

PEMROSESAN SINYAL GELOMBANG INFRA MERAH DEKAT DAN GELOMBANG HIJAU UNTUK MENDAPATKAN POINT CLOUD AIRBONE LIDAR BATHYMETRY PADA PERAIRAN DANGKAL (STUDI KASUS: PERAIRAN PULAU ULAR DAN PANTAI TANJUNG SARI CILEGON, PROVINSI BANTEN)

SIGNAL PROCESSING OF NEAR INFRARED WAVES AND GREEN WAVES TO OBTAIN AIRBONE LIDAR BATHYMETRY POINT CLOUDS IN SHALLOW WATERS (CASE STUDY : PULAU ULAR WATERS AND TANJUNG SARI BEACH, CILEGON, BANTEN PROVINCE)

Rifai Rahman, Endro Sigit Kurniawan, Listiyo Fitri

Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut

email : rifaihidros850@gmail.com

ABSTRAK

Akuisisi kedalaman menggunakan *Airborne* LiDAR Batimetri adalah suatu metode pengukuran yang efisien untuk topografi dasar air di area perairan dangkal. ALB memiliki keterbatasan kemampuan penetrasi sensor terhadap badan air seperti kekeruhan, suhu dan salinitas. Faktor kekeruhan sangat mempengaruhi kemampuan gelombang hijau untuk masuk sampai permukaan dasar air. Untuk meningkatkan jumlah point cloud yang mewakili seabed, perlu dilakukan pengolahan sinyal gelombang hijau. Pengolahan sinyal gelombang hijau sebelumnya menggunakan metode sinyal individu yang terisolasi yang dianggap mewakili sekitar. Pada penelitian ini digunakan pengolahan sinyal gelombang infra merah dekat dan gelombang hijau dengan metode perwakilan pantulan mayoritas menggunakan *software* Leica LSS 3.1. Penentuan nilai *maximum amplitude threshold*, *maximum amplitude threshold*, dan *slope threshold* dilakukan otomatis oleh *software* berdasarkan sigma rata-rata mayoritas pantulan. Metode perwakilan pantulan mayoritas memberikan hasil yang baik di perairan jernih maupun di perairan keruh. Pada kondisi perairan jernih Pulau Ular penetrasi gelombang hijau pada permukaan dasar perairan mencapai kedalaman 13,87 meter. Sedangkan pada perairan keruh Pantai Tanjung Sari penetrasi gelombang hijau hanya mencapai 7,2 meter. Kekurangan dari pengolahan sinyal gelombang dengan metode ini adalah jumlah *noise point cloud* menjadi banyak sehingga pengolahan data menjadi lebih lama. Dari hasil uji akurasi dengan proses output control report menggunakan data *sounding* colok RTK dari kedalaman 0 sampai 1,5 meter didapatkan nilai RMS 0,331 meter.

Kata Kunci: *Airbone LiDAR Bathymetry, green waves.*

ABSTRACT

Depth acquisition using Airborne LiDAR Bathymetry is an efficient measurement method for seabed topography in shallow water areas. ALB has limited sensor penetration capabilities of water bodies such as turbidity, temperature and salinity. The turbidity factor greatly affects the ability of green waves to penetrate to the bottom surface of the water. To increase the number of point clouds representing seabeds, it is necessary to process green wave signals. The previous green wave signal processing used the isolated individual signal method which was considered to represent the surrounding area. In this study, near infrared and green wave signal processing was used with the majority reflection representation method using the Leica LSS 3.1 software. Determination of the maximum amplitude threshold, maximum amplitude threshold, and slope threshold is determined automatically by the software based on the sigma average of the majority of reflections. The majority reflection representative method gives good results in clear waters as well as in turbid waters. In the clear waters of Ular Island, the penetration of green waves on the bottom surface of the waters reaches a depth of 13.87 meters. Meanwhile, in the murky waters of Tanjung Sari Beach green wave penetration only reaches 7.2 meters. The disadvantage of signal processing with this method is that the number of noise point clouds becomes large, so data processing takes longer. From the results of the accuracy test with the control report output process using the RTK plug-in sounding data from a depth of 0 to 1.5 meters, the RMS value was 0.331 meters.

Keywords: *Airborne LiDAR Bathymetry, green waves.*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia dengan batas wilayah kedaulatan yang terdiri dari perairan pedalaman dan perairan kepulauan seluas 3.110.000 km², Laut territorial 290.000 km². Luat wilayah berdaulat, terdiri dari Zona Tambahan seluas 270.000 km², Zona Ekonomi Eksklusif 3.000.000 km², Landas Kontinen seluas 2.800.000 km². Luas perairan Indonesia 6.400.000 km², Luas NKRI (Darat + Perairan) seluas 8.300.000 km². Panjang garis pantai 108.000 km, sesuai dengan Undang Undang No. 6 tahun 1996 tentang perairan Indonesia (www.pushidrosal.id).

Indonesia merupakan suatu negara dengan luas perairan lebih besar dari pada luas daratan dan juga mempunyai bentang garis pantai terpanjang kedua di dunia. Untuk itu Indonesia disebut juga sebagai negara maritim yang secara geografis, terletak di antara dua benua dan dua samudera.

Berdasarkan Peraturan Presiden Nomor 66 Tahun 2019 Pushidrosal sebagai Kotama Operasi yang bertugas menyelenggarakan operasi survei pemetaan Hidro-Oceanografi militer ataupun nasional. Selama ini proses pengambilan data dilakukan dengan cara in-situ yaitu mendatangi langsung lokasi survei untuk melaksanakan pemeruman menggunakan alat *multi beam echo-*

sounder atau *single beam echo-sounder*. Pada pelaksanaannya, terdapat beberapa tempat yang tidak bisa dilalui oleh media apung untuk pemetaan batimetri, terutama pada area perairan dangkal dikarenakan faktor keselamatan dan spesifikasi alat. Sehingga pemetaan dengan alat *echo-sounder* belum sepenuhnya mampu memetakan untuk semua area perairan dangkal. Hal ini mengakibatkan adanya gap data pada area setelah daratan pantai ke arah perairan dangkal.

