

**PEMETAAN BATIMETRI MENGGUNAKAN *UNMANNED
SURFACE VEHICLE* UNTUK PERHITUNGAN KAPASITAS
TAMPUNG AIR SITU ITB JATINANGOR**

TUGAS AKHIR SARJANA

**Karya ilmiah yang diajukan sebagai salah satu syarat untuk
memperoleh gelar SARJANA TEKNIK
pada Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika**

Oleh

Zachary Afif

15116050



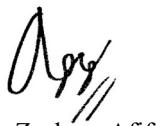
**PROGRAM STUDI TEKNIK GEODESI DAN GEOMATIKA
FAKULTAS ILMU DAN TEKNOLOGI KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG**

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR SARJANA

Tugas Akhir Sarjana dengan judul “Pemetaan Batimetri *Menggunakan Unmanned Surface Vehicle* untuk Perhitungan Kapasitas Tampung Air Situ ITB Jatinangor” adalah benar dibuat saya sendiri dan belum pernah dibuat dan diserahkan sebelumnya, baik sebagian ataupun seluruhnya, baik oleh saya ataupun orang lain, baik di ITB maupun di institusi pendidikan lainnya.

Bandung, 19 Juni 2020

Penulis,

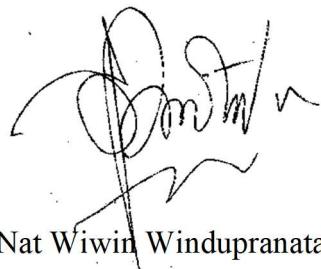


Zachary Afif
15116050



Diperiksa dan disetujui oleh,

Pembimbing I



Dr. rer Nat Wiwin Windupranata, S.T., M.Si
NIP 19740504 199903 1 001

Pembimbing II



Taufiqurrahman, S.T.

Disahkan oleh,

Ketua Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika

Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian

Institut Teknologi Bandung



Dr. Ir. A. Bambang Setyadji, M.T.

NIP19650825 199103 1 003

Abstrak

Pengukuran kapasitas tampung air pada situ dilakukan secara berkala. Salah satu metode pengukuran kapasitas tampung air waduk adalah survei batimetri. Metode survei batimetri konvensional menggunakan kapal berawak menjadi opsi yang sangat terbatas pada survei perairan dangkal dikarenakan wilayah tersebut tidak dapat dilalui oleh kapal konvensional dengan dimensi tertentu. Oleh karena itu, dilakukan survei dengan menggunakan teknologi *unmanned surface vehicle* (USV). Penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi terkait kinerja sistem USV untuk pemetaan batimetri dari Situ ITB Jatinangor menggunakan sensor *single beam echosounder* dan *multi beam echosounder* dengan wahana USV serta menghitung kapasitas air dari Situ ITB Jatinangor. Penelitian ini terdiri dari studi literatur, pengumpulan data, dan pengolahan data. Pengumpulan data dilakukan dengan pemeruman (*sounding*) untuk mendapatkan data posisi dan kedalaman menggunakan USV. Selanjutnya, dilakukan pengikatan tinggi muka air danau untuk mendefinisikan elevasi dasar waduk terhadap sistem koordinat bumi dan dilakukan *barcheck* untuk menghasilkan data elevasi dasar waduk yang sudah terkoreksi. Lalu, dari data elevasi tersebut dilakukan pembersihan data, koreksi kesalahan, dan interpolasi guna menghasilkan *digital terrain model* (DTM) dan garis kontur. Dari data ini selanjutnya dilakukan penyajian untuk menghasilkan peta batimetri dan dilakukan perhitungan volume untuk mengetahui kapasitas air di situ Jatinangor. Dari penelitian telah berhasil dihasilkan peta batimetri untuk Situ 1 dan Situ 2 Kampus ITB Jatinangor serta telah dilakukan perhitungan kapasitas air untuk situ 1 dan situ 2 ITB Jatinangor ketika pintu air terbuka dengan nilai secara berurutan $15.338,349 \text{ m}^3$ dan $14.609,956 \text{ m}^3$. Serta nilai kapasitas ketika pintu air tertutup sebesar $18.298,874 \text{ m}^3$ dan $32.666,745 \text{ m}^3$ secara berurutan.

Kata kunci: *Unmanned Surface Vehicle*, Pemetaan batimetri, Perhitungan Kapasitas air danau, *single beam echosounder*, *multi beam echosounder*

Abstract

Survey and monitoring of reservoir water capacity are done periodically. One of the methods for measuring reservoir water capacity is the bathymetry survey. The conventional bathymetry method using a manned vessel is a limited option for reservoir survey in shallow water . Hence, survey is done with unmanned surface vehicle (USV) technology. This research aim to carry out study the performance of USV system for batymetric mapping of ITB Jatinangor campus reservoirs and to calculate ITB Jatinangor campus reservoirs water capacity. This research consists of literature study, data acquisition, and data processing. Data acquisition is done with sounding method to acquire position and depth data using USV. After that, transfer of level is done to the reservoir water level in order to define reservoir base elevation in global coordinate system and bar check is done to yield corrected depth of reservoir base. Then, the elevation data undergo spike cleaning, error correction, and interpolation to generate digital terrain model (DTM) and contour lines. From this data, layouting is done to produce bathymetry map and volume calculation is done to determine ITB Jatinangor campus reservoir water capacity. From this research, the bathymetry map for Situ 1 and Situ 2 ITB Jatinangor campus is produced and reservoir water capacity is calculated for Situ 1 and Situ 2 yielding $15.338,349 \text{ m}^3$ and $14.609,956 \text{ m}^3$ respectively when the spillway is opened. Also, there are results for calculated water capacity when the spillway is closed with value of $18.298,874 \text{ m}^3$ and $32.666,745 \text{ m}^3$ respectively.

Kata kunci: Unmanned Surface Vehicle, bathymetry mapping, Reservoir water capacity calculation, single beam echosounder, multi beam echosounder

Prakata

Alhamdulillah, pertama-tama saya ucapkan rasa puji dan syukur kepada Allah Subhanahu wa Ta'ala atas segala karunia-Nya yang telah memberikan kemudahan di dalam setiap kesulitan. Rasa terimakasih yang tidak ada hentinya untuk kedua orang tua dan abang saya yang selalu memberikan doa dan dukungan hingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir saya dengan judul “Pemetaan Batimetri *Menggunakan Unmanned Surface Vehicle* untuk Perhitungan Kapasitas Tampung Air Situ ITB Jatinangor”. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan pada program studi Teknik Geodesi dan Geomatika, Institut Teknologi Bandung.

