

PEROLEHAN DATA BATIMETRI MENGGUNAKAN METODE *SATELLITE DERIVED BATHYMETRY* UNTUK PERCEPATAN PEMBUATAN *ELECTRONIC NAVIGATIONAL CHART* DI PERAIRAN RAJA AMPAT

(ACQUISITION OF THE BATHYMETRY DATA USING SATELLITE DERIVED BATHYMETRY METHOD TO ACCELERATE THE MAKING OF ELECTRONIC NAVIGATIONAL CHART IN RAJA AMPAT WATERS)

Febry Bintanio Wibisono¹, Ahmad Lufti Ibrahim², Maryani Hartuti³

¹Prodi D3 Hidro-Oseanografi, STTAL

²Pusat Hidrografi dan Oseanografi TNI Angkatan Laut (Pushidrosal)

³Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, LAPAN

Email: febrybintaniowibisono@gmail.com

ABSTRAK

Insiden kapal kandas di perairan Raja Ampat yang paling diingat yakni pada tahun 2017 yang melibatkan kapal *cruise* MV. Caledonian Sky berbendera Bahama di sekitar perairan Pulau Mansuar. Akibatnya, sekitar 1600 m² terumbu karang menjadi rusak. Untuk mencegah insiden serupa, perolehan data batimetri menggunakan metode *Satellite Derived Bathymetry* (SDB) ini dianggap efektif dan efisien dalam mendapatkan informasi kedalaman di perairan dangkal, guna percepatan dalam pembuatan *Electronic Navigational Chart* (ENC) di perairan Raja Ampat. Dalam penelitian ini, dilakukan pemodelan empirik menggunakan algoritma yang dikembangkan oleh Stumpf et al (2003) dengan menggunakan citra dari satelit SPOT-7 sebanyak 3 scene citra di sekitar perairan Raja Ampat, Papua Barat. Hasil analisa akurasi yang didapat berupa nilai R² sebesar 0.6214 (62,14%). Selanjutnya dilakukan perhitungan *Total Vertical Uncertainty* (TVU) sesuai ketentuan S-44 IHO Edisi 5 (2008) terhadap 6 kelompok kedalaman, yakni kurang dari 1 meter (<1m), 1 sampai 2 meter (1-2m), 2,1 sampai 5 meter (2.1-5m), 5,1 sampai 10 meter (5.1-10m), 10,1 sampai 15 meter (10.1-15m), dan 15,1 sampai 20 meter (15.1-20m). Dari hasil yang didapat, pada kedalaman tidak lebih dari 5 meter merupakan data yang terbaik untuk diaplikasikan ke dalam pembuatan ENC. Jumlah lokasi destinasi wisata yang dipilih untuk pembuatan ENC sebanyak 8 lokasi yang tersebar di perairan Raja Ampat.

Kata kunci: *Satellite Derived Bathymetry*, *Electronic Navigational Chart*, Stumpf, SPOT-7, *Total Vertical Uncertainty*.

ABSTRACT

The most memorable incident of the ship ran aground in Raja Ampat waters was in 2017 which involved MV. Caledonian Sky, the Bahamas flagged cruise ship around the waters of Mansuar Island. As a result, about 1600 m² of the coral reef was damaged. To prevent similar incidents, the acquisition of bathymetry data using the Satellite-Derived Bathymetry (SDB) method is considered effective and efficient in obtaining depth information in shallow waters, to accelerate the creation of an Electronic Navigational Chart (ENC) in Raja Ampat waters. In this study, empirical modeling was carried out using an algorithm developed by Stumpf et al (2003) using 3 image scenes from the SPOT-7 satellite around the waters of Raja Ampat, West Papua. The results of the accuracy analysis obtained are an R² value of 0.6214 (62.14%). Furthermore, the calculation of Total Vertical Uncertainty (TVU) according to the provisions of S-44 IHO Edition 5 (2008) for 6 depth groups, namely less than 1 meter (<1m), 1 to 2 meters (1-2m), 2.1 to 5 meters (2.1-5m), 5.1 to 10 meters (5.1-10m), 10.1 to 15 meters (10.1-15m), and 15.1 to 20 meters (15.1-20m). From the results obtained, at a depth of not more than 5 meters is the best data to be applied in the making of ENC. The number of tourist destination locations selected for the creation of ENC is 8 locations scattered in Raja Ampat waters.

Keywords: Satellite Derived Bathymetry, Electronic Navigational Chart, Stumpf, SPOT-7, Total Vertical Uncertainty.

PENDAHULUAN

Kepulauan Raja Ampat terangkai atas beberapa gugusan pulau-pulau nan indah. Terdapat empat pulau besar yang menjadi pulau utamanya antara lain, Pulau Misool, Pulau Salawati, Pulau Batanta, dan Pulau Waigeo. Raja Ampat terletak di bagian barat Kepala Burung (*Vogelkoop*) Pulau Papua. Raja Ampat yang dijuluki sebagai *The Caribbean van Papua*, memiliki potensi sumber daya alam yang sangat luar biasa. Salah satu potensi itu adalah kekayaan terumbu karang dan keanekaragaman biota lautnya. Menurut peneliti Australia yang juga seorang penyelam profesional, Dr. John Edward Norwood Veron, pernah menyebutkan

dalam penelitiannya bahwa Raja Ampat mempunyai lebih dari 450 jenis karang yang masih berkembang dengan sangat baik. Sebuah insiden kelam pernah terjadi di tahun 2017. Sebuah kapal pesiar berbendera Bahama, MV. Caledonian Sky menabrak karang di perairan Raja Ampat, tepatnya di sekitar Pulau Mansuar dan pulau Kri pada tanggal 4 Maret 2017. Kapal berbobot 4200 GT itu dinahkodai oleh Kapten Keith Michael Taylor dan membawa 102 wisatawan asing dan 79 anak buah kapal. Kerusakan terumbu karang yang diakibatkan oleh insiden tersebut adalah seluas 1600 m².

Tak berhenti disitu, tragedi kandasnya kapal kembali terjadi 2 tahun kemudian yakni pada tanggal 18 Desember 2019 di Kepulauan Wayag Sebuah kapal pesiar bernama MV. Aqua Blu Kandas selama 7 jam 5 menit. Tidak ada kebocoran maupun pencemaran yang diakibatkan atas insiden tersebut Menurut keterangan dari pihak terkait yang telah melakukan investigasi terhadap MV. Aqua Blu, Kapal tersebut hanya menabrak tumpukan batu seluas 1x3 meter di wilayah konservasi serta tidak menimbulkan kerusakan terumbu karang. Selain insiden di atas, menurut data yang diperoleh dari Badan Layanan Umum Daerah – Unit Pelaksana Teknis Dinas (BLUD-UPTD) Kawasan Konservasi Perairan Daerah Kabupaten Raja Ampat, beberapa insiden kapal kandas yang pernah tercatat dapat dilihat pada Tabel 1 berikut. Tabel 3. Daftar Insiden Kapal Kandas di Perairan Raja Ampat

Table 1. List of Incidents of Ship Aground in Raja Ampat Waters

Nama Kapal	Tahun	Lokasi
<i>Speedboat</i> MER	2014	Misool
<i>Caledonian</i> Sky	2017	Pulau Mansuar
KM. Amanikan	2017	Depan Kapisawar
<i>Silvertrip</i>	2018	Pulau Gam
Express Bahari	2018	Jenbuba, Mansuar
KM. Amanikan	2018	Arborek
WOW	2019	Friwin
Sabuk	2019	Ayau
Nusantara 56		
<i>Aqua Blu</i>	2019	Wayag
Lamima	2020	Misool
<i>Blue Dragon</i>	2020	Saonek

Sumber: BLUD-UPTD Kawasan Konservasi Perairan Daerah Kabupaten Raja Ampat, 2020

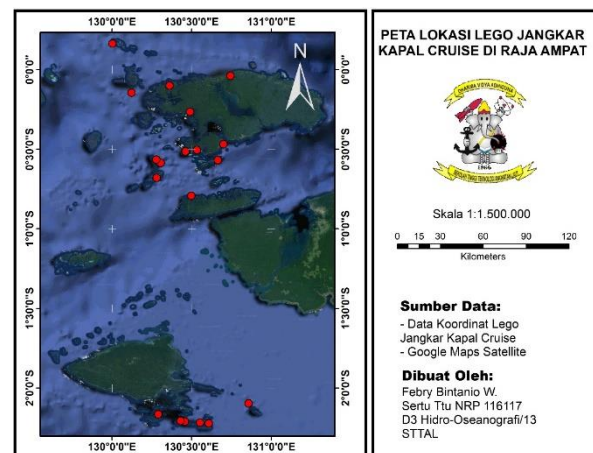
Berdasarkan data di atas, dari rentang tahun 2014 hingga Januari 2020, setidaknya telah terjadi beberapa insiden kapal kandas yang terjadi di perairan Raja Ampat. Berdasarkan data tersebut, sebagian besar tergolong dalam kategori kapal *cruise* atau kapal wisata. Tentunya, insiden tersebut merupakan suatu ancaman bagi kelestarian terumbu karang dan juga biota laut yang berhabitat di dalamnya.

Selain mengancam kelestarian lingkungan, ancaman lain yang mungkin berdampak adalah menurunnya pertumbuhan sektor pariwisata di Raja Ampat. Karena bagaimanapun, kelestarian alam di Raja Ampat adalah tanggungjawab bersama. Terlepas dari apakah insiden tersebut merupakan human error atau tidak, dalam rangka meminimalisir kerusakan terumbu karang dan untuk menjamin keselamatan navigasi di Raja Ampat, maka perlu adanya peta laut dengan skala besar di perairan tersebut. Dengan adanya peta laut yang mutakhir, diharapkan insiden serupa tidak terulang kembali. Hal ini diyakini membantu para nahkoda kapal *cruise* yang hendak berkunjung, untuk dapat bernavigasi dengan lebih baik di perairan Raja Ampat.

Dalam rangka pemutakhiran peta di perairan Raja Ampat perlu adanya terobosan untuk percepatan pembuatan peta elektronik (ENC) dalam skala besar dan *ter-update*. Untuk itu, dalam penelitian ini bertujuan untuk menentukan langkah-langkah ekstraksi kedalaman dari citra satelit SPOT-7, dan kemudian membawa data batimetri hasil SDB tersebut ke dalam pembuatan ENC.

BAHAN DAN METODE

Pemilihan lokasi penelitian berdasarkan pada data mengenai titik koordinat posisi lego jangkar kapal *cruise* di beberapa lokasi wisata di Raja Ampat. Tampilan sebaran titik koordinat posisi lego jangkar kapal *cruise* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



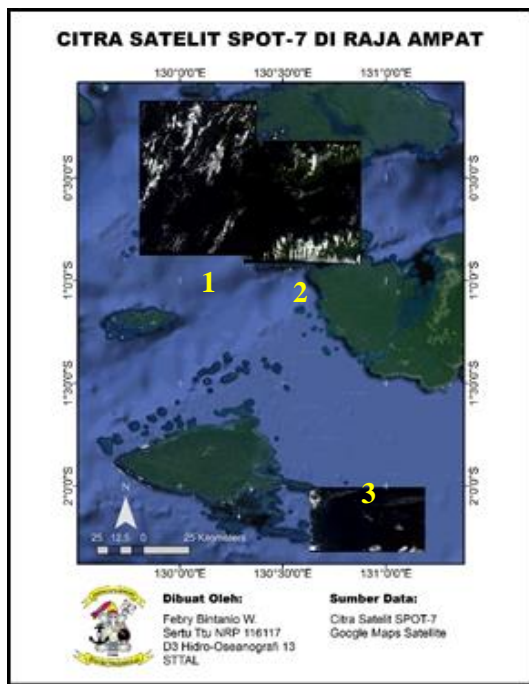
Gambar. 1. Peta Sebaran Titik Koordinat Lego Jangkar Kapal *Cruise*.

