

ANALISIS KETELITIAN HUMMINBIRD HELIX 5 CHIRP SI GPS G2 DENGAN MENGGUNAKAN USV (*Unmanned Surface Vehicle*)

(Studi Kasus: Waduk Pendidikan Diponegoro, Semarang)

Rachaditya Pradipta^{*)}, Bambang Darmo Yuwono, Bambang Sudarsono

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
 Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
 Email : adityapradipta427@gmail.com

ABSTRAK

Kegiatan pengukuran dan pemetaan batimetri sangat dibutuhkan untuk area-area penilitan perairan. Informasi batimetri ini dapat dipasok oleh peta yang menunjukkan gambaran kedalaman perairan, mirip dengan peta topografi yang mewakili ketinggian permukaan bumi. Namun pemetaan batimetri di daerah perairan dangkal sulit dilakukan karena keterbatasan alat, alat yang tersedia saat ini banyak digunakan untuk air dalam seperti di laut.

Penelitian ini bertujuan memetakan perairan dangkal yang bertempat di Waduk Pendidikan Diponegoro dengan menggunakan wahana tanpa awak atau USV *Quadramaran* yang dilengkapi oleh *echosounder* HUMMINBIRD HELIX 5 CHIRP SI GPS G2. Dilakukan juga validasi titik kedalaman di beberapa area waduk menggunakan metode *sounding pole* untuk mengoreksi ketelitian dari pemeruman. Ketelitian kedalaman dikoreksi dalam orde khusus dengan SNI 7646:2010.

Dari hasil pemeruman yang dilakukan pada 30 Agustus 2017 diperoleh kedalaman waduk dari permukaan air ke sedimen terdangkal sebesar 0,27 meter dan terdalam sebesar 7,07 meter. Berdasarkan hasil dari selisih titik-titik pemeruman diperoleh nilai standar deviasi sejumlah 0,060 meter yang menjadikannya diterima pada orde khusus. Hasil perbandingan data titik pemeruman dan pengukuran *sounding pole* diperoleh standar deviasi sejumlah 0,187 meter yang menjadikannya diterima pada orde khusus. Dilakukan 90 uji ketelitian akurasi kedalaman titik pemeruman dengan 47 titik *sounding pole* dan 90 titik pemeruman. Berdasarkan 90 uji tersebut dinyatakan 44 titik diterima pada orde khusus dan 46 ditolak pada orde khusus.

Kata Kunci : *Echosounder*, Ketelitian Kedalaman, Pemetaan Batimetri, SNI 7646:2010, *Sounding pole* USV.

ABSTRACT

Measurements and bathymetry mapping activities are essential for waterborne research areas. This bathymetry information can be supplied by maps showing the depth of the waters, similar to topographic maps that represent the height of the earth's surface. However, bathymetry mapping in shallow water areas is difficult because of the limitations of the tool, the tools available today are widely used for deep water such as at sea.

*This research aims to map the superficial breeds housed in the Diponegoro Educational Reservoir by using unmanned vehicle or USV *Quadramaran* equipped by *echosounder* HUMMINBIRD HELIX 5 CHIRP SI GPS G2. Also performed a depth point validation in some areas of the reservoir using the *sounding pole* method to correct the accuracy of the listener. The accuracy of the depth is corrected in a special order with SNI 7646: 2010.*

*From the results of the observer conducted on 30 August 2017 obtained the depth of the reservoir from the water surface to the most shallow 0.27 meters and the deepest of 7.07 meters. Based on the result of the difference of the points of appreciation, the standard deviation value of 0,060 meters made it acceptable to the special order. The result of comparison of point and *sounding pole* measurement data obtained standard deviation of 0.187 meter which made it accepted at special order. Conducted 90 accuracy test accuracy of the depth of the point of the pointers with 47 points of *sounding pole* and 90 points of percussion. Basrd on 90 such tests were declared 44 dots received on special order and 46 rejected on special order.*

Keywords: *Accuracy of the Depth, Batimetric Mapping, Echosounder*, SNI 7646: 2010, *Sounding pole*, USV.

^{*)}Penulis Utama, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1. Latar Belakang

Kegiatan pengukuran dan pemetaan batimetri sangat dibutuhkan untuk area-area penelitian perairan. Indonesia sebagai negara yang memiliki banyak wilayah perairan, teknologi pemetaan batimetri sangatlah penting dan dapat memberikan banyak manfaat. Peta hasil pengukuran dan pemetaan batimetri dapat digunakan dalam berbagai aspek seperti pemantauan waduk, perencanaan, dan rekayasa. Pengukuran dan pemetaan batimetri di daerah perairan dangkal sulit dilakukan karena keterbatasan alat yang tersedia saat ini banyak digunakan untuk air dalam seperti di laut.

Waduk Diponegoro Kota Semarang terletak di Sungai Krenseng, Kelurahan Tembalang, Kecamatan Tembalang, Kota Semarang. Waduk ini terletak di kawasan Kampus Universitas Diponegoro dan dapat berguna untuk keperluan sarana pendidikan dan pembelajaran langsung dilapangan, seperti untuk penelitian perikanan, lingkungan, elektrikal, laboratorium hidrolika dan lain – lain. Disamping itu Waduk Diponegoro juga berfungsi sebagai penyedia air baku kampus UNDIP, Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), mengurangi debit banjir pada daerah hilir, meningkatkan kapasitas resapan air tanah sebagai usaha konservasi.

Penelitian ketelitian *echosounder* HUMMINBIRD HELIX 5 CHIRP SI GPS G2 dengan menggunakan wahana USV *Quadramarandilakukan* di Waduk Diponegoro dikarenakan Waduk Diponegoro sendiri memiliki perairan yang cukup tenang, tidak berombak jadi dapat dilakukan pemeruman yang tidak mengganggu kinerja wahana. Data pemeruman akan dikoreksi kedalamannya dengan pengamatan rata-rata air menggunakan rambu selama waktu pemeruman. Untuk melengkapi data untuk pemetaan waduk area yang tidak dapat dilewati USV dibantu dengan data *sounding pole* di area waduk guna mendapatkan kedalaman, data *sounding pole* juga digunakan untuk validasi kedalaman waduk pendidikan Diponegoro untuk perbandingan akurasi kedalaman dengan data pemeruman.

I.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana ketelitian hasil pemeruman USV menggunakan HUMMINBIRD HELIX 5 CHIRP SI GPS G2 jika dibandingkan terhadap Standar Nasional tentang survei Hidrografi menggunakan single beam *echosounder*?
2. Bagaimana ketelitian hasil pemeruman USV jika dibandingkan dengan pengukuran menggunakan *sounding pole*?

I.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk dapat mengetahui ketelitian dan akurasi alat HUMMINBIRD HELIX 5 CHIRP SI GPS G2 dengan menggunakan wahana USV sesuai dengan Standar Nasional Indonesia.

2. Menguji ketelitian alat HUMMINBIRD HELIX 5 CHIRP SI GPS G2 dengan membandingkan kedalaman pengukuran *sounding pole*.

Manfaat dari penelitian ini terdiri dari 2 aspek yaitu aspek keilmuan dan aspek rekayasa, berikut penjelasannya:

1. Aspek Keilmuan

Manfaat penelitian ini dalam segi keilmuan adalah pemanfaatan dalam penggunaan teknologi yaitu USV untuk melakukan pemeruman di area perairan dangkal untuk membentuk model permukaan digital.

