

AKUISISI DATA BATIMETRI MENGGUNAKAN CITRA SATELIT SPOT-7 DIPERAIRAN TELUK HALONG KOTA AMBON

Ihlas¹, Gathot Winarso², Agus Iwan Santoso³, Johar Setiyadi⁴

¹Mahasiswa Program Studi Diploma III Hidro-Oseanografi, STTAL

²Dosen Pembimbing / Peneliti dari LAPAN

³Dosen Pengajar Prodi D-III Hidro-Oseanografi, STTAL

⁴Ketua Prodi D-III Hidro-Oseanografi, STTAL

ABSTRAK

Peta laut Indonesia dituntut harus selalu diperbaharui, namun pada kenyataannya tidak berjalan secara optimal bahkan sebagian peta laut belum diperbaharui sampai dengan saat ini. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka teknologi penginderaan jauh memberikan peluang besar untuk pemetaan batimetri perairan dangkal secara efektif dan efisien, terutama untuk daerah yang memiliki tingkat perubahan kedalaman secara cepat. Penelitian ini menggunakan data Citra Satelit Spot-7 dan Lembar Lukis Teliti (LLT) di perairan Teluk Halong Kota Ambon. Proses pengolahan data menggunakan metode *Satellite Derived Bathymetry* (SDB) yang dikembangkan Kano et al. (2011) mempunyai kelebihan dapat menganalisa suatu wilayah tanpa menyentuh atau berada di wilayah tersebut dengan rentang waktu yang relatif singkat. Tujuannya untuk mendapatkan seberapa besar tingkat ketelitian dan keakuratan data kedalaman laut hasil ekstraksi kedalaman laut dari citra satelit pada daerah Teluk Halong Kota Ambon. Dalam pengolahan data menggunakan metode SDB menunjukkan bahwa Metode STR menghasilkan nilai korelasi tertinggi dibanding empat metode lainnya. Pada kedalaman 0 meter sampai dengan 2 meter memiliki ketelitian 0.21, pada kedalaman 2.1 meter hingga 5 meter memiliki ketelitian 0.23 meter, pada kedalaman 5.1 meter hingga 10 meter memiliki ketelitian 0.06 meter, dan pada kedalaman 10.1 meter hingga 20 meter memiliki ketelitian 0.08 meter.

Kata kunci: Akuisisi, Penginderaan, SDB.

ABSTRACT

Indonesia's sea map is required to be updated, but in fact it is not running optimally even some of the sea map has not been updated until now. Based on these problems, remote sensing technology provides great opportunities for mapping the shallow bathymetry effectively and efficiently, especially for areas with rapid depth change. This research uses the data of Spot-7 Satellite Imagery and Thin Painting Sheet (LLT) in Halong Bay waters of Ambon City. Data processing using Satellite Derived Bathymetry (SDB) method developed by Kano et al. (2011) has the advantage of being able to analyze an area without touching or being in the region with a relatively short span of time. The objective is to obtain the level of accuracy and accuracy of marine depth data extracted by sea depth from satellite images in the Halong Bay area of Ambon City. In data processing using the SDB method shows that STR method produces the highest correlation value compared to four other methods. At a depth of 0 meters up to 2 meters has a precision of 0.21, at a depth of 2.1 meters to 5 meters has a precision of 0.23 meters, at a depth of 5.1 meters to 10 meters has a precision of 0.06 meters, and at a depth of 10.1 meters to 20 meters has a precision of 0.08 meters.

Keywords: Acquisition, Sensing, SDB

1. PENDAHULUAN

Deklarasi Djuanda menyatakan bahwa Indonesia menganut prinsip Negara kepulauan (*Archipelagic State*), sehingga perairan antar pulau pun merupakan wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI) yang luas wilayah daratan $\pm 2.012.402 \text{ km}^2$ dan luas laut $\pm 5.877.879 \text{ km}^2$ atau sama dengan 2/3 dari luas wilayah Indonesia. Pada tahun 1982 Deklarasi Djuanda diterima dan ditetapkan dalam konvensi hukum laut PBB ke III Tahun 1982 yaitu *United Nations Convention on the Law of the Sea* (UNCLOS). Selanjutnya deklarasi ini dipertegas kembali dengan Undang Undang Nomor 17 Tahun 1985 tentang ratifikasi UNCLOS 1982 bahwa Indonesia adalah negara kepulauan. Fakta inilah yang menjadikan Indonesia merupakan Negara kepulauan terbesar di dunia dan diakui oleh dunia Internasional. Oleh sebab itu, Indonesia memerlukan banyak peta laut baik dari skala kecil sampai dengan skala besar untuk menjamin kedaulatan Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI) terhadap perairan pedalaman, perairan territorial serta Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE) untuk keperluan eksplorasi dan eksploitasi, konservasi dan pengelolaan sumber kekayaan alam, baik hayati maupun non-hayati.

