ANALISIS PEMANFAATAN *SATELLITE DERIVED BATHYMETRY* CITRA SENTINEL-2A DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA LYZENGA DAN STUMPF (STUDI KASUS : PERAIRAN PELABUHAN MALAHAYATI, PROVINSI ACEH)

Sentanu Aji*), Abdi Sukmono, Fauzi Janu Amarrohman

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email: sentanuaji@students.undip.ac.id

ABSTRAK

Indonesia memiliki wilayah perairan yang sangat luas yang tentunya membutuhkan suatu manajemen dan pengambilan keputusan yang tepat agar dapat dimanfaatkan secara maksimal dan tepat yang dapat mendukung kemajuan Negara. Untuk mendukung hal tersebut, ketersediaan data batimetri yang merupakan data spasial kelautan pada Indonesia sangat dibutuhkan. Survei batimetri dengan menggunakan *echosounder* merupakan metode yang dapat menghasilkan data batimetri dengan kualitas yang baik, akan tetapi membutuhkan waktu yang lama dan biaya operasional yang sangat besar. *Satellite derived bathymetry* adalah salah satu metode alternatif yang sedang dikembangkan untuk mendapatkan data batimetri dengan menggunakan sumber data yaitu citra satelit optis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hasil dari pemetaan batimetri dengan menggunakan metode *satellite derived bathymetry*. Penelitian ini menggunakan sumber data yaitu citra Sentinel-2A yang merupakan citra satelit optis dengan ketelitian spasial 10 meter. Pengolahan *satellite derived bathymetry* pada penelitian ini menggunakan algoritma Lyzenga dan Stumpf yang merupakan algoritma yang efektif digunakan dalam metode ini. Kedua algoritma tersebut dapat memetakan kedalaman laut dengan baik hingga kedalaman 20 meter. Metode algoritma Lyzenga menggunakan regresi multilinier dalam pengolahannya dan menghasilkan nilai R^2 sebesar 0,923. Ketelitian pemetaan kedalaman laut yang didapatkan dari algoritma Lyzenga yaitu 1,888 meter. Sedangkan algoritma Stumpf menggunakan regresi linier dalam pengolahannya dan nilai R^2 yang dihasilkan sebesar 0,882. Algoritma Stumpf memiliki ketelitian pemetaan kedalaman laut sebesar 2,019 meter.

Kata Kunci: *Satellite Derived Bathymetry*, Sentinel-2A, Lyzenga, Stumpf.

ABSTRACT

Indonesia has a very large water area which of course requires a decision to be made that can be utilized optimally and accurately which can support the progress of the State. To support this, bathymetry data which is marine spatial data in Indonesia is needed. A bathymetric survey using echosounder is a method that can produce bathymetric data with good quality, but requires a long time and a very large operational cost. Satellite derived bathymetry is an alternative method that is being developed to obtain bathymetry data using a data source, namely optical satellite imagery. This study aims to analyze the results of bathymetry mapping using the bathymetric derived satellite method. This study uses source data, namely Sentinel-2A imagery which is an optical satellite image with a spatial accuracy of 10 meters. The bathymetry derived satellite processing in this study uses the Lyzenga and Stumpf algorithms which are the effective algorithms used in this method. Both algorithms can map the depth of the ocean well to a depth of 20 meters. The Lyzenga algorithm method uses multilinier regression in its processing and produces an R2 value of 0.923. The accuracy of the ocean depth obtained from the Lyzenga algorithm is 1.888 meters. While the Stumpf algorithm uses linear regression in its processing and the resulting R2 value is 0.882. The Stumpf algorithm has a depth mapping accuracy of 2.019 meters.

Keywords: *Satellite Derived Bathymetry, Sentinel-2A, Lyzenga, Stumpf.*

**) Penulis Penanggung Jawab*

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara di dunia yang memiliki luas wilayah yang sangat besar, yaitu sekitar 3,25 juta km^2 (Kementrian Kelautan dan Perikanan Indonesia, 2017). Wilayah perairan Indonesia yang sangat luas ini membutuhkan suatu manajemen dan pengambilan keputusan yang tepat agar dapat dimanfaatkan secara maksimal dan tepat yang dapat mendukung kemajuan Negara Indonesia. Untuk mendukung hal tersebut, maka dibutuhkan suatu ketersediaan data spasial tentang kelautan pada negara Indonesia. Salah satu jenis data spasial kelautan tersebut yaitu data batimetri. ntuk memperoleh data batimetri diperlukan suatu rangkaian survei hidrografi.

Survei hidrografi adalah survei yang dimulai dari survei pasang surut air laut hingga pemeruman menggunakan *singlebeam echosounder* atau *multibeam echosounder* untuk menghasilkan data kedalaman laut. Untuk menghasilkan data yang akurat, tentunya survei hidrografi membutuhkan biaya yang sangat besar. Dengan luasnya wilayah laut di Indonesia, tentunya hal ini merupakan tantangan yang sangat besar. Untuk menghadapi tantangan tersebut, maka dibutuhkan metode alternatif untuk

menyediakan data batimetri di Negara Indonesia. Terdapat suatu teknik / metode baru yang sedang dikembangkan dan tidak membutuhkan biaya yang tinggi untuk mendapatkan data kedalaman perairan, yaitu dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh lebih khususnya yaitu dengan menggunakan teknologi citra sensor pasif. Teknik / metode ini dikenal sebagai *Satellite Derived Bathymetry*.

Pada penelitian ini pengolahan *satellite derived bathymetry* menggunakan metode algoritma Lyzenga (2006) dan algoritma Stumpf (2003). Algoritma tersebut memiliki karakteristik yang berbeda dalam pengolahannya. Algoritma Lyzenga menggunakan logaritma linear dalam pengoperasiannya dan dapat digunakan dengan menggunakan satu atau sepasang atau tiga saluran citra optis (saluran biru, hijau, dan merah). Algoritma Stumpf menggunakan pendekatan rasio dalam pengoperasiannya, dan menggunakan *band* biru dan *band* hijau. Algoritma – algoritma tersebut sama – sama dapat mendeteksi kedalaman perairan hingga kedalaman tertentu, tetapi belum diketahui apakah kedua algoritma tersebut dapat mendeteksi kedalaman yang sama atau berbeda. Kedua algoritma tersebut juga dapat menghasilkan data dengan kualitas yang baik, akan tetapi masih belum terdapat penelitian di Indonesia untuk membandingkan kedua algoritma tersebut dalam melakukan ekstraksi kedalaman laut perairan Indonesia.

Studi wilayah pada penelitian tugas akhir ini bertempat pada perairan Pelabuhan Malahayati, Provinsi Aceh. Perairan wilayah ini digunakan sebagai studi wilayah dikarenakan memiliki kondisi perairan yang jernih dan juga memiliki variasi kedalaman diantara 0 hingga 300 meter. Hal – hal tersebut menjadi pertimbangan peneliti untuk menggunakan studi wilayah pada perairan wilayah tersebut, dan data batimetri tersebut didapatkan dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Hasil dari penelitian ini berupa evaluasi kualitas akurasi yang dihasilkan dari pemetaan batimetri menggunakan *satellite derived bathymetry* untuk pemetaan pada perairan Pelabuhan Malahayati, Provinsi Aceh.