Oleh karena itu pada tahap penelitian ini diharapkan mampu menjawab pertanyaan bagaimana cara mengolah data ALB mulai dari tahapan pengolahan sinyal dan bagaimana cara meningkatkan akurasi data ALB (*Airborne LiDAR Bathymetry*) pada kondisi perairan keruh. Lokasi penelitian berada pada area perairan dangkal Pulau Ular dan Pantai Tanjung Sari, Cilegon, Provinsi Banten. Hasil akhir dari penelitian ini akan ditampilkan dalam bentuk model terrain dan kontur kedalaman.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut dapat dirumuskan beberapa masalah antara lain:

1. Bagaimana cara melakukan pengolahan data pada tahap pengolahan signal gelombang infra merah dekat dan gelombang hijau sampai didapatkannya *point cloud* ALB pada perairan dangkal Pulau Ular dan Pantai Tanjung Sari, Cilegon Provinsi Banten?
2. Berapa perbandingan hasil pengolahan data ALB pada kondisi perairan keruh dan perairan jernih?

3. Berapa besar ketelitian data point cloud ALB di perairan laut dangkal Pantai Tanjung Sari, Cilegon Provinsi Banten?
4. Bagaimana cara membuat model terrain dan kontur kedalaman berdasarkan referensi tinggi chart datum dari data ALB pada studi kasus perairan dangkal Pulau Ular dan Pantai Tanjung Sari, Cilegon Provinsi Banten?

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian dalam penulisan ini adalah:

1. Untuk mengetahui cara pengolahan gelombang infra merah dekat dan gelombang hijau sampai didapatkannya *point cloud* ALB pada perairan dangkal Pulau Ular dan Pantai Tanjung Sari, Cilegon Provinsi Banten.
2. Untuk mengetahui perbedaan hasil ALB pada kondisi perairan keruh dan perairan jernih?
3. Untuk mengetahui kualitas data *point cloud* ALB pada studi kasus perairan dangkal Pantai Tanjung Sari, Cilegon Provinsi Banten.
4. Untuk menyajikan data ALB terkait dengan survei batimetri di perairan dangkal Pulau Ular dan Pantai Tanjung Sari, Cilegon Provinsi Banten.

Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi untuk membantu lembaga atau instansi terkait dalam penggunaan dan penyajian data *Airborne LiDAR Bathymetry* (ALB). Dan memberikan referensi awal tata cara melakukan pengolahan data ALB, terutama pada penerjemahan gelombang pantul dari sinar laser untuk mendapatkan data secara cepat dan akurat, serta dapat

memberikan gambaran tentang konsep penggunaan ALB.

Pembatasan masalah

Pembatasan masalah dalam penulisan ini adalah sebagai berikut:

1. Wilayah studi penelitian berada di daerah perairan dangkal Pulau Ular dan Pantai Tanjung Sari, Cilegon Provinsi Banten.
2. Data ALB didapatkan dari akuisisi data oleh Badan Informasi Geospasial pada tanggal 31 Oktober 2020.
3. Data model pasut untuk mengkonversi referensi vertikal ke chart datum didapatkan dari BIG.
4. Data pengukuran untuk uji akurasi didapatkan dari pengukuran sounding colok pada tanggal 23 Maret 2022 dengan metode RTK.
5. Penelitian dikhususkan pada pengolahan gelombang infra merah dekat dan gelombang hijau pada ALB.

Survei Batimetri

Batimetri merupakan suatu pengukuran kedalaman air dengan menggunakan teknik dan metode tertentu. Secara umum, batimetri dilakukan di air laut untuk memetakan topografi bawah laut. Sejarah awal pengukuran batimetri adalah menggunakan sebuah alat pemberat yang telah terikat oleh tali atau kabel (lead-line), yang kemudian dimasukkan ke dalam air laut hingga mencapai permukaan dasar (Poerbandono dan Djunarsjah, 2005).

LiDAR (*Light Detection and Ranging*)

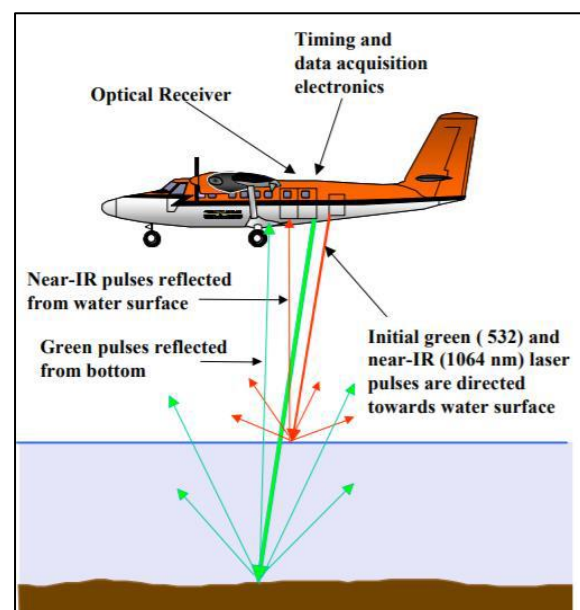
LiDAR, *Light detection and ranging* atau yang dikenal dengan nama Lidar

adalah suatu teknologi yang memanfaatkan sinar laser untuk dapat menghitung jarak suatu objek. Teknologi lidar ini adalah metode yang paling efektif untuk digunakan sebagai pengambilan data jarak suatu objek (Alamsyah *et al.*, 2019).

Airbone LiDAR Bathymetry (ALB)

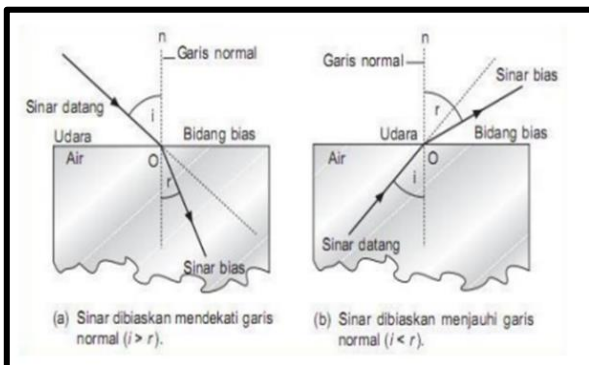
Alat ALB menggunakan dua sensor sekaligus yaitu sensor gelombang inframerah dekat (*NIR/Near-Infrared*) dan sensor gelombang hijau, panjang gelombang hijau yang sering digunakan adalah 532 nm dan NIR sebesar 1064 nm (Quadros, 2015; LaRocque dan West, 1999).