2. Aspek Rekayasa

Manfaat penelitian ini dalam segi kerekayasa adalah memberi kontribusi berupa peta batimetri waduk pendidikan Diponegoro.

I.4. Pembatasan Masalah

Adapun pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Survei Batimetri dilakukan dengan pemeruman menggunakan *singlebeam echosounder* HUMMINBIRD HELIX 5 CHIRP SI GPS G2 dengan wahana USV.
2. Pengukuran akurasi ketelitian HUMMINBIRD HELIX 5 CHIRP SI GPS G2 dengan wahana USV dilakukan dalam kelas orde 1 SNI tentang akurasi kedalaman.
3. Metode validasi akurasi pemeruman yang digunakan adalah pengamatan menggunakan rambu ukur selama waktu pemeruman dengan interval 15 menit.
4. Metode validasi akurasi kedalaman berikutnya dengan pengambilan data kedalaman langsung menggunakan metode *sounding pole* dengan alat Total Station, Jalon dan Prisma.
5. Metode pengujian ketelitian data mengenai akurasi ketelitian ini dibatasi untuk ketelitian kedalaman atau vertikal saja.

II. Tinjauan Pustaka

II.1. Bendungan dan Waduk

Kementerian Pekerjaan Umum Indonesia mendefinisikan bendungan sebagai bangunan yang berupa tanah, batu, beton, atau pasangan batu yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat juga dibangun untuk menampung limbah tambang atau lumpur. Fungsi utama sebuah bendungan adalah untuk menstabilkan atau menciptakan pemerataan aliran air sungai baik dengan cara menampung persediaan air sungai yang berubah sepanjang tahun maupun dengan melepas air tampungan itu secara terprogram melalui saluran air yang dibuat khusus di dalam tubuh bendungan sesuai kebutuhan (Sidharta, 1997).

Berdasarkan fungsinya, bendung dapat diklasifikasikan menjadi bendung penyadap (digunakan sebagai penyadap aliran sungai untuk berbagai keperluan seperti irigasi, air baku dan sebagainya), bendung pembagi banjir (dibangun di percabangan sungai untuk mengatur muka air sungai, sehingga menjadi pemisahan antara debit banjir dan debit rendah

sesuai dengan kapasitasnya) dan bendung penahan pasang (dibangun di bagian sungai yang dipengaruhi pasang surut air laut antar lain untuk mencegah masuknya air asin) (Mawardi & Memed, 2004).

II.2. Survei Hidrografi

Survei adalah kegiatan terpenting dalam menghasilkan informasi hidrografi, seperti penentuan posisi laut dan penggunaan sistem referensi, pengukuran kedalaman, pengukuran arus, pengukuran sedimen, pengamatan pasut, pengukuran detil situasi dan garis pantai. (Djunasjah dan Poerbandono, 2005)

Salah satu tujuan survei hidrografi adalah untuk memetakan topografi dasar laut dan perairan lainnya atau secara spesifik disebut sebagai pemetaan batimetri. Pemetaan batimetri merupakan keperluan mendasar dalam rangka penyediaan informasi spasial untuk kegiatan, perencanaan dan pengambilan keputusan yang berkaitan dengan informasi di bidang kelautan (Soeprapto, 2001).

II.3. Pemeruman

Pemeruman adalah proses dan aktivitas yang ditunjukkan untuk memperoleh gambaran (model) bentuk permukaan (topografi) dasar perairan (*seabed surface*). Proses penggambaran dasar perairan tersebut (sejak pengukuran, pengolahan hingga visualisasinya) disebut sebagai survei batimetri. (Triatmodjo, 1999)

II.4. Echosounder

Echosounder adalah alat untuk mengukur kedalaman air dengan mengirimkan tekanan gelombang dari permukaan air ke dasar air dan dicatat waktunya sampai *echo* kembali ke dasar air (Hassan dan Romano, 2012).

Adapun kegunaan dasar dari *echosounder* yaitu menentukan kedalaman suatu perairan dengan mengirimkan tekanan gelombang dari permukaan ke dasar air dan dicatat waktunya sampai *echo* kembali dari dasar air. Data tampilan juga dapat dikombinasikan dengan koordinat global berdasarkan sinyal dari satelit GPS yang ada dengan memasang antena GPS apabila terdapat fitur GPS pada *echosounder* (Tomy, 2017)

II.5. Interpolasi

Triangulasi with Linear Interpolation di SURFER menggunakan triangulasi *Delaunay* yang optimal. Algoritma ini menciptakan segitiga dengan menggambar garis diantara titik data. Poin asli dihubungkan sedemikian rupa sehingga tidak ada tepi segitiga yang dipotong oleh segitiga lainnya. Hasilnya adalah tambal sulam permukaan segitiga sejauh luas grid. Cara ini adalah interpolator yang tepat. Setiap segitiga mendefinisikan sebuah bidang di atas nodus grid yang terletak di dalam segitiga, dengan kemiringan dan ketinggian segitiga yang ditentukan oleh tiga titik data asli yang mendefinisikan segitiga. Semua node grid dalam segitiga yang diberikan didefinisikan oleh permukaan segitiga. Karena data asli digunakan untuk menentukan segitiga, data dikenali sangat dekat. *Triangulasi with Linear Interpolation* bekerja paling

baik bila data Anda merata di area grid. Kumpulan data yang berisi daerah jarang menghasilkan segi segitiga yang berbeda pada peta (Yang.dkk, 2004).

II.6. Unmanned Surface Vehicle (USV)

Unmanned surface vessels (USV) juga disebut dengan *Autonomous Surface Craft* (ASC) merupakan sistem kapal yang digunakan tanpa adanya campur tangan operator. Alat ini merupakan salah satu perkembangan dari teknologi yang dapat digunakan termasuk kepentingan sains, pemetaan batimetri, penelitian robotika, pertahanan dan keperluan umum (Justin, 2015). USV dikendalikan secara otomatis dengan memberikan perintah-perintah seperti *waypoint*, atau secara manual dengan menggunakan *remote control* dari *Ground Control Station* (GCS) (Okta, 2017).

II.7. Kapal Quadramaran

Wahana USV yang digunakan dalam penelitian ini adalah kapal dengan *multi-hull* yang memilik 4 lambung disebut juga *quadmaran* atau *Quadramaran* untuk stabilisasi yang lebih tinggi dan memperkenalkan struktur baru dalam fenomena sintesis yang sulit untuk diselesaikan yang sering ditemukan pada proses struktur design kapal di masyarakat (Niranjan dan Nagesh, 2015).

II.8. GPS

GPS adalah singkatan dari *Global Positioning System* yang merupakan sistem untuk menentukan posisi dan navigasi secara global dengan menggunakan satelit. Sistem yang pertama kali dikembangkan oleh Departemen Pertahanan Amerika ini digunakan untuk kepentingan militer maupun sipil (survei dan pemetaan) (Winardi, 2006).