Figure 1. Cruise Ship Anchorage Point Distribution Map

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Data sebaran titik koordinat tersebut diasumsikan sebagai lokasi destinasi wisata di Raja Ampat yang sering dikunjungi oleh kapal *cruise*. Kemudian pemilihan lokasi penelitian didasari dengan ketersediaan citra satelit SPOT-7 yang didapat dari LAPAN. Lihat pada Gambar 2 berikut.

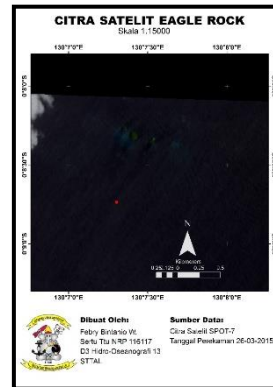
Jika disesuaikan dengan sebaran titik sesuai gambar 1, maka diperoleh 8 lokasi penelitian sesuai Gambar 3 berikut, antara lain:



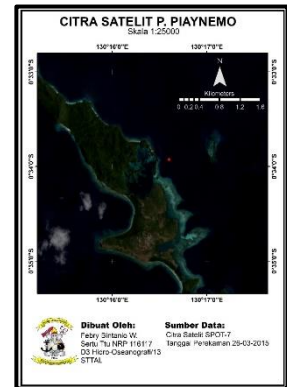
Gambar .2. Citra Satelit SPOT-7 di Perairan Raja Ampat
Figure 2. SPOT-7 Satellite Imagery on Raja Ampat Waters

Sumber: Dokumentasi Pribadi

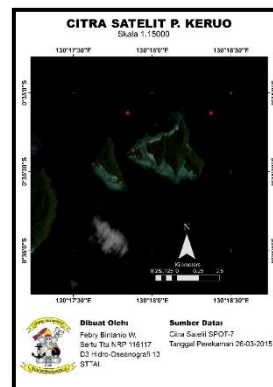
Gambar 2 di atas merupakan 3 *scene* citra SPOT-7 di Raja Ampat.



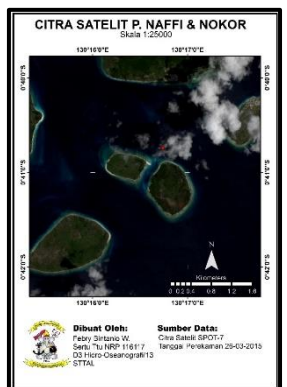
(a) Eagle Rock



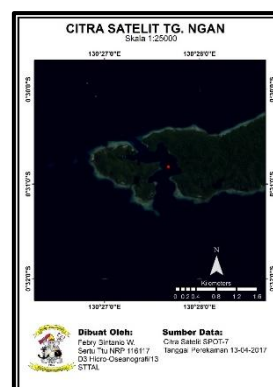
(b) Piaynemo



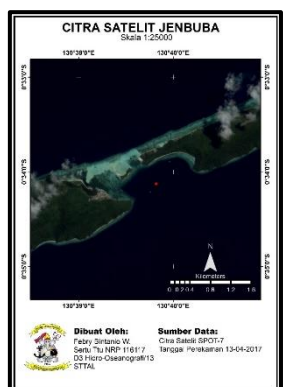
(c) P. Keruo



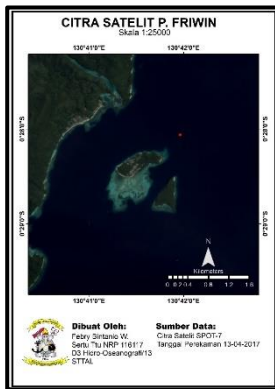
(d) P. Naffi & Nokor



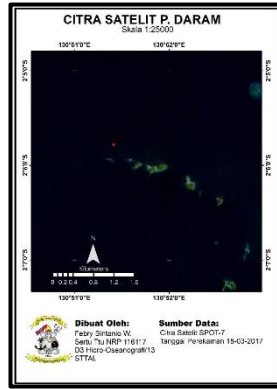
(e) Tg. Ngan



(f) Jenbuba



(g) P. Friwin

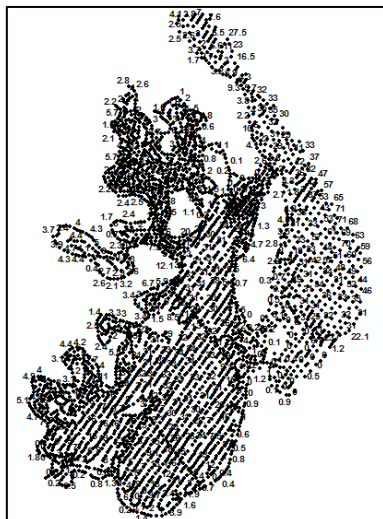


(h) P. Daram

Gambar. 3. Peta Lokasi Penelitian
Figure 3. Research Location Map

Sumber: Dokumentasi Pribadi

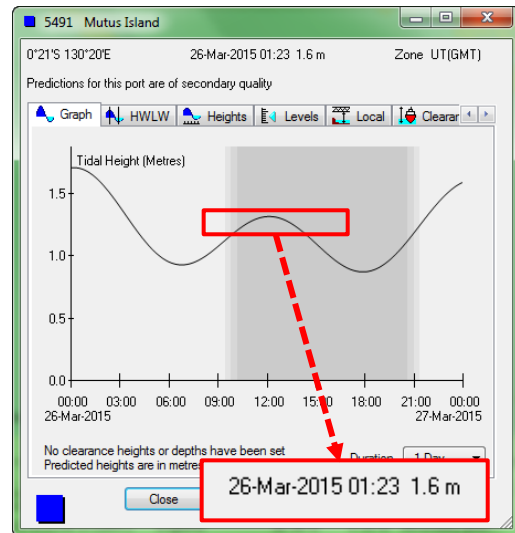
Untuk memperoleh data batimetri menggunakan metode SDB, maka dalam penelitian ini dilakukan pemodelan empirik. Untuk itu, data insitu dan informasi pasang surut (pasut) sesuai tanggal dan waktu perekaman citra diperlukan. Data insitu dalam penelitian ini menggunakan data batimetri hasil survei yang dilakukan Pushidrosal pada tahun 2018 di perairan Piaynemo, Raja Ampat (Gambar 4



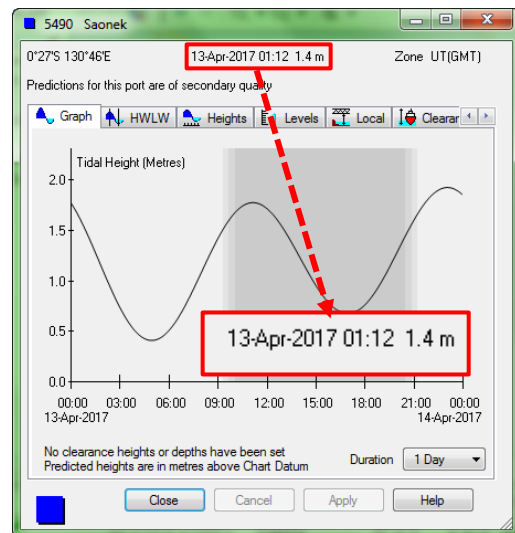
Gambar 4. Data Insitu
Figure 4. Insitu Data

Sumber: Pushidrosal, 2018

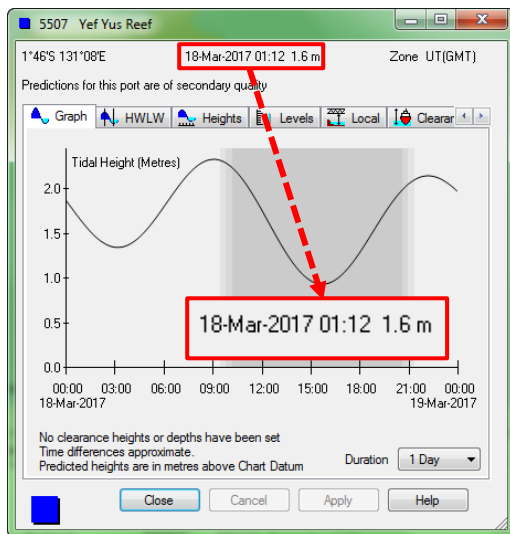
Sedangkan informasi pasut diperoleh dari *software Admiralty Total Tide (ATT)* yang disesuaikan dengan tanggal dan waktu perekaman citra dalam tiap *scene*, lihat pada Gambar 5 berikut, antara



(a) Scene 1



(b) Scene 2



(c) Scene 3

Gambar. 5. . Informasi Pasut Pada Tiap Scene
Figure 5. Tidal Information on Each Scene

Sumber: Software ATT, 2020

Penelitian ini terdiri atas 2 tahapan utama, yakni perolehan data batimetri menggunakan metode SDB dan pembuatan ENC menggunakan data batimetri hasil dari SDB.

Metode SDB menggunakan pemodelan empirik menggunakan algoritma yang dikembangkan oleh Stumpf et al (2003). Algoritma tersebut didasari prinsip bahwa tiap *band* memiliki tingkat penyerapan cahaya pada kolom air. Pada kolom air, *band* hijau akan mengalami penyerapan lebih cepat daripada *band* biru seiring bertambahnya kedalaman. Perbedaan tersebut akan menghasilkan rasio antar *band*, dan rasio tersebut akan berubah seiring dengan perubahan kedalaman.

$$Z = m_1 \left(\frac{\ln(nR_w(\lambda_i))}{\ln(nR_w(\lambda_j))} \right) - m_0 \quad (1)$$

Dimana,

Z = Kedalaman

m1 = Koefisien kalibrasi

m0 = Koreksi kedalaman nol (0)

Rw = Reflektansi kolom air, (λ_i) untuk band biru, dan (λ_j) untuk band hijau

n = Konstanta untuk menjaga rasio tetap positif

Dalam pemetaan hidrografi, data pasang surut (pasut) digunakan sebagai datum vertikal dalam penentuan kedalaman laut. Pada survei batimetri menggunakan *echosounder* nantinya akan dikoreksi dengan data pasut. Hal tersebut dikarenakan permukaan air laut yang selalu berubah-ubah saat pelaksanaan pemeruman. Sehingga di dalam pemetaan batimetri perlu adanya bidang referensi air terendah atau disebut juga *Chart Datum* (CD). Demikian halnya dengan proses SDB. Dalam mengekstraksi informasi kedalaman air laut menggunakan citra satelit, perlu adanya koreksi pasut karena fenomena naik turunnya permukaan air laut yang bersifat dinamis. Koreksi tersebut merupakan nilai surutan yang dihasilkan dari perhitungan pasang surut pada perairan daerah penelitian yang waktunya disesuaikan dengan waktu

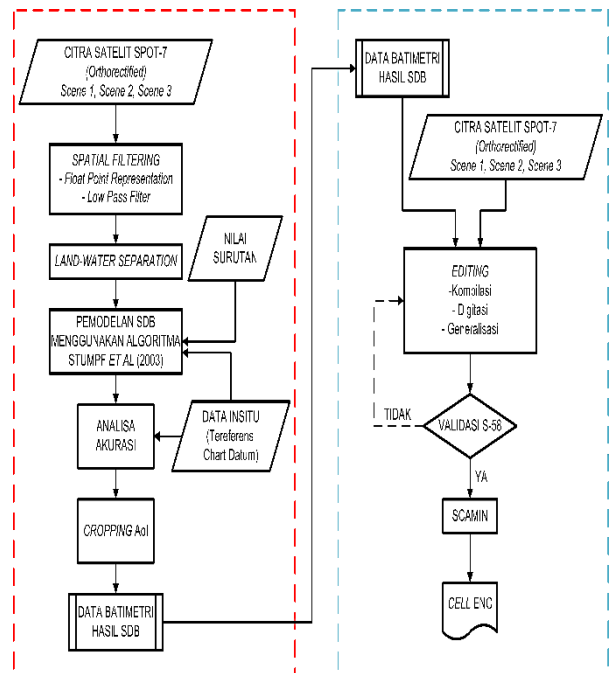
perekaman citra, jadi nilai yang ditambahkan adalah nilai surutan pada waktu perekaman citra. Hal ini dilakukan karena nilai kedalaman data lapangan yang diplotkan pada citra merupakan nilai kedalaman yang berada pada peta laut, nilai kedalaman yang tercantum pada peta laut merupakan nilai kedalaman yang telah disurutkan (Santoso, 2008). Nilai surutan didapatkan dari informasi pasut yang ada di *software* ATT dan disesuaikan dengan waktu saat perekaman citra. Nilai Surutan kemudian dimasukkan ke dalam algoritma Stumpf et al (2003) seperti persamaan 2 berikut.

$$Z = \left(m_1 \left(\frac{\ln(nR_w(\lambda_i))}{\ln(nR_w(\lambda_j))} \right) - m_0 \right) - S \quad (2)$$

Dimana,

- Z = Kedalaman
- m1 = Koefisien kalibrasi
- m0 = Koreksi kedalaman nol (0)
- Rw = Reflektansi kolom air, (λi) untuk band biru, dan (λj) untuk band hijau
- n = Konstanta untuk menjaga rasio tetap positif
- S = Nilai surutan

Adapun diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.