I.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang penelitian yang telah dijelaskan sebelumnya, maka dapat dirumuskan suatu kebutuhan sebagai berikut :

1. Bagaimana hasil kedalaman maksimal yang dapat dijangkau oleh *Satellite Derived Bathymetry* citra Sentinel-2A metode Lyzenga dan Stumpf pada perairan Pelabuhan Malahayati, Provinsi Aceh?
2. Bagaimana perbandingan akurasi metode Lyzenga dan Stumpf terhadap data pemeruman menggunakan *echosounder* pada perairan Pelabuhan Malahayati, Provinsi Aceh ?

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui hasil kedalaman maksimal yang dapat dijangkau oleh *Satellite Derived Batimetri* citra Sentinel-2A metode Lyzenga dan Stumpf pada perairan Pelabuhan Malahayati, Provinsi Aceh.
2. Untuk mengetahui perbandingan akurasi metode Lyzenga dan Stumpf terhadap data pemeruman menggunakan *echosounder* pada perairan Pelabuhan Malahayati, Provinsi Aceh.

I.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Daerah penelitian mencakup perairan Pelabuhan Malahayati, Provinsi Aceh.
2. Pengolahan *Satellite Derived Bathymetry* dengan citra Sentinel- 2 tahun 2018 menggunakan metode algoritma Stumpf dan Lyzenga pada perairan Pelabuhan Malahayati, Provinsi Aceh.
3. Penggunaan data pemeruman perairan Pelabuhan Malahayati, Provinsi Aceh sebagai data pembanding dari pengolahan *satellite derived bathymetry*.
4. Analisis *Depth of Extinction* dari masing – masing metode yang digunakan untuk mengetahui jarak kedalaman yang dapat dijangkau oleh metode SDB.
5. Analisis hasil dari pengolahan *Satellite Derived Bathymetry* metode algoritma Stumpf dan Lyzenga.
6. Evaluasi kualitas dan akurasi hasil pengolahan *Satellite Derived Bathymetry* kedua metode dengan data pembanding yaitu data pemeruman perairan Pelabuhan Malahayati, Provinsi Aceh yang dinyatakan dalam besaran RMSE dan nilai TVU (*Total Vertically Uncertainty*) menurut IHO S-44.

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Gambaran Umum Daerah Penelitian

Pada penelitian ini, ruang lingkup wilayah penelitian meliputi perairan pada Pelabuhan Malahayati, Provinsi Aceh. Wilayah studi perairan ini berada pada sekitar 5°74’40,8”- 5°40’19,2” Lintang Utara dan 95°25’58,8”- 95°35’38,4” Bujur Timur. Berikut adalah gambaran umum lokasi penelitian yang didapat melalui google earth yang ditunjukkan oleh gambar-1. Pada gambar tersebut persegi berwarna biru muda menunjukkan wilayah studi pada penelitian ini.

Gambar - 1 Lokasi Penelitian (Perairan Pelabuhan Malahayati, Provinsi Aceh)
(Google Earth, 2020)

II.2 Survei Hidrografi

Sedangkan survei hidrografi menurut *International Hydrographic Organization* (IHO) adalah suatu ilmu yang mempelajari tentang pengukuran, analisis dan penggambaran parameter – parameter yang digunakan untuk mendeskripsikan sifat dan konfigurasi dasar laut, korelasi antara geografis laut dengan daratan, serta karakteristik dan dinamika lautan. Survei batimetri adalah salah satu survei yang terdapat pada survei hidrografi yang bertujuan untuk mendapatkan data batimetri (data kedalaman laut). Menurut Sasmito (2018), tujuan dari survei hidrografi adalah untuk memperolah data dasar untuk kompilasi grafik bahari dengan penekanan pada fitur yang dapat mempengaruhi navigasi yang aman dan memperoleh informasi yang dibutuhkan untuk produk navigasi laut dan manajemen zona pesisir, teknik dan sains.

II.3 Klasifikasi Ketelitian Survei Hidrografi

Pada penelitian ini dilakukan proses perhitungan uji akurasi kedalaman laut yang dihasilkan oleh algoritma Lyzenga dan Stumpf dengan acuan yaitu uji TVU (*Total Vertically Uncertainty*). Hal ini bertujuan untuk dapat menguji data kedalaman model yang dihasilkan oleh masing – masing algoritma terhadap standar orde – orde yang ditetapkan oleh IHO S-44 tersebut. Berikut adalah nilai TVU atau toleransi kesalahan yang ditetapkan oleh IHO S-44.

$$TVU = \pm\sqrt{(a)^2 + (b\ x\ d)^2} \quad \text{.....(1)}$$

Keterangan :

a = Koefisien yang tidak dipengaruhi kedalaman

b =Koefisien yang dipengaruhi oleh kedalaman laut

d = kedalaman laut

Berikut adalah tabel nilai maksimum TVU dan koefisien – koefisien TVU yang terdapat pada IHO S-44.

Tabel - 1 Orde Ketelitian Survei Hidrografi menurut IHO (IHO Standarts for Hydrographic Surveys, 2008)

Orde	a	b
Orde Spesial / khusus	0,25	0,0075
Orde 1a	0,5	0,013
Orde 1b	0,5	0,013
Orde 2	1	0,023

II.4 Penginderaan Jauh

Menurut Soenarmo (2009), definisi penginderaan jauh secara umum yaitu suatu ilmu, teknik, dan seni untuk memperoleh data dan informasi tentang kondisi fisik benda / obyek, target / sasaran, ataupun kondisi daerah dan fenomena – fenomena yang terjadi di Bumi tanpa melakukan kontak langsung atau bersentuhan secara langsung. Penginderaan jauh menggunakan satelit sebagai wahana untuk merekam interaksi antara berkas cahaya matahari dan objek yang ada pada permukaan bumi dengan media atmosfer sebagai perantara energi (Nurhadi Bashit, 2019).

II.5 Sentinel-2

Sentinel-2 diluncurkan oleh Copernicus Komisi Eropa pada tanggal 23 Juni 2015. Sentinel-2 adalah citra pasif yang memiliki resolusi yang dapat dikatakan lumayan tinggi (10 meter) dengan *swath* yang lebar, dan memiliki resolusi temporal sebesar 10 hari. Sentinel-2A memiliki total 13 saluran (*band*) spektral, dengan rincian sebagai berikut : 4 saluran (*band* 2, 3, 4, dan 8) memiliki resolusi spasial 10 meter ; 6 saluran (*band* 5, 6, 7, 8a, 11, dan 12) memiliki resolusi spasial 20 meter, dan tiga saluran lainnya (*band* 1, 9 , dan 10) memiliki resolusi spasial 60 meter. Pada penelitian ini saluran yang digunakan adalah saluran – saluran yang memiliki resolusi spasial sebesar 10 meter, yaitu saluran biru, hijau, dan merah (*band* 2,3, dan 4).

II.6 *Satellite Derived Bathymetry*

Satellite derived bathymetry adalah suatu teknik/metode untuk mendapatkan data batimetri dengan menggunakan sumber data citra satelit optis.