Gelombang sinar hijau digunakan untuk mendeteksi permukaan bawah perairan karena sinar hijau mampu menembus air dengan atenuasi yang minim. Adapun gelombang NIR digunakan untuk mendeteksi permukaan daratan karena keterbatasannya menembus air (Sharma, 2018).



Gambar 1. Prinsip pengukuran kedalaman menggunakan ALB secara umum. (Sumber: LaRocque & West, 1999).

Pada saat akuisi, gelombang hijau melewati dua medium, yaitu medium udara dan medium air, maka gelombang cahaya akan dibiaskan. Pembiasan gelombang cahaya dapat terjadi dikarenakan perbedaan laju cahaya pada kedua medium. Laju cahaya pada medium yang rapat lebih kecil dibandingkan dengan laju cahaya pada medium yang kurang rapat. Menurut Huygens (1629-1695): “Perbandingan laju cahaya dalam ruang hampa dengan laju cahaya dalam suatu zat dinamakan indeks bias”. (Giancoli,2001).



Gambar 2. Perhitungan Pembiasan Cahaya. (Sumber: Giancoli, 2001:258)

Indeks bias (refractive index) tidak pernah bernilai lebih dari 1 atau $n < 1$ yang secara matematis dapat dirumuskan:

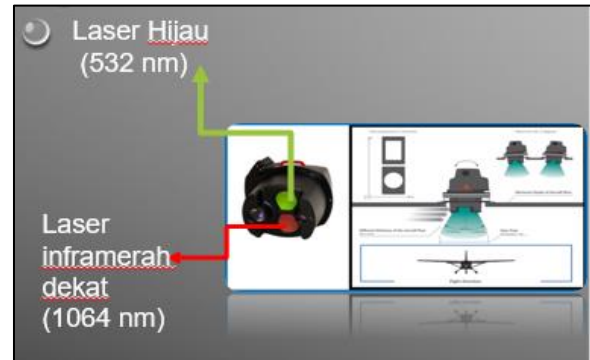
$$n = \frac{c}{v}$$

dimana:

n : indeks bias

c : kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

v : laju cahaya dalam zat



Gambar 3. Sensor aktif yang digunakan Airborne LiDAR Bathymetry (Sumber: jurnal Leica,2015)

Komponen ALB

1. Sensor pada ALB berfungsi untuk memancarkan sinar laser ke objek dan merekam kembali gelombang pantulannya setelah mengenai objek. Pada sistem ALB terdapat dua ruang sensor yang berbeda, satu ruang untuk sensor inframerah dekat dengan panjang gelombang 1064 nm dan satu ruang untuk sensor gelombang hijau dengan panjang gelombang 532 nm. Bentuk sensor seperti pada gambar 3.
2. GNSS (*Global Navigation Satellite System*) dipasang pada bagian atas wahana terbang agar terhindar dari obstruksi. Selain itu, juga dipasang GNSS di bawah (lokasi area survei) yang berfungsi sebagai base station. Dua GNSS tersebut digunakan untuk pengukuran kinematic differential. Standar antenna GNSS adalah dual frekuensi dengan sinyal GNSS pada sampling rate 1 Hz.
3. IMU (*Inertial Measurement Unit*) dipasang secara langsung pada sistem laser atau di sekitar tempat tersebut pada area yang stabil di wahana terbang. IMU merekam data percepatan dan rotasi wahana terbang pada rentang 200 Hz

(atau tergantung spesifikasi alat). Data percepatan wahana terbang digunakan sebagai bantuan interpolasi terhadap hasil pengukuran posisi GPS, sedangkan data rotasi digunakan untuk menentukan sikap wahana terbang. Kombinasi data GPS dan IMU dimanfaatkan untuk membentuk jalur terbang/*trajectory* (Vosselman & Maas, 2010).

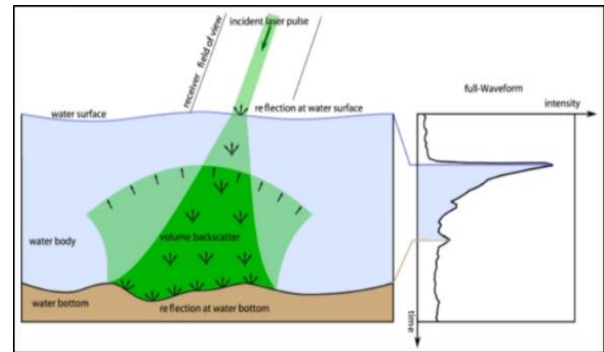
4. Unit pengontrol dan perekam data merupakan alat yang menyinkronkan waktu dan mengontrol keseluruhan sistem. Unit ini menyimpan data jarak dan posisi hasil perekaman scanner, IMU, dan GPS.

5. Laptop Workstation sebagai alat komunikasi antara unit pengontrol dan perekam data, mengatur parameter survei, dan mengawasi kinerja sistem saat dilakukan survei.

6. Sistem manajemen terbang berguna untuk menampilkan rencana jalur terbang bagi pilot agar selama proses pengambilan data sesuai dengan rencana.

Waveform analysis

Waveform adalah metode pencatatan balikan gelombang laser pada alat perekam. Seluruh gelombang pantul direkam pada interval waktu tertentu. Sekalipun amplitudo gelombang balikan yang lemah juga direkam. *Default* perekaman interval waktu gelombang balikan pada alat Leica adalah per 0.575 ns. *Return waveform* menghasilkan tiga buah hasil antara lain *surface return*, *volume backscatter return*, dan *bottom return*. *Volume backscatter* merupakan hasil dari gelombang yang dipancarkan kembali dari partikel di kolom air (David *et al*, 2021) (Gambar 4).



Gambar 4. Skema *return waveform* ALB. (Sumber David *et al*, 2021).