Gambar.6. Diagram Alir Penelitian
Figure 6. Research Flowchart

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Keterangan:

- Perolehan Batimetri
- Proses
- Pembuatan Cell ENC
- Hasil
- Proses
- Hasil
- Alur Penelitian
- Validasi
- Hasil
- Data Akhir

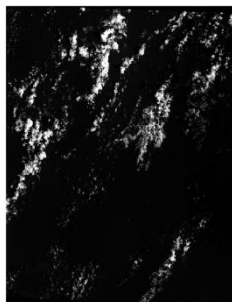
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini terdiri dari dua tahapan utama. Pertama adalah tahapan dalam perolehan data batimetri menggunakan metode SDB, dan yang kedua adalah tahapan dalam pembuatan cell ENC dengan menggunakan data batimetri yang telah dihasilkan dari tahapan pertama.

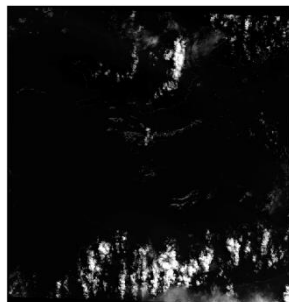
Perolehan Data Batimetri

Seluruh proses perolehan data batimetri dilakukan pada software ArcGIS 10.4.1 dengan mengadaptasi langkah-langkah dari buku *The IHO-IOC GEBCO Cook Book* tahun 2019 di dalam *Chapter 11*. Citra satelit yang digunakan sudah ter-oktorektifikasi, artinya citra tersebut telah terkoreksi secara radiometrik maupun geometrik.

Tahap pertama yang dilakukan adalah *Spatial Filtering*. Dalam tahap ini terdapat 2 langkah, yakni *Float Point Representation (FPR)* dan *Low Pass Filter (LPF)* yang dilakukan terhadap *band* biru, hijau dan NIR (*Near Infrared*) pada masing-masing *scene* citra. Berikut adalah contoh hasil dari FPR *band* biru pada semua *scene* (Gambar 7), dan hasil LPF pada *band* biru pada semua *scene* (Gambar 8).



(a) FPR *Band* Biru
Scene 1



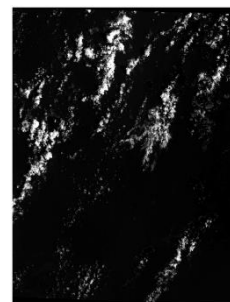
(b) FPR *Band* Biru
Scene 2



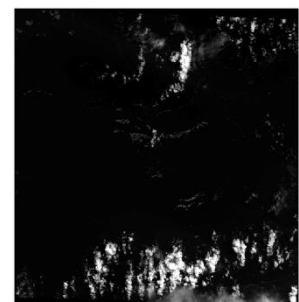
(c) FPR *Band* Biru
Scene 3

Gambar .7. Hasil FPR Pada *Band* Biru Tiap *Scene*
Figure 7. Result of FPR in Blue Band on Each Scene

Sumber: Hasil Pengolahan



(a) LPF *Band* Biru
Scene 1



(b) LPF *Band* Biru
Scene 2



(c) LPF *Band* Biru
Scene 3

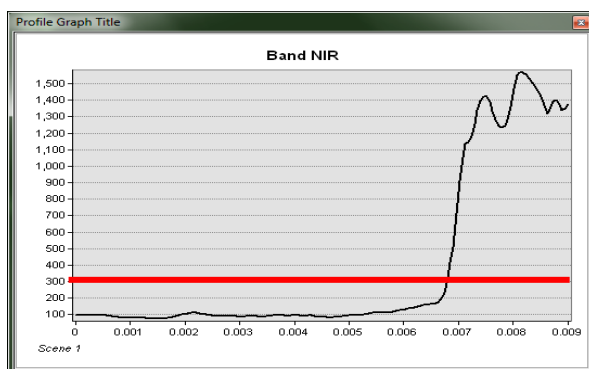
Gambar . 8 . Hasil LPF Pada *Band* Biru Tiap *Scene*
Figure 8. Result of LPF in Blue Band on Each Scene

Sumber: Hasil Pengolahan

Setelah tahap *spatial filtering*, tahap selanjutnya adalah *Land-water Separation*. Tahap ini bertujuan untuk memisahkan badan air dengan daratan, sehingga saat proses SDB hanya terfokus pada area perairan.

Pemisahan badan air dengan daratan dilakukan dengan memanfaatkan *band NIR* sebagai indikatornya. Hal tersebut berawal dari teori bahwa pancaran gelombang dari *band* ini yang terserap habis jika mengenai air. Jadi, badan air akan berwarna gelap dan daratan berwarna lebih terang pada tampilan citra.

Proses awal tahapan ini adalah dengan menarik garis *interpolate line* yang melalui perairan dan daratan. Setelah itu dapat ditampilkan *profile graph* untuk mengetahui nilai indikator yang akan diterapkan untuk memisahkan badan air dengan daratan (lihat Gambar 9).

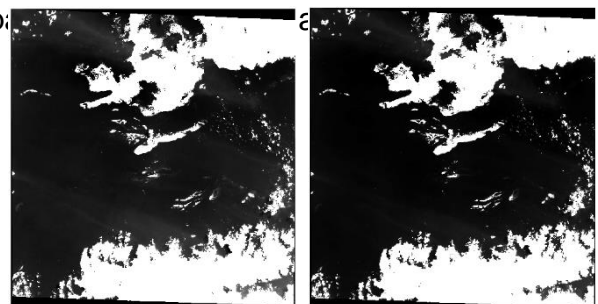


Gambar. 9 . *Profile Graph* Dari Band NIR pada Scene 1

Figure 9. *Profile Graph of NIR Band on Scene 1*

Sumber: Hasil Pengolahan

Pada Gambar 9 di atas merupakan *profile graph* dari *band NIR* yang ada pada *scene 1*. Dari gambar tersebut, grafik yang cenderung datar dengan nilai rendah diartikan sebagai perairan, sedangkan grafik yang menjulang dengan nilai tinggi merupakan daratan. Setelah dilakukan identifikasi terhadap semua *scene*, nilai yang menjadi indikator untuk tahapan *land-water separation* memiliki nilai yang sama, yakni 300. Berikutnya adalah menerapkan nilai tersebut pada *band* biru dan hijau yang sudah melalui tahapan *spatial filtering* sehingga citra yang dihasilkan memiliki tampilan perairan yang telah dipisahkan dari daratan. Setelah dilakukan pengolahan, dijumpai fakta bahwa tidak hanya daratan yang terpisah dari badan air, namun awan yang nampak pada citra juga turut dipisahkan. Jadi, citra yang akan digunakan untuk tahapan selanjutnya telah terpisah dari daratan dan juga terbebas dari awan. Berikut dalam Gambar 10 merupakan contoh hasil *land-water separation*



(a) *Band Biru*
Scene 2

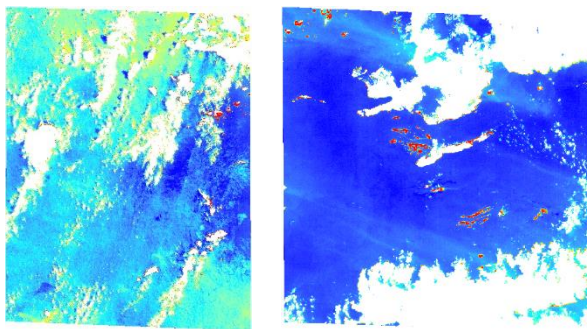
(b) *Band Hijau*
Scene 2

Gambar. 10 . Contoh Hasil *Land-water Separation* pada *band* biru dan hijau pada *scene 2*

Figure 10. *Result Example From Land-water Separation on Blue and Green Band of Scene 2*

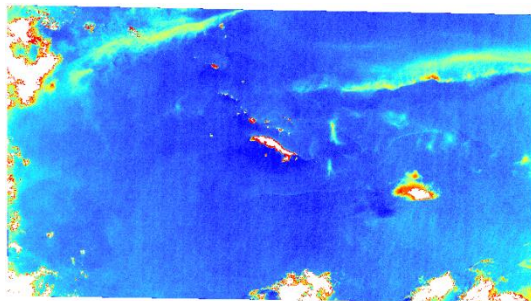
Sumber: Hasil Pengolahan

Tahap berikutnya adalah melakukan pemodelan SDB secara empirik. Setelah mendapatkan *band* biru dan hijau dari semua *scene* yang telah terpisah dari daratan, maka langkah selanjutnya adalah membuat *ratio band* dengan menggunakan persamaan 1, namun belum melibatkan nilai kalibrasi “m1” dan “m0”. *Ratio* yang didapatkan dapat dilihat pada Gambar 11 berikut.



(a) *Ratio Band Scene 1*

(b) *Ratio Band Scene 2*



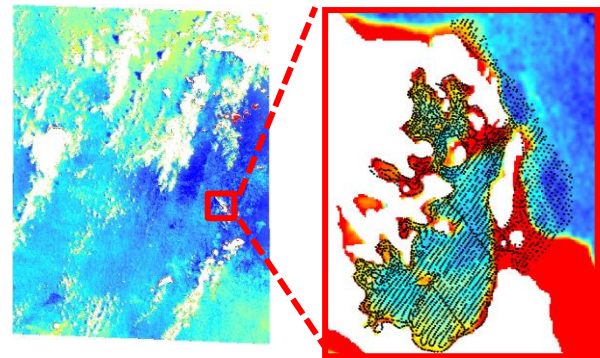
(b) *Ratio Band Scene 2*

Gambar. 11 . *Ratio Band* Dari Semua *Scene*
Figure 11. Ratio Band of All Scene

Sumber: Hasil Pengolahan

Berikutnya pelibatan data insitu mulai diterapkan dalam proses perolehan kalibrasi “m1” dan “m0”. Proses perolehan nilai kalibrasi didapatkan dari citra *scene 1* dan kemudian nilai tersebut diterapkan untuk semua *scene* citra. Hal tersebut dilakukan karena

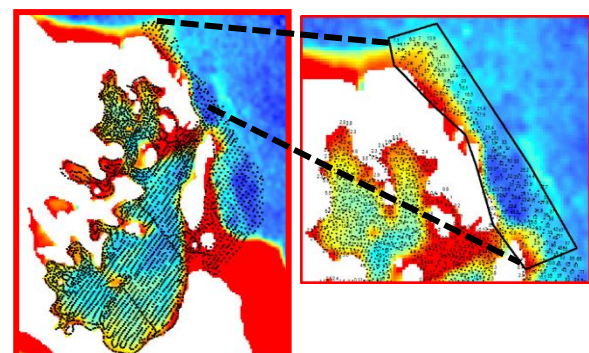
ketersediaan data insitu hanya terdapat pada perairan Piaynemo. Penerapan nilai kalibrasi ke dalam semua *scene* dilakukan dengan asumsi bahwa perairan dan jenis dasar perairan di Raja Ampat adalah sama.