Dengan demikian data peta laut Indonesia dituntut harus selalu diperbaharui (*up to date*). Namun pada kenyataannya tidak berjalan secara optimal, bahkan sebagian peta laut belum diperbaharui (*up to date*) sampai dengan saat ini, dengan alasan anggaran yang ditujukan untuk kegiatan survei sangat terbatas serta dengan luas wilayah laut 2/3 dari luas wilayah Indonesia ini tidak cukup waktu untuk memperbaharui (*up to date*) seluruh wilayah laut di Indonesia secara cepat (*rapid survey*), sehingga kebutuhan akan informasi wilayah laut dalam rangka pemanfaatan sumber daya alam belum sesuai harapan.

Dewasa ini teknologi penginderaan jauh (*remote sensing*) memberikan peluang besar untuk pemetaan batimetri perairan dangkal secara efektif dan efisien, terutama untuk daerah yang memiliki tingkat perubahan kedalaman secara cepat. Keuntungan lainnya yaitu dapat dilakukan revisi pemetaan perairan dangkal dengan cepat dan murah, menyediakan berbagai macam aplikasi dan metode dalam kegiatan pemetaan bawah air. Daerah cakupan data penginderaan jauh yang cukup luas sehingga sangat baik untuk mengetahui apa saja yang terjadi di lingkungan

sekitarnya untuk mengetahui keterkaitan antara satu dengan yang lainnya, sehingga kebutuhan akan informasi wilayah laut dalam rangka pemanfaatan sumber daya alam secara optimal.

Oleh karena itu, untuk mendukung survei cepat (*rapid survey*) guna memperbaharui (*up to date*) peta laut tersebut, maka salah satu metode *rapid survey* yang dapat dilaksanakan yaitu menggunakan metode *Satellite Derived Bathymetry* (SDB), dengan menggunakan metode SDB dapat menganalisa suatu wilayah tanpa menyentuh atau berada di wilayah tersebut dengan rentang waktu yang relatif singkat dan salah satu parameter survei cepat (*rapid survey*) yang memungkinkan untuk diekstrak dari data penginderaan jauh adalah informasi kedalaman laut.

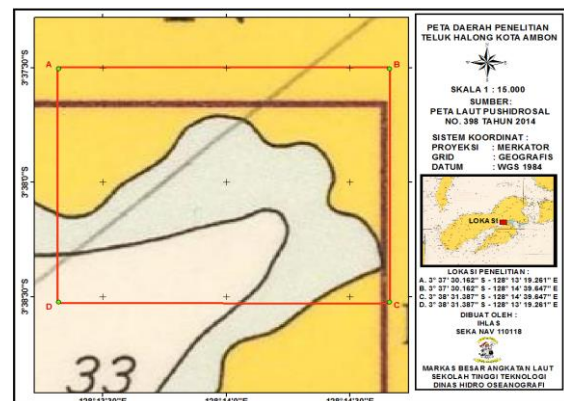
2. MATERI DAN METODE

2.1. Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah Data citra satelit Spot-7 dengan resolusi spasial 6 m multispektral. Spot-7 merupakan satelit yang diluncurkan oleh Spot Image dengan tujuan untuk menghasilkan citra satelit resolusi tinggi untuk kepentingan komersial. Selain itu juga digunakan data Lembar Lukis Teliti (LLT) perairan Teluk Halong Kota Ambon Propinsi Maluku tahun 2016 serta peta laut nomor 398 terbitan Pushidrosal 1:50.000 edisi tahun 2014.

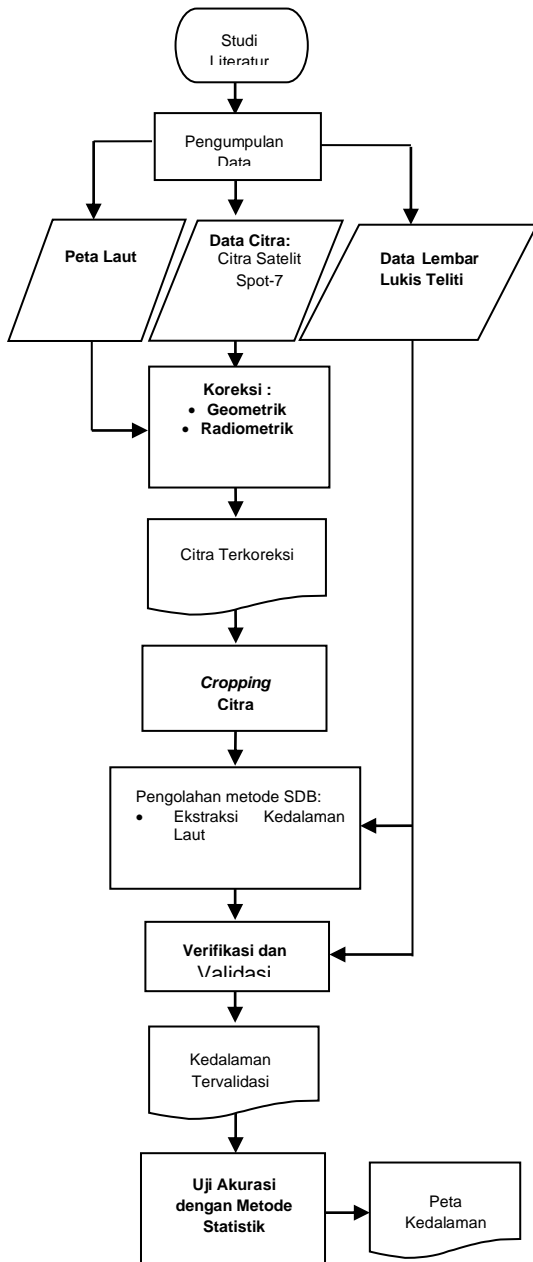
2.2. Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini akan di laksanakan di perairan Teluk Halong Kota Ambon. Dimana Teluk Halong diperkirakan kualitas data citra sangat baik karena Teluk Halong merupakan daerah yang terlindung dari ombak serta kualitas air sangat baik untuk dilakukan penelitian. Lokasi penelitian tersebut ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian Skala 1:15.000

