

Analisa Perbandingan Kedalaman dan Penetrasi Sinar Hijau *Airborne Hydrography* AB (AHAB) untuk Pengukuran Perairan Dangkal (Studi Kasus: Kabupaten Kebumen)

Bramiasto Fakhruddin Eko Putranto, Danar Guruh Pratomo¹⁾, Khomsin²⁾

Departemen Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan,

Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, 60111

e-mail: guruh@geodesy.its.ac.id¹⁾, khomsin@geodesy.its.ac.id²⁾

Abstrak – Berdasarkan UU Nomor 6 Tahun 1996 Perairan Indonesia meliputi laut teritorial Indonesia, perairan kepulauan, dan perairan pedalaman. Pemetaan menggunakan gelombang akustik kurang meng-cover untuk perairan dangkal. Perairan Dangkal dapat diukur menggunakan gelombang elektromagnetik yaitu menggunakan *Airborne LiDAR Bathymetry*. Dalam penelitian ini dilakukan perbandingan pengukuran kedalaman perairan dangkal menggunakan metode mekanik dengan *Airborne LiDAR Bathymetry*. Selain kedalaman juga dilakukan validasi pengukuran kekeruhan air yang mempengaruhi penetrasi sinar hijau *airborne hydrography* dan melakukan uji akurasi vertikal *airborne hydrography*. Hasil menunjukkan bahwa perbandingan kedalaman memiliki selisih rata-rata 0,177 meter dengan nilai selisih minimal 0,037 meter dan nilai selisih maksimal 0,763 meter. Hasil pengukuran kedalaman menunjukkan bahwa terdapat selisih nilai Z permukaan dasar perairan antara validasi dan *airborne hydrography* yaitu selisih minimal 2 cm dan selisih maksimal 22 cm. Dari pengukuran kekeruhan menggunakan *Secchi Disk* penetrasi sinar hijau *airborne hydrography* hanya dapat menjangkau kedalaman 0,225 meter sampai dengan 0,960 meter. Uji akurasi vertikal *airborne hydrography* 11 lokasi memiliki nilai 0,239 meter.

Kata Kunci – Perairan Dangkal, *Airborne LiDAR Bathymetry*, Perbandingan Kedalaman, Kekeruhan Air, Uji Akurasi Vertikal

I. PENDAHULUAN

BERDASARKAN UU Nomor 6 Tahun 1996 tentang Perairan Indonesia, perairan Indonesia meliputi laut teritorial Indonesia, perairan kepulauan, dan perairan pedalaman. Perairan pedalaman yang dimaksud terdiri atas laut pedalaman dan perairan darat. Tidaklah mudah dalam melakukan pemetaan perairan di Indonesia. Ada beberapa metode dalam penentuan kedalaman yaitu metode mekanik (menggunakan tali tambang), metode akustik (menggunakan alat *echosounder*), dan metode optik (menggunakan gelombang elektromagnetik) [1], [2]. Dalam pemetaan menggunakan metode akustik belum bisa menjangkau perairan pedalaman, salah satunya adalah perairan dangkal. Selain metode akustik, metode penentuan kedalaman yang lain adalah metode optik. Penentuan kedalaman metode optik menggunakan gelombang elektromagnetik yaitu dengan LiDAR.

LiDAR (*Light Detection And Ranging*) adalah bagian sistem indera yang menggunakan sensor aktif (menggunakan sumber energi-nya sendiri, bukan dari pantulan sinar matahari), dan bekerja dengan membandingkan karakteristik sinyal transmisi dan pantulannya (selisih waktu rambat pulsa, panjang gelombang, dan sudut pantulan) [3]. Sebuah sinar laser pada LiDAR dapat digunakan untuk memperoleh fitur peta fisik dengan resolusi sangat tinggi [4]. Ada 2 jenis LiDAR yaitu *Airborne Laser Scanner (ALS)* dan *Airborne LiDAR Bathymetry (ALB)*.