METODE PENELITIAN

Metode yang diambil dalam penelitian ini yaitu meningkatkan kualitas data *point cloud* ALB dalam penetrasi sensor terhadap permukaan *seabed* di perairan dangkal dan keruh. Tempat penelitian ini dilaksanakan di lembaga nasional Badan Informasi Geospasial (BIG) dan PT. LEICA dengan lokasi penelitian berada di perairan dangkal Pulau Ular dan Pantai Tanjung Sari (Cilegon Provinsi Banten).

Sumber Data

Data *Airbone LiDAR Bathymetry* (ALB) di dalam penelitian ini didapatkan dari lembaga negara Badan Informasi Geospasial (BIG) yang diakusisi pada Oktober-Desember 2020. Data tersebut didapatkan dari BIG pada 14 Agustus 2022. Data didapatkan setelah mengajukan surat permohonan permintaan data nomor: B/475/VII/2022 pada 04 Juli 2022. Data ICP (*independent check point*) sebagai data uji akurasi didapatkan dari proyek PT. Lotte berupa data *sounding* colok menggunakan GPS R8 dengan metode RTK yang masuk di area penelitian. Pengambilan data *sounding* colok dilaksanakan pada 23 maret 2022.

Lokasi Penelitian

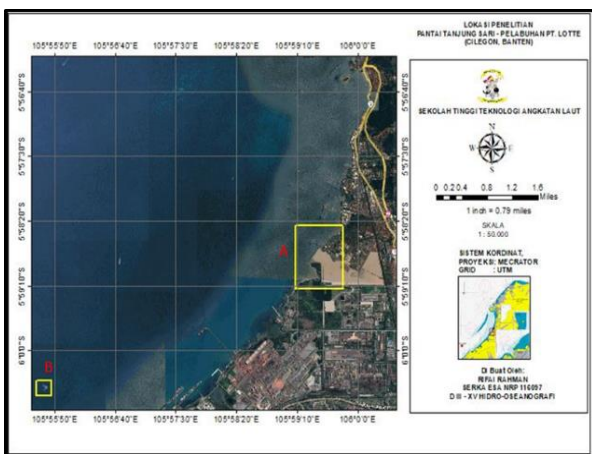
Lokasi dalam penelitian ini adalah Perairan Pulau Ular dan Perairan Pantai Tanjung Sari, Cilegon Provinsi Banten. Sebagai referensi lokasi menggunakan Peta citra satelit yang diperoleh dari *Google Eart* dan Peta Laut Indonesia Nomor 95 Tahun 2015.

Batas – batas penelitian area Perairan Pulau Ular (Gambar 5):

- A. 06° 00' 22.86" S - 105° 55' 34.36" E
- B. 06° 00' 22.91" S - 105° 55' 47.01" E
- C. 06° 00' 34.74" S - 105° 55' 47.06" E
- D. 06° 00' 34.83" S - 105° 55' 34.41" E

Batas – batas penelitian area Perairan Pantai Tanjung Sari:

- A. 05° 58' 23.24" S - 105° 59' 07.89" E
- B. 05° 58' 23.34" S - 105° 59' 46.99" E
- C. 05° 59' 11.79" S - 105° 59' 47.14" E
- D. 05° 59' 11.93" S - 105° 59' 08.05" E



Gambar 5. Peta Lokasi Area Penelitian.

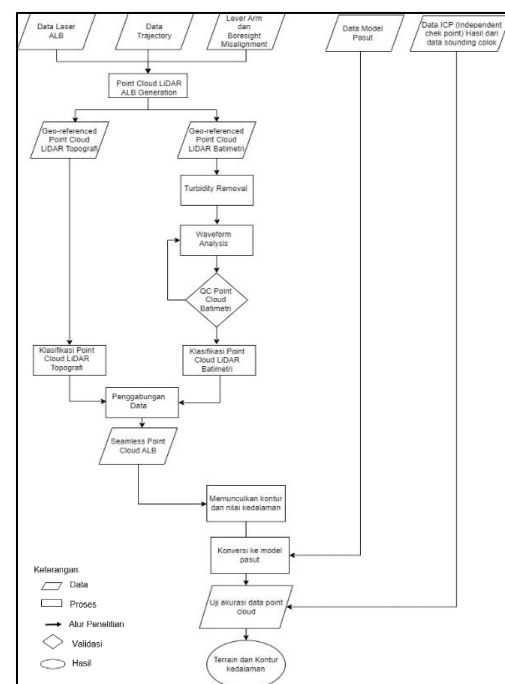
Peralatan Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini menggunakan perangkat lunak (software) antara lain:

1. *Software LSS 3.1* milik PT LEICA Geosystem Indonesia, merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk pengolahan data keseluruhan dari ALB.
2. *Software MicroStation V8i*, merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk mengolah data *point cloud* ALB.
3. *Software TeraSolid*, merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk pengolahan data *point cloud* ALB.
4. *Software ArcGIS*, merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk membuat *layout* lokasi penelitian.
5. *Software Global Mapper*, merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk *overlay* data ALB.

Diagram Alir Penelitian

Gambar 6 merupakan diagram alir yang digunakan dalam penelitian sebagai pedoman alur pikir pelaksanaan dari tahap pengumpulan data awal sampai dengan interpretasi hasil penelitian.



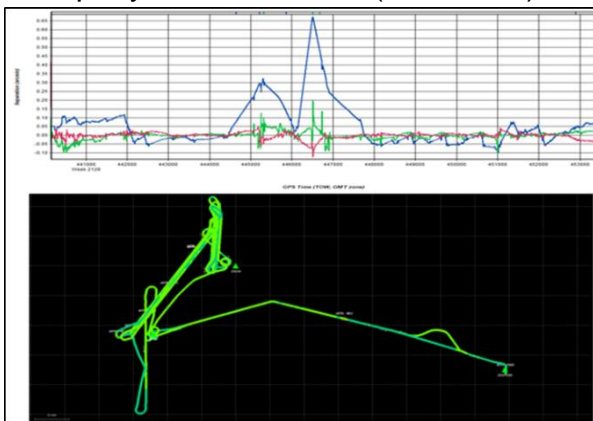
Gambar 6. Diagram Alir Proses Penelitian.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN *Pre-processing*

Pengolahan *Trajectory* ALB

Proses pengolahan data *trajectory* ALB, menggunakan *software* IE (*inertial Explorer*) dengan metode TC (*Tightly Couple*) yang dimiliki oleh PT Leica Geosystem Indonesia. Untuk proses pengolahan data *trajectory* perlu didukung dengan data GNSS *base station*, GNSS *rover*, data IMU dari pesawat dan data *leverarm boresight calibration*. Fungsi dari pengolahan ini adalah untuk mengetahui titik koordinat jalur terbang pesawat dan juga orientasi pesawat untuk menentukan nilai koordinat dari setiap laser ALB yang berupa *point cloud*.