2.3. Rancangan Penelitian



2.4 Pengolahan Awal

Pengolahan citra satelit merupakan proses pengolahan dan analisis dari citra satelit. Proses ini memiliki data masukan dan informasi keluaran yang berbentuk citra satelit, yang diolah dengan menggunakan perangkat komputer.

Dalam proses perekaman citra satelit ada banyak faktor yang mempengaruhi kualitas dari citra seperti cuaca, kondisi geografis, posisi satelit dan sebagainya sehingga dibutuhkan proses koreksi terhadap citra satelit sebelum

proses analisa untuk mendapatkan kualitas citra satelit yang normal.

a. Koreksi Geometrik

Koreksi geometrik merupakan proses memposisikan citra sehingga sesuai dengan koordinat yang sesungguhnya. Posisi geografis citra, efek rotasi bumi, kemiringan sensor, perubahan posisi, ketinggian dan variasi kecepatan gerak sensor pada saat pengambilan data dapat menimbulkan distorsi. Dalam akuisisi citra satelit, distorsi ini akan bertambah seiring dengan perbedaan waktu pembuatan peta dan akuisisi citra serta kualitas dari peta dasar yang kurang baik. Akibat dari kesalahan geometrik ini, maka posisi piksel dari citra satelit tersebut tidak sesuai dengan posisi yang sebenarnya. Untuk memperbaiki kesalahan geometrik yang terjadi, dapat dilaksanakan salah satunya dengan informasi berdasarkan titik control lapangan (*Ground Control Point, GCP*).

Titik control lapangan dapat diambil dari peta yang sudah diterbitkan yang sudah memiliki skala yang sama atau lebih detail, pengukuran dengan GPS (*Global Positioning System*) di lapangan atau citra yang sudah terkoreksi geometrik. Titik control lapangan ini akan dipasangkan dengan nilai kolom dan baris pada citra membentuk jaring kontrol (*grid*). Tahap akhir adalah mentransformasikan posisi kolom baris setiap pixel menggunakan jaring kontrol tersebut.

b. Koreksi Radiometrik

Koreksi Radiometrik adalah proses untuk memperbaiki kualitas visual citra, dalam hal memperbaiki nilai piksel yang tidak sesuai dengan nilai pantulan atau pancaran spektral objek yang sebenarnya. Koreksi yang bertumpu pada informasi dalam citra menurut Danoedoro, (1996) antara lain koreksi *histrogram*, penyesuaian regresi kalibrasi bayangan dan kenampakan gelap. Koreksi yang bertumpu pada data diluar citra, menurut Mather, (2004), dipengaruhi oleh lima faktor yakni pantulan atau reflektansi objek, bentuk dan besaran interaksi atmosfer, kemiringan dan arah hadap lereng, sudut pandang

sensor dan sudut ketinggian matahari.

Atmosfer dapat meningkatkan nilai spektral karena partikel atmosfer memiliki pantulan lebih tinggi, sehingga keberadaan partikel ini dapat menimbulkan bias. Untuk itu dibutuhkan koreksi nilai spektral dari citra yang disebabkan oleh partikel-partikel yang ada di atmosfer. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode *Dark Pixel Subtraction*, yaitu dengan mengambil sejumlah sampel piksel pada masing-masing kanal dilaut dalam, kemudian rata-rata dari nilai-nilai piksel tersebut digunakan sebagai faktor pengurang nilai piksel pada masing-masing kanal (Green et al. 2000).

Koreksi dengan metode *Dark Pixel Subtraction* dapat dilakukan karena pada area laut dalam energi gelombang elektromagnetik diserap habis, sehingga reflektan yang muncul dari dalam dapat diasumsikan sebagai reflektan dari atmosfer.

Pada perairan yang jernih, intensitas cahaya (*radiance*) yang masuk kedalam kolom air akan menurun secara eksponensial terhadap meningkatnya nilai kedalaman. Jika nilai dari intensitas cahaya diubah menggunakan algoritma murni (\ln), maka hubungan antara kedalaman dan intensitas cahaya menjadi linear. Jika X_i adalah pancaran intensitas cahaya dari piksel pada *band i*.