II.6.1 Metode Algoritma Lyzenga

Algoritma Lyzenga ditemukan dan dikembangkan oleh Lyzenga pada tahun 1978 dan terus mengalami perkembangan melalui rangkaian penelitian ilmiah pada tahun 1981, 1985, dan 2006. Algoritma Lyzenga mengimplementasikan algoritma yang menggunakan satu maupun sepasang pita gelombang satelit pasif. Berikut adalah persamaan (2) yang menjelaskan tentang algoritma Lyzenga.

$$Z = a_0 + \sum_{i-1}^{N} a_i \ \ln\left(R(\lambda_i) - R_\infty(\lambda_i)\right) \text{.....(2)}$$

Keterangan :

Z : Kedalaman Perairan

$a_i\ (i = 0,1,\dots,N)$: Koefisien konstanta, N adalah jumlah pita spektrum

$R(\lambda_i)$: Reflektan setelah koreksi atmosferis untuk pita spektrum λ_i

$R_\infty(\lambda_i)$: Rata – rata reflektan laut dalam pada pita spektrum λ_i

II.6.2 Metode Algoritma Stumpf

Algoritma Stumpf ditemukan dan dikembangkan oleh Stumpf (2003) dengan menggunakan prinsip penyerapan oleh pita multispektral pada badan air yang memiliki perbedaan dan dengan perbedaan ini secara konseptual akan menghasilkan suatu rasio antar pita multispektral. Rasio antar pita multispektral ini nantinya akan mengalami perubahan ketika kedalaman perairan mengalami perubahan juga. Metode ini dapat menghasilkan data kedalaman untuk perairan dangkal (*shallow water*). Berikut adalam persamaan (3) yang menjelaskan tentang algoritma Stumpf.

$$Z = m_1 . \frac{\ln\left(R(\lambda_B)\right)}{\ln\left(R(\lambda_G)\right)} - m_0 \text{ .....(3)}$$

Keterangan :

Z : Kedalaman perairan

m_1, m_0 : koefisien konstanta model untuk ekstrak nilai kedalaman

$R(\lambda_B)$: Reflektan dari band biru

$R(\lambda_G)$: Reflektan dari band hijau

II.7 Regresi Linier

Model regresi linier sederhana adalah model regresi yang paling sederhana yang hanya memiliki satu variabel bebas X. Analisis regresi memiliki beberapa kegunaan, salah satunya untuk melakukan prediksi terhadap variabel terikat Y (Smadi dkk, 2012). Persamaan untuk model regresi linier sederhana adalah sebagai berikut.

$$y = a + bx \quad \text{.....(4)}$$

Y adalah variabel terikat yang diprediksi, X adalah variabel bebas, a adalah *intercept*, yaitu nilai Y pada saat X=0, dan b adalah *slope*, yaitu perubahan rata-rata Y terhadap perubahan satu unit X.

II.8 Regresi Linier Berganda

Menurut Bremer (2012) Regresi linier berganda atau regresi multilinier atau sering didengar sebagai *Multilinier Regression* (MLR) merupakan salah satu jenis analisis regresi yang merupakan metode untuk memprediksi suatu nilai model / target berdasarkan beberapa (lebih dari satu) variabel *input* atau masukan. Berikut adalah persamaan matematis yang menjelaskan regresi linier berganda.

$$y = b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + \ldots + b_i x_i + a \quad \text{...(5)}$$

Y adalah variabel terikat atau variabel dependen yang akan diprediksi, X adalah variabel bebas atau variabel independen, a adalah *intercept*, dan b adalah *slope* atau koefisien dari variabel bebas.

II.9 Teknik Pengambilan Sampel

Pada penelitian ini digunakan teknik pengambilan sampel yaitu *probability sampling* yang berjenis *disproportionate stratified random sampling* pada saat tahap pemilihan titik kedalaman untuk analisis *depth of extinction* dan tahap uji akurasi data hasil algortima Lyzenga dan Stumpf. *Probability sampling* adalah suatu metode atau teknik pemilihan sampel yang setiap anggota populasi memiliki peluang yang sama untuk menjadi anggota sampel. *Disproportionate stratified random sampling* adalah suatu metode atau teknik dalam penentuan sampel yang dilakukan jika sifat dari suatu populasi tidak homogen serta memiliki srata yang kurang proporsional. Tujuan dalam menggunakan *disproportionate stratified random sampling* adalah untuk mendapatkan titik – titik yang memiliki kedalaman laut yang dangkal hingga dalam dan mewakili karakteristik – karakteristik dari keseluruhan studi wilayah.

III. Metodologi Penelitian

III.1 Data – Data Penelitian

Berikut adalah data – data yang digunakan dalam penelitian ini :

1. Citra Sentinel-2A dengan waktu perekaman citra tanggal 22 Oktober 2018 sebagai sumber data utama pada penelitian ini.
2. Data batimetri / kedalaman perairan perairan Pelabuhan Malahayati, Kabupaten Aceh Besar, Provinsi Aceh tahun 2018 yang sudah tereduksi pasang surut dari Badan Informasi Geospasial (BIG) sebagai data pembanding dalam penelitian ini.
3. Peta RBI yang digunakan untuk pengkoreksian geometrik dari citra Sentinel-2A.

III.2 Alat – Alat Penelitian

Berikut adalah alat – alat yang digunakan dalam penelitian ini :

1. Perangkat keras (*hardware*)
   Laptop dengan spesifikasi :
   Merk : ASUS A456U
   Processor : Intel i5 – 7th gen
   Sistem Operasi : Windows 10
   RAM : 8 *Gigabyte*
2. Perangkat Lunak (*software*)
   a. ENVI Classic 5.1
   b. ArcGIS 10.4
   c. QGIS 3.4.2
   d. Microsoft Excel 2013
   e. Microsoft Word 2013
   f. IBM SPSS Statistics 25

III.3 Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah diagram alir penelitian yang dilakukan pada penelitian ini.

Gambar - 2 Diagram alir penelitian

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Algoritma Lyzenga

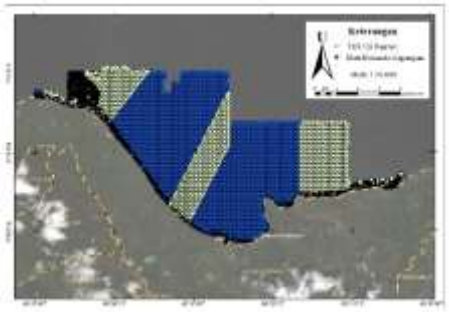
Algoritma Lyzenga menggunakan 3 saluran dalam pengoperasiannya, yaitu menggunakan saluran biru, hijau, dan merah (*band* 2,3, dan 4). Sebelum pengaplikasian rumus algoritma Lyzenga pada citra, dilakukan pengolahan pada masing – masing saluran 2,3, dan 4 untuk mendapatkan rata – rata nilai reflektan dari laut dalam pada masing – masing saluran. Dilakukan pengambilan sampel laut dalam dengan ROI *tools* yang sudah tersedia pada aplikasi ENVI. Saluran biru memiliki nilai rata – rata reflektan

laut dalam sebesar 0,024753001 ; saluran hijau 0,014673073 ; dan saluran merah 0,015170483.