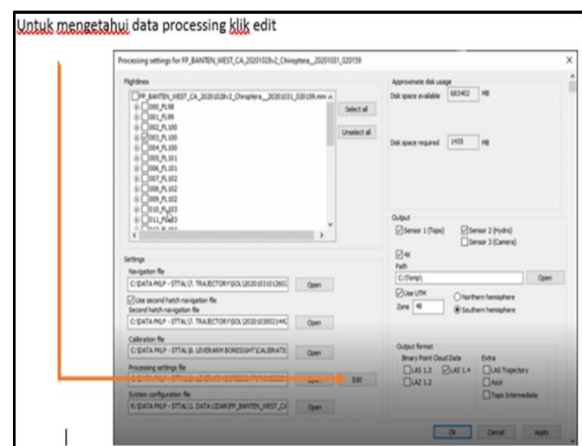
Data *trajectory* yang sudah selesai diolah dalam file format SOL akan digunakan sebagai data pendukung dalam proses pengolahan data raw mentah ALB ke format file Las menggunakan *software* LSS (*Leica Lidar Studio*). Di bawah ini merupakan contoh gambar data *trajectory* yang sudah mempunyai koordinat XYZ (Gambar 7).



Gambar 7. Hasil proses pengolahan *trajectory* dengan metode *Tightly Couple*, Data *trajectory* yang sudah mempunyai koordinat XYZ.

Pengolahan Data Raw ALB ke Format LAS.

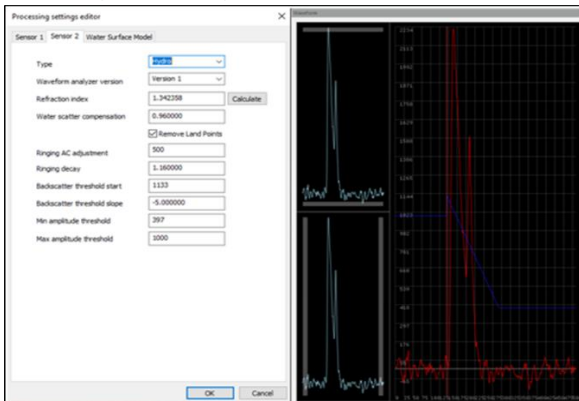
Proses pengolahan data raw ALB format binary menjadi file dengan format Las dilakukan di *software* LSS 3.1 (*Leica Survey Studio*) yang difasilitasi oleh PT Leica. Dalam proses *convert* data raw ALB ke *file* Las dibutuhkan data *trajectory* dalam format SOL yang sudah mempunyai koordinat XYZ. Data tambahan lain yang harus dilengkapi, yaitu data *lever arm boresight calibration file*, data *processing settings sensor*, dan data *system configuration* pada pesawat. Di bawah ini merupakan proses seting data *processing system* yang harus dilakukan (Gambar 8).



Gambar 8. Edit *processing system software* Lidar Survey Studio.

Metode pengolahan sinyal yang digunakan adalah metode perwakilan pantulan mayoritas dengan nilai sigma 1. Dimana nilai *maximum amplitude threshold*, *minimum amplitude threshold*, dan *threshold slope* didapatkan otomatis dari *software*. Sigma 1 dipilih karena jumlah *point cloud* batimetri yang didapatkan baik untuk perairan keruh dan

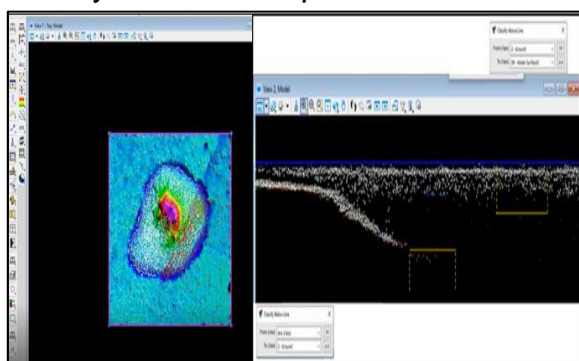
perairan jernih lebih banyak dibandingkan nilai sigma yang lain.



Gambar 9. Proses *setting amplitude threshold* pada software LSS.

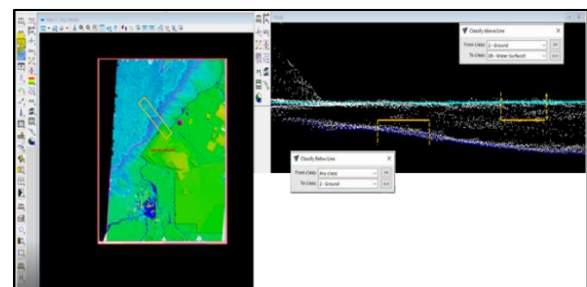
Post-processing Pengolahan Data ALB

Pengolahan data *Airborne LiDAR Bathymetry* dengan menggunakan perangkat lunak *MicroStationV8i* dimulai dengan pembuatan *project*, kemudian dilanjutkan dengan import data *point cloud* dengan format data LAS 1.4. Data *point cloud* ALB area Pulau Ular dengan kondisi perairan jernih (berdasarkan analisa dengan data *orthophoto*). Tampilan data ALB pada gambar 4.21 merupakan data area perairan jernih Pulau Ular pada *class default* yang sudah dibuka pada *TerraSolid*. Pada area perairan jernih untuk *point cloud* yang dihasilkan sebanyak 1.543.854 *point cloud*.