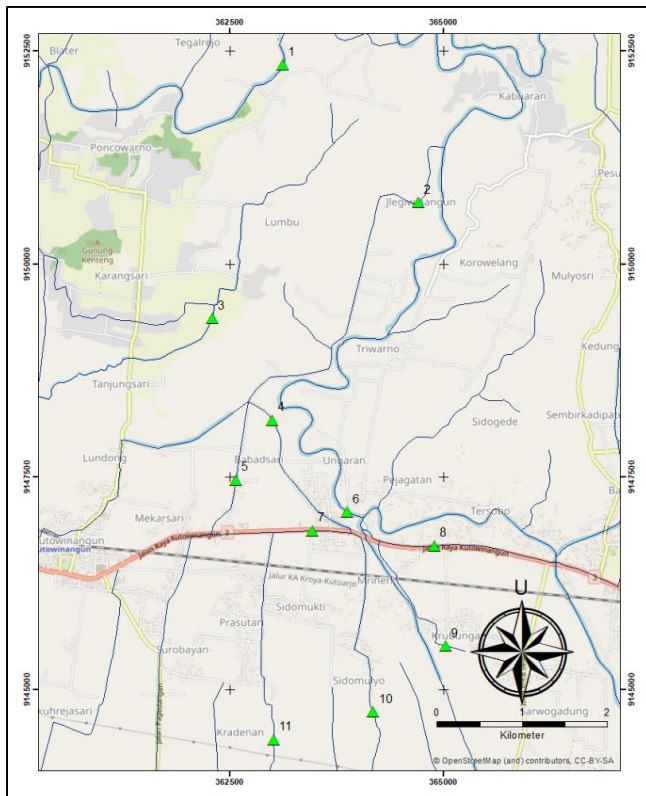
Airborne LiDAR Bathymetry (ALB) adalah teknologi canggih yang efektif dalam memetakan dan mengukur kedalaman air di zona pesisir, perairan dangkal serta badan air tawar pedalaman, seperti sungai dan danau [5]. Ada dua jenis sensor dalam *Airborne LiDAR Bathymetry (ALB)* yaitu sensor NIR (Inframerah) dan sensor hijau (*green light*). Panjang gelombang NIR (Inframerah) 1,064 μm untuk pemetaan topografi dan Panjang gelombang sinar hijau (*green light*) 0,515 μm untuk pemetaan batimetri [6]. Sensor LiDAR memiliki kemampuan dalam pengukuran multiple return. Multiple return digunakan untuk menentukan bentuk dari objek atau vegetasi yang menutupi permukaan tanah [7]. Namun ada beberapa faktor yang mempengaruhi penetrasi sinar hijau *airborne hydrography* dalam melakukan pengukuran badan air, antara lain turbiditas air (kekeruhan air), komposisi dasar perairan (endapan, vegetasi, dan lain-lain), dan kondisi cuaca [8].

Pada penelitian ini akan dilakukan validasi data di area perairan dangkal yang dilakukan pengukuran menggunakan *Airborne Hydrography AB (AHAB)*. Validasi data yang dilakukan adalah melakukan pengukuran kedalaman menggunakan metode mekanik dan pengukuran kekeruhan air. Pengukuran kekeruhan air dilakukan untuk mengetahui penetrasi sinar hijau *airborne hydrography* dalam melakukan pengukuran perairan dangkal. Output dari penelitian ini adalah berupa analisis penetrasi sinar hijau (*green light*) *airborne hydrography* dalam melakukan pengukuran perairan dangkal yang dimana nantinya *Airborne LiDAR Bathymetry* dapat dijadikan rekomendasi dalam pemetaan baik di wilayah darat maupun di area perairan dangkal dengan waktu yang efisien dan cakupan area pemetaan yang luas.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini mengambil studi kasus Kabupaten Kebumen yang berada di Provinsi Jawa Tengah pada koordinat 7°27' - 7°50' Lintang Selatan dan 109°22' - 109°50' Bujur Timur [9]. Kabupaten Kebumen terletak dengan perbatasan sebelah utara adalah Kabupaten Banjarnegara, sebelah selatan adalah Samudera Hindia, sebelah barat adalah Kabupaten Banyumas dan Kabupaten Cilacap, dan sebelah timur adalah Kabupaten Wonosobo dan Kabupaten Purworejo.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

B. Data dan Peralatan

1) Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

- Data yang digunakan *point cloud Airborne Hydrography* AB dari PT. Map Tiga Internasional.
- Data yang digunakan kedalaman validasi.
- Data yang digunakan kekeruhan air validasi.

2) Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi ArcGIS dan Microstation *plug in* Terrasolid.

C. Metodologi Penelitian

Berikut adalah penjelasan tahapan-tahapan pengolahan data *Airborne Hydrography* AB dan validasi data :

1) *Airborne Hydrography* AB Processing

Bertujuan untuk melakukan klasifikasi pada *point cloud airborne hydrography*. Ada 2 tahapan dalam melakukan klasifikasi yaitu klasifikasi otomatis dan klasifikasi manual. Pada *Airborne Laser Scanner* (ALS) hanya memiliki sensor sinar NIR saja sehingga perlu dilakukan klasifikasi dengan metode *hydro flattern* untuk area perairan nya [10]. Metode *hydro flattern* yaitu konsep pembentukan DTM dimana air

akan datar menempati ruang. Sedangkan pada *Airborne LiDAR Bathymetry* (ALB) memiliki 2 jenis sensor, yaitu sensor inframerah dan sensor hijau. Hasil klasifikasi *point cloud* pada ALB adalah untuk melakukan identifikasi *point cloud* topografi dan batimetri. Dimana *point cloud* tersebut akan dibandingkan dengan hasil validasi.

