau.

TABEL 3. RINGKASAN HASIL PEMODELAN BATIMETRI MENGGUNAKAN RASIO SALURAN HIJAU/BIRU, INFRAMERAH DEKAT/MERAH, DAN BIRU/MERAH.

Band rasio	Fungsi regresi	R^2	SE (m)
Hijau/Biru	$(-11,034*(\text{Hijau/Biru}) + 15,116$	0,632	1,2
Infra merah dekat/ Merah	$(4,1786*(\text{Inframerah Dekat/Merah}) + 1,0951$	0,444	2,0
Biru/ Merah	$(1,7126*(\text{Biru/Merah}) + 0,9442$	0,262	2,1

Gambar 5 menunjukkan tampilan 3 dimensi dari hasil pemodelan batimetri menggunakan rasio band Hijau/Biru dengan *vertical exaggeration* (VE) sebesar 20x untuk menunjukkan detail perubahan kedalaman laut dangkal optis di wilayah kajian. Penelitian ini menunjukkan kekuatan dari model yang dibangun dengan menggunakan sampel yang jauh lebih sedikit daripada sampel uji akurasi. Hal ini menunjukkan tingginya kemampuan generalisasi dari model batimetri yang dikembangkan, karena mampu memprediksi batimetri dengan relatif akurat pada sampel uji. Sehingga, memungkinkan untuk diterapkan pada wilayah kajian lain untuk mendapatkan informasi batimetri yang relatif akurat tanpa harus melakukan survei lapangan untuk mendapatkan model batimetri *site-specific*.

Kedepan, perlu penelitian lebih lanjut untuk kajian batimetri di perairan laut dangkal optis mengingat informasi batimetri sangat penting untuk mengelola kawasan pesisir dan pulau-pulau kecil. Penggunaan alat yang lebih canggih untuk menghasilkan data lapangan batimetri yang lebih baik, seperti LiDAR batimetri dan *Side-Scan* SONAR (SSS) juga perlu dilakukan. Koreksi pasang surut juga perlu dilakukan apabila memungkinkan untuk mengoreksi kedalaman saat survei lapangan dan kedalaman saat citra direkam, dimana perbedaan tersebut dapat memengaruhi kualitas dan hasil pemodelan empiris.



Gambar 5. Tampilan 3 dimensi dari kedalaman laut dangkal optis sebagian Pulau Kemujan dengan $VE = 20x$. Informasi pada laut dalam optis tidak valid karena diluar kemampuan maximum depth-of-penetration dari panjang gelombang yang digunakan oleh citra WorldView-2.

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah informasi batimetri di sebagian Pulau Kemujan dapat dimodelkan dan dipetakan dengan memanfaatkan pemodelan empiris antara nilai band rasio dan nilai kedalaman perairan hasil survei lapangan. Akurasi tertinggi diperoleh dari pemodelan band rasio Hijau/Biru dengan nilai R^2 0,632 dan SE sebesar 1,2 m. Dapat disimpulkan juga bahwa band Biru merupakan band yang paling efektif untuk pemodelan batimetri, dimana band rasio hasil kombinasi dengan band Biru menghasilkan akurasi yang lebih tinggi dibandingkan band rasio dengan kombinasi tanpa band Biru.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DigitalGlobe, Inc. dan Prof. Stuart Phinn dari The University of Queensland atas penggunaan citra WorldView-2 sebagian Kepulauan Karimunjawa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E P Green, P J Mumby, A J Edwards, and C D Clark, *Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management. Coastal Management Sourcebooks 3*, A J Edwards, Ed. Paris: UNESCO, 2000.
- [2] Özgelik Ceyhan and Arisoy Yalçın, "Remote sensing of water depths in shallow waters via artificial neural networks," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 89, pp. 89-96, 2010.
- [3] R P Stumpf, K Holderied., and M Sinclair, "Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types," *Limnol-oceanography*, vol. 48, pp. 547-556, 2003.
- [4] P J Mumby, C D Clark, E P Green, and A J Edwards, "Benefits of water column correction and contextual editing for mapping coral reefs," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 19, pp. 203-210, 1998.
- [5] D Mishra, S Narumalani, D Rundquist, and M Lawson, "Benthic Habitat Mapping in Tropical Marine Environments Using QuickBird Multispectral Data," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 72, no. 9, pp. 1037-1048, 2006.
- [6] D L B Jupp, "Background and extensions to depth of penetration (DOP) mapping in shallow coastal waters," in *Proceedings of the Symposium on Remote Sensing of the Coastal Zone*, Gold Coast, Queensland, 1988.
- [7] T Gianinetta and G Lechi, "A DNA algorithm for the bathymetric mapping in the lagoon of Venice using QuickBird multispectral data," in *XXth ISPRS Congress, "Geo-Imagery Bridging Continents"*, Volume: *The International*, 2004, pp. 94-99.
- [8] P Wicaksono, "Integrated Model of Water Column Correction Technique for Improving Satellite-Based Benthic Habitat Mapping," Yogyakarta, Masters Thesis 2010.
- [9] P Wicaksono, "Perbandingan Akurasi Metode Band Tunggal dan Band Rasio dalam Pemetaan Batimetri Pada Laut Dangkal Optis," in *Prosiding Simposium Sains Geoinformasi IV - 2015*, Yogyakarta, 2015, pp. 802-810.
- [10] T Updike and C Comp, "Radiometric Use of WorldView-2 Imagery," Longmont, Colorado, Technical Note 2010.
- [11] J D Hedley, A R Harborne, and P J Mumby, "Simple and Robust Removal of Sunlight for Mapping Shallow-Water Benthos," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 26, no. 10, pp. 2107-2112, 2005.
- [12] R Nurkhayati, "Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Menggunakan Citra Quickbird di Perairan Taman Nasional Karimun Jawa, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah," Yogyakarta, Skripsi 2014.