2.5. Ekstraksi Kedalaman Laut

Ekstraksi kedalaman laut merupakan tahapan proses penurunan informasi kedalaman laut dari citra penginderaan jauh dengan memanfaatkan setiap nilai pantulan piksel citra dari masing-masing saluran tampak pada citra tersebut. Dalam mengestimasi kedalaman laut menggunakan citra SPOT-7 dapat dilaksanakan dengan menggunakan berbagai model salah satunya adalah model SDB (*Satellite Derived Bathymetry*), yang dikembangkan Kanno et al. (2011). Model ini merupakan model yang dikembangkan dari metode Lyzenga 2006 dan kemudian dikemas dalam bentuk perangkat lunak pengolahan yang dijalankan dengan *script* yang ditulis pada perangkat lunak pemrograman R i1386 3.2.2.

Di dalam model SDB sendiri terdapat lima metode berbeda antara lain : LYZ (Lyzenga 2006), KNW (Penyeragaman asumsi kondisi citra pada media air maupun atmosfer), SMP (SeMiParametric regression), STR (Spatial TRend) dan TNP (Kombinasi dari tiga metode terakhir terhadap metode Lyzenga) yang dijalankan secara bersamaan kemudian ditentukan korelasi tertinggi dari beberapa metode tersebut terhadap nilai kedalaman sampel dilapangan, selanjutnya metode yang memiliki korelasi tertinggi tersebut yang akan memproses citra hingga selesai dan menghasilkan data kedalaman laut.

a. Metode LYZ (Lyzenga, 2006)

Metode ini sudah umum digunakan pada teknologi penginderaan jauh satelit dimana prinsip perambatan gelombang cahaya didalam air mengalami peristiwa berkurangnya intensitas cahaya seiring dengan meningkatnya kedalaman. Proses ini dikenal sebagai atenuasi dan merupakan fenomena yang selalu terjadi pada data penginderaan jauh dilingkungan perairan. Tingkat atenuasi berbeda untuk setiap panjang gelombang dalam spektrum radiasi elektromagnetik. Dalam daerah cahaya sinar tampak, bagian spektrum merah teratenuasi lebih cepat daripada spektrum biru seperti pada gambar 3.3

Di dalam prinsip ekstraksi kedalaman laut dangkal dengan citra satelit. Terdapat empat komponen pokok yaitu *path radiance* (komponen atmospheric scattering), komponen *surface reflection*, komponen *in-water volume scattering* dan komponen *bottom reflection*. Seperti dalam gambar 3.4

Komponen *bottom reflection* 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 mengoreksi nilai spektral dari citra yang diterima oleh satelit pengindera. Sehingga dapat dirumuskan seperti berikut:

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

Dimana:

$L(\lambda)$ = spektral radiance dari panjang gelombang sinar tampak.

V = nilai bias air (*in water scattering*)

B = nilai reflektan dasar laut (*Bottom Reflection*)

k = nilai koefisien atenuasi.

h = nilai kedalaman insitu (*Insitu depth*)

T = nilai transmisi pada atmosfer dari permukaan air

E = nilai transmisi kebawah (*downwelling irradiance atmosphere*)

S = nilai pantulan permukaan air (*Surface Reflection*).

A = Nilai Atmosferik Scatering.

Pada teori Lyzenga 2006 memasukan nilai saluran NIR (*Near Infra Read*) sebagai nilai untuk mengkoreksikan 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:

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

Dimana:

$L_{\infty}(\lambda)$ = Spektral 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 kedalam rumus persamaan 1 dan dimasukan kedalam nilai kuantitas X maka dirumuskan sebagai berikut:

$$X(\lambda) = \log\{L(\lambda) - \alpha_0 - \alpha_1 L(\lambda_{NR})\} = -k/h + \log\{(B - V)TE\} \dots\dots(3)$$

$$X = (X_1 \dots X_M) \dots\dots(4)$$

$$k = (k_1 \dots k_M) \dots\dots(5)$$

$$c = (1/\log\{(B_1 - V_1)T_1E_1\} \dots \log\{(B_M - V_M)T_M E_M\}) \dots\dots(6)$$

$$X = -hk + C \dots\dots(7)$$

Pada metode Lyzenga nilai kedalaman absolute dirumuskan sebagai berikut:

$$h = X\beta \dots\dots(8)$$

Dimana:

$$\beta = M+1$$

M = Nomor dari saluran tampak

β = Nilai dimensi dari vektor kolom

b. Metode KNW (penyeragaman asumsi kondisi citra pada media air maupun atmosfer)

Pada metode ini menggunakan prinsi Lyzenga 2006 yang kemudian ditambahkan koreksi terhadap error yang terdapat pada atmosfer dan kolom air. Kemudian prosesnya

diparsial secara paralel dengan tiga proses pada masing-masing saluran tampak. Seperti dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} X &= \log\{L(\lambda) - \alpha_0 - \alpha_1 L(\lambda_{NR})\} \\ &= \log\{L(\lambda) - (\alpha_0 - \epsilon_2) - (\alpha_1 - \epsilon_3)L(\lambda_{NR})\} \\ &= \check{X} + \log[1 + \{\epsilon_2\} + \epsilon_3 L(\lambda_{NR})] \exp^{-1 \check{X}} \\ &= \check{X} + \epsilon_2 \exp^{-1 \check{X}} + \epsilon_3 L(\lambda_{NR}) \exp^{-1 \check{X}} \dots\dots(9) \end{aligned}$$