2) Pengukuran Validasi

Pengukuran validasi yang dilakukan adalah melakukan pengukuran kedalaman perairan dangkal menggunakan metode mekanik dan melakukan pengukuran kekeruhan air dengan menggunakan alat *Secchi Disk*.

3) Overlay Data

Data *airborne hydrography* akan dilakukan *overlay* dengan hasil pengukuran validasi yang dilakukan di lapangan untuk mengetahui perbandingan dari hasil pengukuran.

4) Analisa Kedalaman dan Kekeruhan

Analisa kedalaman dilakukan dengan membandingkan data kedalaman *airborne hydrography* dan kedalaman hasil validasi lapangan dengan menggunakan metode mekanik.

Analisa kekeruhan dilakukan dari hasil pengukuran menggunakan *Secchi Disk*. *Secchi Disk* sendiri berbentuk seperti piringan dengan warna hitam dan putih., dimana warna hitam putih memiliki tingkat kecerahan yang bagus saat terkena sinar matahari dibandingkan dengan warna kuning putih [11][12]. Untuk mengetahui penetrasi yang dapat dijangkau oleh *airborne hydrography* terhadap kekeruhan air dapat dinyatakan melalui persamaan di bawah ini,

$$D_L = (1,5 - 3)D_S \tag{1}$$

Dimana D_L merupakan kedalaman *airborne* dan D_S merupakan kedalaman *Secchi Disk* [4]. Untuk mengetahui penetrasi sinar hijau pada perairan dangkal menggunakan persamaan $D_L = (1,5)D_S$, sedangkan untuk persamaan perairan dalam menggunakan persamaan $D_L = (3)D_S$ [13]. Kedalaman *secchi disk* di dapat melalui pengukuran kedalaman dari permukaan air hingga alat tidak dapat terlihat dari permukaan air.

5) Uji Akurasi Vertikal

Uji akurasi vertikal dilakukan untuk mengetahui akurasi vertikal pengukuran *airborne hydrography*. Uji akurasi vertikal dapat dilakukan dengan menghitung $RMSE_Z$ sesuai persamaan di bawah ini,

$$RMSE_Z = \sqrt{\frac{\sum(Z_{data(i)} - Z_{check(i)})^2}{n}} \tag{2}$$

Dari perhitungan $RMSE_Z$ kemudian menghitung uji akurasi vertikal seperti persamaan di bawah ini,

$$Uji\ Akurasi\ Vertikal = 1,96 \times RMSE_Z \tag{3}$$

Akurasi vertikal ditentukan dengan membandingkan koordinat $Z_{data(i)}$ dan $Z_{check(i)}$ (data dengan kebenaran ketinggian referensi) [14][15].

III. HASIL DAN ANALISA

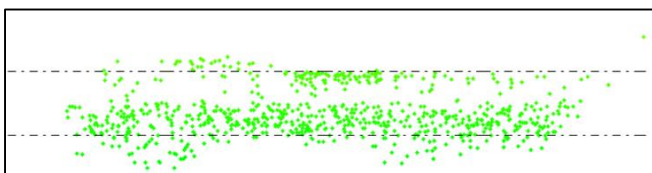
A. Hasil dan Analisa Perbandingan Kedalaman

Pada hasil pengolahan *point cloud airborne hydrography* untuk salah satu area perairan yang akan dilakukan validasi dapat dilihat pada Gambar 2 dibawah ini,



Gambar 2. Hasil Klasifikasi Point Cloud Area Perairan

Untuk mengetahui kedalaman, maka dilakukan potongan melintang pada area boundary merah perairan dangkal yang ingin diketahui kedalaman nya seperti Gambar 3 dibawah ini,



Gambar 3. Potongan Melintang Sungai

Hasil perbandingan kedalaman validasi dan *airborne hydrography* terdapat selisih rata-rata 0,177 meter dengan nilai selisih minimal 0,037 meter dan nilai selisih maksimal 0,763 meter. Selisih dari hasil pengukuran tersebut disebabkan oleh curah hujan pada pengukuran *airborne hydrography* lebih rendah daripada curah hujan saat dilakukan proses validasi. Data curah hujan yang didapat dari BMKG Stasiun Metalurgi Cilacap terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1.
Curah Hujan Bulan Mei 2018 dan Januari 2019

Bulan	Curah Hujan (mm/hari)
Mei 2018	2,26
Januari 2019	16,8

Dari data curah hujan tersebut menyatakan bahwa curah hujan bulan Januari tahun 2019 pada proses validasi lebih tinggi dibandingkan dengan curah hujan paada bulan Maret tahun 2018. Tinggi nya curah hujan menyebabkan bertambahnya debit air harian pada area yang akan dilakukan validasi. Data debit air harian tahun 2018 dan 2019 dari Balai PSDA Probolo terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2.
Debit Air Harian