Gambar. 12 . Tampilan Data Insitu Pada Perairan Piaynemo di *Scene 1*
Figure 12. Display of Insitu Data on Piaynemo Waters in Scene 1

Sumber: Hasil Pengolahan

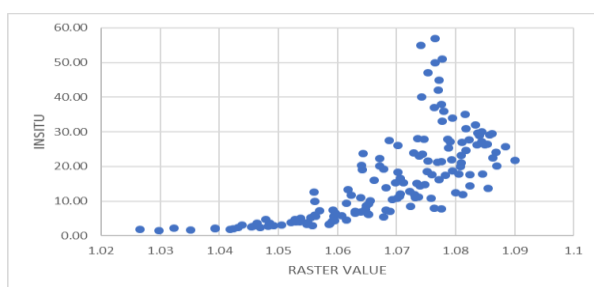
Pada Gambar 12 di atas merupakan tampilan data insitu di perairan Piaynemo. Dari data insitu yang berupa *point* tersebut, kemudian dipilih area yang digunakan untuk perhitungan kalibrasi. Pemilihan area yakni pada kedalaman yang dangkal hingga ke dalam. Lihat pada Gambar 13 berikut.



Gambar. 13 . Area Untuk Perolehan Nilai Kalibrasi
Figure 13. Area for Calibration Value Acquisition

Sumber: Hasil Pengolahan

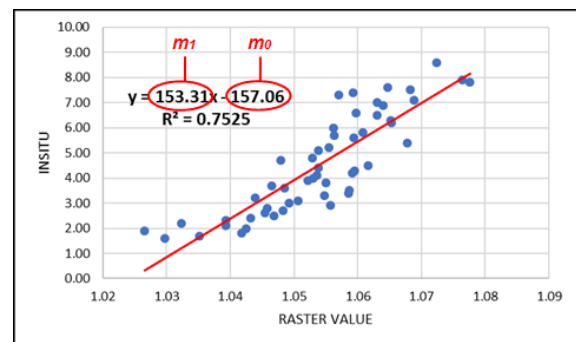
Prinsip dasar yang digunakan dalam perhitungan kalibrasi adalah analisis regresi linier, yakni hubungan secara linier antara data insitu dengan nilai raster (*raster value*) dari *ratio band*. Dari area tersebut (Gambar 13), kemudian diekstraksi menjadi data kalibrasi yang terdiri dari data insitu dan *raster value* dari *ratio band*. Pada proses ekstraksi, *raster value* akan diubah menjadi point dan diekstraksi sesuai dengan posisi data insitu berada, artinya pada 1 data insitu akan berpasangan dengan *raster value* sesuai posisi dari data insitu tersebut. Terkadang di dalam data kalibrasi terdapat 2 point (atau lebih) data insitu dalam 1 raster value, dan didapati pula data insitu dengan angka kedalaman yang sama namun letaknya berbeda, untuk itu dilakukan perataan sehingga 1 data insitu direpresentasikan oleh 1 *raster value*. Selanjutnya ditampilkan dalam diagram yakni *raster value* (sumbu X) dan data insitu (sumbu Y) pada Gambar 14 berikut.



Gambar. 14 . Diagram Raster Value dan Data Insitu
Figure 14. Raster Value and Insitu Data Diagram
Sumber: Hasil Pengolahan

Dari Gambar 14 dapat dilihat bahwa rentang angka kedalaman data insitu berada pada 1,6 hingga 57 meter. Pola

garis linier dapat dilihat pada area dangkal yang berada pada angka 1,6 sampai 8,6 meter, kemudian kurva tersebut naik secara vertikal hingga kedalaman 57 meter. Hal tersebut membuktikan adanya atenuasi yang terjadi. Perhitungan regresi linier dilakukan pada kedalaman 1,6 hingga 8,6 meter, kemudian persamaan linier dan nilai R^2 ditampilkan dalam grafik. Hasilnya dapat dilihat pada gambar 15 berikut.



Gambar. 15 . Nilai Kalibrasi
Figure 15. Calibration Value

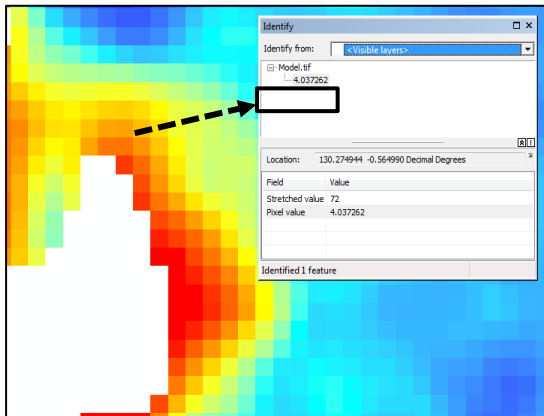
Sumber: Hasil Pengolahan

Dari gambar 15 di atas, didapatkan nilai kalibrasi “ m_1 ” adalah 153,31 dan “ m_0 ” adalah -157,06. Dan dapat diketahui koefisien determinasi atau R^2 sebesar 0,7525 (75,25%).

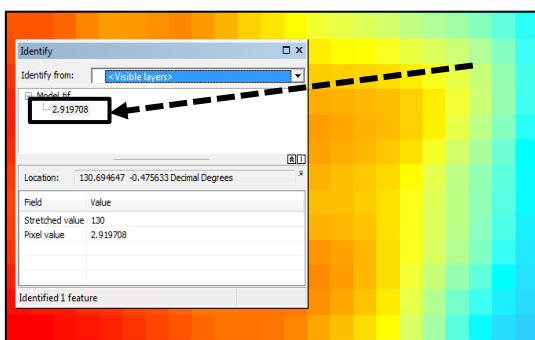
Langkah berikutnya adalah menerapkan nilai kalibrasi tersebut ke dalam rumus pada persamaan 1. Nilai kalibrasi yang didapatkan dari pengolahan pada *scene* 1, kemudian diterapkan pada *scene* citra yang lain.

Hasil dari penerapan tersebut adalah citra yang memiliki angka kedalaman dalam tiap pikselnya. Citra SPOT-7

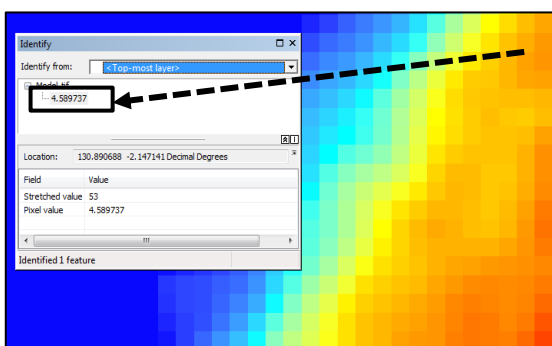
memiliki resolusi spasial sebesar 6 meter, itu artinya 1 piksel dalam citra tersebut memiliki ukuran 6 x 6 meter. Berikut dalam Gambar 16 adalah contoh hasil dari pemodelan SDB pada scene 1 di perairan Piaynemo, scene 2 di perairan P. Friwin, dan scene 3 di P. Daram.



(a) Scene 1



(b) Scene 2



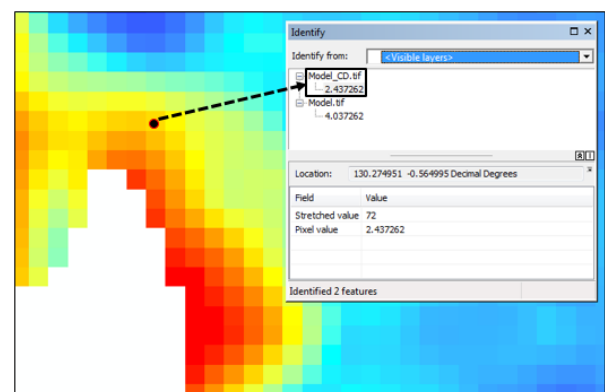
(c) Scene 3

Gambar. 16 . Hasil Pemodelan SDB
Figure 16. Result of SDB Modeling

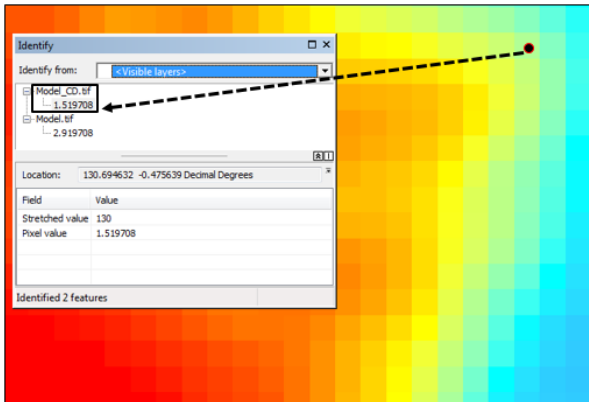
Sumber: Hasil Pengolahan

Sesuai dengan persamaan 2, maka hasil pemodelan SDB direduksi dengan nilai surutan sesuai tanggal dan waktu perekaman citra. Hal tersebut dilakukan agar angka kedalaman yang dihasilkan oleh pemodelan dapat bereferensi terhadap *chart datum*. Informasi surutan didapatkan dari *software Admiralty Total Tide (ATT)*. Dalam *software* tersebut, dijelaskan bahwa “*Predicted height are in meters above Chart Datum*”. Artinya, kedudukan tinggi air prediksi dalam satuan meter berada di atas *chart datum*. Atau dengan kata lain, kedudukan tinggi air pada 0 meter merupakan *chart datum*. Dari Gambar di atas, didapatkan informasi nilai surutan untuk scene 1 yakni 1,6 meter, scene 2 yakni 1,4 meter, dan scene 3 yakni 1,6 meter. Nilai surutan tersebut kemudian diaplikasikan sesuai dengan persamaan 2 terhadap semua pemodelan SDB di semua scene citra.

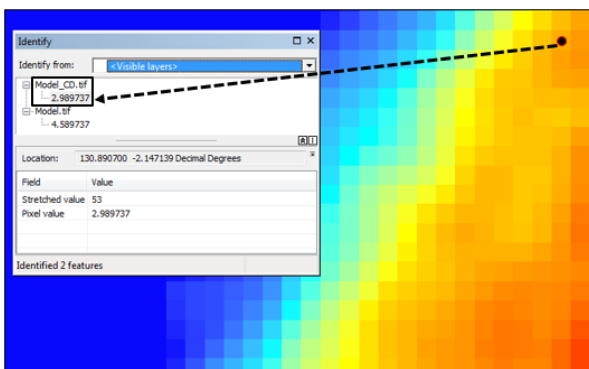
Contoh hasilnya dengan lokasi yang sama dengan Gambar 16 dapat dilihat pada Gambar 17 berikut.



(a) Scene 1



(b) Scene 2



(c) Scene 3

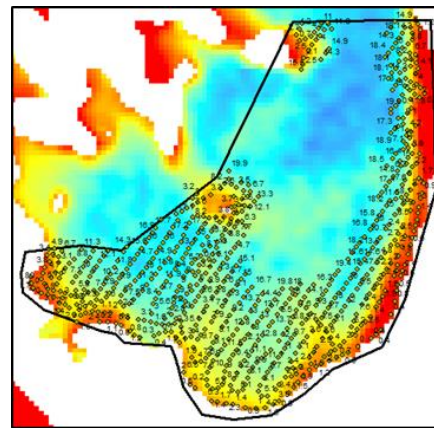
Gambar. 17 . Hasil Setelah Penerapan Persamaan 2
Figure 17. The Result After Applying Equation 2

Sumber: Hasil Pengolahan

Analisa akurasi dilakukan terhadap data insitu pada area tertentu. Maksudnya, selain untuk pemodelan SDB, data insitu yang ada juga digunakan untuk analisa akurasi, namun area yang dipilih berbeda dengan area kalibrasi yang digunakan dalam pemodelan SDB. Analisa akurasi hanya dilakukan terhadap citra scene 1.