Tidak lupa saya sampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah membantu saya selama proses penggerjaan Tugas Akhir ini, yakni:

- a. Bapak Dr. rer. Nat Wiwin Windupranata, S.T., M.Si. sebagai dosen pembimbing yang telah banyak memberikan banyak ilmu, bimbingan, dan dukungan kepada saya dari awal saya menginjakkan kaki di ITB hingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
- b. Bapak Taufiqurrahman, S.T. sebagai pembimbing kedua yang banyak memberikan bimbingan teknis serta membantu penggerjaan akuisisi data untuk tugas akhir penulis.
- c. Bapak Dr. Irwan Gumilar, S.T., M.Si. sebagai *reviewer* tugas akhir dan ketua tim penguji yang telah memberikan banyak saran dan masukan terkait penulisan maupun isi dari tugas akhir.
- d. Bapak Dr.Ir. Eka Djunarsah, M.T. dan bapak Fickrie Muhammad, S.T., M.Sc. sebagai penguji yang telah memberikan banyak masukan terkait penulisan tugas akhir.
- e. Kang Nana dan Kang Miftah yang banyak membagikan ilmu teknis tentang sistem USV
- f. Bapak Taufik Kusetyohadi beserta seluruh karyawan PT. Zona Spasial yang sudah menerima penulis untuk dapat melaksanakan penelitian tugas akhir

- g. Kak Widi yang telah menghubungkan saya dengan PT. Zona Spasial dan Kak Bintang yang telah menghubungkan saya dengan Kak Widi.
- h. Petugas Tata Usaha Program studi Teknik Geodesi dan Geomatika beserta karyawan lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu.
- i. Kak Nur Sofyan yang pertama kali mengajarkan penulis perangkat lunak EIVA Navisuite
- j. Leonardus yang telah membantu penulis dalam kegiatan akuisisi data
- k. Kawan-kawan yang menemani perjuangan penulis dalam penelitian tugas akhir di KK Hidro, Ihsan, Kevin, Pras, Putia, Qintha, Argi, Aul, Ajeng, Eksel, Enggar, Resan, Giza, Alif, Naufal, Winda, Sabil, Rory, Willy, dan Kak Dede.
- l. Dini, Yudha, Utha dan rekan-rekan Teknik Geodesi dan Geomatika 2016
- m. Kamerad-kamerad penulis di Ikatan Mahasiswa Geodesi ITB
- n. Teman-teman lingkaran gagal, Sultan, Arfan, Canggih dan terutama Fadil yang telah membantu penulis sebagai tuan rumah di kampus ITB Jatinangor.

Semoga Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang melimpahkan karunia-Nya dan membalas segala amal baik yang telah diperbuat dalam membantu saya dalam menyusun tugas akhir ini. Semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat yang luas bagi yang membutuhkan.

Bandung, 19 Juni 2020

Penulis

Zachary Afif

Daftar Isi

Abstrak.....	i
Abstract.....	ii
Prakata	iii
Daftar Isi	v
Daftar Gambar	vii
Daftar Tabel	xii
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian	2
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.5 Metode Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	6
Bab 2 Metode dan Data	7
2.1 Daerah Studi.....	7
2.2 USV (Unmanned Surface Vehicle).....	8
2.2.1 Lambung Kapal/ Wahana	9
2.2.2 Guidance, Navigation, and Control System	10
2.2.3 Sistem Propulsi.....	12
2.2.4 Sistem komunikasi.....	14
2.2.5 Sistem akuisisi data	15
2.2.6 Ground station	20
2.3 Pengaturan Sistem USV.....	20
2.3.1 Pengaturan Parameter Kendali Otomatis pada Mission Planner... ..	20
2.3.2 Tuning.....	25
2.4 Survei Batimetri dengan Single Beam Echosounder	27
2.4.1 Pembuatan jalur pemeruman	29
2.4.2 Pengikatan tinggi	32

2.4.3 Bar check	33
2.5 Survei Batimetri dengan Multi Beam Echosounder	34
2.6 Pengolahan Data Single Beam Echosounder	35
2.6.1 Koreksi batimetri	36
2.6.2 Pembersihan data.....	37
2.6.3 Interpolasi	39
2.7 Pengolahan Data Multi Beam Echosounder	41
2.7.1 Pembersihan data.....	42
2.7.2 Interpolasi	43
2.8 Uji Ketelitian.....	44
2.9 Penggabungan DTM	47
2.10 Perhitungan Kapasitas Air	48
Bab 3 Hasil dan Pembahasan	51
3.1 Hasil Koreksi Batimetri	51
3.2 Hasil Batimetri dan Perhitungan Kapasitas Air Menggunakan Single Beam Echosounder	53
3.3 Hasil Batimetri dan Perhitungan Kapasitas Air Menggunakan Multi Beam Echosounder Situ 2.....	57
3.4 Perhitungan Kapasitas Tampung air Situ ITB Jatinangor.....	62
3.5 Analisis Keterbatasan Sistem USV untuk Pemetaan Batimetri.....	65
3.6 Analisis Penentuan Posisi Horizontal pada sistem USV untuk pemetaan batimeri.....	72
3.7 Analisis pengikatan tinggi untuk pemetaan batimetri menggunakan USV	74
Bab 4 Kesimpulan dan Saran	76
4.1 Kesimpulan	76
4.2 Saran	77
Daftar Pustaka	78
Lampiran A: Dokumentasi Pemeruman	82

Daftar Gambar

Gambar 1.1 Diagram Lokasi Situ 1 dan Situ 2, Kampus ITB Jatinangor (Laboratorium survei dan pemetaan dan KK InSIG FITB ITB).....	3
Gambar 1.2. Diagram alir metodologi	5
Gambar 2.1. Situ 1	7
Gambar 2.2. Situ 2	7
Gambar 2.3. Diagram Sistem USV.....	9
Gambar 2.4. Lambung Jenis Katamaran.....	10
Gambar 2.5. Pixhawk 2 (Sumber: Px4.io)	11
Gambar 2.6. Taranis x9D (sumber: frsky-rc.com).....	12
Gambar 2.7. Bluerobotics T100 (sumber: bluerobotics.com)	13
Gambar 2.8. Hobbywing Seaking (sumber: Hobbywing.com)	13
Gambar 2.9. RFD 900 (sumber: ardupilot.org)	15
Gambar 2.10. TP-Link TL-2N722N (sumber:tp-link.com).....	15
Gambar 2.11. Intel mini PC (sumber: intel.co.id)	16
Gambar 2.12. Ublox m8n (sumber: u-blox.com).....	18
Gambar 2.13. Comnav T300 (sumber: comnavtech.com).....	18
Gambar 2.14. Echologger EU400 (Sumber: echologger.com).....	19
Gambar 2.15. R2Sonic 2020 (Sumber: r2sonic.com).....	20
Gambar 2.16. Koneksi Ke Komputer	21