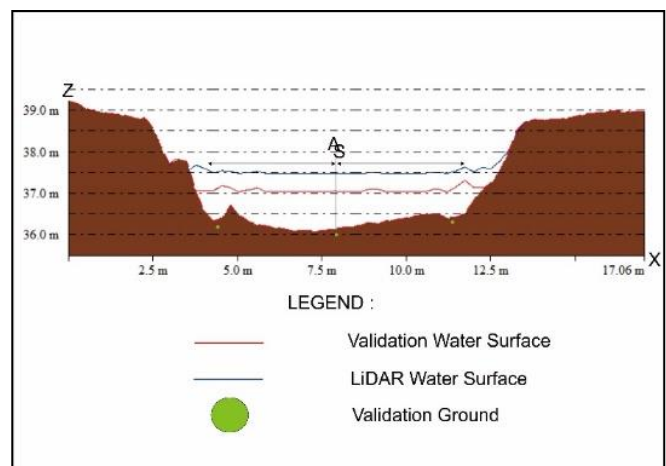
Tanggal	Bulan	Tahun	Debit Air Harian (m ³ /detik)
15	Mei	2018	10,40
16			10,40
17			10,40
25	Januari	2019	16,08
26			16,08

Dari Tabel 2 dapat diketahui bahwa debit air harian pada Bulan Januari 2019 lebih besar dibandingkan dengan debit air harian pada Bulan Mei 2018. Pengukuran *airborne hydrography* dilakukan pada Bulan Mei 2018, sedangkan validasi data dilakukan pada Bulan Januari 2019.

B. Hasil dan Analisa Kekeruhan Air

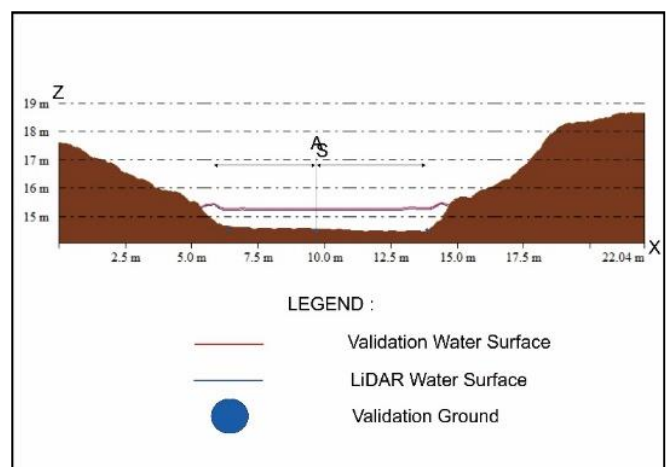
Kekeruhan air diukur dengan menggunakan alat *Secchi Disk*. Cara melakukan pengukuran kekeruhan air adalah dengan mengukur kedalaman *Secchi Disk* dari permukaan air sampai dengan *Secchi Disk* tidak dapat dilihat lagi dari permukaan air oleh observer. Untuk mengetahui penetrasi sinar hijau airborne dapat dilakukan penghitungan dengan persamaan 1.

Pada pengukuran *bottom surface* lokasi validasi 1 menggunakan *airborne hydrography* 36,048 m sedangkan pengukuran validasi 35,830 m, sehingga terdapat selisih 22 cm. Pada lokasi validasi 1 pengukuran menggunakan *airborne hydrography* nilai minimal ketinggian 35,948 m, dan nilai maksimal ketinggian 37,758 m. Visualisasi penampang melintang dan perbandingan *bottom surface* ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Penampang Melintang Sungai Lokasi 1

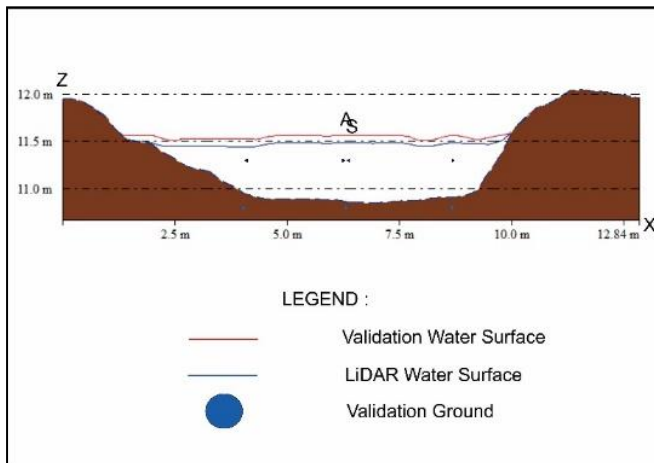
Pada pengukuran *bottom surface* lokasi validasi 2 menggunakan *airborne hydrography* 14,569 m sedangkan pengukuran validasi 14,503 m, sehingga terdapat selisih 6 cm. Pada lokasi validasi 2 pengukuran menggunakan *airborne hydrography* nilai minimal ketinggian 14,400 m, dan nilai maksimal ketinggian 14,592 m. Visualisasi penampang melintang dan perbandingan *bottom surface* ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Penampang Melintang Sungai Lokasi 2