Analisis regresi linier dilakukan untuk menganalisa hubungan antara data batimetri hasil dari pemodelan SDB

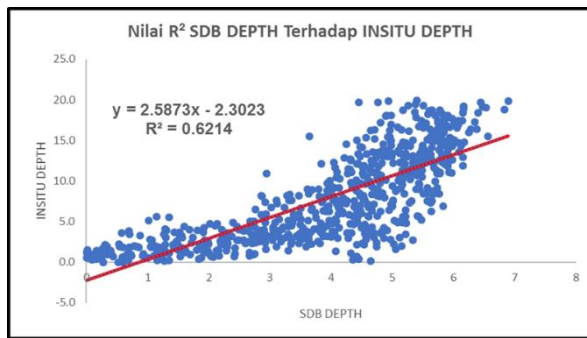
dengan data insitu. Hal ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana keakurasian data batimetri yang dihasilkan dari pemodelan SDB dengan data insitu. Kedua data tersebut disajikan dalam sebuah diagram kartesian XY untuk mengetahui nilai R^2 . RMSE juga diidentifikasi guna mengetahui sejauh mana tingkat kesalahan (*error*) yang dihasilkan dari pemodelan SDB. selain R^2 dan RMSE, Analisa berikutnya adalah perhitungan TVU sesuai dengan ketentuan yang ada pada S-44 IHO edisi 5 (2008).



Gambar. 18 . Data untuk Analisa Akurasi
Figure 18. Data for Accuracy Analysis

Sumber: Hasil Pengolahan

Pada diagram kartesian XY dalam Gambar 19 berikut, data batimetri yang dihasilkan dari pemodelan SDB ditampilkan pada sumbu X dan data insitu ditampilkan pada sumbu Y. Akurasi yang dihasilkan dalam penelitian ini dapat dilihat pada nilai R^2 yakni mencapai 0.6214 atau sebesar 62,14%.



Gambar. 19 . Nilai R² dari Pemodelan SDB terhadap Data Insitu
Figure 19. R² Value from SDB Modeling against Insitu Data

Sumber: Hasil Pengolahan

Kemudian hasil perhitungan RMSE dapat dilihat pada Gambar 20 berikut.

RMSE <1m	RMSE 1-2m	RMSE 2.1-5m	RMSE 5.1-10m
1.437804	1.2274152	1.28703594	3.429597352

RMSE 10.1-15m	RMSE 15.1-20m	RMSE 0-5	RMSE 0-20
7.537022457	11.53329403	1.299261361	5.827890588

Gambar. 20 . Hasil Perhitungan RMSE
Figure 20. RMSE Calculation Result

Sumber: Hasil Pengolahan

Dari rentang kedalaman 0 sampai 20 meter, dibagi menjadi 6 kelompok kedalaman, yakni kurang dari 1 meter (<1m), 1 sampai dengan 2 meter (1-2m), 2,1 sampai dengan 5 meter (2,1-5m), 5,1 sampai dengan 10 meter (5,1-10m), 10,1 sampai dengan 15 meter (10,1-15m), dan 15,1 sampai dengan 20 meter (15,1-20m). Langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan sesuai dengan persamaan

9, dengan hasil sebagai berikut yang terdapat pada Tabel 2 berikut.

KEDALAMAN	JUMLAH DATA	ORDE			TIDAK MASUK	RMSE (meter)
		SPEKIAL	1a/1b	2		
< 1 m	47	21,3%	25,5%	23,4%	29,8%	1,43
1 – 2 m	67	17,9%	14,9%	25,4%	41,8%	1,22
2,1 – 5 m	179	17,3%	17,9%	22,3%	42,5%	1,28
5,1 – 10 m	157	1,9%	2,5%	1,9%	93,6%	3,42
10,1 – 15 m	172	0%	0%	0%	100%	7,53
15,1 – 20 m	91	0%	0%	0%	100%	11,53
TOTAL DATA	713					

Tabel 2. Hasil Perhitungan TVU
Table 2. TVU Calculation Result

Sumber: Hasil Pengolahan

Pada kelompok kedalaman kurang dari 1 meter, diperoleh hasil yang tidak masuk dalam ketentuan S-44 IHO Edisi 5 (2008) adalah sebanyak 29,8% dari 47 data. Sedangkan yang memenuhi kriteria sebanyak 70,2% yang terbagi dalam orde spesial yakni 21,3%, orde 1a/1b yakni 25,5%, dan orde 2 yakni 23,4%. Dan RMSE sebesar 1,43 meter.

Berikutnya pada kelompok kedalaman 1 sampai 2 meter, diperoleh hasil yang tidak masuk dalam ketentuan S-44 IHO Edisi 5 (2008) adalah sebanyak 41,8% dari 67 data. Sedangkan yang memenuhi kriteria sebanyak 58,2% yang terbagi dalam orde spesial yakni 17,9%, orde 1a/1b yakni 14,9%, dan orde 2 yakni 25,4%. Dan RMSE sebesar 1,22 meter.

Selanjutnya pada kelompok kedalaman 2,1 sampai 5 meter, diperoleh hasil yang tidak masuk dalam ketentuan

S-44 IHO Edisi 5 (2008) adalah sebanyak 42,5% dari 179 data. Sedangkan yang memenuhi kriteria sebanyak 57,5% yang terbagi dalam orde spesial yakni 17,3%, orde 1a/1b yakni 17,9%, dan orde 2 yakni 22,3%. Dan RMSE sebesar 1,28 meter.

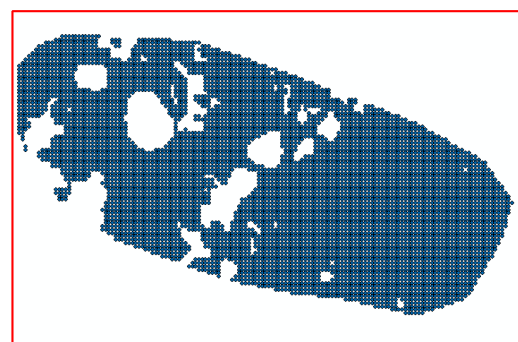
Berikutnya pada kelompok kedalaman 5,1 sampai 10 meter, diperoleh hasil yang tidak masuk dalam ketentuan S-44 IHO Edisi 5 (2008) adalah sebanyak 93,6% dari 157 data. Sedangkan yang memenuhi kriteria hanya sebanyak 6,4% yang terbagi dalam orde spesial yakni 1,9%, orde 1a/1b yakni 2,5%, dan orde 2 yakni 1,9%. Dan RMSE sebesar 3,42 meter.

Selanjutnya pada kelompok kedalaman 10,1 sampai 15 meter, diperoleh hasil yang tidak masuk dalam ketentuan S-44 IHO Edisi 5 (2008) adalah sebanyak 100% dari 172 data. Dengan kata lain, tidak ada data yang memenuhi TVU pada kelompok kedalaman ini. Dan memiliki RMSE sebesar 7,53 meter.

Lalu terakhir pada kelompok kedalaman 10,1 sampai 15 meter, diperoleh hasil yang tidak masuk dalam ketentuan S-44 IHO Edisi 5 (2008) adalah sebanyak 100% dari 91 data. Dengan kata lain, tidak ada data yang memenuhi TVU pada kelompok kedalaman ini. Dan memiliki RMSE sebesar 11,53 meter.

Jika dilihat, pada kelompok kedalaman 5,1-10m, 10,1-15m, dan 15,1-20m memiliki RMSE yang paling besar jika dibandingkan dengan kelompok kedalaman yang lain. Selain itu, data yang dihasilkan tidak memenuhi kriteria TVU sesuai yang ada pada S-44 IHO Edisi 5 (2008) yakni mencapai 93,6% dan 100%. Dari penjelasan di atas, maka dalam pembuatan ENC pada penelitian ini hanya menggunakan data batimetri hasil SDB yang tidak lebih dari 5 meter. Data batimetri 0-5 meter tersebut memiliki RMSE sebesar 1,299 meter (lihat Gambar 20), maka masuk dalam kategori CATZOC C. Namun demikian data SDB dengan nilai minus (-) tetap dilibatkan dalam pembuatan ENC. Jadi, rentang angka pada data SDB yang digunakan yakni dari -2 hingga 5 meter.

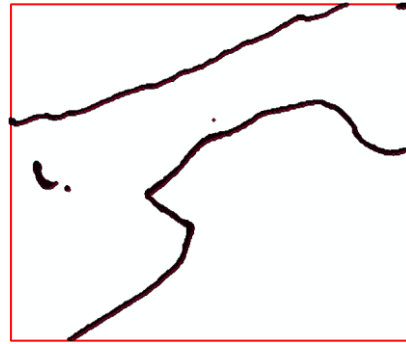
Setelah melakukan berikutnya adalah memotong area yang diinginkan atau *Area of Interest* (Aoi). Aoi yang dipilih berdasarkan lokasi penelitian, yakni terdapat 8 lokasi yang merupakan destinasi wisata favorit yang ada di Raja Ampat.



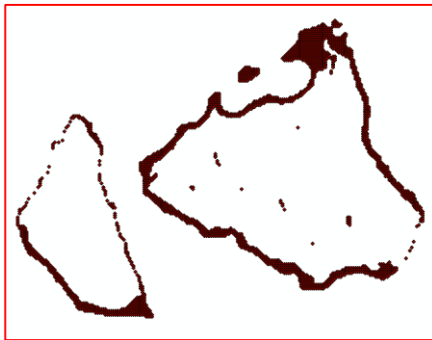
(a) *Eagle Rock*



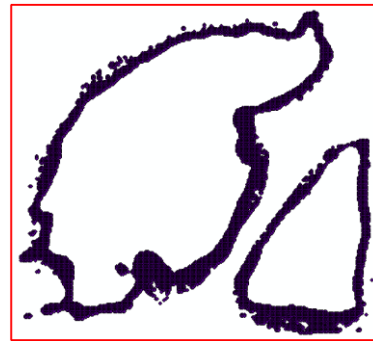
(b) Piaynemo



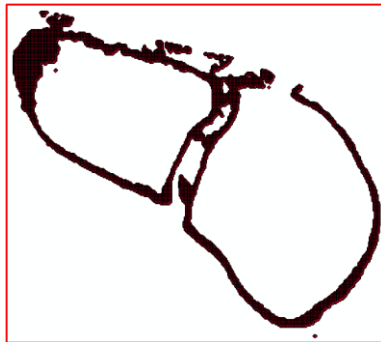
(f) Jenbuba



(c) P. Keruo



(g) P. Friwin



(d) P. Naffi & Nokor



(h) P. Daram



(e) Tg. Ngan

Gambar. 21 . Data Batimetri Pada Aol
Figure 21. Bathymetry Data on Aol

Sumber: Hasil Pengolahan

Pembuatan Cell ENC

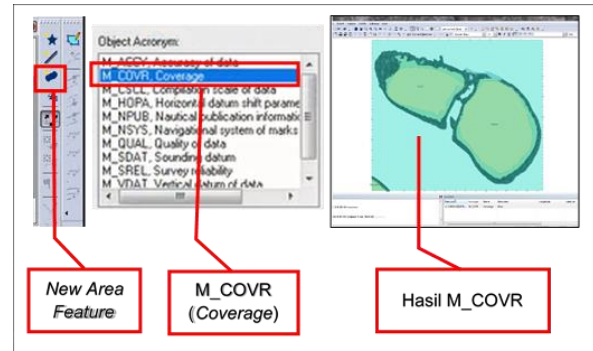
Tahap pertama yang dilakukan adalah *Editing*. Terdapat 3 proses yang dilakukan dalam tahap *editing*, yakni proses kompilasi, proses digitasi dan termasuk di dalamnya input beberapa *acronym*, serta proses generalisasi.