Setelah didapatkan nilai rata – rata dari nilai reflektan laut dalam, selanjutnya adalah mengaplikasikan nilai tersebut ke rumus persamaan algoritma Lyzenga (persamaan 2). Persamaan tersebut merupakan persamaan yang diterapkan apabila sudah dilakukan proses regresi multilinier.

IV.1.1 *Depth Of Extinction*

Pada operasi perhitungan *Depth of Extinction* dilakukan pemilihan titik – titik kedalaman insitu (kedalaman lapangan) untuk selanjutnya dilakukan analisis regresi multiliner dari saluran biru, hijau, dan merah hasil pengolahan algoritma Lyzenga. Pada perhitungan *Depth of extinction* dilakukan analisis berkali – kali untuk mendapatkan nilai dimana algoritma Lyzenga dapat mendeteksi kedalaman lapangan dengan baik. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan suatu persamaan untuk mengubah / mengkonversi nilai piksel kedalaman relatif hasil algoritma Lyzenga menjadi nilai piksel kedalaman lapangan. Pada penelitian ini dipilih titik – titik kedalaman untuk analisis awal sejumlah 34.649 titik dengan memperhatikan persebaran lokasi agar mendapatkan titik yang mewakili semua kedalaman (kedalaman dangkal hingga dalam) dan tersebar pada daerah penelitian agar dapat mewakili karakteristik dari masing – masing wilayah perairan. Operasi ini menggunakan aplikasi ArcMap dan berikut adalah persebaran titik – titik yang diambil untuk selanjutnya dilakukan perhitungan *depth of extinction.*

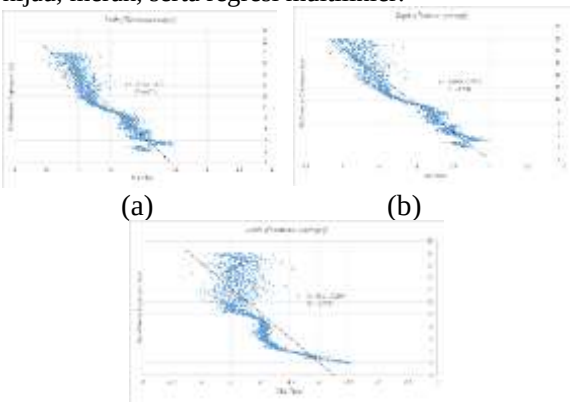


Gambar - 3 Titik – titik analisis *Depth of extinction*

Titik – titik dengan warna kuning merupakan titik – titik yang diambil untuk dilakukan analisis regresi untuk mendapatkan nilai *depth of extinction.* Titik – titik kedalaman lapangan diatas yang selanjutnya dilakukan analisis regresi memiliki kedalaman dari 1,98 meter hingga 335,27 meter. Analisis regresi yang dilakukan yaitu analisis regresi awal dimana melibatkan semua data dari kedalaman dangkal hingga dalam untuk melihat tingkat kedalaman yang dapat dijangkau oleh algoritma Lyzenga. Pada Analisis regresi awal nilai R^2 yang rendah, yaitu saluran biru dengan R^2 sebesar 0,152; saluran hijau dengan R^2 sebesar 0,144; dan saluran merah dengan R^2 sebesar 0,00002. dengan nilai R^2 yang hanya sebesar itu membuktikan bahwa regresi linier yang dihasilkan menunjukkan hasil yang tidak baik dan nilai piksel algoritma Lyzenga tidak dapat mendeteksi / mendefinisikan kedalaman laut dengan baik.

Setelah dilakukan proses analisis, hasil analisis tersebut menghasilkan regresi yang paling baik antara nilai piksel dan kedalaman lapangan yang terbaik yaitu hingga kedalaman 20 meter. Hal tersebut disebabkan karena tingkat linearitas data antara data kedalaman relatif yang dihasilkan oleh algoritma Lyzenga dan data kedalaman laut yang baik hingga kedalaman 20 meter, sedangkan kedalaman yang lebih dari 20 meter menunjukkan linearitas yang tidak baik. Setelah mendapatkan nilai maksimum yang dapat ditembus oleh algoritma tersebut, kemudian dilakukan pemotongan data yang akan diregresi hingga kedalaman 20 meter saja, hal ini bertujuan untuk menganalisis regresi yang dihasilkan oleh kedua data tersebut tanpa gangguan data yang memiliki linearitas kurang baik (yaitu data yang melebihi kedalaman 20 meter). Regresi tersebut menghasilkan nilai R^2 pada saluran biru sebesar 0,612 ; saluran hijau sebesar 0,761 ; saluran merah sebesar 0,517, nilai R^2 pada regresi multilinier yaitu 0,864.

Peneliti melakukan pemadatan regresi data dengan fungsi *Averageif* pada microsoft excel agar mendapatkan data yang lebih maksimal. Fungsi *averageif* berfungsi untuk menghitung rata – rata dari data independen yang mempunyai nilai dependen yang sama. Fungsi ini diterapkan pada regresi linier pada kedalaman 20 meter sampai regresi multilinier untuk mendapatkan perbandingan hasil, agar dapat menentukan apakah fungsi ini dapat memperbaiki data atau tidak. Berikut ini adalah hasil pemadatan data dengan fungsi tersebut. berikut ini adalah hasil regresi dari fungsi *average if* pada data saluran biru, hijau, merah, serta regresi multilinier.



(a) (b)

(c)

Gambar - 4 Hasil regresi dengan menggunakan fungsi *averageif*

Tabel - 2 Hasil analisis regresi *Averageif*

Variabel x	Persamaan	Nilai R^2	*Standar error*
Saluran Biru (*band* 02)	y = -10,716x - 38,171	0,873	1,860
Saluran hijau (*band* 03)	y = -9,2681x – 27,843	0,910	1,567
Saluran Merah (*band* 04)	y = -8,1441x – 30,499	0,575	3,407
X1 = Saluran biru X2 = Saluran hijau X3 = Saluran merah	y = 4,613 X1 – 14, 727 X2 + 2,091 X3 – 18,916	0.923	1,456

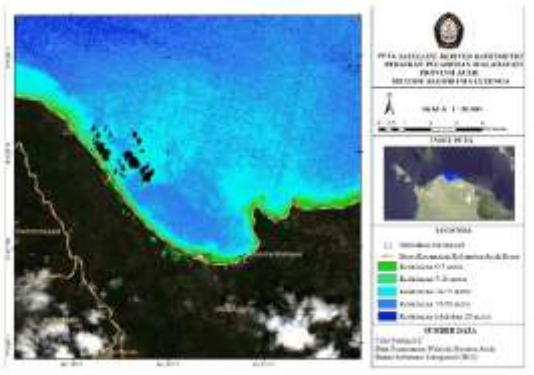
Dari tabel diatas nilai R^2 pada regresi linier dan multilinier rata – rata mengalami peningkatan yang dalam hal ini berarti regresi yang dihasilkan memiliki kualitas lebih baik daripada sebelumnya dan nilai piksel memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap kedalaman lapangan. Hal ini menunjukkan bahwa fungsi ini dapat meningkatkan kualitas regresi multilinier, karena apabila nilai R^2 semakin mendekati 1 maka regresi yang dihasilkan akan menjadi lebih baik dan berarti data independen dan dependen dalam suatu regresi memiliki pengaruh yang sangat kuat.