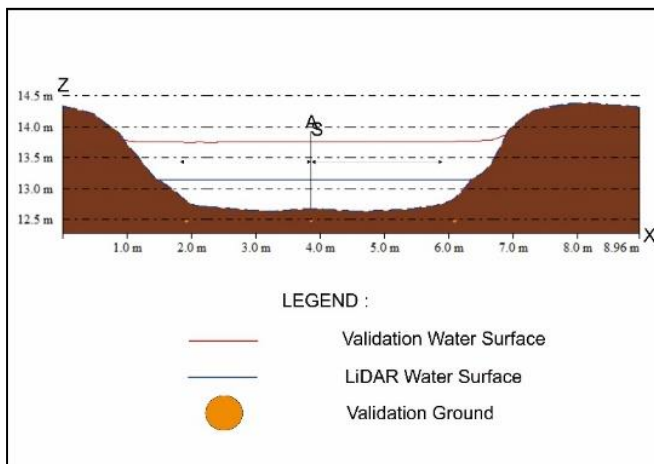
Pada pengukuran *bottom surface* lokasi validasi 3 menggunakan *airborne hydrography* 10,852 m sedangkan pengukuran validasi 10,793 m, sehingga terdapat selisih 5,9 cm. Pada lokasi validasi 3 pengukuran menggunakan

airborne hydrography nilai minimal ketinggian 9,791 m, dan nilai maksimal ketinggian 10,881 m. Visualisasi penampang melintang dan perbandingan *bottom surface* ditampilkan pada Gambar 6 dibawah ini,



Gambar 6. Penampang Melintang Sungai Lokasi 3

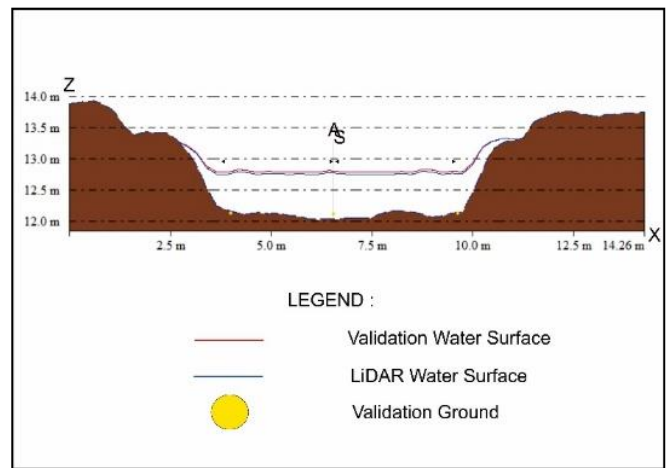
Pada pengukuran *bottom surface* lokasi validasi 4 menggunakan *airborne hydrography* 12,626 m sedangkan pengukuran validasi 12,470 m, sehingga terdapat selisih 15,6 cm. Pada lokasi validasi 4 pengukuran menggunakan *airborne hydrography* nilai minimal ketinggian 12,617 m, dan nilai maksimal ketinggian 14,355 m. Visualisasi penampang melintang dan perbandingan *bottom surface* ditampilkan pada Gambar 7.



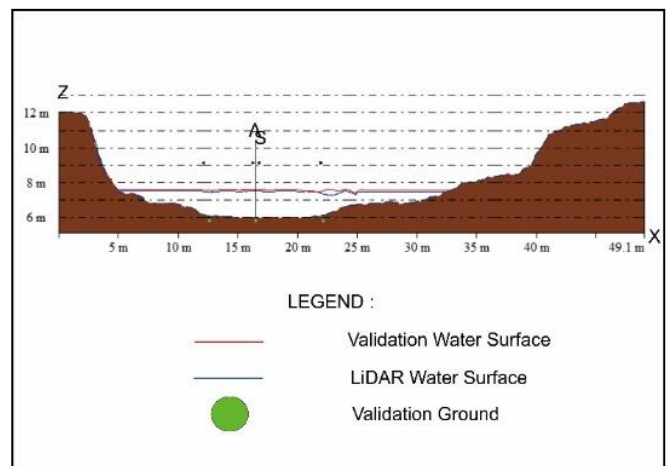
Gambar 7. Penampang Melintang Sungai Lokasi 4

Pada pengukuran *bottom surface* lokasi validasi 5 menggunakan *airborne hydrography* 12,123 m sedangkan pengukuran validasi 12,119 m, sehingga terdapat selisih 4 mm. Pada lokasi validasi 5 pengukuran menggunakan *airborne hydrography* nilai minimal ketinggian 11,968 m, dan nilai maksimal ketinggian 12,249 m. Visualisasi penampang melintang dan perbandingan *bottom surface* ditampilkan pada Gambar 8.