Dimana:

$$\check{Y} = \exp^{-1 \check{X}} \text{ dan } \check{Z} = L(\lambda_{NR}) \exp^{-1 \check{X}}$$

Sehingga dapat dirumuskan kedalam satu persamaan vector berikut:

$$X' = (\check{X}_1 \dots \check{X}_M, \check{Y}_1 \dots \check{Y}_M, \check{Z}_1 \dots \check{Z}_M)$$

dan rumus Lyzenga untuk persamaan tersebut menjadi:

$$\check{h} = X' \beta' \dots\dots(10)$$

c. Metode SMP (Semiparametric regression)

Pada metode ini menggunakan parameter BI (*Bottom Index*) untuk menghitung regresi nilai digital dari setiap saluran tampak dengan jenis dasar perairan. Seperti tertuang dalam rumus berikut:

$$BI_m = X_m - \cos \frac{km}{km+1} X_{m+1} \quad (m=1,2,\dots,M-1) \dots\dots(11)$$

dan bila disubstitusikan rumus persamaan 3 kedalam rumus tersebut hasil yang didapat adalah rumus persamaan berikut:

$$E(h) = -\frac{X_1}{kt} s(BI_1, \dots, BI_{M-1}) \quad (1=1,2,\dots,M-1) \dots\dots(12)$$

Dimana:

I = Nilai dari tiap *band* tampak

s = fungsi *smooth nonparametric*

d. Metode STR (Spatial TRend)

Pada metode ini dikembangkan dari rumus persamaan 10 dengan memasukan faktor error pada koordinat spasial dari nilai digital citra. Seperti pada rumus persamaan berikut:

$$\epsilon_1 = t(z) + \epsilon_1' \dots\dots(13)$$

$$h = X\beta + \epsilon_1 \dots\dots(14)$$

Dimana:

t(z) = fungsi *smooth nonparametric* koordinat vector dua dimensi

e. Metode TNP (kombinasi dari tiga metode terakhir terhadap metode Lyzenga)

Pada metode ini menghubungkan tiga metode terakhir yaitu KNW, SMP dan STR menjadi satu, sehingga didapat rumus persamaan berikut:

$$E(h) = \frac{\bar{x}^2}{k_1} + \bar{y}_1 + \bar{z}_1 + s(B1, \dots, B_{M-1}) + T(z) \dots \dots (15)$$

2.6 Pengujian

Pengujian kedalaman laut hasil ekstraksi terhadap kedalaman laut insitu diperlukan untuk mengetahui tingkat keakurasian dari data kedalaman hasil ekstraksi yang diperoleh dan untuk mengetahui kualitas data dalam pemenuhan standar ketelitian berdasarkan IHO S44. Langkah yang dilakukan antaralain yaitu buka nama file "data.HBK.Halong_2017.csv" di Excel, kemudian hapus semua poin RASTERVALU yang memiliki nilai -999 dan buat tabel statistik ordo ketelitian berdasarkan standar IHO-S44, seperti tertera pada gambar 2 berikut.

DATA KEDALAMAN (METER)	JUMLAH DATA	ORDO	KETELITIAN (METER)
0 - 2	86	66.28% 24.42% 9.30%	0.209211
2.1 - 5	89	68.54% 19.10% 12.36%	0.226327
5.1 - 10	792	96.97% 2.40% 0.63%	0.058559
10.1 - 20	539	94.81% 3.71% 1.48%	0.081178

Gambar 2 Pengujian Dengan Metode Statistik

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses koreksi yang dilaksanakan terhadap citra satelit SPOT-7 dengan referensi posisi dari peta laut Teluk Halong nomor 398 tahun 2014 menghasilkan tingkat ketelitian secara geometrik yang diturunkan dari ketelitian koordinat spasial yang dimiliki oleh peta laut nomor 398 tersebut. Metode GCP yang digunakan untuk koreksi geometrik dari citra satelit SPOT-7 memakai 35 titik control point dan menghasilkan nilai RMSE dari tiap titik control poin sebesar 0.32 meter, dan simpangan baku yang diperoleh sebesar 0.18 meter.

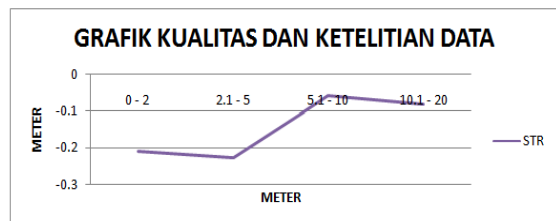
Nilai RMSE yang dihasilkan dari koreksi geometrik dengan metode GCP ini sudah memenuhi kriteria, karena nilai RMSE total maksimal yang diizinkan adalah sebesar 0.5 kali nilai resolusi spasial (Rudianto, 2011) dan bila mengacu pada standar minimum ketelitian horizontal untuk survei kepercayaan 95%

bahwa ketelitian minimum pada orde spesial adalah 2 meter, ketelitian minimum pada orde 1A/1B adalah 5 meter ditambah 5% dari kedalaman dan pada orde 2 adalah 20 meter ditambah 5% dari kedalaman. Sehingga kedalaman hasil ekstraksi yang diturunkan dari citra satelit SPOT-7 yang terkoreksi geometrik dengan metode GCP telah memenuhi ketelitian minimum orde 2 (resolusi spasial SPOT-7 ditambah RMSE).