IV.1.2 Ekstraksi Kedalaman

Regresi multilinier yang sudah dihasilkan dalam pembahasan sebelumnya, selain menghasilkan nilai R^2 yang berguna untuk mengetahui seberapa besar pengaruh antara data independen dan dependen juga menghasilkan suatu koefisien. Koefisien yang dihasilkan dari regresi multilinier tersebut merupakan penyusun suatu persamaan. Persamaan tersebut kemudian diaplikasikan kepada saluran - saluran hasil pengolahan algoritma Lyzenga sebelumnya. Proses ini disebut ekstraksi kedalaman (*vertical referencing*). Proses ini bertujuan untuk mengubah / mengkonversi nilai – nilai piksel (kedalaman relatif) menjadi nilai kedalaman insitu (kedalaman lapangan). Berikut ini adalah persamaan dari ekstraksi kedalaman laut dari koefisien – koefisien diatas yang diturunkan dari persamaan 2.

$$Y = (4.612703377*X1) + -14.7268919*X2) + (2.091111153*X3) + -18.91556213)$$

Berikut adalah hasil akhir dari proses ekstraksi kedalaman.



Gambar - 5 Peta Hasil ekstraksi kedalaman algoritma Lyzenga

IV.2 Algoritma Stumpf

Algoritma Stumpf merupakan algoritma yang dapat dikatakan memiliki sistem dan tata cara pengoperasian yang lebih mudah daripada algoritma Lyzenga. Berbeda dengan algoritma sebelumnya, algoritma Stumpf hanya menggunakan 2 buah saluran saja, yaitu saluran biru (*band* 02) dan saluran hijau (*band* 03). Algoritma Stumpf adalah algoritma yang menggunakan perubahan rasio antara saluran hijau dan biru dalam mendeteksi kedalaman laut. Berbeda dengan algoritma Lyzenga yang pada dasarnya adalah algoritma yang berbasis pada persamaan multilinier. Karena algoritma ini memanfaatkan perubahan rasio antara saluran hijau dan biru, maka pada algoritma ini tidak diperlukan pengoperasian untuk mendapatkan nilai reflektan laut dalam dahulu.

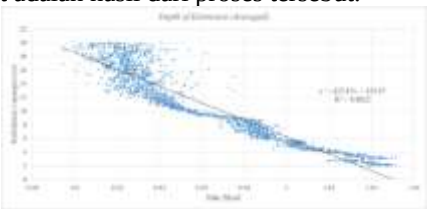
IV.2.1 *Depth of Extinction*

Pada operasi perhitungan *Depth of Extinction* algoritma Stumpf, titik – titik kedalaman insitu (kedalaman lapangan) yang dipilih merupakan titik – titik yang sama seperti titik – titik yang digunakan untuk proses regresi sebelumnya oleh algoritma Lyzenga. Sama juga seperti algoritma sebelumnya, pada algoritma Stumpf dilakukan juga analisis berkali – kali untuk mendapatkan nilai maksimal algoritma Stumpf dapat mendeteksi kedalaman lapangan dengan baik. Regresi untuk mendapatkan *depth of extinction* pada algoritma Stumpf adalah regresi linier. Regresi pada penelitian ini dilakukan pada data nilai piksel dari Algoritma Stumpf (kedalaman relatif) terhadap titik kedalaman lapangan. Pada hasil analisis regresi awal yang dilakukan, didapatkan nilai R^2 yang rendah yaitu hanya sebesar 0,125. Nilai R^2 yang hanya sebesar itu membuktikan bahwa regresi linier yang dihasilkan menunjukkan hasil yang kurang maksimal dan algoritma Stumpf tidak dapat mendeteksi atau mendefinisikan kedalaman laut dengan baik.

Setelah dilakukan proses analisis, hasil analisis tersebut menghasilkan regresi yang paling baik antara nilai piksel dan kedalaman lapangan yang terbaik yaitu hingga kedalaman 20 meter. Hal tersebut disebabkan karena tingkat linearitas data antara data kedalaman relatif yang dihasilkan oleh algoritma Stumpf dan data kedalaman laut yang baik hingga kedalaman 20 meter, sedangkan kedalaman

yang lebih dari 20 meter menunjukkan linearitas yang tidak baik. Setelah mendapatkan nilai maksimum yang dapat ditembus oleh algoritma tersebut, kemudian dilakukan pemotongan data yang akan diregresi hingga kedalaman 20 meter saja, hal ini bertujuan untuk menganalisis regresi yang dihasilkan oleh kedua data tersebut tanpa gangguan data yang memiliki linearitas kurang baik (yaitu data yang melebihi kedalaman 20 meter). Besaran nilai R^2 yang dihasilkan yaitu 0,794 dimana menunjukkan nilai regresi yang baik antara data independen (nilai kedalaman relatif) dengan data dependennya (kedalaman lapangan).

Sama seperti algoritma Lyzenga, peneliti menerapkan fungsi *averageif* untuk memaksimalkan regresi linier yang dilakukan pada algoritma Stumpf. Berikut adalah hasil dari proses tersebut.



Gambar - 6 Grafik hasil regresi linier *averageif* algoritma Stumpf

Tabel - 3 Analisis regresi linier *averageif* algoritma Stumpf

Variabel x	Persamaan	Nilai R^2	*Standar error*
Algoritma Stumpf	y = -123,45x + 129,67	0,882	1,795

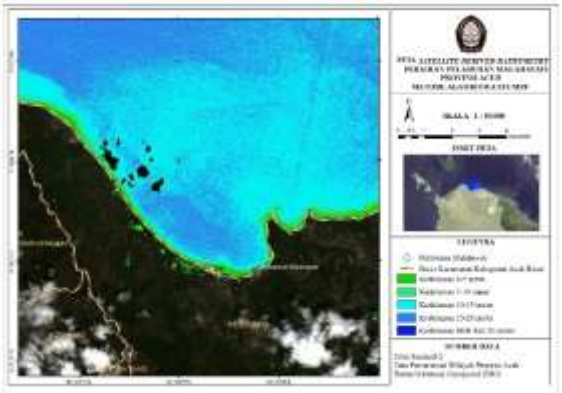
Dari tabel diatas menunjukkan bahwa regresi linier setelah melewati fungsi *averageif* mengalami peningkatan kualitas data dari sebelumnya. Hal ini ditunjukkan oleh grafik yang lebih linier daripada sebelumnya dan nilai R^2 yang meningkat dari 0,794 hingga 0,882. Hasil tersebut menunjukkan bahwa regresi yang dihasilkan menjadi lebih baik karena apabila nilai R^2 mendekati 1 maka kualitas hasil regresi tersebut akan semakin baik.