Sistem DGPS dalam metode secara kinematik (*kinematic positioning*) supaya dapat menentukan posisi kapal dalam waktu yang sangat singkat (*real time*), sekaligus menentukan arah dan kecepatan kapal untuk melakukan survei (Djunasjah dan Poerbandono, 2005).

II.9. SNI 7646:2010

Di bawah ini adalah ringkasan standar ketelitian pengukuran pada survei hidrografi menurut SNI 7646:2010, sebagai berikut:

Tabel II.1. Ketelitian pengukuran parameter survei hidrografi (SNI, 2010)

No.	Deskriptif	Kelas			
		Orde Khusus	Orde 1	Orde 2	Orde 3
1.	Akurasi Horisontal	2 m	5 m + 5% dari kedalaman rata-rata	20 m + 5% dari kedalaman rata-rata	150 m + 5% dari kedalaman rata-rata
2.	Alat bantu navigasi tetap dan kenampakan yang berhubungan dengan navigasi	2 m	2 m	2 m	2 m
3.	Garis pantai	10 m	10 m	20 m	20 m

Tabel II.1. Ketelitian pengukuran parameter survei hidrografi (SNI, 2010)

No.	Deskriptif	Kelas			
		Orde Khusus	Orde 1	Orde 2	Orde 3
4.	Alat bantu navigasi terapung	10 m	10 m	20 m	20 m
5.	Kenampakan topografi	10 m	10 m	20 m	20 m
6.	Akurasi kedalaman	a= 0,25 m b= 0,0075	a= 0,5 m b= 0,013	a= 1,0 m b= 0,023	a= 1,0 m b= 0,023

Batas toleransi kesalahan antara kedalaman titik fix perum pada lajur utama dan lajur silang dihitung menurut SNI 7646:2010 dengan persamaan berikut:

$$\sigma = \pm\sqrt{a^2+(b \times d)^2} \dots\dots\dots \text{Persamaan II.1}$$

Dimana :

- σ = standar deviasi
- a = kesalahan independen (jumlah kesalahan yang bersifat tetap)
- b = faktor kesalahan kedalaman dependen (jumlah kesalahan yang bersifat tidak tetap)
- d = kedalaman terukur
- (b×d) = kesalahan kedalaman yang dependen (jumlah semua kesalahan kedalaman yang dependen)

II.10. Regresi Linear Berganda

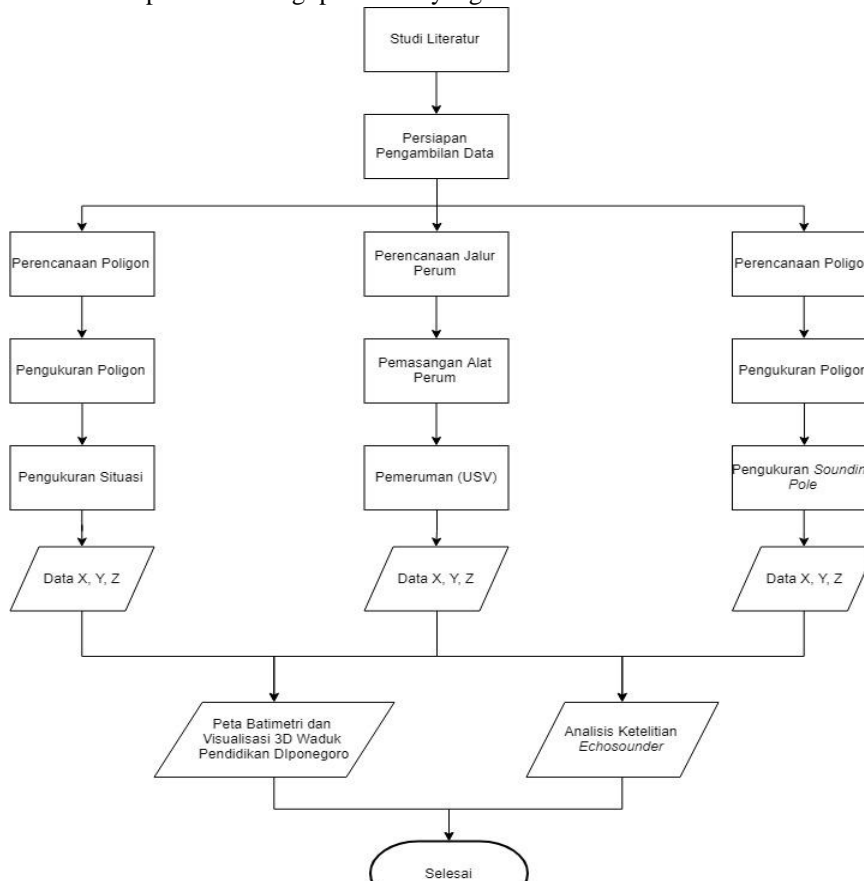
Analisis regresi merupakan salah satu teknik analisis data dalam statistika yang seringkali digunakan untuk mengkaji hubungan antara beberapa variabel dan meramal suatu variabel (Kutner, Nachtsheim dan Neter, 2004).

Dalam mengkaji hubungan antara beberapa variabel menggunakan analisis regresi, terlebih dahulu peneliti menentukan satu variabel yang disebut dengan variabel tidak bebas dan satu atau lebih variabel bebas. Jika ingin dikaji hubungan atau pengaruh satu variabel bebas terhadap variabel tidak bebas, maka model regresi yang digunakan adalah model regresi linier sederhana. Kemudian Jika ingin dikaji hubungan atau pengaruh dua atau lebih variabel bebas terhadap variabel tidak bebas, maka model regresi yang digunakan adalah model regresi linier berganda (multiple linear regression model). Kemudian untuk mendapatkan model regresi linier sederhana maupun model regresi linier berganda dapat diperoleh dengan melakukan estimasi terhadap parameter-parameternya menggunakan metode tertentu. Adapun metode yang dapat digunakan untuk mengestimasi parameter model regresi linier sederhana maupun model regresi linier berganda adalah dengan metode kuadrat terkecil (ordinary least square/OLS) dan metode kemungkinan maksimum (maximum likelihood estimation/MLE) (Kutner et.al, 2004).

III. Metodologi Penelitian

III.1. Pengolahan Data

Berikut Gambar III-1 adalah tahapan metodologi penelitian yang akan dilakukan.