Dalam proses kompilasi, data-data yang disiapkan adalah data batimetri hasil SDB dengan angka kedalaman -2 sampai dengan 5 meter pada 8 lokasi destinasi wisata, dan data citra satelit SPOT-7 yang nantinya digunakan untuk proses digitasi pulau atau daratan. Berikutnya adalah mengumpulkan informasi tentang toponimi nama pulau yang hendak dipetakan dengan mereferensi pada peta laut terkait. Selanjutnya, mengumpulkan informasi mengenai bangunan-bangunan seperti homestay atau resort yang didapat dari Google Earth Pro, disesuaikan dengan lokasi destinasi wisata yang hendak dipetakan.

Kemudian berlanjut pada tahap digitasi. Diawali dengan mendigitasi pulau atau daratan dalam bentuk poligon yang ada di 8 lokasi destinasi wisata.

Berikutnya yang dilakukan adalah membuat *boundary* atau batas untuk tiap lokasi destinasi wisata. Hal ini bertujuan memberikan batasan area cakupan (*coverage*) yang nantinya digunakan sebagai M_COVR pada pembuatan ENC.

Data *boundary* yang tadi dibuat, kemudian dibawa ke pembuatan ENC sebagai M_COVR. Lihat pada Gambar 22 berikut.



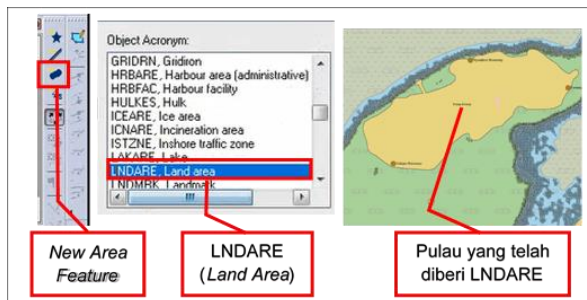
Gambar. 22 . Tahapan Pembuatan M_COVR
Figure 22. M_COVR Making Process

Sumber: Hasil Pengolahan

Data SDB sesuai Aol dan data poligon daratan atau pulau yang memiliki format “.shp” kemudian di-*import* ke dalam *software*. Diawali dengan memasukkan file dengan format “.hob” yang didapat dari Dispeta Pushidrosal. File dengan nama “XXX.hob” tersebut merupakan file kosong yang belum berisi data apapun.

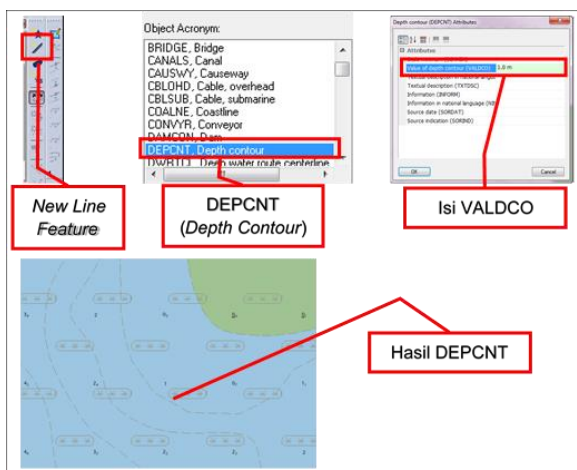
Data SDB diberi *acronym* SOUNDG (*Sounding*), dan data poligon daratan diberi *acronym* COALNE (*Coastline*), kemudian keduanya di-*import* ke dalam file “XXX.hob” dan disimpan dengan nama sesuai 8 lokasi destinasi wisata.

Langkah berikutnya adalah membuat *acronym* LNDARE (*Land Area*) pada pulau atau daratan, kemudian diberi nama sesuai toponiminya. Input LNDARE disesuaikan dengan COALNE yang ada (Gambar 23).



Gambar. 23 . Tahapan Pembuatan LNDARE
Figure 23. LNDARE Making Process
Sumber: Hasil Pengolahan

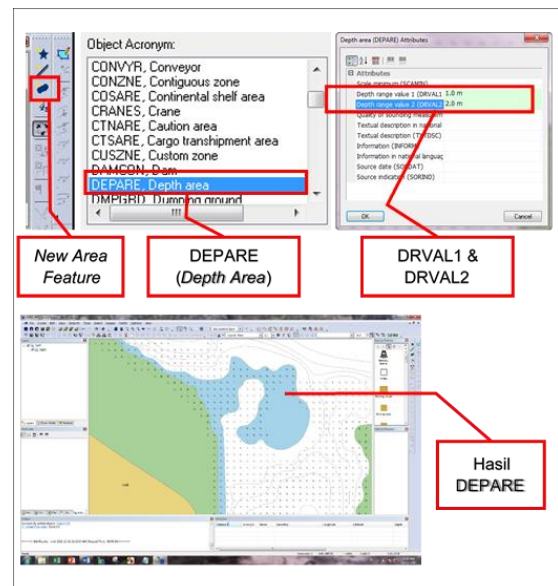
Berikutnya adalah mendigitasi garis kontur kedalaman dengan *acronym* DEPCNT (*Depth Contour*). Kontur dengan interval kedalaman per 1 meter yang dibuat adalah kontur duga atau *approximate contour* karena data batimetri yang digunakan adalah hasil dari pemodelan SDB. kemudian isi VALDCO (*Value of Depth Contour*) sesuai nilai kontur yang diinginkan (Gambar 24).



Gambar. 24 . Tahapan Pembuatan DEPCNT
Figure 24. DEPCNT Making Process

Sumber: Hasil Pengolahan

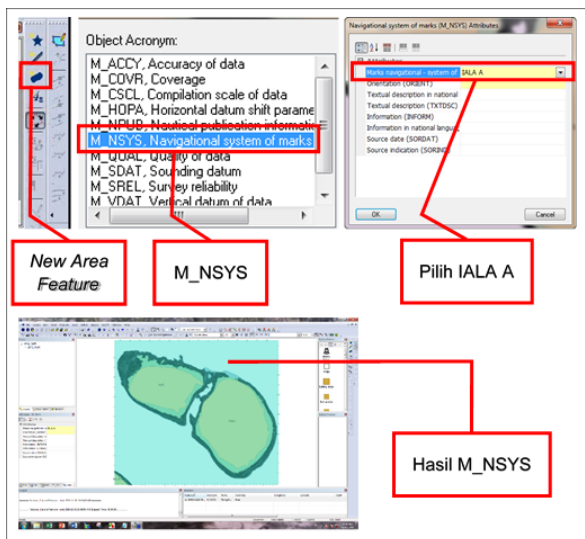
Setelah digitasi kontur selesai, proses digitasi berikutnya adalah membuat DEPARE (*Depth Area*). *Depth Area* merupakan area kedalaman dengan rentang kedalaman tertentu. Sebagai contoh *Depth Area* 1 meter, memiliki rentang kedalaman antara 0,1 sampai 1 meter. *Depth Area* 2 meter, memiliki rentang kedalaman 1,1 sampai 2 meter, dan seterusnya (Gambar 25).



Gambar. 25 . Tahapan Pembuatan DEPARE
Figure 25. DEPARE Making Process

Sumber: Hasil Pengolahan

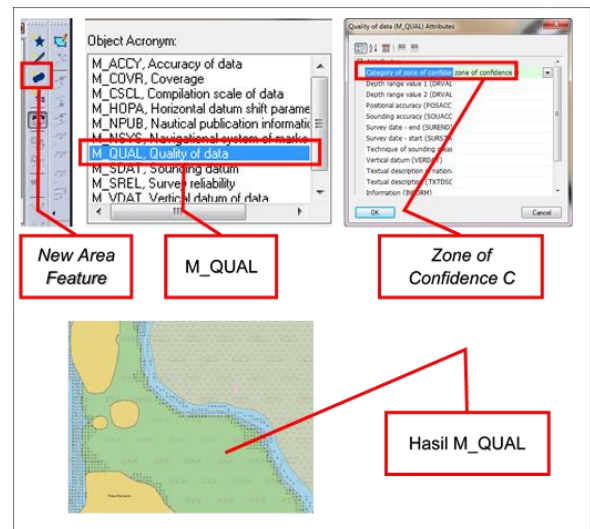
Setelah pembuatan DEPARE, berikutnya adalah membuat M_NSYS (*Navigational System of Marks*) untuk semua lokasi. Di Indonesia, sistem navigasi yang dianut adalah IALA A (Gambar 26).



Gambar. 26. Tahapan Input M_NSYS
Figure 26. M_NSYS Input Process

Sumber: Hasil Pengolahan

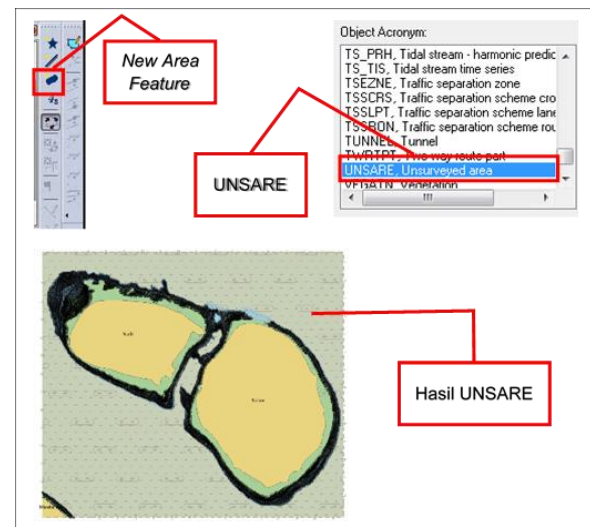
Tahapan dalam input UNSARE dapat dilihat pada Gambar 28 berikut.



Gambar. 27. Tahapan Input M_QUAL
Figure 27. M_QUAL Input Process

Sumber: Hasil Pengolahan

Pada ENC, pemberian CATZOC (*Category Zone of Confidence*) adalah mutlak. Maka untuk semua lokasi yang dibuat, diberi M_QUAL (*Quality of Data*) agar pengguna ENC dapat mengetahui kualitas angka kedalaman yang digambarkan. Karena data batimetri yang didapatkan dari pemodelan SDB masih memiliki tingkat kepercayaan (*Confidence Level*) yang rendah, maka CATZOC yang digunakan adalah C. Hasil tersebut sesuai dengan yang ada pada hasil analisa akurasi. CATZOC C disimbolkan dengan tiga tanda bintang (***) Tahapan dalam input M_QUAL dapat dilihat pada Gambar 27.



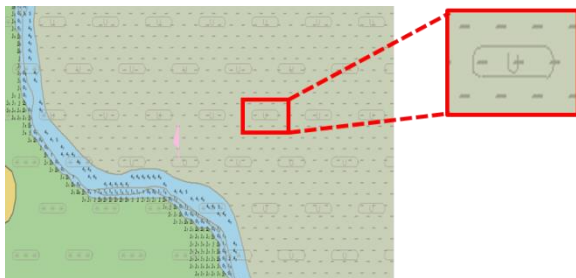
Gambar. 28 . Tahapan Pembuatan UNSARE
Figure 28. UNSARE Making Process

Sumber: Hasil Pengolahan

Dengan keterbatasan data yang dihasilkan dari pemodelan SDB, maka area kosong dimana tidak ada data batimetri di dalamnya, perlu diberi acronym UNSARE (*Unsurveyed Area*).