IV.2.2 Ekstraksi Kedalaman

Regresi linier akhir yang sudah dihasilkan dalam pengolahan sebelumnya, selain menghasilkan nilai R^2 juga menghasilkan suatu koefisien. Koefisien yang dihasilkan dari regresi tersebut merupakan penyusun suatu persamaan. Persamaan tersebut selanjutnya diaplikasikan kepada hasil pengolahan algoritma Stumpf sebelumnya untuk proses ekstraksi kedalaman / *vertical referencing*. Proses ini bertujuan untuk mengubah / mengkonversi nilai – nilai piksel kedalaman relatif menjadi nilai kedalaman lapangan. Berikut adalah persamaan yang dihasilkan dari ekstaksi kedalaman laut dari koefisien – koefisien diatas yang diturunkan dari persamaan 3.

$$Y = -123.4516124*X + 129.6740774$$

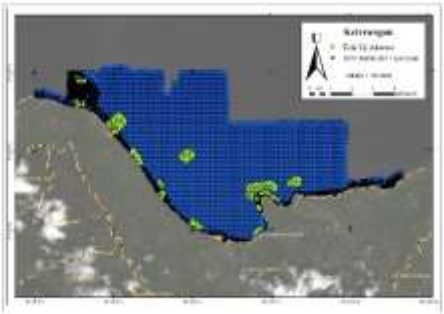
Berikut adalah hasil akhir proses ekstraksi kedalaman.



Gambar - 7 Peta Hasil ekstraksi kedalaman laut algoritma Stumpf

IV.3 Uji Akurasi

Uji akurasi dalam penelitian ini bertujuan untuk mencari nilai akurasi yang dihasilkan dari masing – masing algoritma yang digunakan dengan data pembanding yaitu data hasil pemeruman pada lapangan pada perairan Pelabuhan Malahayati, Provinsi Aceh. Uji akurasi yang dilakukan yaitu dengan perhitungan nilai RMSE yang dihasilkan dan perhitungan dari nilai TVU (*Total Vertically Uncertainty*) yang disesuaikan dengan standar akurasi IHO S-44. Pada proses uji hasil kedalaman terhadap nilai TVU, hanya dilakukan proses pengujian secara kuantitatif dikarenakan data – data yang diuji pada penelitian ini bersifat kuantitatif. Karena hal tersebut, maka parameter pada orde 1a dan orde 1b disamakan. Titik – titik kedalaman lapangan untuk proses uji akurasi dipilih dengan cara *disproportionate stratified random sampling*, dimana titik – titik tersebut memiliki kedalaman dari 1 – 20 meter dikarenakan kemampuan kedua algoritma yang hanya bisa mendefinisikan kedalaman laut hingga kedalaman 20 meter saja. Pemilihan titik – titik kedalaman untuk uji akurasi juga memperhatikan persebaran wilayah agar titik – titik kedalaman dapat mewakili karakteristik – karakteristik dari studi wilayah tersebut. Berikut adalah persebaran titik – titik yang digunakan untuk uji akurasi pada penelitian ini.



Gambar - 8 Persebaran titik – titik kedalaman untuk uji akurasi

IV.3.1 Algoritma Lyzenga

Berikut adalah tabel yang menjelaskan tentang hasil dari uji akurasi ketelitian algoritma (RMSE) dan uji ketelitian untuk standar TVU dari IHO terhadap titik kedalaman insitu (kedalaman lapangan) pada algoritma Lyzenga.

Tabel - 4 Hasil uji akurasi Algoritma Lyzenga

Kedalaman (meter)	Jumlah data	Orde IHO (%)			Tidak termasuk orde (%)	ketelitian (RMSE)
		Spesial	1a/1b	2		
1 - 5	3094	7,854	15,352	36,813	39,981	1,777
5 - 10	2365	8,414	10,951	32,389	48,245	1,797
10 - 15	1327	15,373	15,222	36,699	32,705	1,466
15 - 20	657	14,764	11,872	16,286	57,078	3,092
1 - 20	7443	9,983	13,624	33,575	42,819	1,888

Dari tabel diatas dapat ditarik kesimpulan dari hasil akurasi pada pengolahan *satellite derived bathymetry* dengan menggunakan algoritma Lyzenga yaitu algoritma Lyzenga dapat memetakan kedalaman laut dengan baik pada kedalaman 1 hingga 20 meter dengan akurasi rata – rata yang dihasilkan yaitu sebesar 1,888 meter. Dengan jumlah data sebanyak 7443 titik. Dari seluruh titik tersebut, berikut adalah rincian dari hasil uji akurasi terhadap nilai TVU IHO S-44, data sebesar 9,983% masuk pada ketelitian orde spesial; 13,624% masuk pada ketelitian orde 1a/1b; 33,575% masuk pada ketelitian orde 2; dan 42,819% tidak masuk kedalam orde – orde tersebut.

Pada kedalaman 1 – 5 meter memiliki akurasi ketelitian (RMSE) sebesar 1,777 meter dengan rincian jumlah data kedalaman yang dihitung yaitu sejumlah 3094 titik. Dari seluruh titik tersebut, berikut adalah rincian dari hasil uji akurasi terhadap nilai TVU IHO S-44, data sebesar 7,854% masuk pada ketelitian orde spesial; 15,352% masuk pada ketelitian orde 1a/1b; 36,813% masuk pada ketelitian orde 2; dan 39,981% tidak masuk kedalam orde – orde tersebut.

Pada kedalaman 5 – 10 meter dengan jumlah data sebanyak 2365 titik memiliki akurasi ketelitian (RMSE) sebesar 1,797 meter. Dari seluruh titik tersebut, berikut adalah rincian dari hasil uji akurasi terhadap nilai TVU IHO S-44, data sebesar 8,414% masuk pada ketelitian orde spesial; 10,951% masuk pada ketelitian orde 1a/1b; 32,389% masuk pada ketelitian orde 2; dan 48,245% tidak masuk kedalam orde – orde tersebut.

Pada kedalaman 10 – 15 meter dengan jumlah data sebanyak 1327 titik memiliki akurasi ketelitian (RMSE) sebesar 1,466 meter. Dari seluruh titik tersebut, berikut adalah rincian dari hasil uji akurasi terhadap nilai TVU IHO S-44, data sebesar 15,373% masuk pada ketelitian orde spesial; 15,222% masuk pada ketelitian orde 1a/1b; 36,699% masuk pada ketelitian orde 2; dan 32,705% tidak masuk kedalam orde – orde tersebut.

Pada kedalaman 15 – 20 meter dengan jumlah data sebanyak 657 titik memiliki akurasi ketelitian (RMSE) sebesar 3,092 meter. Dari seluruh titik tersebut, berikut adalah rincian dari hasil uji akurasi terhadap nilai TVU IHO S-44, data sebesar 14,764% masuk pada ketelitian orde spesial; 11,872% masuk pada ketelitian orde 1a/1b; 16,286% masuk pada ketelitian orde 2; dan 57,078% tidak masuk kedalam orde – orde tersebut.

IV.3.2 Algoritma Stumpf

Berikut adalah tabel yang menjelaskan tentang hasil dari uji akurasi ketelitian algoritma (RMSE) dan uji ketelitian untuk standar TVU dari IHO terhadap titik kedalaman insitu (kedalaman lapangan) pada algoritma Stumpf.