Gambar 2.17. Install Firmware	21
Gambar 2.18. Pemilihan frame	22
Gambar 2.19. Accelerometer Calibration	22
Gambar 2.20. Radio Calibration	23
Gambar 2.21. Compass calibration.....	23
Gambar 2.22. Pengaturan flight mode	24
Gambar 2.23. Mekanisme failsafe	25
Gambar 2.24. Parameter kendali.....	25
Gambar 2.25. Pengaturan tuning	26
Gambar 2.26. Hasil Tuning (kuning: jalur rencana misi, ungu: trek USV).....	26
Gambar 2.27. Diagram pemeruman dengan SBES.....	28
Gambar 2.28. Posisi alat pada kapal	28
Gambar 2.29. Diagram alir Survei batimetri dengan SBES	29
Gambar 2.30. Jalur Pemeruman Situ 1	31
Gambar 2.31. Jalur Pemeruman Situ 2	31
Gambar 2.32. Diagram pengikatan tinggi.....	32
Gambar 2.33. Diagram Barcheck	33
Gambar 2.34. Kegiatan barcheck.....	34
Gambar 2.35. Diagram pemeruman dengan MBES	35
Gambar 2.36. Diagram alir pengolahan data batimetri dengan SBES.....	35
Gambar 2.37. Import ke naviedit.....	37

Gambar 2.38. Tampilan data editor	38
Gambar 2.39. Pembersihan spike	38
Gambar 2.40. Spike berhasil dibersihkan	39
Gambar 2.41. Visualisasi TIN	40
Gambar 2.42. Diagram alir pengolahan data batimetri dengan MBES	41
Gambar 2.43. Histogram plane cleaning	42
Gambar 2.44. Interpolasi pendekatan TRN	43
Gambar 2.45. Calculate surface	44
Gambar 2.46. Combine terrain.....	47
Gambar 2.47. DTM ITB Jatinangor.....	48
Gambar 2.48. Pembentukan model muka air sesaat	49
Gambar 2.49. Perhitungan kapasitas tumpung (volume).....	50
Gambar 2.50. Visualisasi perhitungan Kapasitas air (volume)	50
Gambar 3.1. Peta Batimetri Situ 1 Kampus ITB Jatinangor.....	53
Gambar 3.2. Peta Batimetri Situ 2 Kampus ITB Jatinangor.....	54
Gambar 3.3. Profil Situ 1	55
Gambar 3.4. Profil Situ 2	55
Gambar 3.5. Peta Batimetri Situ 2 Kampus ITB Jatinangor (MBES)	57
Gambar 3.6. Profil Situ 2 menggunakan MBES.....	58
Gambar 3.7. Fitur Pintu air pada peta batimetri	58
Gambar 3.8. Fitur Pintu air pada model 3D.....	59

Gambar 3.9. Dokumentasi fitur Pintu air.....	59
Gambar 3.10. Perbandingan SBES dan MBES	60
Gambar 3.11. Ilustrasi <i>as built</i> Situ 1	63
Gambar 3.12. Ilustrasi <i>as built</i> Situ 2.....	63
Gambar 3.13. Konfigurasi pengubahan Output Interface pada Echologger EU400 (Ardupilot.org)	67
Gambar 3.14. Program terminal, putty (Ardupilot.org).....	67
Gambar 3.15. Dynautics SPECTRE (sumber: dynautics.com)	68
Gambar 3.16. Qinsky Autopilot (cofluence.qps.nl).....	68
Gambar 3.17. Perbandingan lajur rencana dan titik hasil perum Situ 1	69
Gambar 3.18. Perbandingan lajur rencana dengan titik hasil perum Situ 2.....	70
Gambar 3.19. Sebaran solusi diferensial GNSS Situ 1	72
Gambar 3.20. Sebaran solusi diferensial GNSS Situ 2.....	73

Daftar Tabel

Tabel 2.1. Spesifikasi Bluerobotics T100 Thruster	13
Tabel 2.2. Spesifikasi Hobbywing Seaking.....	13
Tabel 2.3. Spesifikasi Ublox M8N	17
Tabel 2.4. Spesifikasi Comnav T300.....	17
Tabel 2.5. Spesifikasi Echologger EU400	18
Tabel 2.6. Spesifikasi R2Sonic 2020	19
Tabel 2.7. Parameter misi Situ 1	30
Tabel 2.8. Parameter misi Situ 2	30
Tabel 2.9. Koordinat titik referensi.....	33
Tabel 2.10. Standar S-44 IHO edisi 5 (2008)	45
Tabel 2.11. Tinggi Muka acuan perhitungan kapasitas tampung air	48
Tabel 3.1. Tabel Hasil barcheck	51
Tabel 3.2. Koreksi baimetri	52
Tabel 3.3. Uji kualitas vertikal Situ 1	55
Tabel 3.4. Uji Kualitas horizontal Situ 1	56
Tabel 3.5. Uji Kualitas Vertikal Situ 2	56
Tabel 3.6. Uji Kualitas Horizontal Situ 2	56
Tabel 3.7. Hasil Perhitungan Kapasitas Tampung Air Situ ITB Jatinangor	62
Tabel 3.8. Perbandingan Kapasitas tampung as built dan survei batimetri	64

Tabel 3.9. Hasil pengikatan tinggi 74

Bab 1

Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Secara berkala, waduk yang dioperasikan sesuai dengan fungsinya masing-masing akan mengalami pengurangan kapasitas tampung air dikarenakan adanya sedimentasi pada daerah genangan tersebut. Ketika perubahan volume waduk cukup besar maka fungsi waduk pun akan terpengaruh. Sehingga, pola operasi waduk perlu dievaluasi kembali dan pada kondisi volume sedimen telah melebihi volume tampungan waduk maka dapat dinyatakan waduk tersebut sudah mati atau habis masa layanannya. Untuk itu dilakukan pengukuran kapasitas tampung air pada situ secara berkala. Salah satu metode pengukuran kapasitas tampung air waduk adalah survei batimetri.