Pada pengukuran *bottom surface* lokasi validasi 6 menggunakan *airborne hydrography* 5,942 m sedangkan pengukuran validasi 5,788 m, sehingga terdapat selisih 15 cm. Pada lokasi validasi 6 pengukuran menggunakan *airborne hydrography* nilai minimal ketinggian 5,816 m, dan nilai maksimal ketinggian 6,9 m. Visualisasi penampang melintang dan perbandingan *bottom surface* ditampilkan pada Gambar 9.

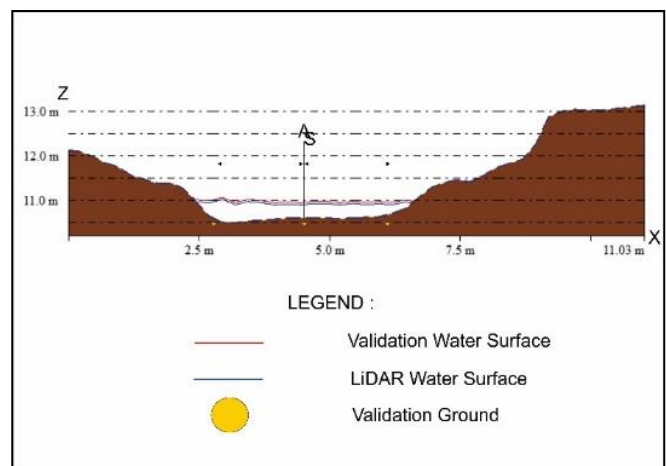


Gambar 8. Penampang Melintang Sungai Lokasi 5



Gambar 9. Penampang Melintang Sungai Lokasi 6

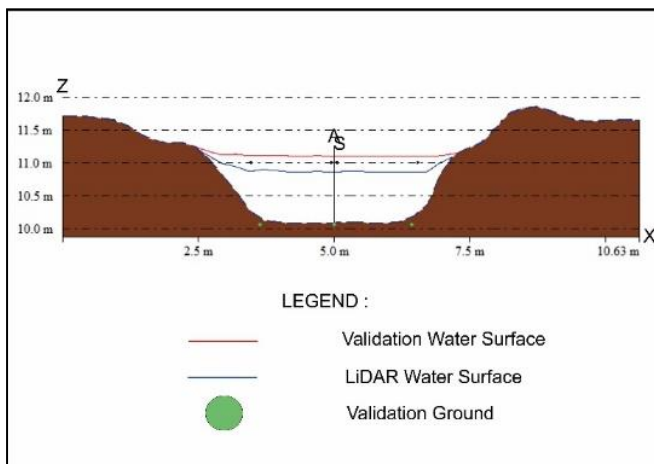
Pada pengukuran *bottom surface* lokasi validasi 7 menggunakan *airborne hydrography* 10,631 m sedangkan pengukuran validasi 10,465 m, sehingga terdapat selisih 16 cm. Pada lokasi validasi 7 pengukuran menggunakan *airborne hydrography* nilai minimal ketinggian 10,458 m, dan nilai maksimal ketinggian 11,108 m. Visualisasi penampang melintang dan perbandingan *bottom surface* ditampilkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Penampang Melintang Sungai Lokasi 7

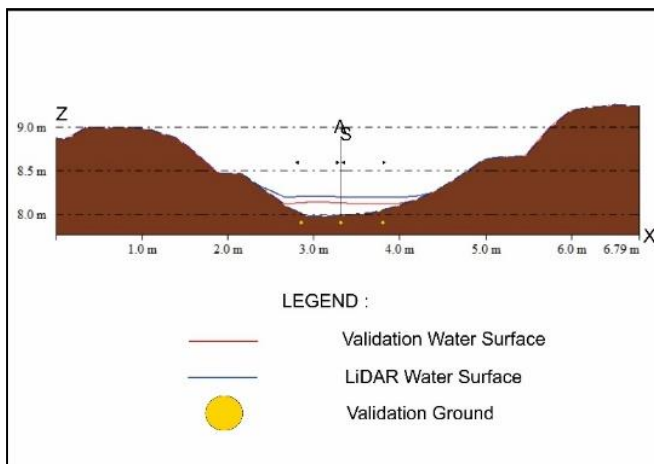
Pada pengukuran *bottom surface* lokasi validasi 8 menggunakan *airborne hydrography* 10,088 m sedangkan pengukuran validasi 10,060 m, sehingga terdapat selisih 2,8 cm. Pada lokasi validasi 8 pengukuran menggunakan *airborne hydrography* nilai minimal ketinggian 10,088 m,

dan nilai maksimal ketinggian 10,925 m. Visualisasi penampang melintang dan perbandingan *bottom surface* ditampilkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Penampang Melintang Sungai Lokasi 8