Gambar III. 1 Diagram Alir Penelitian

III.2. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Perangkat keras
 - Total Station
 - Tripod
 - Jalon
 - Prisma
 - Pita Ukur
 - Pelampung
 - Sepatu Boots
 - Wahana USV Quadmaran
 - HUMMINBIRD HELIX 5 CHIRP SI GPS G2
 - Laptop
2. Perangkat Lunak
 - Autocad Land Desktop 2009
 - Surfer 13
 - Microsoft Office

III.3. Mempersiapkan Kapal USV

Kapal USV yang digunakan dalam penelitian ini merupakan kapal *remote control* yang memiliki tipe *Multihull (Quadmaran)* dimensi kapal yaitu LOA (*Length Over All*) 70cm, LWL (*Length Water Line*) 66cm, lebar 26cm, tinggi 17 cm, tinggi lambung kapal 8cm. Kapal ini kemudian dimodifikasi agar dapat sesuai untuk kegiatan pemeruman di Waduk Pendidikan Diponegoro seperti pemasangan alat-alat tambahan seperti penyangga *transducer*, aki sepeda motor, dan untuk mengamankan alat dilakukan *wrapping* pada *echosounder*. Berikut penampakan kapal siap untuk pemeruman:



Gambar III.2 Kapal *Quadmaran* siap untuk pemeruman

III.4. Pengukuran situasi detail Waduk

Terdapat pengukuran terestris di area sekitar waduk dari *benchmark* ke beberapa area di luar jalur kapal untuk melengkapi data pinggiran waduk. Pengukuran situasi di area waduk dilakukan untuk mendapatkan tepi genangan air waduk sehingga dapat melengkapi data pada peta batimetri.

III.5. Pengukuran rata-rata tinggi air sesaat

Pengukuran rata-rata tinggi air waduk sesaat dilakukan dengan pengamatan rambu ukur yang terdapat pada waduk dengan interval 15 menit selama pengukuran batimetri berlangsung untuk koreksi

kedalaman. Pengamatan ini dilakukan secara langsung dengan memperhatikan batas air yang tergenang pada rambu yang sudah terpasang *fix* dengan bangunan yang berada ditengah waduk.

III.6. Pemeruman dengan USV

Dalam tahap akuisisi data pemeruman, wahana USV berjalan secara manual atau digerakkan melalui *remote control* oleh seorang kapten kapal yang sudah berpengalaman atau sudah terbiasa mengemudikan kapal *remote control* serta dibarengi oleh peneliti sehingga dapat disesuaikan jalur dan jarak antar setiap jalur pemerumannya. Kecepatan kapal bergerak ketika akuisisi data adalah sebesar 10 knot (1 knot = 0,5144 m/s) dengan pengaturan *chart speed* pada sonar *echosounder* sebesar 5 yang mengartikan dalam satu detik *echosounder* mengirim 5 gelombang.

III.7. Pengukuran dengan *sounding pole*

Pengambilan data kedalaman langsung menggunakan metode *sounding pole* dengan alat Total Station, jalon dan prisma dilakukan dengan cara terjun langsung ke waduk. pengambilan data ini dilakukan untuk membandingkan data perum dengan data *sounding pole*. Personel menggunakan pengaman seperti pelampung dan sepatu boots. Membawa sebuah jalon dengan panjang maksimal 2 meter dan juga prisma.

IV. Hasil dan Analisis

IV.1. Hasil Koreksi dan analisis pengukuran tinggi air waduk sesaat

Pengukuran tinggi air waduk ini dilakukan ketika pemeruman berlangsung yaitu pada tanggal 30 Agustus 2017. Pengamatan tinggi air dilakukan dengan mengamati rambu ukur yang sudah dipasang pada bangunan di tengah waduk yang berguna membuka atau menutup saluran air menuju turbin secara langsung dengan interval pengamatan per 15 menit selama pemeruman berlangsung. Pengamatan tinggi air dilakukan pada pukul 6.30 WIB sampai 10.15 WIB. Dari pengamatan tinggi air waduk sesaat, diperoleh data tinggi air waduk sesaat, data pengamatan tinggi air waduk sesaat dapat dilihat pada tabel IV.1 berikut:

Tabel IV.1 Pencatatan waktu dan tinggi air

No.	Waktu Pengamatan (WIB)	Tinggi air pada rambu (m)
1.	6.30	174,10
2.	6.45	174,10
3.	7.00	174,10
4.	7.15	174,10
5.	7.30	174,10
6.	7.45	174,10
7.	8.00	174,10
8.	8.15	174,10
9.	8.30	174,10
10.	8.45	174,10
11.	9.00	174,10

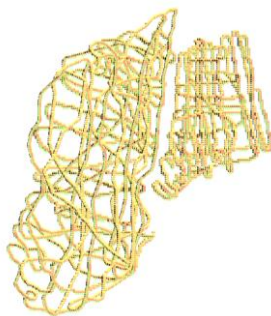
Tabel IV.1 Pencatatan waktu dan tinggi air

No.	Waktu Pengamatan (WIB)	Tinggi air pada rambu (m)
12.	9.15	174,10
13.	9.30	174,10
14.	9.45	174,10
15.	10.00	174,10
16.	10.15	174,10

Dalam pengamatan tinggi air sesaat dari pukul 6.30 WIB hingga pukul 10.15 WIB dilakukan perhitungan rata-ratanya. Berdasarkan pengukuran tinggi air pada rambu yang tidak mengalami perubahan setelah dikurangkan dengan pengamatan rambu air pertama kali, sehingga perubahan tinggi air sesaat pada Waduk Pendidikan Diponegoro pada tanggal 30 Agustus 2017 adalah 0,00 meter. Dikarenakan hasil dari pengamatan waduk sesaat tidak mengalami perubahan, maka data kedalaman yang didapat dari pemeruman tidak perlu dilakukan pengurangan dengan rata-rata tinggi air waduk sesaat.

IV.2 Hasil dan Analisis Pemeruman dan Pemetaan Waduk

Pemeruman dan pemetaan Waduk Pendidikan Diponegoro, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah dilakukan pada tanggal 30 Agustus 2017 dari jam 6.30 WIB hingga 10.15 WIB menggunakan wahana USV *Quadramaran*. Data kemudian di plot ke dalam Autocad Land Desktop 2009 untuk mendapatkan visualisasi *point* pengukuran.



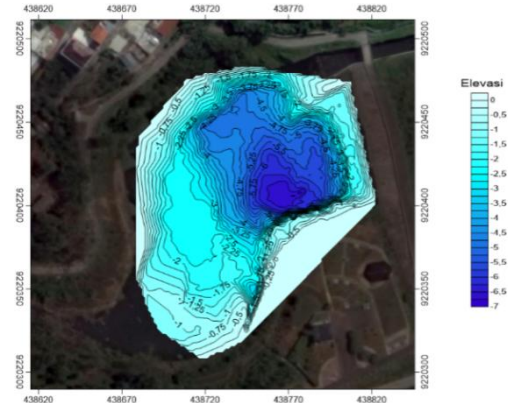
Gambar IV.1 *point* hasil pemeruman

Dari pengukuran waduk yang dilakukan, diperoleh data perum dengan rentang kedalaman -0,10 meter sebagai data perum yang paling dangkal hingga -6,90 meter sebagai data perum yang paling dalam. Kemudian setiap data pengukuran ini dikurangkan dengan kedalaman *transducer* atau *draft transducers* yang diukur sejumlah 0,17 meter. Menjadikan data kedalaman minimum -0,27 dan data kedalaman maksimum -7,07 meter.