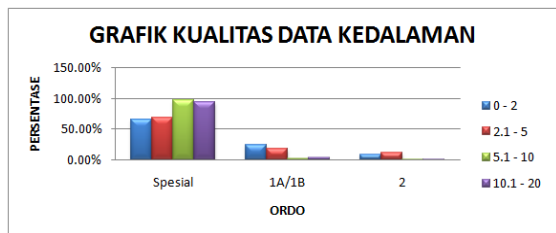
Table 1 Ketelitian Hasil Ekstraksi Metode STR

DATA KEDALAMAN (METER)	JUMLAH DATA	ORDO			KETELITIAN (METER)
		Spesial	1A/1B	2	
0 - 2	86	66.28%	24.42%	9.30%	0.209211
2.1 - 5	89	68.54%	19.10%	12.36%	0.226327
5.1 - 10	792	96.97%	2.40%	0.63%	0.058559
10.1 - 20	539	94.81%	3.71%	1.48%	0.081178

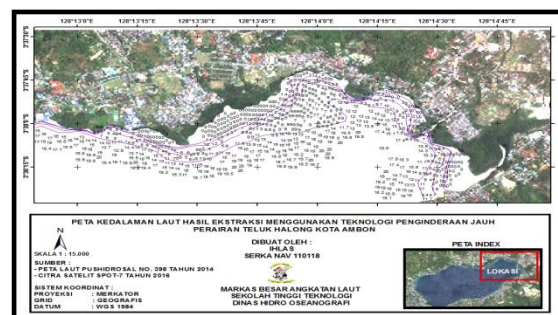
Dari hasil tersebut diatas maka dapat digambarkan kedalam grafik kualitas dan ketelitian yang dihasilkan dari ekstraksi seperti tertera pada gambar 3 dan gambar 4 berikut.



Gambar 3 Grafik Kualitas Data dan Ketelitian Hasil Ekstraksi



Gambar 4 Grafik Kualitas Data Kedalaman



Gambar 5 Peta Kedalaman Laut Hasil Ekstraksi dari Citra Satelit SPOT-7

Proses ekstraksi kedalaman laut pada model SDB menggunakan 4 (empat) metode yaitu LYZ, SMP, STR dan TMP yang bekerja bersama-sama kemudian metode yang

mendekati keadaan sebenarnya atau nilai korelasi tertinggi data hasil ekstraksi dengan data kedalaman *insitu*, yang kemudian ditampilkan. Hasil ekstraksi kedalaman laut pada model SDB pada penelitian ini yang paling cocok adalah menggunakan metode STR, dimana metode STR menghasilkan kualitas data paling tinggi atau nilai korelasi tertinggi dibanding empat metode lainnya. Demikian uraian data hasil ekstraksi kedalaman dengan metode STR:

- a. Pada kedalaman 0 meter sampai dengan 2 meter memiliki ketelitian 0.21 meter dengan rincian data kedalaman yang diperoleh sebanyak 86 data dan terdiri dari 66.28% masuk pada ketelitian orde spesial, 24.42% masuk pada ketelitian orde 1A/1B, 9.30% masuk pada ketelitian orde 2.
- b. Pada kedalaman 2.1 meter hingga 5 meter memiliki ketelitian 0.23 meter dengan rincian data kedalaman yang diperoleh sebanyak 89 data dan terdiri dari 68.54% masuk pada ketelitian orde spesial, 19.10% masuk pada ketelitian orde 1A/1B, 12.36% masuk pada ketelitian orde 2.
- c. Pada kedalaman 5.1 meter hingga 10 meter memiliki ketelitian 0.06 meter dengan rincian data kedalaman yang diperoleh sebanyak 792 data dan terdiri dari 96.97% masuk pada ketelitian orde spesial, 2.40% masuk pada ketelitian orde 1a/1b, 0.63% masuk pada ketelitian orde 2.
- d. Pada kedalaman 10.1 meter hingga 20 meter memiliki ketelitian 0.08 meter dengan rincian data kedalaman yang diperoleh sebanyak 539 data dan terdiri dari 94.81% masuk pada ketelitian orde spesial, 3.71% masuk pada ketelitian orde 1a/1b, 1.48% masuk pada ketelitian orde 2.

Berdasarkan grafik pada gambar 3 menjelaskan tentang kualitas data kedalaman hasil ekstraksi dimana semakin besar nilai kedalaman yang didapat akan semakin tinggi tingkat ketelitiannya begitu juga sebaliknya semakin rendah nilai kedalaman yang didapat maka semakin rendah tingkat ketelitiannya. Untuk kualitas seluruh data kedalaman yang didapat dari hasil ekstraksi menggunakan model SDB, maka dengan metode STR memiliki kualitas ketelitian data paling baik diantara keempat metode lainnya. Sedangkan pada gambar 3 menjelaskan secara kuantitas baik jumlah data yang dihasilkan maupun jumlah data yang memiliki klasifikasi ketelitian

orde spesial, dimana kedalaman 0 meter sampai dengan 20 meter sebagian besar data masuk pada orde spesial.