Dewasa ini, perkembangan teknologi menyediakan beberapa metode untuk melakukan pengukuran batimetri ini. Perkembangan teknologi ini salah satunya diakibatkan oleh akibat adanya kebutuhan untuk melakukan pemetaan di perairan dangkal. Adanya kendala logistik (aksesibilitas untuk perlengkapan sulit), sulitnya pengerjaan, serta besarnya risiko di lapangan menjadi suatu hal yang harus dihadapi pada saat melakukan survei batimetri di daerah perairan dangkal (Perbani & Suwardhi, 2014). Wilayah perairan dangkal juga menyebabkan perairan tersebut sulit dijangkau oleh kapal berawak konvensional yang memiliki dimensi cukup besar tanpa merusak bagian dayung atau lambung kapal. Oleh karena itu, metode survei batimetri konvensional menggunakan kapal berawak menjadi opsi yang sangat terbatas jika harus dilakukan pada perairan dangkal sehingga surveyor harus melakukan pengukuran langsung di perairan dangkal yang mana kegiatan tersebut berbahaya dan tidak efisien.

Salah satu solusi dari permasalahan yang timbul dari pemetaan di perairan dangkal adalah dengan menggunakan teknologi *unmanned surface vehicle* (Suhari & Gunawan, 2017). Teknologi ini dapat memungkinkan untuk dilakukan pengukuran

dengan menggunakan wahana tanpa awak sehingga lebih fleksibel dan aman bagi surveyor.

Pada Penelitian ini, penulis membahas pengaturan sistem tanpa awak pada wahana USV serta penggunaan wahana USV yang dilengkapi sensor *single beam echosounder* dan *multibeam echosounder* sebagai alat pemetaan batimetri perairan dangkal khususnya untuk perhitungan kapasitas tampung air waduk.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut rumusan masalah dari tugas akhir ini,

1. Bagaimana kinerja sistem USV untuk pemetaan batimetri situ 1 dan situ 2 yang dilakukan menggunakan sensor *single beam echosounder* dan *multi beam echosounder* dengan wahana USV?
2. Berapa kapasitas air dari situ 1 dan situ 2 ITB Jatinangor?

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut,

1. Melakukan studi terkait kinerja sistem USV untuk pemetaan batimetri dari Situ 1 dan Situ 2 ITB Jatinangor menggunakan sensor *single beam echosounder* dan *multi beam echosounder* dengan wahana USV.
2. Menghitung kapasitas air dari situ 1 dan situ 2 ITB Jatinangor.

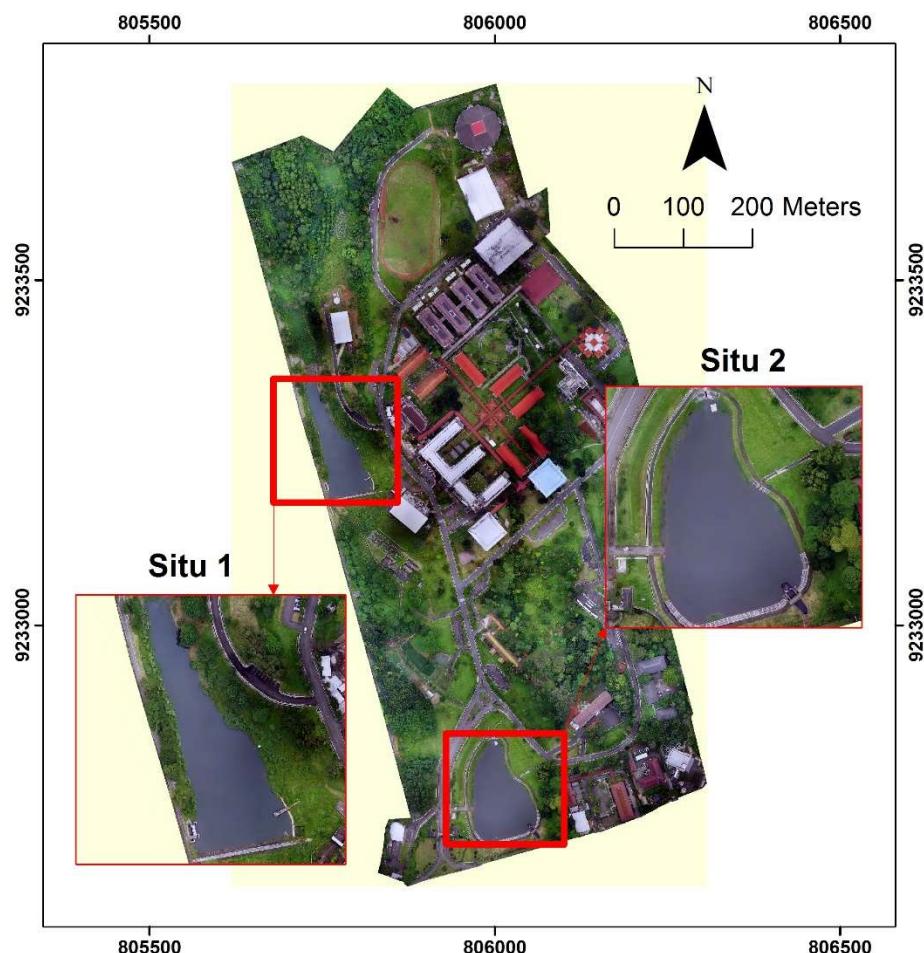
Adapun manfaat dari hasil penelitian ini sebagai berikut,

1. Sebagai referensi bagi para praktisi survei dan pemetaan untuk alternatif metode pemetaan perairan dangkal yang lebih fleksibel dan aman
2. Sebagai referensi bagi pengelola ITB Jatinangor berkaitan dengan kapasitas tampung air situ 1 dan situ 2.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup tugas akhir adalah sebagai berikut,

1. Penelitian dilakukan di Situ 1 dan Situ 2 ITB Kampus Jatinangor (**Gambar 1.1**).
2. Wahana yang digunakan adalah *unmanned surface vehicle*/kapal tanpa awak.
3. Data yang diolah berupa data primer hasil survei batimetri menggunakan sensor *single beam echosounder* dan data sekunder hasil survei batimetri menggunakan *multi beam echosounder*.