Gambar 10. Proses Klasifikasi data *point cloud* area perairan jernih Pulau Ular.

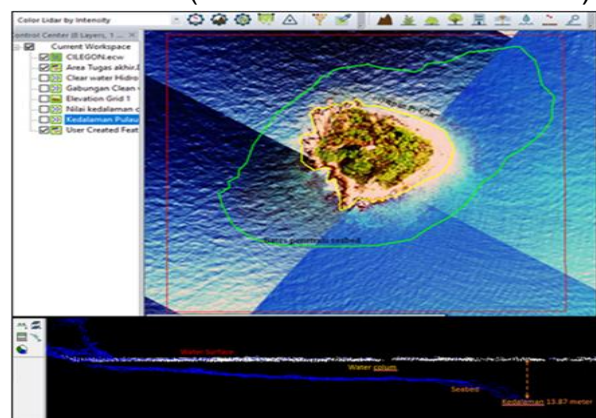
Data *point cloud* ALB area Pantai Tanjung Sari dengan kondisi perairan keruh (berdasarkan analisa dengan data *orthophoto*). Tampilan data ALB pada gambar 4.22 merupakan data area perairan keruh Pantai Tanjung Sari pada *class default* yang sudah dibuka pada *TerraSolid*. Jumlah *point cloud* yang dihasilkan sebanyak 18.633.827 *point cloud*.



Gambar 11. Proses klasifikasi data *point Cloud* ALB area perairan tanjung Sari.

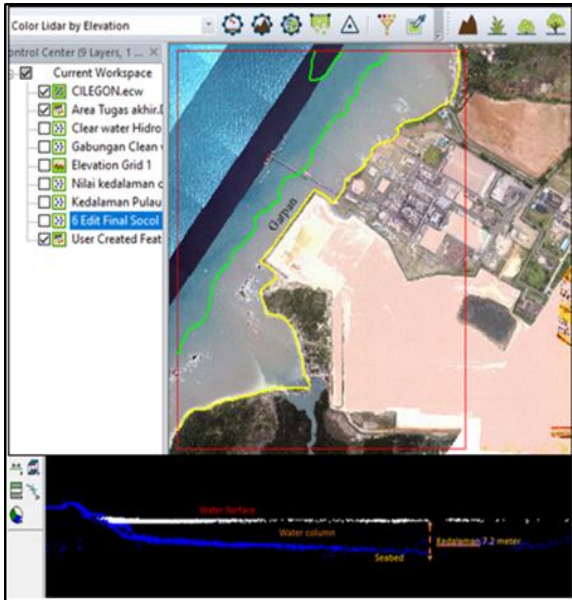
Pembatasan Area Penetrasi Sensor ALB Pada Seabed.

Berdasarkan pengolahan data ALB di area penelitian dengan metode sigma 1, penetrasi sensor gelombang hijau ALB terhadap permukaan *seabed* pada area perairan jernih Pulau Ular cakupan penetrasi laser hijau terhadap permukaan *seabed* mencapai kedalaman maksimal 13.87 meter (Gambar 12 dan Gambar 13).



Gambar 12. Pembatasan area dan hasil penetrasi sensor ALB perairan Pulau Ular.

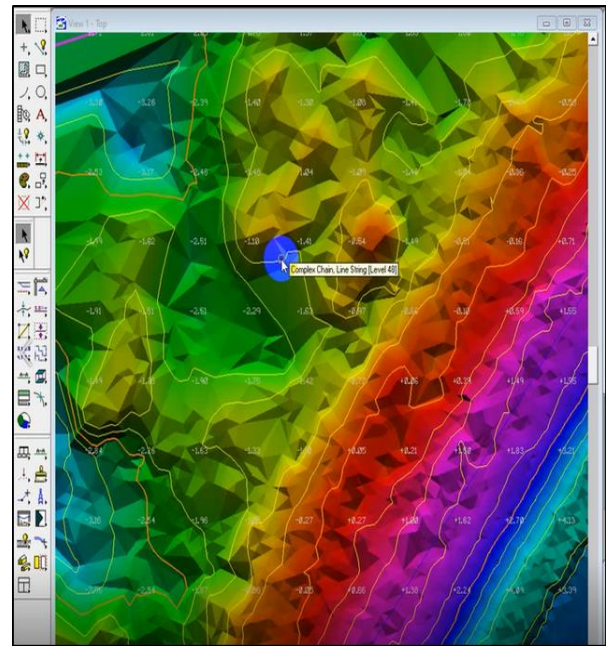
Area perairan keruh perairan Pantai Tanjung Sari cakupan penetrasi gelombang hijau terhadap permukaan seabed mencapai kedalaman maksimal 7.2 meter.



Gambar 13. Pembatasan area dan hasil penetrasi sensor ALB pada perairan keruh Pantai Tanjung Sari.

Pembuatan Kontur dan memunculkan nilai kedalaman

Proses menampilkan kontur dan nilai kedalaman pada *software microstation V8i* dengan menggunakan menu *tools* pada *Terramodel*, pilih menu *display* kontur dan *display elevation texts*, atur jarak interval nilai kedalaman, pada penelitian ini untuk interval nilai kedalaman dibuat jarak 5 meter. Nilai kedalaman menggunakan model pasut EGM 2008 dan agar bereferensi ke *chart datum* data ALB dikonversikan ke pemodelan pasut LAT (Gambar 14).



Gambar 14. Proses *Display* kontur dan nilai kedalaman.

Uji Akurasi data ALB

Uji akurasi data ALB sigma 1 pada area penelitian menggunakan data ICP (*Independent check point*) yang di dapatkan dari data sounding colok menggunakan GPS R8 dengan metode RTK (*Real Time Kinematic*) pada kedalaman 0 sampai 1.5 meter. Data ICP berupa data kedalaman yang sudah disurutkan dengan nilai surutan di area yang sama dengan area penelitian. Hasil Uji akurasi dengan proses *output control report* pada kedalaman 0 sampai 1.5 meter dengan hasil perbedaan selisih kedalaman sebesar 0.3312 meter. Proses Uji akurasi menggunakan *software Microstation V8i* dengan cara pilih menu *tools* pada *terascand*, pilih *ouput control report*, masukan nilai uji akurasi data ICP (Gambar 15).