Apabila mengacu pada literasi-literasi penelitian yang sama mengenai kedalaman ekstraksi kedalaman laut yang diturunkan dari citra satelit. Seperti pada penelitian (Kajian Pulau-Pulau Kecil Terluar Untuk Menentukan Batas Wilayah Maritim Menggunakan Teknologi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis dengan Studi Kasus Pulau Nipa, Propinsi Kepulauan Riau, Santoso, 2008 dalam Arya, 2015) yang menggunakan citra satelit IKONOS dengan resolusi spasial 1 meter dan metode Bierwirth. Dimana pada uji akurasi hasil ekstraksi kedalaman menggunakan parameter RMSD (*Root Mean Square Difference*) terhadap data *insitu* didapatkan pada kedalaman 0 sampai 2 meter memiliki tingkat ketelitian yaitu sebesar 0.137443 meter. Pada kedalaman 2 sampai 10 meter memiliki ketelitian 1.29761 meter dan pada kedalaman 10 hingga 20 meter memiliki ketelitian 10.8784 meter. Sehingga dapat diketahui bahwa ekstraksi kedalaman yang diturunkan dari citra satelit dengan model SDB yang dikembangkan Kano et. al. (2011) menggunakan citra satelit SPOT-7 dengan resolusi spasial 6 meter, pada kedalaman 0 sampai 2 meter memiliki tingkat ketelitian yaitu sebesar 0.209 meter. Namun pada kedalaman 2 sampai dengan 10 meter memiliki tingkat ketelitian yaitu sebesar 0.075 meter. Begitu juga pada kedalaman 10 hingga 20 meter memiliki tingkat ketelitian yaitu sebesar 0.081 meter.

Sedangkan bila mengacu pada penelitian (Ekstraksi Kedalaman Laut Menggunakan Teknologi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis, Arya 2015) yang menggunakan citra satelit SPOT-7 dengan resolusi spasial 6 meter dengan metode STR (SDB Kanno et al 2011), Dimana pada uji akurasi hasil ekstraksi kedalaman menggunakan parameter RMSD terhadap data *insitu* didapatkan pada kedalaman 0 sampai 2 meter memiliki ketelitian 0.344 meter. Pada kedalaman 2 sampai dengan 10 meter memiliki ketelitian sebesar 2.545 meter, dan pada kedalaman 10 hingga 20 meter memiliki ketelitian 2.15 meter. Sehingga dapat diketahui bahwa ekstraksi kedalaman yang diturunkan dari citra satelit dengan model yang sama yaitu SDB yang dikembangkan Kano et. al. (2011) menggunakan citra satelit SPOT-7 dengan resolusi spasial 6 meter pada lokasi penelitian yang berbeda serta homogenitas substrat dasar dan kualitas air yang berbeda, maka pada kedalaman 0 sampai 2 meter memiliki tingkat ketelitian yaitu sebesar 0.209 meter, pada

kedalaman 2 sampai dengan 10 meter memiliki tingkat ketelitian yaitu sebesar 0.075 meter, begitu juga pada kedalaman 10 hingga 20 meter memiliki tingkat ketelitian yaitu sebesar 0.081 meter. Seperti yang terdapat pada table 2 berikut:

Table 2 Komparasi Hasil Ekstraksi Kedalaman

		Ketelitian (RMSD)		
		Santoso, 2008 (Ikonos)	Arya, 2015 (SPOT-7)	Ihlas, 2017 (SPOT-7)
Resolusi Spasial		1 meter	6 meter	6 meter
Metode		Bierwirth	SDB (Kanno et al 2011)	SDB (Kanno et al 2011)
Kedalaman (meter)	0 - 2	0.13744	0.344	0.20921117
	2 - 10	1.2976	2.545	0.07550678
	10 - 20	10.8784	2.15	0.08117793

Pada kedalaman 0 sampai dengan 2 meter, data IKONOS lebih teliti dibandingkan dengan data SPOT-7 tetapi pada kedalaman 2 sampai dengan 20 meter ketelitian data IKONOS menjadi sangat rendah. Kelebihan spektral IKONOS tidak mampu memberikan nilai lebih karena pengaruh kedalaman yaitu penyerapan energy oleh kolom air. Sedangkan data SPOT-7 yang memiliki resolusi spasial lebih rendah tetapi dengan resolusi spektral yang hampir sama memberikan nilai ketelitian yang lebih tinggi pada kedalaman 2 sampai dengan 20 meter. Hal ini diperkirakan karena metode yang digunakan, walaupun SPOT-7 dengan spesifikasi yang sama, mampu memberikan ketelitian yang lebih atau konsisten pada kedalaman yang lebih dalam. Terutama daerah yang terlindung dari ombak serta homogenitas substrat dasar dan kualitas air yang sangat baik.