Gambar 1.1 Diagram Lokasi Situ 1 dan Situ 2, Kampus ITB Jatinangor
(Laboratorium survei dan pemetaan dan KK InSIG FITB ITB)

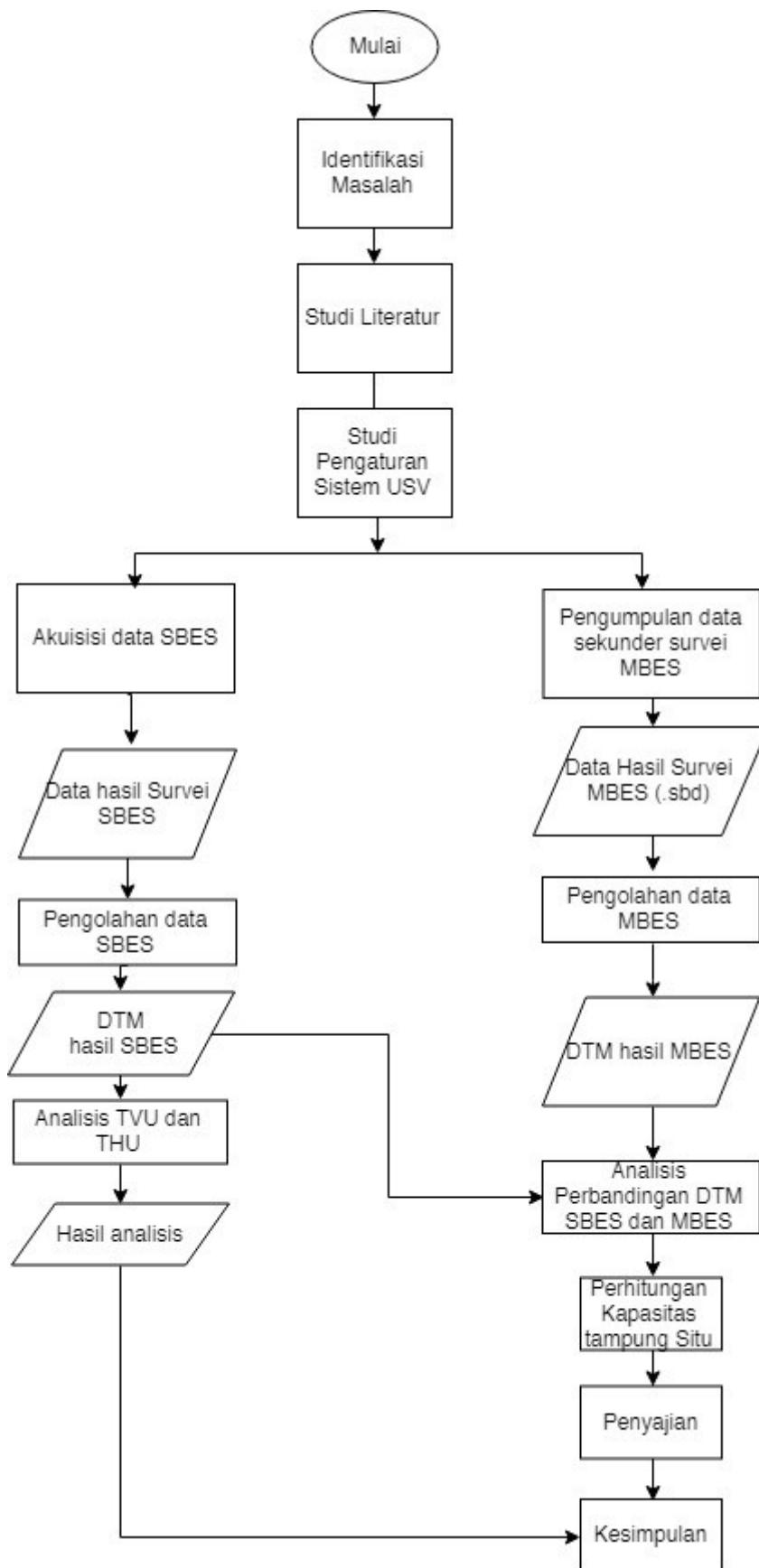
1.5 Metode Penelitian

Secara garis besar metodologi penggerjaan dari penelitian tugas akhir ini terdiri dari studi literatur, pengumpulan data, dan pengolahan data. Studi literatur merupakan kegiatan yang berkaitan dengan memahami konsep serta mempelajari langkah penggerjaan untuk pengumpulan maupun pengolahan data. Adapun konsep yang diperlukan adalah tentang *unmanned system* (sistem tanpa awak) serta perangkatnya dan konsep survei batimetri. Langkah-langkah pelajaran yang dipelajari meliputi penyusunan rangkaian sistem wahana tanpa awak USV dan langkah pengambilan data batimetri menggunakan sensor *echosounder* baik *single beam* maupun *multi beam*.

Untuk kegiatan pengumpulan data pada penelitian ini, dilakukan pengambilan data langsung dengan aktivitas *hands on* dengan wahana *unmanned Surface Vehicle* yang ini terdiri dari pengaturan sistem kendali dan proporsi wahana untuk memapatkan data yang terkait dengan sistem kendali tanpa awak dan pemeruman untuk mendapatkan data posisi dan kedalaman menggunakan sensor .

Terakhir, kegiatan pengolahan data dilakukan dengan menghimpun semua data hasil pemeruman dan dilakukan pengolahan berupa koreksi hasil pemeruman dengan koreksi suara yang didapatkan dari *bar check*. Lalu dilakukan pula pengikatan tinggi muka air danau dengan referensi tinggi ellipsoid. Untuk selanjutnya, data posisi dan kedalaman hasil pemeruman yang sudah dikoreksi dan direduksi tersebut dilakukan interpolasi untuk menghasilkan data model permukaan batimetri. Kemudian, data model permukaan batimetri digabung dengan model permukaan topografi yang telah dihasilkan disajikan dalam bentuk peta batimetri.

Serta dilakukan perhitungan kapasitas tampung air dari situ 1 dan situ 2 Kampus ITB Jatinangor. Metode penelitian selanjutnya dapat dilihat pada **Gambar 1.2**.



Gambar 1.2. Diagram alir metodologi

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini akan mengikuti sistematika sebagai berikut,

BAB I PENDAHULUAN

Bab I menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, metodologi yang digunakan dalam penelitian dan sistematika penulisan tugas akhir.

BAB II METODE DAN DATA

Bab II berisi tentang tinjauan pustaka terkait sistem wahana USV, pengaturan sistem kendali pada USV, *tuning* sistem USV, dan akuisisi serta pengolahan data batimetri menggunakan sensor *single beam echosounder* maupun *multi beam echosounder*.

BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab III menampillkan hasil pengolahan data batimetri dan perhitungan kapasitas tampung air menggunakan wahana USV dengan sensor *single beam echosounder* dan *multi beam echosounder* serta analisis terkait keterbatasan, analisis penentuan posisi, dan analisis metode pengikatan tinggi.

BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN

Bab IV memuat kesimpulan dari pelaksanaan penelitian tugas akhir serta saran penulis untuk pengembangan dari penelitian tugas akhir ini.