Use	Number	Easting	Northing	Known Z	Laser Z	Dz
<input checked="" type="checkbox"/>	328	609192.15	9338337.77	0.100	0.210	+0.110
<input checked="" type="checkbox"/>	329	609215.87	9338348.66	0.150	0.310	+0.160
<input checked="" type="checkbox"/>	330	609236.32	9338354.71	0.130	0.230	+0.100
<input checked="" type="checkbox"/>	331	609262.88	9338359.03	0.130	0.230	+0.100
<input checked="" type="checkbox"/>	332	609298.44	9338370.47	0.130	0.240	+0.110
<input checked="" type="checkbox"/>	333	609313.55	9338374.41	0.160	0.130	-0.030
<input checked="" type="checkbox"/>	334	609334.31	9338380.18	0.200	0.090	-0.110
<input checked="" type="checkbox"/>	335	609346.24	9338389.58	0.400	-0.020	-0.420
<input checked="" type="checkbox"/>	336	609384.14	9338414.12	0.500	-0.210	-0.710

Average magnitude	0.2571	Average dz	-0.1183
Std deviation	0.3102	Minimum dz	-1.2100
Root mean square	0.3312	Maximum dz	+0.5800

Gambar 15. Hasil proses *Output control report* pada software *Microstation V8i*.

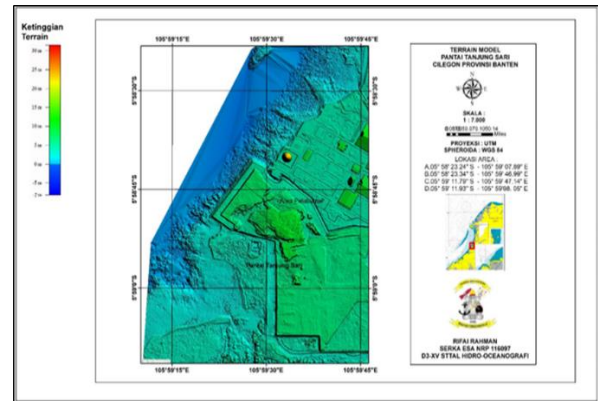
Dari hasil proses ini, sesuai ketentuan standar minimum ketelitian vertical IHO yang bereferensi ke jurnal S44 edisi ke 6 tahun 2020 maka data point cloud ALB perlu adanya validasi menggunakan proses perhitungan TVU (*Total Vertical Uncertainty*) untuk mengacu ketentuan orde batimetri yang berlaku di IHO.

Tabel 1. Analisa proses TVU (*Total Vertical Uncertainty*)

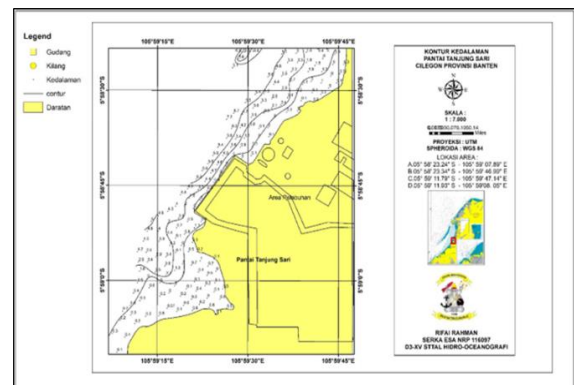
276	Orde Eksklusif	Orde Spesial	Orde 1A/1B	Orde 2	Tidak Masuk
Presentase	3.62%	4.35%	17.39%	42.39%	32.25%

Hasil Pengolahan Data *Airborne LiDAR Bathymetry (ALB)*

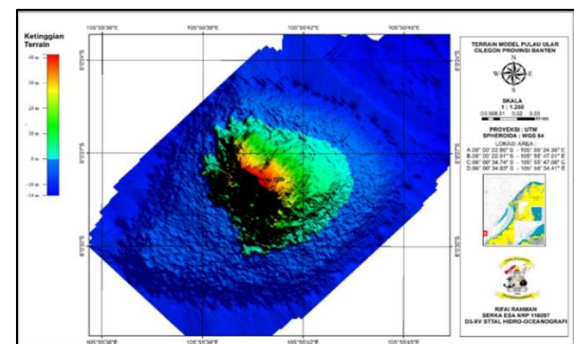
Hasil pengolahan data ALB berupa informasi mengenai bentuk *terrain* dan kontur kedalaman (Gambar 16, 17, 18, dan 19).



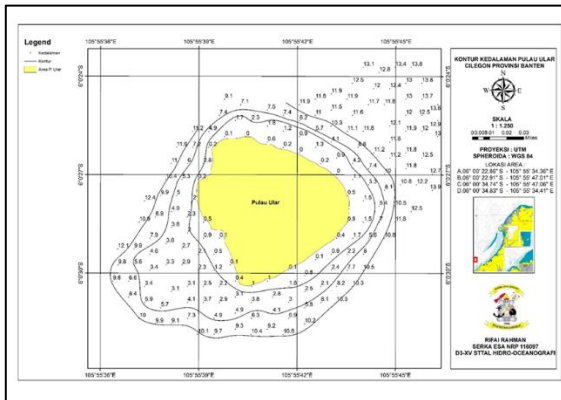
Gambar 16. Hasil tampilan *Digital Terrain Model* Pantai Tanjung Sari.



Gambar 17. Hasil tampilan kontur kedalaman Pantai Tanjung Sari.



Gambar 18. Hasil Tampilan *Digital Terrain Model* area Pulau Ular.