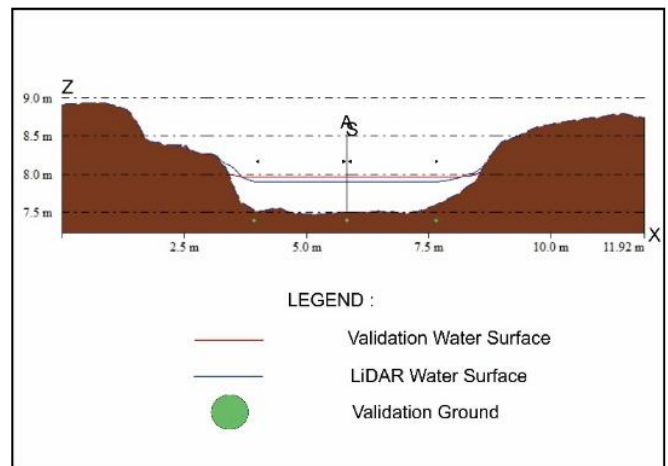
Pada pengukuran *bottom surface* lokasi validasi 9 menggunakan *airborne hydrography* 7,971 m sedangkan pengukuran validasi 7,898 m, sehingga terdapat selisih 7,3 cm. Pada lokasi validasi 9 pengukuran menggunakan *airborne hydrography* nilai minimal ketinggian 7,949 m., dan nilai maksimal ketinggian 8,411 m. Visualisasi penampang melintang dan perbandingan *bottom surface* ditampilkan pada Gambar 12.



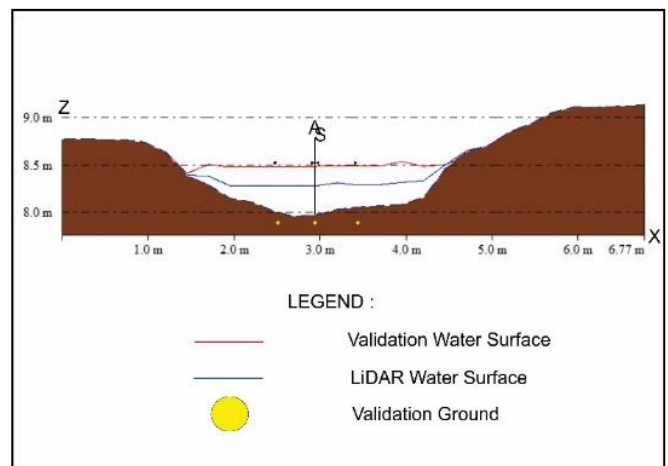
Gambar 12. Penampang Melintang Sungai Lokasi 9

Pada pengukuran *bottom surface* lokasi validasi 10 menggunakan *airborne hydrography* 7,501 m sedangkan pengukuran validasi 7,388 m, sehingga terdapat selisih 11,3 cm. Pada lokasi validasi 10 pengukuran menggunakan *airborne hydrography* nilai minimal ketinggian 7,362 m, dan nilai maksimal ketinggian 7,616 m. Visualisasi penampang melintang dan perbandingan *bottom surface* ditampilkan pada Gambar 13.

Pada pengukuran *bottom surface* lokasi validasi 11 menggunakan *airborne hydrography* 8,011 m sedangkan pengukuran validasi 7,884 m, sehingga terdapat selisih 12 cm. Pada lokasi validasi 11 pengukuran menggunakan *airborne hydrography* nilai minimal ketinggian 8,023 m, dan nilai maksimal ketinggian 8,634 m. Visualisasi penampang melintang dan perbandingan *bottom surface* ditampilkan pada Gambar 14.



Gambar 13. Penampang Melintang Sungai Lokasi 10



Gambar 14. Penampang Melintang Sungai Lokasi 11

Dari hasil pengukuran kedalaman didapat nilai selisih minimal 2 cm dan nilai selisih maksimal 22 cm. Sesuai dengan penghitungan kekeruhan air pada persamaan 1, *airborne hydrography* dapat menjangkau kedalaman 0,225 meter sampai dengan 0,960 meter. Dari selisih tersebut diketahui bahwa penetrasi sinar hijau *airborne hydrography* tidak dapat menjangkau sampai permukaan dasar perairan.