Bab 2

Metode dan Data

2.1 Daerah Studi

Kampus ITB Jatinangor merupakan salah satu bagian dari multikampus Institut Teknologi Bandung. Terletak di Jalan Raya Jatinangor-Sumedang, Desa Sayang, Kecamatan Jatinangor Kabupaten Sumedang, kampus yang memiliki luas sekitar 53 hektar ini dibangun agar dapat membantu untuk menunjang kegiatan perkuliahan Institut Teknologi Bandung yang dinilai sudah terlalu padat di kampus Ganesha yang memiliki luas sekitar 29 hektar dengan penghuni sebanyak 23.000 orang. Pada kawasan kampus ITB Jatinangor terdapat dua buah Situ, yaitu Situ 1 (**Gambar 2.1**) dan Situ 2 (**Gambar 2.2**).



Gambar 2.1. Situ 1



Gambar 2.2. Situ 2

Situ atau disebut juga dengan cekungan penempungan secara umum digunakan untuk untuk mengatur. Situ di Kampus ITB Jatinangor memiliki fungsi sebagai estetika kampus dan menaikkan air tanah di lingkungan kampus ITB Jatinangor. Utamanya situ ini juga memiliki kegunaan untuk menampung air hujan yang kemudian diolah melalui *water treatment plant* untuk memenuhi kebutuhan Kampus ITB Jatinangor.

2.2 USV (Unmanned Surface Vehicle)

Secara umum, USV (*Unmanned Surface Vehicle*) diartikan sebagai wahana yang dioperasikan pada permukaan air tanpa awak. Menurut Breivik (2010), USV dijelaskan sebagai,

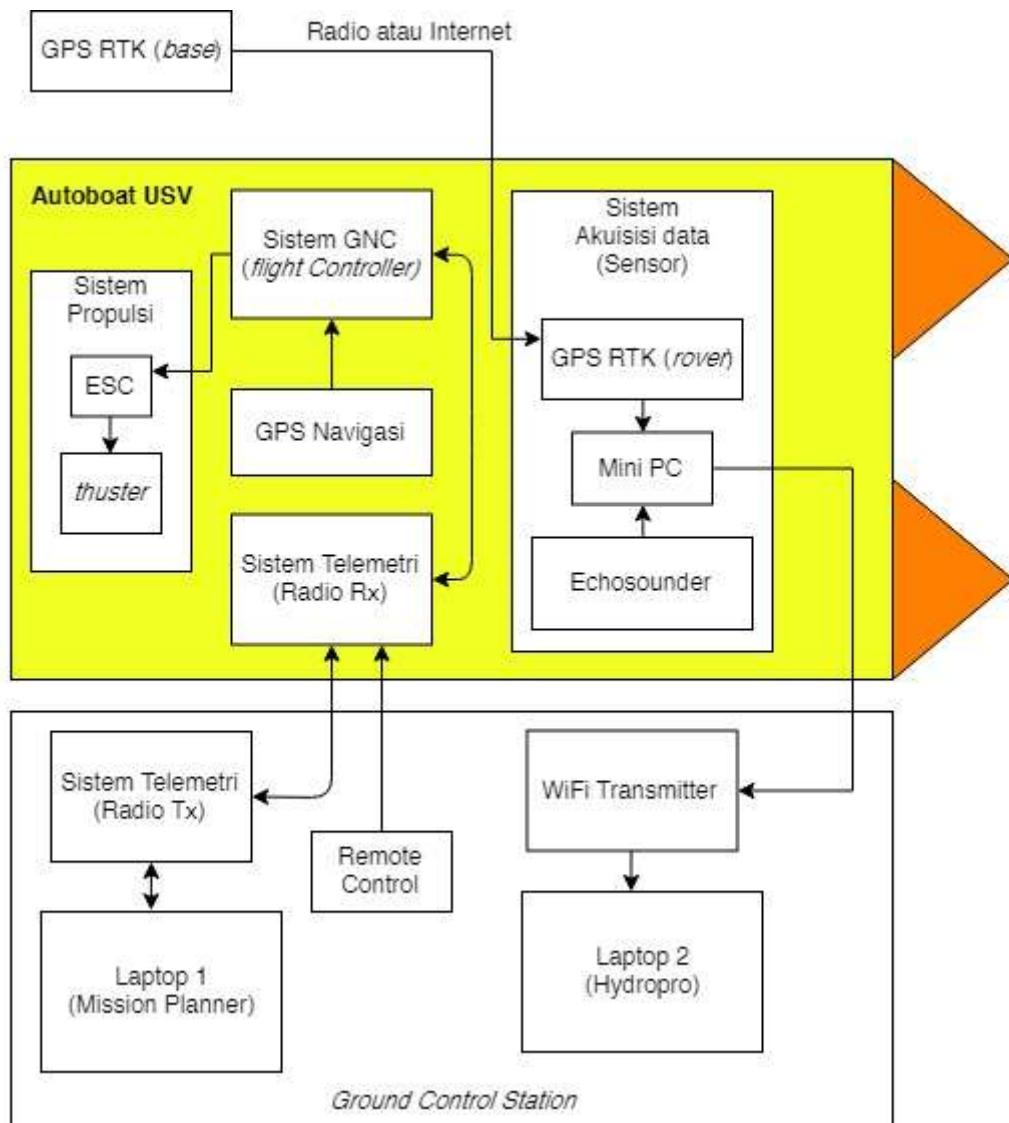
Unmanned vehicles which perform tasks in a variety of cluttered environments without any human intervention, and essentially exhibit highly nonlinear dynamics (p.71).

Jadi dapat disimpulkan bahwa USV ini merupakan wahana tanpa awak atau seperti analogi pada aplikasi dunia penerbangan yaitu drone air/laut (*marine drone*). Aplikasi dari USV ini cukup beragam diantaranya survei dan pemetaan (batimetri), kegiatan pemantauan lingkungan, survei oseanografi, dan operasi pertahanan dan keamanan.

Dari pemakaian dan aplikasi yang beragam tersebut, USV memiliki bermacam variasi bentuk dan sistem. Namun terdapat elemen dasar yang terdapat pada semua USV (Liu, dkk 2016):

- a. Lambung Kapal/Wahana
- b. *Guidance, Navigation, and Control (GNC) System*
- c. Sistem Propulsi
- d. Sistem Komunikasi
- e. Sistem akuisisi data
- f. *Ground station*

Adapun untuk diagram sistem dari USV yang digunakan pada penelitian dapat dilihat pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3. Diagram Sistem USV