IV.2.1. Pembuatan Peta Batimetri Waduk Pendidikan Diponegoro

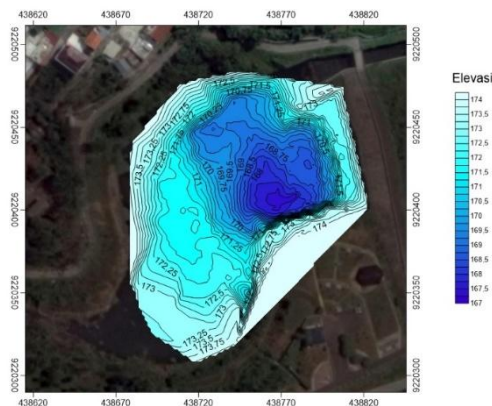
Dari pemeruman yang dilakukan di Waduk Pendidikan Diponegoro dilakukan pengolahan data pemeruman menghasilkan keluaran produk berupa peta batimetri Waduk Pendidikan Diponegoro. Dari data

yang diperoleh setelah dikoreksi dengan *drafttransducers* dan rata-rata tinggi air waduk sesaat kemudian dibuat kontur dengan interval 0,25 (kontur minor 0,25 dan kontur major 1,25) dengan menggunakan *software* Surfer 13 seperti pada gambar IV.2.



Gambar IV.2 Peta Batimetri Waduk Pendidikan Diponegoro (Ketinggian lokal), Kota Semarang, Jawa Tengah

Berikut juga dilakukan pembuatan peta Waduk Pendidikan Diponegoro menurut ketinggian *Mean Sea Level* (MSL). Informasi ketinggian MSL ini didapat dari tinggi air waduk saat pemeruman yaitu sejumlah 174,10 m yang kemudian diikatkan terhadap BM yang ada pada badan bendungan, terdapat hasil seperti gambar IV.3 berikut :

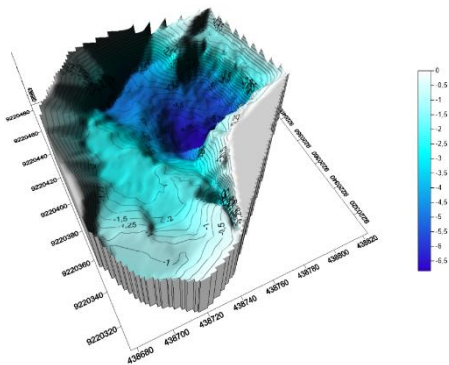


Gambar IV.3 Peta Batimetri Waduk Pendidikan Diponegoro (Ketinggian MSL), Kota Semarang, Jawa Tengah

IV.2.1. Pembuatan Visualisasi 3D Batimetri Waduk Pendidikan Diponegoro

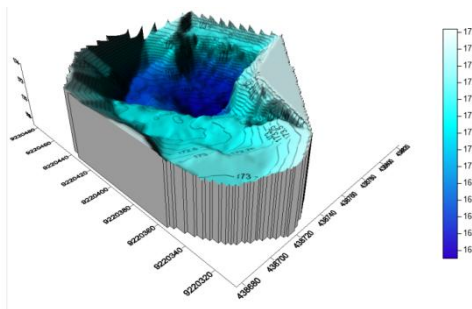
Dari pemeruman yang dilakukan di Waduk Pendidikan Diponegoro dilakukan pengolahan data pemeruman juga menghasilkan keluaran produk berupa visualisasi 3D batimetri Waduk Pendidikan Diponegoro. Dari data yang diperoleh kemudian dikoreksi dan diinterpolasi menggunakan metode *Triangulation with Linear Interpolation* dibuat kontur dengan interval 0,25 (kontur minor 0,25 dan kontur major 1,25) dengan menggunakan *software* Surfer 13. Visualisasi 3D Batimetri Waduk Pendidikan Diponegoro, Kota

Semarang, Jawa Tengah dapat dilihat pada gambar IV.4 sebagai berikut:



Gambar IV.4 Visualisasi 3D Batimetri Waduk Pendidikan Diponegoro (Ketinggian Lokal), Kota Semarang, Jawa Tengah

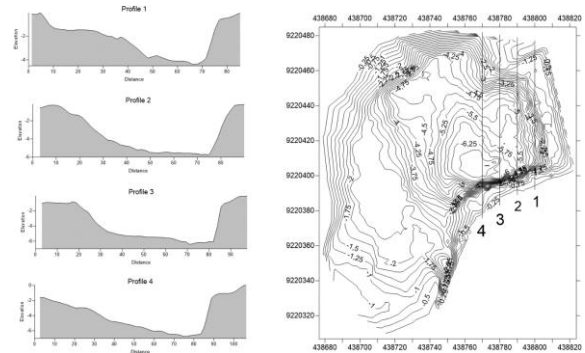
Berikut visualisasi 3 Dimensi Waduk Pendidikan Diponegoro menurut ketinggian MSL pada gambar IV.5:



Gambar IV.5 Visualisasi 3D Batimetri Waduk Pendidikan Diponegoro (Ketinggian MSL), Kota Semarang, Jawa Tengah

IV.2.1. Profil Memanjang Waduk Pendidikan Diponegoro

Dari pemeruman yang dilakukan di Waduk Pendidikan Diponegoro dilakukan pembentukan profil memanjang Waduk Pendidikan Diponegoro. Dari data yang diperoleh kemudian dikoreksi dan diinterpolasi menggunakan metode *Triangulation with Linear Interpolation* dibuat kontur dengan interval 0,25 (kontur minor 0,25 dan kontur major 1,25) dengan menggunakan software Surfer 13. Profil memanjang Waduk Pendidikan Diponegoro, Kota Semarang, Jawa Tengah dapat dilihat pada gambar sebagai berikut:



Gambar IV.6 Profil Memanjang Waduk Pendidikan Diponegoro

Hasil dari pembentukan profil memanjang di area Waduk Pendidikan Diponegoro seperti gambar di atas diperoleh area yang mengalami perubahan kontur yang cukup curam di area dekat tepi pinggir waduk. Hal ini juga diperoleh oleh peneliti ketika melakukan validasi data pemeruman dengan pengukuran *sounding pole* personel yang terjun ke lapangan dalam proses *sounding pole* tidak bisa dilakukan secara lebih luas diakibatkan keterbatasan alat yang dimiliki dan kemampuan personel.

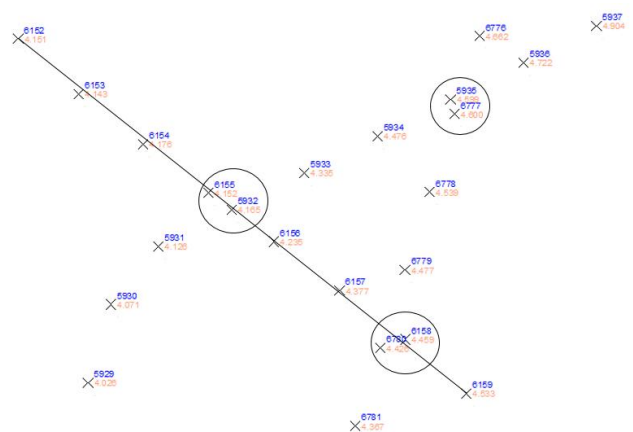
IV.3. Hasil dan Analisis Ketelitian Pemeruman

Dalam pengukuran waduk menggunakan wahana USV dilakukan uji ketelitian kedalaman menggunakan SNI 7646:2010 Survei hidrografi menggunakan *singlebeam echosounder*.