Dari komparasi di atas, dapat diketahui bahwa ketelitian bisa dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya resolusi spasial data, resolusi spektral data, kondisi atmosferik saat perekaman data, kondisi kualitas air daerah penelitian, kondisi substrat dasar daerah penelitian, kecepatan angin saat akuisisi, tutupan awan dan lain-lain.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulannya yaitu Tingkat ketelitian dan keakurasian data kedalaman laut yang diekstraksi dari Citra Penginderaan Jauh di Perairan Teluk Halong yaitu pada kedalaman 0 sampai dengan 2 meter tingkat ketelitian 0.209, pada kedalaman 2.1 meter sampai dengan 5 meter tingkat ketelitian 0.226 meter, pada kedalaman 5.1 meter sampai dengan 10 meter tingkat ketelitian 0.059 meter dan pada kedalaman 10.1 meter sampai dengan 20 meter tingkat ketelitian 0.081 meter, serta data kedalaman laut di Teluk Halong dapat diekstraksi dengan menggunakan model SDB, dimana pada kedalaman dibawah 20 meter

tingkat ketelitian sangat tinggi dan pada kedalaman diatas 20 meter tingkat ketelitian sangat rendah.

Dari hasil analisa tersebut dapat disarankan bahwa Metode SDB bisa diaplikasikan di lokasi lain terutama di perairan Teluk Halong Kota Ambon dengan ketelitian sangat tinggi. Pada saat proses pengolahan dibutuhkan perangkat keras minimal RAM 8 GB, karena dengan menggunakan RAM kecil akan mempengaruhi hasil ekstraksi serta pada saat *runing* membutuhkan waktu yang lama, dan kedalaman laut hasil ekstraksi menggunakan citra satelit SPOT-7 dapat dijadikan sebagai data untuk pembuatan maupun perbaikan peta laut terutama pada daerah perairan dangkal yang memiliki kedalaman kurang dari 2 meter serta pada daerah yang sulit untuk disurvei.

DAFTAR PUSTAKA

- Arya, (2015). *Ekstraksi Kedalaman Laut Menggunakan Teknologi Penginderaan Jauh Dan Sistem Informasi Geografis* (Studi Kasus Perairan Teluk Belangbelang Mamuju Propinsi Sulawesi Barat).[Tugas Akhir]. Jakarta (ID): Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut.
- Avery. T.E and G.L.Berlin, (1985). *Interpretation of Aerial Photographs*, Burgess Publishing Company, Minneapolis, Minn.
- Banari, A. D., Morin, F., Bonn, and Huete, A. R. (1995). *A Review of Vegetation Indices. Remote Sensing Reviews.* (13), pp. 95-120.
- Bolton, (2006). dalam Nurdian Kartika Sari (2012). *Pengondisian Sinyal dan Akuisisi Data*. Jakarta (ID): Universitas Indonesia.
- Danoedoro, P. (1996) “ *Pengolahan Citra Digital*”, *Teori dan Aplikasi dalam Bidang Penginderaan Jauh*”. Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gajah Mada. 254 hlm.
- Dishidros, (2012). “*Data Wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia*”. SE/1641/IV/2012 Jakarta.
- Green *et al.*, (2000) dalam La Ode Ahmad Mustary, (2013). *Pemetaan Batimetri Perairan Laut Dangkal di gugusan Pulau Tiga, Kabupaten Natuna dengan Menggunakan Citra Alos Avnir-2*. [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.

- Husein, (2010). dalam Nurdian Kartika Sari (2012). *Pengkondisian Sinyal dan Akuisis Data*. Jakarta (ID): Universitas Indonesia.
- IHO. (2008). *Standards for Hydrographic Surveys 5th Edition*, Special Publication No. 44, Monaco.
- Kano, A et al. (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.
- Kano, A. & Tanaka, Y. (2012). *Modified Lyzenga's Method for Estimating Generalized Coefficients of Satellite-Based Predictor of Shallow Water Depth*," *IEEE Geosciences And Remote Sensing Letters*, Vol. 9, No. 4, July 2012, Japan.
- Lillesand. T.M. and R.W. Kiefer, (1979). *Remote Sensing and Image Interpretation*, John Willey and Sons, New York.
- Lindgren.D.T, (1985). *Land Use Planning and Remote Sensing*, Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht.
- Pipkin *et al*, (1987). dalam La Ode Ahmad Mustary, (2013). *Pemetaan Batimetri Perairan Laut Dangkal di gugusan Pulau Tiga, Kabupaten Natuna dengan Menggunakan Citra Alos Avnir-2*.[skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Poerbandono dan Djunarsjah, (2005). dalam La Ode Ahmad Mustary, (2013). *Pemetaan Batimetri Perairan Laut Dangkal di gugusan Pulau Tiga, Kabupaten Natuna dengan Menggunakan Citra Alos Avnir-2*.[skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Santoso, A. (2008). *Kajian Pulau-Pulau Kecil Untuk Menentukan Batas Wilayah Maritim Menggunakan Teknologi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus Pulau Nipa, Provinsi Kepulauan Riau)*. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.