2.2.1 Lambung Kapal/ Wahana

Lambung (*hull*) kapal disebut juga sebagai badan kapal merupakan bagian USV yang menjadi wadah bagi komponen lain dan menyediakan daya apung sehingga kapal dapat mengapung di permukaan air. Lambung kapal dibagi dalam beberapa tipe yaitu, karet berlambung padat (*rigid inflatable hulls*), kayak (*single hull*), katamaran (*twin hulls*), dan trimaran (*triple hulls*). Pemilihan tipe lambung ini didasarkan oleh penggunaan USV yang berbeda aplikasinya (Liu dkk, 2016). Seperti tipe karet

berlambung padat yang umumnya digunakan untuk kegiatan militer dikarenakan durabilitasnya yang baik. Lalu ada juga tipe kayak dan katamaran yang biasanya digunakan untuk misi yang membawa muatan dengan kapasitas besar seperti kegiatan survei dan pemetaan dan relatif mudah untuk diproduksi. Juga tipe trimaran yang biasa digunakan untuk misi yang membutuhkan stabilitas tinggi seperti misi yang dilakukan pada perairan dengan gelombang yang cukup besar. Pada penelitian ini digunakan USV yang memiliki tipe lambung katamaran seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.4.**



Gambar 2.4. Lambung Jenis Katamaran

2.2.2 Guidance, Navigation, and Control System

Sistem GNC atau *guidance, navigation, and control* adalah elemen yang fundamental dari USV sebagai elemen yang mengendalikan keseluruhan sistem USV. Sistem GNC dibagi menjadi tiga bagian yaitu,

- a. Sistem pemandu (*guidance system*), berfungsi untuk menghasilkan perintah lintasan yang optimal menurut sistem navigasi, misi yang telah diberikan, kapabilitas wahana, dan kondisi lingkungan kepada sistem kendali (Liu dkk, 2016).
- b. Sistem navigasi (*navigation system*), berfungsi untuk menyediakan informasi orientasi wahana, posisi serta turunannya, dan informasi kondisi lingkungan sekitar seperti kecepatan angin atau arus laut. Data *input* dari sistem navigasi didapatkan dari perangkat sensor (akuisisi data).

- c. Sistem kendali (*control system*), berfungsi untuk menentukan kendali gaya dan momen dari sistem penggerak dar USV agar dapat bergerak sesuai dengan perintah yang diberikan. Sistem kendali (*control*) untuk USV dapat dilakukan dalam dua mode yaitu mode *manual* atau dikendalikan oleh seorang pilot atau mode otomatis atau disebut *autopilot*, yaitu mode dimana pesawat dapat terbang mandiri menggunakan program yang dibuat sesuai dengan parameter yang telah ditentukan oleh pengguna.

Pada penelitian ini, perangkat keras yang digunakan pada sistem GNC ini adalah Pixhawk 2 (dapat dilihat pada **Gambar 2.5**), yaitu sebuah *flight controller* atau *circuit board* yang sudah didesain khusus untuk kegunaan wahana tanpa awak seperti USV, UAV (*unmanned aerial vehicle*), ataupun *remotely operated vehicle* (ROV). Perangkat ini berfungsi sebagai “otak” dari keseluruhan sistem USV. Pixhawk 2 ini dapat mengintegrasikan sistem lain yang terdapat pada USV. Perangkat Pixhawk 2 ini juga memiliki *inertial measurement unit* (IMU) sebagai penunjang sistem navigasi untuk memberikan informasi orientasi dari USV. Perangkat keras pixhawk 2 ini dapat diberikan perintah menggunakan perangkat lunak Ardupilot mission planer.



Gambar 2.5. Pixhawk 2 (Sumber: Px4.io)

Selain perangkat GNC berupa Pixhawk 2 yang digunakan untuk mode otomatis, digunakan pula perangkat *remote control* untuk dapat mengendalikan USV pada mode manual. Perangkat yang digunakan adalah Taranis x9D (ditunjukkan **Gambar 2.6**). Kendali dari *remote control* ini langsung dilakukan antara sistem kendali dengan sistem propulsi USV, yang mana sistem propulsi nantinya akan mengatur gerak dan arah dari USV.



Gambar 2.6. Taranis x9D (sumber: frsky-rc.com)

2.2.3 Sistem Propulsi

Sistem propulsi merupakan elemen yang berfungsi untuk menggerakkan kapal baik arah (*heading*) maupun kendali kecepatan (*speed control*). Sistem propulsi dalam kapal (USV) terdiri dari tiga komponen yaitu motor penggerak utama (*main engine*), sistem transmisi, dan alat gerak (*propulsor*). Selanjutnya dari ketiga komponen ini konfigurasi akan ditentukan dari desain dan kegunaan masing-masing kapal. Umumnya pada kapal terdapat dua alat gerak yaitu *rudder* (kemudi) dan *throttle* (katup). Pada penelitian ini, hanya digunakan alat gerak *throttle*, dengan menggunakan mode *differential thrust*. Pada mode ini kemudi dari USV ditentukan oleh *thrust* dari dua buah *throttle* yang independen pada masing-masing lambung kapal. Mode ini umum digunakan pada tipe lambung katamaran (*twin hulls*).

Terdapat tiga perangkat sistem propulsi yang digunakan pada USV yaitu *brushless motor*, *electrical speed controller* (ESC), dan *propeller*. Perangkat *brushless motor* merupakan sebuah motor elektrik yang berfungsi sebagai penggerak utama dari sistem propulsi USV. Sedangkan, ESC merupakan sirkuit elektrik yang berfungsi untuk mengendalikan kecepatan dari motor elektrik dan *propeller* sendiri atau biasa disebut baling-baling merupakan perangkat yang mengubah daya gerak dari motor elektrik menjadi gaya dorong USV. Perangkat yang digunakan untuk *brushless motor* dan *propeller* sekaligus adalah Bluerobotics T100 thruster (**ditunjukkan Gambar 2.7**) yang memiliki spesifikasi seperti pada **Tabel 2.1** dan perangkat yang digunakan

sebagai ESC adalah Hobbywing seaking (**ditunjukkan Gambar 2.8**) dengan spesifikasi seperti pada **Tabel 2.2**.



Gambar 2.7. Bluerobotics T100

(sumber: bluerobotics.com)



Gambar 2.8. Hobbywing Seaking

(sumber: Hobbywing.com)

Tabel 2.1. Spesifikasi Bluerobotics T100 Thruster

No	Parameter	Nilai
1	Daya	12 V
	Arus	11,5 A
2	Diameter	94 mm
3	Panjang	102 mm
4	Berat (dalam air)	120 gram

Tabel 2.2. Spesifikasi Hobbywing Seaking

No	Parameter	Nilai
1	Daya	6 V
	Arus	120 A
2	Dimensi	68,5 x 39,4 x32 mm
3	Panjang	102 mm
4	Berat (dalam air)	150 gram

2.2.4 Sistem komunikasi

Sistem komunikasi merupakan elemen dari USV yang berfungsi untuk menyalurkan informasi dari antar elemen yang tersedia pada USV. Secara umum, sistem komunikasi pada USV tidak hanya terbatas pada sistem komunikasi antara USV dan *ground control station*. Namun juga termasuk alur komunikasi pada perangkat-perangkat yang terdapat pada USV juga. Untuk alur komunikasi dari USV ini dapat dilihat pada **Gambar 2.3**.