Dalam pengukuran ini digunakan orde khusus dikarenakan kedalaman area pemeruman terbilang cukup rendah dan tidak terlalu dalam, di bawah dari 100 meter yang menjadikannya tidak masuk dari ketentuan daerah survei untuk orde 1 maka digunakanlah orde khusus.

Ketelitian pengukuran ditentukan dari titik yang bersilangan antara jalur satu dan jalur dua. Terdapat 60 titik yang bersilangan antara jalur satu dan dua yang menjadi koreksi kedalaman dalam penelitian ini. Selisih kedalaman antara jalur satu dan jalur 2 masuk dalam toleransi orde khusus.

Berikut gambar IV.7 titik perum yang bertampalan atau bersilangan :



Gambar IV.7 Titik perum bersilangan

Mengacu pada rumus standar deviasi SNI 7646:2010, koreksi kedalaman orde khusus konstanta $a = 0,25$ dan konstanta $b = 0,0075$. Data kedalaman pada point 5932 sebesar 4,165 meter dan data kedalaman point 6155 sebesar 4,152 meter. Dari pengolahan data diperoleh rata-rata kedalaman dari kedua data tersebut sebesar 4,158 meter dan diperoleh juga selisih kedalaman sebesar 0,013 meter. Selanjutnya dilakukan perhitungan standar deviasi dalam orde khusus dengan kedalaman rata-rata 4,158 meter didapatkan nilai $\pm 0,250$ meter. Dengan selisih kedalaman sebesar 0,013 meter maka selisih kedalaman yang diperoleh dapat diterima.

Perhitungan akurasi kedalaman yang sama seperti diatas juga dilakukan pada titik lain, perhitungan dapat dilihat pada tabel IV.2 di bawah :

Tabel IV.2 Uji ketelitian lajur silang

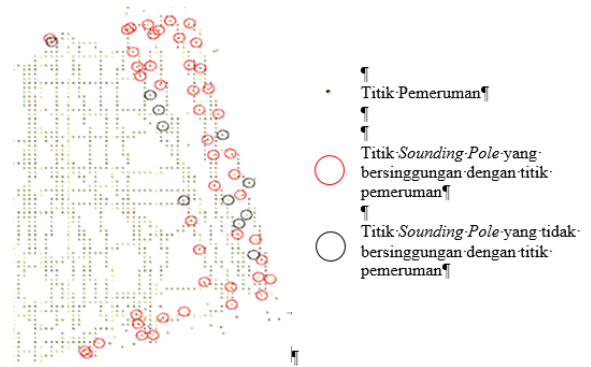
Data Titik Perum 1		Data Titik Perum 2		Rata-Rata (m)	Selisih Kedalaman (m)	Standar Deviasi Orde Khusus	Keterangan
Point	Z (m)	Point	Z (m)				
4539	5,870	6480	5,890	5,880	0,020	0,250	diterima
449	1,770	553	1,670	1,720	0,100	0,250	diterima
1171	5,570	2595	5,670	5,620	0,100	0,250	diterima
1172	5,570	2594	5,670	5,620	0,100	0,250	diterima
1168	5,770	2277	5,870	5,820	0,100	0,250	diterima
1169	5,670	2276	5,570	5,620	0,100	0,250	diterima
1366	5,670	2591	5,770	5,720	0,100	0,250	diterima
515	1,670	2462	1,770	1,720	0,100	0,250	diterima
4378	4,170	6680	4,170	4,170	0,000	0,250	diterima
5178	1,068	7206	1,064	1,066	0,004	0,250	diterima
3480	4,570	5742	4,594	4,582	0,024	0,250	diterima
917	4,370	3071	4,570	4,470	0,200	0,250	diterima
721	4,570	923	4,770	4,670	0,200	0,250	diterima
706	4,570	928	4,770	4,670	0,200	0,250	diterima
5645	2,973	7053	3,041	3,007	0,067	0,250	diterima
3215	0,870	7531	0,870	0,870	0,000	0,250	diterima
3216	0,870	7229	0,874	0,872	0,004	0,250	diterima
1552	5,370	1768	5,270	5,320	0,100	0,250	diterima
1310	4,770	1464	4,870	4,820	0,100	0,250	diterima
1746	6,070	2576	6,170	6,120	0,100	0,250	diterima

Dari data diatas diperoleh selisih terkecil kedalaman sebesar 0,000 meter, selisih terbesar kedalaman sebesar 0,200 meter, rata-rata selisih kedalaman sebesar 0,087 meter, standar deviasi selisih kedalaman sebesar 0,060 meter, dan standar deviasi SNI orde khusus sebesar 0,250 meter. Dari 60 titik yang bersilangan atau bertampalan dapat dinyatakan bahwa 60 titik diterima pada orde khusus.

IV.4 Hasil dan Analisis Ketelitian Pemeruman dan sounding pole

Rumus standar deviasi yang digunakan dalam menghitung akurasi ketelitian kedalaman ini mengacu pada SNI 7646:2010. Uji ketelitian titik perum dengan titik *sounding pole* dilakukan dengan mengambil titik yang berada dalam radius satu meter dari titik *sounding pole*, jadi memungkinkan dalam satu titik *sounding pole* terdapat lebih dari 1 titik perum.

Seperti yang terlihat pada gambar IV-8 dimana titik *sounding pole* yang dilakukan uji diberi lingkaran merah sedangkan titik *sounding pole* yang tidak bersinggungan dengan titik pemeruman diberi lingkaran hitam, sebagai berikut:



Gambar IV.8 Titik perum dan titik *sounding pole* yang berdekatan

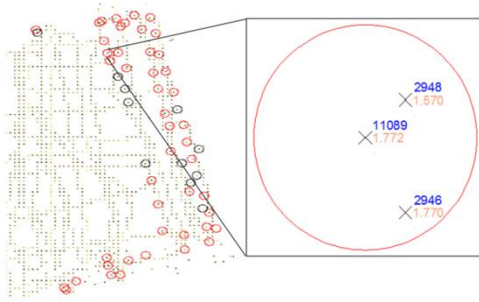
Mengacu pada rumus standar deviasi SNI 7646:2010, koreksi kedalaman orde khusus konstanta $a = 0,25$ dan konstanta $b = 0,0075$. Data kedalaman pada point 404 sebesar 1,470 meter dan data kedalaman *pointsounding pole* 1090 sebesar 1,668 meter. Dari pengolahan data diperoleh selisih kedalaman pemeruman dengan *sounding pole* sebesar 0,198 meter. Selanjutnya dilakukan perhitungan standar deviasi dalam orde khusus dengan kedalaman (d) *sounding pole* 1,668 meter diperoleh nilai $\pm 0,250$ meter. Dengan selisih kedalaman 0,198 meter maka selisih kedalaman yang diperoleh dari hasil pengolahan dapat diterima.