Tabel - 5 Hasil uji akurasi Algoritma Stumpf

Kedalaman (meter)	Jumlah data	Orde IHO			Tidak termasuk orde (%)	ketelitian (RMSE)
		Spesial	1a/1b	2		
1 - 5	3094	15,385	16,128	30,866	37,621	1,571
5 - 10	2365	6,469	7,188	19,070	67,273	2,279
10 - 15	1327	10,173	10,776	25,170	53,881	1,923
15 - 20	657	10,350	9,285	14,003	66,362	3,441
1 - 20	7443	11,178	11,729	24,614	52,479	2,093

Dari tabel diatas dapat ditarik kesimpulan dari hasil akurasi pada pengolahan *satellite derived bathymetry* dengan menggunakan algoritma Stumpf yaitu algoritma ini dapat memetakan kedalaman laut dengan baik pada kedalaman 1 hingga 20 meter dengan akurasi rata – rata yang dihasilkan yaitu sebesar 2,093 meter. Dengan jumlah data sebanyak 7443 titik. Dari seluruh titik tersebut, berikut adalah rincian dari hasil uji akurasi terhadap nilai TVU IHO S-44, data sebesar 11,178% masuk pada ketelitian orde spesial; 11,729% masuk pada ketelitian orde 1a/1b; 24,614% masuk pada ketelitian orde 2; dan 52,479% tidak masuk kedalam orde – orde tersebut.

Pada kedalaman 1 – 5 meter memiliki akurasi ketelitian (RMSE) sebesar 1,571 dengan rincian jumlah data kedalaman yang dihitung yaitu sejumlah 3094 titik. Dari seluruh titik tersebut, berikut adalah rincian dari hasil uji akurasi terhadap nilai TVU IHO S-44, data sebesar 15,385% masuk pada ketelitian orde spesial; 16,128% masuk pada ketelitian orde 1a/1b; 30,866% masuk pada ketelitian orde 2; dan 37,621% tidak masuk kedalam orde – orde tersebut.

Pada kedalaman 5 – 10 meter dengan jumlah data sebanyak 2365 titik memiliki akurasi ketelitian (RMSE) sebesar 2,279 meter. Dari seluruh titik tersebut, berikut adalah rincian dari hasil uji akurasi terhadap nilai TVU IHO S-44, data sebesar 6,649% masuk pada ketelitian orde spesial; 7,188% masuk pada ketelitian orde 1a/1b; 19,070% masuk pada ketelitian orde 2; dan 67,273% tidak masuk kedalam orde – orde tersebut.

Pada kedalaman 10 – 15 meter dengan jumlah data sebanyak 1327 titik memiliki akurasi ketelitian (RMSE) sebesar 1,923 meter. Dari seluruh titik tersebut, berikut adalah rincian dari hasil uji akurasi terhadap nilai TVU IHO S-44, data sebesar 10,173% masuk pada ketelitian orde spesial; 10,776% masuk pada ketelitian orde 1a/1b; 25,170% masuk pada ketelitian orde 2; dan 53,881% tidak masuk kedalam orde – orde tersebut.

Pada kedalaman 15 – 20 meter dengan jumlah data sebanyak 657 titik memiliki akurasi ketelitian (RMSE) sebesar 3,441 meter. Dari seluruh titik tersebut, berikut adalah rincian dari hasil uji akurasi terhadap nilai TVU IHO S-44, data sebesar

10,350% masuk pada ketelitian orde spesial; 9,285% masuk pada ketelitian orde 1a/1b; 14,003% masuk pada ketelitian orde 2; dan 66,362% tidak masuk kedalam orde – orde tersebut.

Dari hasil uji akurasi yang sudah dilakukan diatas, dapat diambil kesimpulan bahwa penggunaan *satellite derived bathymetry* dengan menggunakan algoritma Stumpf menghasilkan ketelitian yang cukup baik yaitu 2,093 meter. Jika dilihat dari nilai TVU yang didapatkan, data yang dihasilkan dari algoritma Stumpf memiliki presentase yang lebih kecil dari algoritma Lyzenga sebelumnya.

IV.3.3 Analisis Uji Akurasi Algoritma

Dari hasil yang sudah disebutkan sebelumnya, dapat dilihat bahwa algoritma Lyzenga memiliki nilai pengaruh regresi / nilai R^2 yang lebih besar daripada Stumpf. Hal ini disebabkan karena pada algoritma Lyzenga menggunakan regresi multilinier dengan tiga variabel, sedangkan algoritma Stumpf hanya menggunakan regresi linier yang berarti hanya terdapat satu variabel. Hal tersebut menyebabkan algoritma Lyzenga memiliki korelasi yang lebih kuat daripada algoritma Stumpf, karena korelasi antara kedalaman laut dan nilai algoritma Lyzenga tidak hanya tergantung dengan satu variabel saja seperti algoritma Stumpf. Karena apabila hanya tergantung dengan satu variabel saja, maka apabila variabel tersebut kurang baik dalam memprediksi, maka nilai kedalaman yang dihasilkan akan menjadi kurang baik juga.

Dari tabel tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa algoritma Lyzenga memiliki rata – rata akurasi untuk memetakan kedalaman lapangan lebih baik daripada algoritma Stumpf. Hal ini membuktikan bahwa nilai R^2 pada penelitian ini sangat berpengaruh pada hasil akurasi pemetaan yang dihasilkan. Semakin besar nilai R^2 yang dihasilkan pada suatu regresi maka pengaruh antara data dependen (data kedalaman lapangan) dan data independen (data kedalaman model) semakin besar, serta mempengaruhi hasil akhir dari suatu algoritma.

Dari hasil ketelitian pemetaan kedalaman lapangan diatas, dapat diambil kesimpulan bahwa algoritma Lyzenga memiliki ketelitian yang lebih baik daripada algoritma Stumpf dengan rata – rata selisih nilai ketelitian antara algoritma Stumpf dan Lyzenga yaitu sebesar 0,205 meter. Akan tetapi pada kedalaman 1-5 meter, Stumpf memiliki ketelitian yang lebih baik daripada algoritma Lyzenga. Walaupun memiliki ketelitian yang berbeda, kedua algoritma merupakan algoritma yang dapat digunakan untuk proses *satellite derived bathymetry* dengan hasil yang sama – sama baik.

Selain ketelitian pemetaan, hasil TVU juga menjelaskan bahwa algoritma Lyzenga menunjukkan hasil yang lebih baik daripada Algoritma Stumpf. Akan tetapi walaupun algoritma Lyzenga memiliki hasil yang lebih baik daripada algoritma Stumpf, kedua algoritma tersebut menghasilkan besaran nilai TVU yang cukup baik, akan tetapi masih belum bisa dikatakan yang terbaik apabila dibandingkan dengan metode survei lainnya seperti misalnya menggunakan *echosounder*. Hal ini menyebabkan data hasil pengolahan *satellite derived bathymetry* dengan citra Sentinel-2A menggunakan algoritma Lyzenga dan Stumpf kurang baik apabila dijadikan sebagai sumber data utama untuk referensi pembangunan pada wilayah perairan, misalnya seperti pembangunan pelabuhan. Pada metode *satellite derived bathymetry* yang digunakan penelitian ini dapat menghasilkan data yang memiliki akurasi yang baik dikarenakan wilayah studi pada penelitian ini merupakan perairan yang memiliki tingkat kejernihan yang baik serta arus yang dapat dikategorikan tidak terlalu kuat. Akan tetapi data – data yang dihasilkan memiliki akurasi yang baik apabila digunakan sebagai data untuk navigasi dan pengamatan perubahan laut dangkal, hal ini dikarenakan citra Sentinel-2A memiliki resolusi spasial sebesar 10 meter dan resolusi temporal selama 10 hari.