Gambar 19. Hasil tampilan kontur kedalaman area Pulau Ular.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data *Airborne LiDAR Bathymetry* disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada pengolahan sinyal gelombang infra merah dekat dan gelombang hijau untuk mendapatkan *point cloud* ALB diperlukan informasi suhu, salinitas, dan panjang gelombang yang digunakan untuk menghitung indeks bias perairan. Pada proses pengolahan khususnya signal gelombang hijau untuk mendapatkan *point cloud* ALB menggunakan nilai parameter *maximum amplitude threshold*, *minimum amplitude treshold*, dan *slope*. Pada pengolahan signal metode perwakilan pantulan mayoritas nilai parameter tersebut dihitung secara otomatis pada *software* Leica LSS 3.1. Pemilihan sigma 1 bisa mendapatkan *point cloud* dengan jumlah banyak pada perairan keruh maupun perairan jernih.
2. Dengan menggunakan metode pengolahan sinyal gelombang infra merah dekat dan gelombang hijau yang sama, terdapat perbedaan hasil kemampuan penetrasi gelombang hijau pada kondisi

perairan jernih dan perairan keruh. Pada perairan jernih penetrasi gelombang hijau terhadap permukaan seabed mencapai kedalaman maksimal 13,87 meter. Sedangkan pada kondisi perairan keruh penetrasi gelombang hijau terhadap permukaan seabed mencapai kedalaman maksimal 7,2 meter. Semakin jernih kondisi perairan semakin besar nilai kedalaman yang didapatkan.

3. Berdasarkan hasil uji akurasi data kedalaman *point cloud* ALB dengan data ICP dari hasil *sounding* colok dengan metode RTK pada perairan pantai tanjung sari pada kedalaman 0 sampai 1.5 meter, dihasilkan nilai RMSE sebesar 0,331 meter. Sesuai standar minimum kedalaman IHO data ALB dan data ICP dilaksanakan proses perhitungan dengan TVU untuk mencari selisih data kedalaman pada posisi yang sama dengan derajat kepercayaan 95%. Data akan dikelaskan sesuai dengan ketentuan orde yang berlaku. Untuk data ALB pada perairan pantai tanjung sari nilai presentase maksimal masuk ke orde 2, dimana presentase ketelitian 42.39% pada kedalaman 0 sampai 1.5 meter.

4. Dalam pembuatan terrain hanya digunakan data *point cloud* kelas *ground* pada permukaan tanah yang mewakili ketinggian permukaan bumi baik daratan maupun seabed. Kontur kedalaman didapatkan dari model *terrain point cloud* ALB kelas *ground*. Kontur kedalaman menggunakan referensi *vertikal chart datum* yang didapatkan dari model pasut LAT dari BIG.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, ada beberapa saran yang dapat diajukan yaitu:

1. Pada saat akan melaksanakan survei ALB, terlebih dahulu melaksanakan pengamatan nilai suhu dan temperatur air, serta pengukuran *secchi disk* untuk mengetahui tingkat kekeruhan pada area akuisisi. Kondisi cuaca juga perlu diperhitungkan, dikarenakan kondisi cuaca sangat mempengaruhi kondisi fisik permukaan air yang akan mempengaruhi kualitas penetrasi laser gelombang hijau ke dasar perairan.
2. Perlu dilaksanakan pengaturan nilai *maximum amplitude thresold*, *minimum amplitude threshold*, dan *slope* secara berulang dari nilai default sampai didapatkan nilai yang mewakili pantulan mayoritas, agar data yang diperoleh dari hasil penetrasi sensor ALB terhadap kolom air dan permukaan *seabed* dapat lebih maksimal.
3. Untuk data uji akurasi seharusnya menggunakan data validasi di waktu yang bersamaan dengan waktu akuisisi menggunakan ALB.

DAFTAR PUSTAKA

- Alamsyah, S. A., & Rivai, A. (2019). Implementasi Lidar Sebagai Kontrol Ketinggian Quadcopter. *Jurnal Teknik Pomits*, 8(2), A109-A114. Bathymetric LiDAR system. DOI: 10.12962/j23373539.v8i2.43034.
- Christian Huygens (1629-1695): "Perbandingan laju cahaya dalam ruang hampa dengan laju cahaya

dalam suatu zat dinamakan indeks bias".

- Mader, D., Richter, K., Westfeld, P., & Maas, H. (2021). Potential of a Non-linear Full-Waveform Stacking Technique in Airborne LiDAR Bathymetry. *PFG*, 89,139–158. <https://doi.org/10.1007/s41064-021-00147-y>.
- Giancoli, D. C. (2001). Fisika Edisi Kelima Jilid 2. Jakarta: Erlangga.
- LaRocque and west, (1990). Bathymetric LiDAR system. https://www.researchgate.net/publication/340809103_Analysis_of_State-of-the-Art_Hydrographic_Survey_Technologies.
- Leica Geosystems AG. (2015). Leica Chiroptera II The most cost-effective nearshore LiDAR sensor. Switzerland: Leica Geosystems AG. LiDAR Bathymetry for Nautical Charting. <http://www.iicacademy.com/docs/LiDARBathymetryforNauticalCharting.pdf>.
- Mader, D., Richter, K., Westfeld, P., & Maas, H. (2021). Potential of a Non-linear Full-Waveform Stacking Technique in Airborne LiDAR Bathymetry. *PFG*, 89,139–158. <https://doi.org/10.1007/s41064-021-00147-y>.

Peraturan Presiden RI Nomor 66 Tahun
(2019). Susunan Organisasi TNI.

Poerbandono., & Djunarsah, E. (2005).
Survei Hidrografi. Bandung: PT
Refika Aditama.

Quadros, N. D. (2015). Unlocking the
Characteristics of Bathymetric
LiDAR Sensors. *LiDAR Magazine*,
3, 62-67

Sejarah Pushidrosal.

[https://www.pushidrosal.id/assets/
filemanager/pdf/SEJARAH_PUSA
T_HIDROGRAFI_DAN_OSE.pdf](https://www.pushidrosal.id/assets/filemanager/pdf/SEJARAH_PUSAT_HIDROGRAFI_DAN_OSE.pdf).
(Online).

Sharma, S. (2018). Vosselman, G. dan
Mass, H. (2010). *Airborne and
Terrestrial Laser Scanning*. USA:
Whittles Publishing.

Undang Undang Republik Indonesia
Nomor 6 Tahun 1996 tentang
“Perairan Indonesia”, Jakarta.

Vosselman, G., & Mass, H. (2010).
*Airborne and Terrestrial Laser
Scanning*. USA: Whittles
Publishing.