Perhitungan akurasi kedalaman yang sama seperti diatas juga dilakukan pada titik lain, contoh tabel perhitungan perhitungan dapat dilihat pada tabel IV.3 di bawah:

Tabel IV.3 Uji ketelitian titik perum dengan *sounding pole*

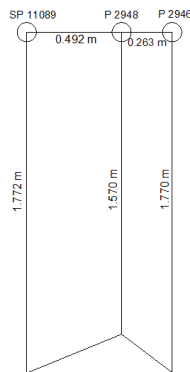
Data Titik Perum 1		Data <i>sounding pole</i>		Selisih Kedalaman (m)	Standar Deviasi Orde Khusus	Keterangan
Point	Z (m)	Point	Z (m)			
6	0,570	11051	1,017	0,447	0,250	Ditolak
265	0,770	11051	1,017	0,247	0,250	Diterima
259	1,070	11053	1,166	0,096	0,250	Diterima
12	0,670	11054	0,624	0,046	0,250	Diterima
21	0,670	11056	1,022	0,352	0,250	Ditolak
18	0,670	11056	1,022	0,352	0,250	Ditolak
30	0,770	11057	1,340	0,570	0,250	Ditolak
239	1,670	11106	2,119	0,449	0,250	Ditolak
240	1,570	11106	2,119	0,549	0,250	Ditolak
61	0,870	11061	1,201	0,331	0,250	Ditolak
71	0,770	11062	1,423	0,653	0,250	Ditolak
74	0,770	11062	1,423	0,653	0,250	Ditolak
218	1,770	11101	2,313	0,543	0,250	Ditolak
86	0,870	11064	1,201	0,331	0,250	Ditolak
90	0,870	11064	1,201	0,331	0,250	Ditolak
96	0,970	11064	1,201	0,231	0,250	Diterima
324	1,670	11063	1,825	0,155	0,250	Diterima
197	1,470	11065	1,816	0,346	0,250	Ditolak
198	1,470	11065	1,816	0,346	0,250	Ditolak
339	1,170	11067	1,280	0,110	0,250	Diterima

Dari data diatas diperoleh selisih kedalaman terkecil sebesar 0,002m, selisih kedalaman terbesar sebesar 0,952m, dan standar deviasi SNI orde khusus sebesar 0,250m. Dari 90 titik yang bersilangan atau bertampalan dapat dinyatakan bahwa 44 titik diterima pada orde khusus dan 46 titik tidak diterima pada orde khusus.



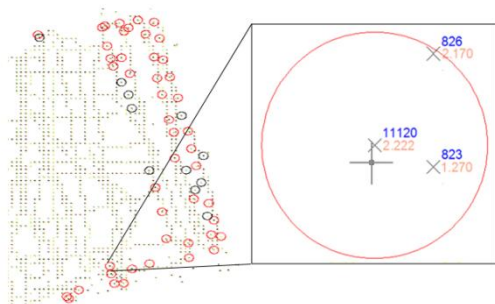
Gambar IV.9 Titik *sounding pole* (11089) dan titik perum (2948 dan 2946)

Selisih kedalaman terkecil dapat dilihat pada gambar IV.9 yaitu 0,002 meter diperoleh dari selisih antara titik perum 2946 (1,770 meter) dan titik *sounding pole* 11089 (1,772 meter). Dari gambar diatas terlihat titik 11089 (1,772 meter) berdekatan dengan titik 2948 (1,570 meter) tetapi memiliki selisih sebesar 0,202 meter sedangkan dengan titik 2946 (1,770 meter) mendapati titik terkecil sebesar 0,002 meter. Berikut visualisasi selisih kedalaman dapat dilihat pada gambar IV.10 :



Gambar IV.10 Visualisasi selisih kedalaman terkecil

Dan kedalaman terbesar dapat dilihat pada gambar IV.11 yaitu 0,952 meter didapat dari selisih antara titik perum 823 (1,270 meter) dan titik *sounding pole* 11120 (2,222 meter). Dari gambar dibawah terlihat titik 11120 (2,222 meter) memiliki jarak yang jauh dengan titik 826 (2,170 meter) tetapi memiliki selisih sejumlah 0,052 meter dan masuk dalam standar deviasi orde khusus sedangkan dengan titik 823 (1,270 meter) mendapati titik terbesar sejumlah 0,952 meter. Berikut visualisasi titik dan visualisasi selisih kedalaman pada gambar IV.12 dengan profil memanjang di atas :



Gambar IV.11 Titik *sounding pole* (11120) dan titik perum (823 dan 826)



Gambar IV.12 Visualisasi selisih kedalaman terbesar

Hasil ini didapatkan karena dipengaruhi oleh kesalahan manusia pada saat pengambilan sampel di lapangan. Personel yang terjun ke waduk menggunakan peralatan *safety* seperti pelampung dan sepatu boots karet untuk keamanan. Personel yang terjun kurang bisa merasakan lapisan sedimen yang paling atas dikarenakan tinggi tubuh personel yang tidak bisa mencukupi kedalaman dari permukaan air ke sedimen teratas, menjadikannya tidak bisa menjejakan kaki dan ketika menurunkan jalon ke sedimen kurang bisa merasakan permukaan sedimen teratas yang menyebabkan jalon tertancap lebih dalam atau jalon tidak tegak lurus.

IV.5. Uji Regresi Linier Berganda

Dalam uji regresi linier berganda ini terdapat tiga hipotesis yang akan diuji, yaitu:

- H1 = Terdapat pengaruh kedalaman sounding pole (X1) terhadap standar deviasi orde khusus (Y)
- H2 = Terdapat pengaruh selisih kedalaman sounding pole dengan pemeruman (X2) terhadap standar deviasi orde khusus (Y)
- H3 = Terdapat pengaruh kedalaman sounding pole (X1) dan selisih kedalaman sounding pole dengan pemeruman (X2) terhadap standar deviasi orde khusus (Y)
- Tingkat Kepercayaan 95%, $\alpha = 0,05$

Dalam melakukan uji t dan uji f pertama-tama kita harus mendapatkan nilai t tabel dan f tabel. Berikut perhitungan t tabel dan f tabel:

$t \text{ tabel} = t (\alpha/2 ; n-k-1) = t (0,025 ; 87) = 1,988$

$f \text{ tabel} = f (k ; n-k) = f (2 ; 88) = 3,1$

Berikut hasil dari SPSS untuk hipotesis 1 dan hipotesis 2:

Tabel IV.4 Hasil pengolahan SPSS uji t Coefficientsa

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	,250	,000		3088,561	,000
Kedalaman SP (X1)	,000	,000	,565	6,410	,000

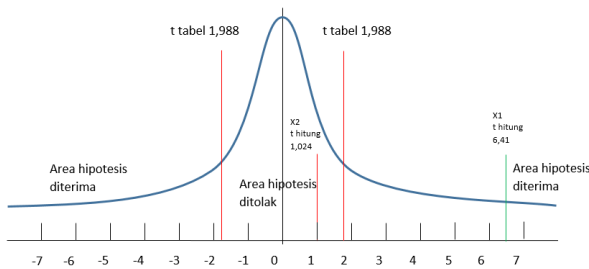
Selisih Kedalaman (X2)	,000	,000	,090	1,024	,309
------------------------	------	------	------	-------	------

a. Dependent Variable: Standar Deviasi Orde Khusus (Y)

Pengujian hipotesis pertama. Diketahui nilai sig, untuk pengaruh X1 terhadap Y adalah sebesar 0,000 < 0,05 dan nilai t hitung 6,410 > t tabel 1,988, sehingga dapat disimpulkan bahwa H1 diterima yang berarti terdapat pengaruh X1 terhadap Y.