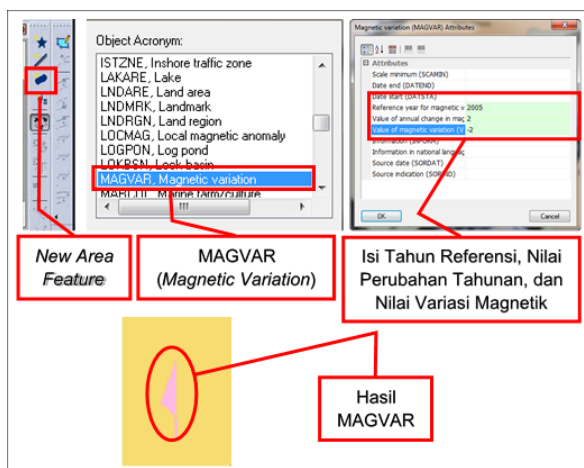
Khusus untuk area UNSARE, CATZOC yang diberikan adalah CATZOC U (*Unassessed*) karena tidak ada SOUNDG di dalamnya (lihat Gambar 29).

Selanjutnya adalah memberikan acronym MAGVAR (*Magnetic Variation*) pada semua ENC yang dibuat. Nilai MAGVAR tersebut didapatkan dari peta laut terkait. (lihat Gambar 30).



Gambar. 29 . CATZOC U Pada UNSARE
Figure 29. CATZOC U on UNSARE

Sumber: Hasil Pengolahan



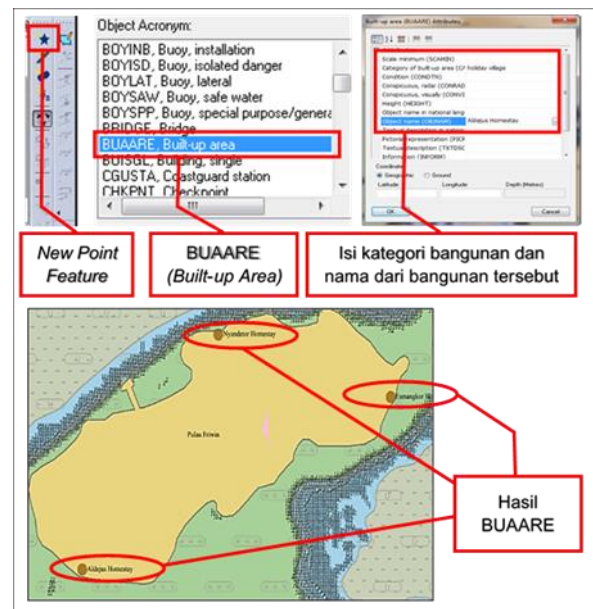
Gambar 30. Tahapan Pembuatan MAGVAR
Figure 30. MAGVAR Making Process

Sumber: Hasil Pengolahan

Kemudian selanjutnya menambahkan informasi mengenai bangunan ke dalam peta. *Acronym* untuk bangunan adalah BUAARE (*Built-up Area*). Lihat pada Gambar 31.

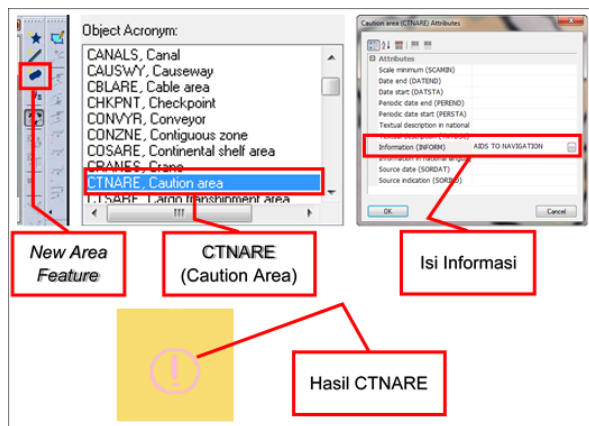
Dalam tahap *editing* berikutnya adalah input *acronym* CTNARE (*Caution Area*) pada peta. Hal tersebut dilakukan untuk memberikan peringatan terhadap para user agar tetap menjaga kewaspadaan dalam bernavigasi (lihat Gambar 32).

Setelah itu dilanjutkan tahapan generalisasi SOUNDG. Generalisasi yang dimaksud adalah proses *Sounding Selection*. Tahap ini dimaksudkan untuk menyederhanakan tampilan dalam peta agar tidak terlalu banyak data SOUNDG (lihat pada Gambar 33).



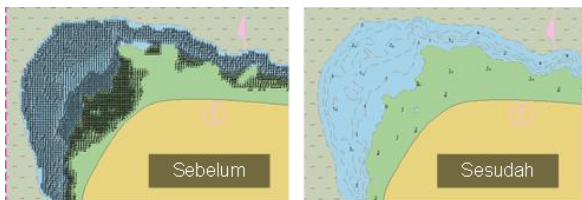
Gambar. 31 . Tahapan Pembuatan BUAARE
Figure 31. BUAARE Making Process

Sumber: Hasil Pengolahan



Gambar. 32 . Tahapan Input CTNARE
Figure 32. CTNARE Input Process

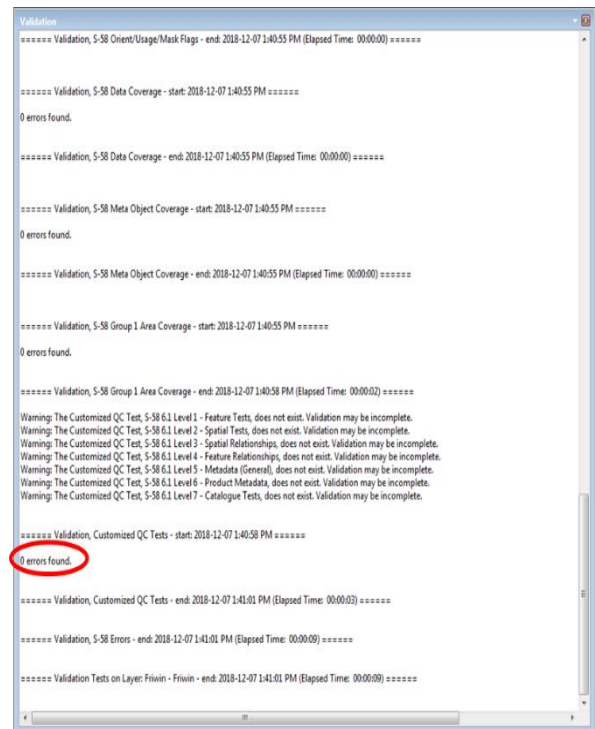
Sumber: Hasil Pengolahan



Gambar. 33 . Sebelum dan Sesudah *Sounding Selection*
Figure 33. Before and After *Sounding Selection*

Sumber: Hasil Pengolahan

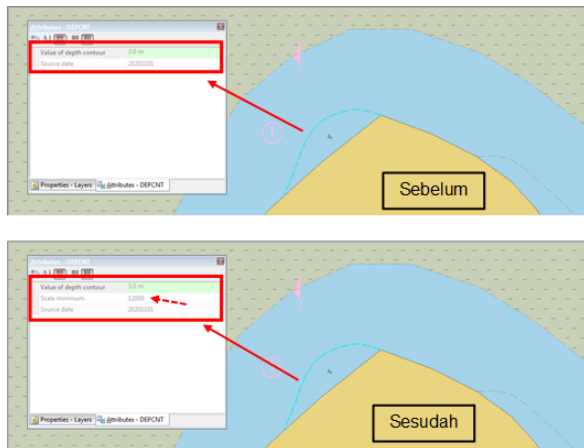
langkah berikutnya adalah melakukan validasi sesuai ketentuan S-58 IHO. Hal ini dilakukan untuk mengidentifikasi apakah terdapat *error* atau *warning* dari ENC yang dibuat. Lakukan validasi hingga tidak terdapat error yang ditemukan (hasil validasi terdapat pada Gambar 34). Jika masih ditemukan, maka identifikasi masalah pada saat tahap *editing*.



Gambar. 34. Hasil Validasi S-58
Figure 34. S-58 Validation Result

Sumber: Hasil Pengolahan

Tahap selanjutnya adalah memberikan nilai *Scale Minimum* (Scamin). Yang dilakukan dalam tahap ini adalah memberikan nilai scamin terhadap setiap objek kecuali objek yang tergolong dalam group 1 (*Skin of Earth*). Hasilnya, setiap objek yang tergambar akan menyesuaikan dengan skala minimumnya sehingga tampilan ENC tidak *over crowded* (Gambar 35).



Gambar. 35. Sebelum dan Sesudah Scamin
Figure 35. Before and After Scamin

Sumber: Hasil Pengolahan

ENC yang dikerjakan di atas sebenarnya masih berupa file dengan format “.hob”. Agar file tersebut dapat menjadi *cell* ENC dengan format “.000” maka perlu meng-*export* semua objek.

Penomoran cell ENC disesuaikan dengan nomor peta laut kertas terkait. Untuk memudahkan penomoran, IHO menentukan aturan dalam penomoran Cell ENC. Dalam *S-57 Appendix B.1* juga dijelaskan aturan dalam hal penomoran *cell* ENC, yakni terdiri dari 8 karakter yang berisi kode unik. Dua karakter pertama adalah kode negara produsen, karakter ke-3 adalah kategori peruntukan navigasi, dan 5 karakter terakhir adalah nomor *cell* yang disamakan dengan nomor peta kertas terkait

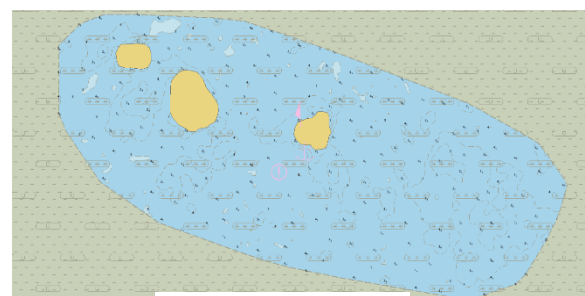
Dalam penelitian ini, sebagai contoh misalnya *cell* ENC di Piaynemo, maka penomorannya menjadi ID5186A1 karena area Piaynemo ada pada Peta Laut Indonesia Nomor 186. Dan di belakang penomoran diberi A1 yang berarti Area 1 pada nomor peta yang sama. Lebih jelasnya lihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 4. Penomoran *Cell* ENC
Table 3. ENC Cell Numbering

NOMOR PETA KERTAS	LOKASI PENELITIAN	NOMOR CELL ENC
216	Eagle Rock	ID6216A1
186	Piaynemo	ID5186A1
186	P. Keruo	ID5186A2
186	P. Naffi & Nokor	ID5186A3
186	Tg. Ngan	ID5186A4
186	Jenbuba	ID5186A5
186	P. Friwin	ID5186A6
211	P. Daram	ID5211A1

Sumber: Hasil Pengolahan

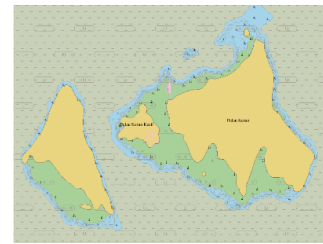
Adapun tampilan *cell-cell* ENC yang telah dibuat pada Gambar 36 berikut.



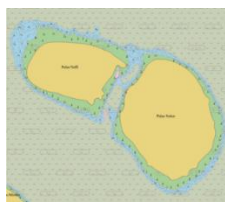
(a) Eagle Rock



(b) Piaynemo



(c) P. Keruo



(d) P. Naffi & Nokor



(e) Tg. Ngan



(f) Jenbuba



(g) P. Friwin



(h) P. Daram

Gambar. 36. Hasil Cell ENC
Figure 36. ENC Cell Result

Sumber: Hasil Pengolahan

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Metode SDB menggunakan algoritma Stumpf et al (2003) di dalam penelitian ini cukup baik dilakukan untuk mengetahui kedalaman pada area yang dangkal secara praktis dan efisien. Akan tetapi, masih memiliki keterbatasan dalam mengidentifikasi pada area yang lebih dalam. Oleh sebab itu, pada penelitian ini data SDB yang dihasilkan hanya mampu mengekstraksi kedalaman hingga 5 meter, dengan RMSE 1,299 meter dan

masuk ke dalam CATZOC C. kemudian data SDB yang digunakan dalam pembuatan ENC hanya terbatas pada kedalaman tidak lebih dari 5 meter. Dengan kata lain, jika ingin mendapatkan data batimetri pada kedalaman yang lebih dalam, maka sebaiknya melakukan survei secara langsung (*on site/insitu*) pada area yang dikehendaki.