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil kedalaman maksimal yang dapat dijangkau oleh *satellite derived bathymetry* citra Sentinel-2A pada algoritma Lyzenga dan Stumpf pada perairan Pelabuhan Malahayati, Provinsi Aceh yaitu sama – sama dapat mencapai kedalaman hingga 20 meter dengan jenis regresi dan pengaruh regresi yang berbeda antar kedua metode tersebut. Pada algoritma Lyzenga, regresi yang digunakan yakni regresi multilinier yang tersusun dari regresi linier yang dilakukan oleh saluran biru, hijau, dan merah dengan nilai R^2 yang dicapai oleh regresi multilinier tersebut sebesar 0,923. Sedangkan algoritma Stumpf, regresi yang digunakan yaitu regresi linier. Hasil nilai R^2 yang didapat pada regresi linier ini sebesar 0,882 Hal ini menunjukkan bahwa algoritma Lyzenga memiliki nilai pengaruh regresi yang lebih besar dibandingkan dengan algoritma Stumpf.
2. Hasil akurasi kedalaman model yang dihasilkan dari kedua metode algoritma terhadap data pemeruman menggunakan *echosounder* pada perairan Pelabuhan Malahayati, Provinsi Aceh yaitu pada Algoritma Lyzenga menghasilkan akurasi yang lebih baik daripada algoritma Stumpf. Algoritma Lyzenga memiliki ketelitian pemetaan kedalaman dari 1 – 20 meter sebesar 1,888 meter, sedangkan algoritma Stumpf memiliki ketelitian pemetaan kedalaman dari 1 – 20 meter sebesar 2,093 meter. Selain ketelitian pemetaan, data – data kedalaman yang dihasilkan oleh algoritma Lyzenga juga memiliki rata – rata nilai TVU IHO S-44 yang lebih baik daripada algoritma Stumpf. Pada ketelitian orde spesial / orde khusus, data algoritma Lyzenga yang masuk pada ketelitian orde tersebut yaitu 9,983% ; sedangkan

algoritma Stumpf 11,178%. Pada ketelitian orde 1a/1b, data algoritma Lyzenga yang masuk pada ketelitian orde tersebut sebesar 13,575%, sedangkan algoritma Stumpf sebesar 11,178%. Dan pada ketelitian orde 2, data Lyzenga yang masuk pada ketelitian tersebut sejumlah 33,575%, algoritma Stumpf sebesar 24,614%. Kemudian data – data Lyzenga yang tidak masuk pada ketelitian – ketelitian orde tersebut sejumlah 42,819% dan algoritma Stumpf sejumlah 52,479%. Hal tersebut menunjukkan algoritma Lyzenga memiliki akurasi dan ketelitian yang lebih baik daripada algoritma Stumpf.

V.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, berikut adalah saran yang dapat dipergunakan untuk penelitian selanjutnya :

1. Data citra yang digunakan dalam penelitian sebaiknya tidak tertutup awan atau tidak banyak tertutup awan agar informasi dan data – data yang didapatkan dapat sesuai dengan keadaan lapangan sebenarnya.
2. Sebaiknya penelitian untuk analisis *satellite derived bathymetry* dilakukan pada wilayah perairan yang tidak keruh, karena metode ini tidak dapat bekerja dengan baik apabila wilayah perairan yang diteliti merupakan perairan yang keruh.
3. Untuk mendapatkan data yang baik, usahakan nilai R^2 dari regresi yang dilakukan memiliki kisaran nilai yang lebih dari 0,5 agar hasil yang didapatkan memiliki akurasi data yang baik.
4. Untuk penelitian selanjutnya, sebaiknya menggunakan regresi dengan sampel kedalaman hingga 20 meter untuk mendapatkan hasil yang maksimal.
5. Dilakukan penelitian dengan menggunakan sumber data citra dengan resolusi spasial yang lebih tinggi atau dengan citra hiperspektral agar dapat dilakukan perbandingan akurasi pada penelitian ini.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Informasi Geospasial atas penyediaan data untuk keberjalanan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Anas Sudijono. (2009). Pengantar Statistik Pendidikan. Jakarta: PT. Raja Grafindo Persada.

Bashit, N. (2019). Analisis Lahan Kritis Berdasarkan Kerapatan Tajuk Pohon Menggunakan Citra Sentinel 2. Ellipsoida Jurnal Geodesi Dan Geomatika, 02(01), 71–79.

Bremer, M. (2012). *Math 261A -Spring 2012 Multiple Linear Regression*.

IHO (2008). *IHO Standards for Hydrographic Surveys 5th Edition*, Special Publication No. 44, Monaco.

IHO, I. H. O., & IOC, I. O. C. (2018). *B-11, The IHO-IOC GEBCO Cook Book*. (September). Retrieved from https://www.iho.int

Lyzenga, D. R., Malinas, N. P., & Tanis, F. J. (2006). *Multispectral bathymetry using a simple physically based algorithm. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(8), 2251–2259. https://doi.org/10.1109/TGRS.2006.872909

Sasmito, B. (2018). Kajian Jalur Pelabuh an " Marine Science Techno Park Undip " Teluk Awur Jepara Menggunakan Multibeam Echosounder (Mbes). Ellipsoida Jurnal Geodesi Dan Geomatika, 01(02), 1–6.

Setiawan K.T, dkk. (2018). Estimasi Batimetri dari Data Spot 7 Studi Kasus Perairan Gili Matra Nusa Tenggara Barat. Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, LAPAN.

Smadi, Abdullah A, Nour H. Abu-Afouna. (2012). *On Least Squares Estimation in a Simple Linear Regression Model with Periodically Correlated Errors: A Cautionary Note. Austrian Journal of Statistics.* Vol. 41 , No. 3. ISSN: 211–226.

Soenarmo, S. (2009). *Penginderaan Jauh dan Pengenalan Sistem Informasi Geografi Untuk Bidang Ilmu Kebumian.* Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Stumpf, R.P., Holderied, K., Sinclair, M. (2003). *Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types.*

Sumber dari Internet :

Google Earth. (2020). Google Maps. *Lokasi Penelitian (Pulau Sipora)*. https://www.google.com/intl/id/earth/. Diakses pada tanggal 1 Maret 2020.

Kementrian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia. (2017). Maritim Indonesia, Kemewahan Yang Luar Biasa. http://www2.kkp.go.id/artikel/2233-maritim-indonesia-kemewahan-yang-luar-biasa. Diakses pada tanggal 1 Maret 2020.