Pengujian hipotesis kedua. Diketahui nilai sig, untuk pengaruh X2 terhadap Y adalah sebesar 0,309 > 0,05 dan nilai t hitung 1,024 < t tabel 1,988, sehingga dapat disimpulkan bahwa H2 ditolak yang berarti tidak terdapat pengaruh X2 terhadap Y.

Berikut kurva hasil dari uji t dapat dilihat pada gambar IV.13 :



Gambar IV.13 Kurvi uji t

Berikut hasil dari SPSS untuk hipotesis 3:

Tabel IV.5 Hasil pengolahan SPSS uji f ANOVA

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	,000	2	,000	22,836	,000b
Residual	,000	87	,000		
Total	,000	89			

a. Dependent Variable: Standar Deviasi Orde Khusus (Y)

b. Predictors: (Constant), Selisih Kedalaman (X2), Kedalaman SP (X1)

Pengujian hipotesis ketiga. Berdasarkan output diatas diketahui nilai signifikansi untuk pengaruh X1 dan X2 secara simultan atau bersama-sama terhadap Y adalah sebesar 0,000 < 0,05 dan nilai f hitung 22,836 > f tabel 3,1 sehingga dapat disimpulkan bahwa hipotesis 3 diterima yang berarti terdapat pengaruh X1 dan X2 secara simultan terhadap Y.

Berikut juga terdapat hasil dari SPSS untuk koefisien determinasi:

Tabel IV.6 Hasil pengolahan SPSS koefisien determinasi

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,587a	,344	,329	,00028

a. Predictors: (Constant), Selisih Kedalaman (X2), Kedalaman SP (X1)

Berdasarkan hasil diatas diketahui nilai R Square sebesar 0,344 hal ini mengandung arti bahwa pengaruh variabel X1 dan X2 secara simultan terhadap variabel Y adalah sebesar 34,4%.

Dalam hal ini kita dapat mengambil kesimpulan untuk uji t bahwa pengukuran kedalaman menggunakan metode sounding pole memiliki pengaruh terhadap standar deviasi namun selisih kedalaman pemeruman dengan kedalaman sounding pole tidak memiliki pengaruh terhadap standar deviasi. Hal ini mengartikan bahwa selisih kedalaman sounding pole dengan kedalaman pemeruman tidak disarankan untuk

menguji sebuah ketelitian pemeruman. Untuk uji f yang dilakukan memiliki hasil dimana kedalaman sounding pole dan selisih kedalaman pemeruman dengan kedalaman sounding pole memiliki pengaruh terhadap standar deviasi namun koefisien determinasi yang dihasilkan sebesar 34,4% yang mana mengartikan lemahnya pengaruh kedalaman sounding pole dan selisih kedalaman pemeruman dengan sounding pole terhadap standar deviasi.

V. Kesimpulan dan Saran

V.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian adalah sebagai berikut:

- Berdasarkan hasil pemeruman, hasil standar deviasi dari selisih titik-titik pemeruman diperoleh nilai standar deviasi sejumlah 0,060 meter yang menjadikannya diterima pada orde khusus menurut SNI 7646:2010. Berdasarkan hasil perbandingan data pemeruman antara jalur satu dan jalur dua pada titik-titik yang bersilangan dilakukan uji ketelitian akurasi kedalaman pada 60 titik sampel secara acak. Sebanyak 60 titik sampel secara acak tersebut diterima dalam orde khusus yang berarti alat *echosounder* dapat dikatakan teliti dalam melakukan pengambilan data.
- Pada hasil perbandingan data titik pemeruman dan pengukuran *sounding pole* diperoleh standar deviasi sejumlah 0,187 meter yang menjadikannya diterima pada orde khusus. Dilakukan 90 uji ketelitian akurasi kedalaman titik pemeruman dengan 47 titik *sounding pole* dan 90 titik pemeruman. 90 uji tersebut dinyatakan 44 titik diterima pada orde khusus dan 46 ditolak pada orde khusus.

V.2. Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Dalam penelitian selanjutnya mengenai survei hidrografi menggunakan wahana USV dianjurkan untuk memastikan ketersediaan alat agar membantu proses pengambilan data yang lebih cepat.
- Untuk penelitian berikutnya disarankan untuk pembuatan kapal *remote control* atau wahana USV agar dapat melakukan penelitian yang lebih dalam mengenai survei hidrografi menggunakan wahana perairan tanpa awak.
- Untuk penelitian berikutnya direkomendasikan dipasang sensor pada *echosounder* agar *display* pada *echosounder* dapat dilihat oleh pengguna atau kapten kapal dan pemeruman dapat dilakukan sesuai dengan jalur yang direncanakan.
- Dalam melakukan validasi data (*sounding pole*) disarankan menggunakan wahana apung yang mampu menjangkau wilayah yang diinginkan serta persiapan alat yang mampu menggapai kedalaman yang diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhadriraju, N., I. N. Niranjan Kumar. 2015. *Design of a Quadramaran*. India. Department of Marine Engineering. Andhra University.
- Djunarsah, E., Poerbandono. 2005. *Survei Hidrografi*. Bandung: Refika Aditama.
- Ferriska, Okta. 2017. *Survei Batimetri Di Perairan Dangkal Dengan Menggunakan Wahana USV (Unmanned Surface Vehicle)*. Surabaya. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Kutner, M.H., Nachtsheim, C.J. dan Neter, J. 2004. *Applied Linear Regression Models Fourth Edition*. The McGraw-Hill Companies, Inc. New York.
- Manley, Justin. 2008. *Unmanned Surface Vehicles, 15 Years of Development*. Cambridge. Massachusetts Institute of Technology.
- Mawardi, Erman Drs., dan Ir. Moch. Memed. 2004. *Desain Hidraulik Bendung Tetap*. Bandung. Penerbit Alfabeta
- SK, Sidharta. 1997. *Irigasi dan Bangunan Air*. Badan Penerbit Gunadarma.
- Soeprpto. 2001. *Survey Hidrografi, Buku Ajar*. Yogyakarta Jurusan Teknik Geodesi UGM.
- Suhari, Ketut Tomy. 2017. *Pemetaan Batimetri Kawasan Perairan Dangkal Menggunakan Shumoo (Small Hydrography Mariner Boundary Boat)*. Malang. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Standar Nasional Indonesia 7646. 2010. *Survei Hidrografi Menggunakan Singlebeam Echosounder*. Jakarta. Badan Standardisasi Nasional
- Triatmojo, Bambang. 1999. *Teknik Pantai*. Yogyakarta : Beta Offset
- Winardi. 2006. *Penentuan Posisi Dengan GPS untuk Survei Terumbu Karang*. Jakarta: Puslit Oseanografi-LIPI.
- Yang, dkk. 2004. *Twelve Different Interpolation Methods: A Case Study Of Surfer 8.0*. Taiwan. Feng Chia University, National Chung Hsing University.