Proses pembuatan ENC menggunakan data batimetri dari pemodelan SDB dalam penelitian ini bisa dilakukan namun tetap memiliki keterbatasan seperti misalnya kedalaman hanya terbatas hanya sampai kedalaman 5 meter saja. Selain itu, terdapat area dimana tidak terdapat data batimetri didalamnya (UNSARE).

Saran

Dari penelitian yang dilakukan, metode SDB memberikan peluang yang menjanjikan di dalam dunia hidrografi sebagai salah satu instrumen dalam memetakan perairan dangkal. Di perairan Raja Ampat yang memiliki banyak kedangkalan yang tersebar di seluruh perairannya, metode SDB bisa dianggap sebagai alternatif dalam meng-update peta laut pada perairan tersebut.

Banyaknya wisatawan lokal maupun mancanegara yang datang dan berwisata ke Raja Ampat menggunakan kapal *cruise* atau kapal wisata mereka. Tujuan dari wisatawan tersebut tentunya untuk menikmati

keindahan alam bawah laut yang ada di Raja Ampat. Untuk mencapai lokasi wisata yang ada, para nahkoda kapal *cruise* dapat menggunakan ENC yang dihasilkan dari penelitian ini, sehingga memberikan gambaran kepada nahkoda agar bisa berada sedekat mungkin dengan *diving spot* maupun *snorkeling spot* yang banyak terdapat di area dangkal, namun tetap dengan memperhatikan faktor keselamatan.

Pemodelan SDB secara empirik sangat bergantung pada beberapa faktor seperti kualitas citra, kualitas perairan, jenis dasar perairan, kualitas data insitu yang digunakan, ketersediaan data pasut pada lokasi yang diinginkan, dsb. Untuk itu, dalam metode SDB perlu dilakukan kajian lebih lanjut dengan menggunakan algoritma atau pendekatan lainnya untuk memperoleh data batimetri dengan hasil ekstraksi lebih dalam dan hasil akurasi yang lebih baik. Mengutip pesan yang disampaikan Presiden IHO pada forum SDB Day tahun 2018 silam, menyatakan bahwa “*SDB is better than nothing*”. Hal tersebut membuktikan bahwa SDB menjanjikan peluang yang besar dalam dunia hidrografi.

DAFTAR PUSTAKA

- 11TH CSPWG. (2018). *CSPCWG is invited to consider standardization and guidance for the representation of Satellite Derived Bathymetry (SDB) data on paper charts and ENCs*. UKHO.
- Abdillah, M.H. (2018). *Pembuatan Peta Laut Berdasarkan S-4 dan S-57 International Hydrographic Organization (IHO) Menggunakan Perangkat Lunak Arcgis 10.4.1*. Bogor: Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Geodesi, Universitas Pakuan Bogor.
- Agoes, F. H., Irawan, F. A., & Marlianisya, R. (2018). *Interpretasi Citra Digital Penginderaan Jauh Untuk Pembuatan Peta Lahan Sawah dan Estimasi Hasil Panen Padi*. Banjarmasin: Politeknik Negeri Banjarmasin.
- Arya. (2015). *Ekstraksi Kedalaman Laut Menggunakan Data SPOT-7 di Teluk Belangbelang Mamuju*. Tugas Akhir. Jakarta: STTAL.
- Arya, Winarso, G., Santoso A.I. (2016). *Evaluasi Akurasi Ekstraksi Kedalaman Laut Dengan Metode Lyzenga dan Modifikasinya Menggunakan Data SPOT-7 di Teluk Belangbelang Mamuju*. Jurnal Ilmiah Geomatika Volume 22 No. 1 Mei 2016: 09-19.

- Budyanto, E., Muzayanah. (2018). *Pendalaman Materi Geografi Modul 2 Penginderaan Jauh*. Kemenristekdikti.
- CNN Indonesia. (2018). *Kemenpar Minta Diplomat Ikut Mempromosikan Wisata Indonesia*. (Online), (<https://www.cnnindonesia.com/gaya-hidup/20181216152439-269-354026/kemenpar-minta-diplomat-ikut-mempromosikan-wisata-indonesia>, diakses 23 Januari 2020).
- Ekonomi Bisnis. (2017). *Ini Kronologi MV Caledonian Sky Tabrak Terumbu Karang di Raja Ampat*. (Online), (<https://ekonomi.bisnis.com/read/20170315/99/637409/ini-kronologi-mv-caledonian-sky-tabrak-terumbu-karang-di-raja-ampat>, diakses 23 Januari 2020).
- EOMAP. (2015). *UKHO published first nautical chart with EOMAP Satellite Derived Bathymetry*. (Online), (<https://www.eomap.com/ukho-published-first-nautical-chart-eomap-satellite-derived-bathymetry/>, diakses 8 Mei 2020).
- Ginting, D. N. Br., Faristyawan, R. (2018). *Pemanfaatan Citra Landsat 8 Untuk Ekstraksi Informasi Batimetri*. *Majalah Inderaja* Vol. IX No. 11, November 2018. Jakarta: Lapan.
- Green, E., Edwards A., and Mumby P. (2000). *Mapping Bathymetry*, in Edwards A. (ed.), *Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management*. Paris: UNESCO.
- IHO. (2000). *IHO Transfer Standards for Digital Hydrographic Data (Edition 3.1)*. IHO publication S-57. Monaco: International Hydrographic Organization.
- IHO. (2000). *S-57 Appendix B Product Specification*. Monaco: International Hydrographic Organization.
- IHO. (2017). *Electronic Navigational Charts (ENCs) "Production, Maintenance and Distribution Guidance"*. IHO Publication S-65 Edition 2.1.0. Monaco: International Hydrographic Organization.
- IHO. (2018). *Facts about Electronic Charts and Carriage Requirements*. IHO Publication S-66 Edition 1.1.0. Monaco: International Hydrographic Organization.
- IHO. (2018). *Regulations of The IHO For International (INT) Charts and Charts Specifications Of The IHO*. IHO Publication S-4 Edition 4.8.0. Monaco: International Hydrographic Organization.

- IHO, IOC, GEBCO. (2019). *The IHO-IOC GEBCO Cook Book*. IHO Publication B-11, IOC Manuals and Guides, 63.
- IMO. (2020). *Brief History of IMO*. (Online), (<http://www.imo.org/en/About/HistoryOfIMO>, diakses 15 Maret 2020).
- Janssen, Lucas L.F dan Huurneman, Gerrit C. (2001). *Principles of Remote Sensing*. ITC Educational Textbook Series, Netherland.
- Kraak, M. J., Ormeling, F. (2003). *Cartography: Visualization of Geospatial Data Second Edition*. Belanda: Pearson Education Limited.
- Kusumowidagdo dkk. (2007). *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra*. Jakarta: Lapan & Unnes.
- Lillesand and Kiefer, (1979), *Remote Sensing and Image Interpretation*, John Wiley and Sons, New York.
- Lyzenga, David. (1978). *Passive Remote-Sensing Techniques for Mapping Water Depth and Bottom Features*. Applied optics. 17. 379-83. 10.1364/AO.17.000379.
- Nugraha, A.Y. (2016). *Pemetaan Batimetri di Perairan Dangkal Menggunakan Data Penginderaan Jauh SPOT-7 (Studi Kasus Lembar - Lombok)*. Tugas Akhir. Jakarta: STTAL.
- Pemerintahan Kabupaten Raja Ampat. (2016). *Sejarah Kabupaten Raja Ampat*. (Online), (<https://rajaampatkab.go.id/sejarah>, diakses 23 Januari 2020).
- Peraturan Presiden RI Nomor 16 Tahun 2017 Tentang Kebijakan Kelautan Indonesia. Lampiran I.
- Peraturan Presiden RI Nomor 66 Tahun 2019 Tentang Susunan Organisasi TNI.
- Poerbandono dan Djunarsjah, E. (2005). *Survei Hidrografi*. Bandung: Refika Aditama.
- Priyadi, A. (2015). *Pembuatan Port ENC di Tanjung Priok*. Tugas Akhir. Jakarta: STTAL.
- Pujiastuti, Y. S. (2015). "Pelajaran Geografi Kelas IX (Kurikulum 2013)". Jakarta: Erlangga.
- Pushidrosal. (2019). *Sejarah Pushidrosal*. (Online), (<http://www.pushidrosal.id/sejarah/25/>, diakses 23 Januari 2020).

- Robinson A. H., Morrison J. L., Muehrcke P. C., Kimerling A. C., Guptill S.C. (1995). *Element of Cartography*. Canada: Jhon Wiley and Sons.INC.
- Said, Md Najhan *et al.* (2017). *Satellite-Derived Bathymetry: Accuracy Assessment on Depths Derivation Algorithm for Shallow Water Area*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-4/W5. Malaysia: Universiti Teknologi Malaysia Skudai.
- Santoso, A. I. (2008). *Kajian Pulau-Pulau Kecil Terluar Untuk Menentukan Batas Wilayah Maritim Menggunakan Teknologi penginderaan Jauh Dan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus Pulau Nipa, Provinsi Kepulauan Riau)*. Tesis. Pascasarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Setiawan, K.T. *et al.* (2018). *Development of Bathymetry Extraction Model from SPOT 7 Satellite Image*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Sirait, R. (2016). *Ekstraksi Kedalaman Laut Untuk Mendukung Daerah Latihan Pendaratan Pasukan Menggunakan Teknologi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus Pulau Damar Provinsi DKI Jakarta)*. Skripsi. Jakarta: STTAL.
- Sumekta, Y. (2019). *Studi Penggunaan Citra Satelit Landsat-8 OLI Untuk Mengidentifikasi Kedangkalan (Imprecise Shoal Area) Guna Updating Peta Laut (Studi Kasus Kepulauan Raja Ampat, Kepulauan Balabalagan Dan Kepulauan Bagian Selatan Selat Makasar)*. Tugas Akhir. Jakarta: STTAL.
- Sutanto. (1994). *Penginderaan Jauh, Jilid III*. Universitas Gajahmada Press.Yogyakarta
- Suyoto, R. H. (2016). *Pembuatan ENC Menggunakan Perangkat Lunak CARIS S-57 Composer 2.4 (Studi Kasus Perairan Teluk Banten)*. Tugas Akhir. Jakarta: STTAL.
- Syah, A. F. (2010). *Penginderaan Jauh dan Aplikasinya di Wilayah Pesisir Dan Lautan*. Jurnal Kelautan, Volume 3, No. 1. ISSN: 1907-9931. Madura: Ilmu Kelautan Universitas Trunojoyo.

Tasina. (2019). *Kustomisasi Simbol Peta Laut Indonesia Pada Perangkat Lunak CARIS PCC 2.15*. Tugas Akhir. Jakarta: STTAL.

Tempfli, K., Kerle, N., Huurnemann, G.C., Janssen, C.L.F. (2001). *Principles of Remote Sensing an Introductory textbook*. ITC, Netherlands.

Undang-undang Nomor 3 Tahun 2002
Tentang Pertahanan Negara.

Wahyuningrum, P.I. (2007). *Pengembangan Algoritma Untuk Estimasi Kedalaman Perairan Dangkal Menggunakan Data Landsat-7 Etm+ (Studi Kasus: Perairan Gugus Pulau Pari, Kepulauan Seribu, Jakarta)*. Bogor: Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.

Wikipedia. (2019). *Kepulauan Raja Ampat*. (Online), (https://id.wikipedia.org/wiki/Kepulauan_Raja_Ampat, diakses 23 Januari 2020)