C. Uji Akurasi Vertikal

Dari hasil validasi dan pengukuran *airborne* dilakukan uji akurasi vertikal untuk mengetahui akurasi vertikal *Airborne Hydrography* AB. Uji akurasi vertikal dapat dilakukan penghitungan sesuai dengan persamaan 2 dan persamaan 3. Dari penghitungan sesuai dengan persamaan 2 dan persamaan 3, didapatkan hasil uji akurasi vertikal 11 lokasi sebesar 0,239 meter. Hasil Uji Akurasi setiap lokasi adalah seperti pada tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Akurasi Setiap Lokasi

Lokasi	RMSE	Akurasi
1	0,175	0,343
2	0,073	0,144
3	0,059	0,116
4	0,156	0,306
5	0,009	0,019
6	0,154	0,302
7	0,137	0,268
8	0,028	0,055
9	0,105	0,206
10	0,162	0,319
11	0,129	0,254

IV. KESIMPULAN

Hasil perbandingan kedalaman memiliki selisih rata-rata 0,177 meter dengan nilai selisih minimal 0,037 meter dan nilai selisih maksimal 0,763 meter.

Hasil pengukuran kedalaman didapatkan bahwa terdapat selisih nilai pada permukaan dasar perairan dari hasil ukur validasi dan airborne. Nilai selisih minimal 2 cm dan nilai selisih maksimal 22 cm. Dari pengukuran kekeruhan air menggunakan secchi disk, penetrasi sinar hijau *airborne* hanya dapat menjangkau kedalaman 0,225 meter sampai dengan 0,960 meter.

Uji Akurasi Vertikal dari pengukuran *airborne* dan pengukuran validasi 11 lokasi didapatkan nilai 0,239 meter.

V. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis B.F.E.P mengucapkan terimakasih kepada PT. Map Tiga Internasional yang telah menyediakan data *point cloud Airborne Hydrography AB* dan sekaligus telah menyediakan fasilitas melakukan pengolahan data menggunakan software pengolahan *point cloud airborne hydrography*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] X. Lurton, *An introduction to underwater acoustics: principles and application*. London: Springer, 2002.
- [2] Poerbandono and E. Djunarsjah, *Survei Hidrografi*. Bandung: Refika Aditama, 2005.
- [3] A. Wehr and U. Lohr, "Airborne laser scanning – an introduction and overview," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 54, pp. 68–82, 1999.
- [4] A. Marwati, Y. Prasetyo, and A. Suprayogi, "Analisis Perbandingan Klasifikasi Tutupan Lahan Kombinasi Data Point Cloud LIDAR dan Foto Udara Berbasis Metode Segmentasi dan Supervised (Studi Kasus: Tanggamus Lampung)," Universitas Diponegoro, 2018.
- [5] T. Allouis, J. S. Bailly, and F. D., "Assessing water surface effects on LiDAR bathymetry measurements in very shallow rivers: theoretical study," France, 2007.
- [6] K. Saylam, J. R. Hupp, A. R. Averett, W. F. Gutelius, and B. W. Gelhar, "Airborne lidar bathymetry: assessing quality assurance and quality control methods with Leica Chiroptera examples," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 39, no. 8, pp. 2518–2542, 2018.
- [7] I. W. K. E. Putra, "Sistem Kerja Sensor Laser pada LiDAR," Universitas Pendidikan Ganesha, 2016.
- [8] T. F. Alif, "Airborne LiDAR Bathymetry," Cibinong, 2010.
- [9] Pemerintah Daerah Kabupaten Kebumen, "Geografis Kabupaten Kebumen." [Online]. Available: <http://www.kebumenkab.go.id/index.php/public/page/index/23>. [Accessed: 23-Jan-2019].
- [10] E. Febriana and A. B. Cahyono, "Analisis Metode Hydro Enforcement dalam Pembuatan Digital Terrain Model LiDAR pada Obyek Perairan Peta Rupa Bumi Indonesia Skala 1:5000," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.
- [11] F. R. Indaryanto, "Kedalaman Secchi Disk dengan Kombinasi Warna Hitam-Putih yang Berbeda di Waduk Ciwaka," Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, 2015.
- [12] S. Pal, D. Das, and K. Chakraborty, "Colour optimization of the secchi disk and assessment of the water quality in consideration of light extinction co-efficient of some selected water bodies at Cooch Behar, West Beng.," *Int. J. Multidiscip. Res. Dev.*, vol. 2, no. 3, pp. 513–518, 2015.
- [13] "Leica Geosystems. Leica Chiroptera 4X Bathymetric and Topographic LiDAR." [Online]. Available: <https://leica-geosystems.com/products/airborne-systems/bathymetric-lidar-sensors/leica-chiroptera-ii>.
- [14] B. Lohani, "Airborne Altimetric LiDAR: Principle, Data Collection, processing, and Applications," IIT Kanpur, India, 1996.
- [15] Istarno, "Penginderaan Jauh Sensor Aktif Airborne Laser Scanning/LiDAR," Universitas Gajah Mada, 2016.