Untuk sistem komunikasi yang dilakukan dengan *ground control*, digunakan sistem telemetri atau sistem yang berfungsi mengirimkan data dari tempat yang berjauhan secara nirkabel. Pada USV yang digunakan pada penelitian ini terdapat dua jenis sistem telemetri yang digunakan yaitu sistem telemetri dengan radio dan sistem telemetri menggunakan jaringan WiFi. Sistem telemetri radio digunakan untuk menghubungkan antara sistem GNC pada USV dengan *ground station*. Perangkat yang digunakan untuk pada sistem komunikasi adalah modem radio telemetri RFD 900 dan perangkat *remote control* Taranis x9D seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 2.9** dan **Gambar 2.6** secara berurutan.

RFD 900 merupakan modem radio jangkauan panjang dengan pita frekuensi radio sebesar 900 MHz. Jangkauan dari sinyal radio dengan modem ini dapat mencapai 15 KM pada daerah yang terbuka. Perangkat RFD 900 ini digunakan untuk mentransmisikan informasi antara sistem kendali USV (Pixhawk 2.0) dan *ground control station*. Sedangkan, perangkat *remote control* Taranis x9D digunakan untuk mentransmisikan informasi dari perangkat *remote control* kepada ESC agar dapat dilakukan kendali manual pada USV.

Sedangkan untuk sistem telemetri menggunakan jaringan wifi digunakan perangkat adaptor untuk jaringan wifi tipe USB, TP-LINK TL-WN722N. Perangkat yang

ditunjukkan pada **Gambar 2.10** ini dihubungkan dengan mini PC yang digunakan untuk mentransmisikan informasi antara sistem akuisisi data dan *ground station*.



Gambar 2.9. RFD 900 (sumber:
ardupilot.org)

Gambar 2.10. TP-Link TL-2N722N
(sumber:tp-link.com)

2.2.5 Sistem akuisisi data

Sistem akuisisi data adalah kumpulan perangkat yang digunakan untuk melakukan pengambilan data sesuai dengan misi dan tujuan juga digunakan untuk informasi penunjang sistem GNC (navigasi). Untuk keperluan penunjang sistem GNC, perangkat standar yang digunakan adalah GPS dan IMU. Sedangkan untuk pengambilan data sesuai misi, beragam jenis sensor dapat digunakan seperti kamera, sensor akustik, LIDAR, dan lain-lain. Pada penelitian ini, sistem akuisisi data memiliki sistem kendali yang berbeda dengan sistem USV. Kendali untuk sistem akuisisi data atau disebut juga *processor* yang digunakan adalah intel mini PC NUC 10 seperti yang ditunjukkan **Gambar 2.11**. Perangkat *processor* ini telah di-*install* dengan perangkat lunak akuisisi data hidrografi HYDROPRO yang dapat mengintegrasikan sensor penentuan posisi horizontal (GNSS) dan vertikal (GNSS dan *echosounder*).



Gambar 2.11. Intel mini PC (sumber: intel.co.id)

2.2.5.1 Sistem GNSS

Sistem *Global Navigation Satelite System* (GNSS) adalah sistem penentuan posisi di permukaan bumi yang dilakukan dengan bantuan sistem satelit. Sistem GNSS pada penelitian ini digunakan untuk penunjang navigasi USV dan penentuan posisi dalam survei batimetri. Untuk kedua kebutuhan ini digunakan dua perangkat sistem GNSS yang berbeda metode yaitu metode *point positioning* untuk navigasi dan *real time kinematics*. Perbedaan dari kedua metode terletak pada ketelitian hasil dari posisi yang dihasilkan.

Kebutuhan penunjang navigasi dipenuhi dengan menggunakan perangkat sistem GNSS yang menggunakan metode *point positioning*. Metode ini bekerja dengan prinsip penentuan jarak dari beberapa satelit secara simultan kepada satu *receiver* GNSS. Penentuan posisi dengan metode ini dinilai tidak terlalu akurat mengingat hasil dari penentuan posisi memiliki ketelitian 3-5 meter dan sangat bergantung pada kualitas data juga geometri satelit (Abidin, 2000). Perangkat *receiver* yang digunakan pada penelitian ini dengan metode *point positioning* adalah modul GPS Ublox M8N yang dilengkapi pula dengan kompas seperti terlihat pada **Gambar 2.12** dengan spesifikasi pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3. Spesifikasi Ublox M8N

No	Parameter	Nilai
1	Konstelasi satelit	GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo
2	Ketelitian Horizontal	2,5-4 m
3	Ketelitian <i>heading</i>	3 Derajat

Kebutuhan penentuan posisi untuk pemetaan batimetri dipenuhi dengan menggunakan metode *real time kinematics*. Metode ini berkerja dengan prinsip *differential positioning* yang bekerja dengan menentukan posisi suatu titik secara relatif dengan titik referensi (telah diketahui koordinatnya) sehingga metode ini membutuhkan minimal dua perangkat *receiver* GNSS. Prinsip *differential positioning* dapat mengurangi kesalahan dan bias sehingga dapat meningkatkan akurasi posisi. Secara praktik, metode *real time kinematics* (RTK) mengirimkan koreksi kesalahan relatif terhadap secara *real time* melalui koneksi sinyal radio, sinyal GPRS, atau internet. Ketelitian yang dapat dicapai dengan metode ini berkisar antara satu sampai lima sentimeter (Abidin, 2000). Perangkat *receiver* yang digunakan dengan metode RTK pada penelitian ini adalah Comnav T300 seperti terlihat pada **Gambar 2.13** dengan spesifikasi pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4. Spesifikasi Comnav T300

No	Parameter	Nilai
1	Konstelasi satelit	GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo
2	Ketelitian Horizontal	8 mm (RTK), <1,5 m (<i>point positioning</i>)
3	Ketelitian Vertikal	15 mm (RTK), <1,5 m (<i>point positioning</i>)



Gambar 2.12. Ublox m8n (sumber: ublox.com)



Gambar 2.13. Comnav T300 (sumber: comnavtech.com)

2.2.5.2 Single Beam Echosounder (SBES)

SBES atau *single beam echosounder* adalah alat ukur kedalaman air yang menggunakan pancaran tunggal sebagai pengirim dan penerima sinyal gelombang suara. Bagian dari *single beam* yang menjadi komponen utama yaitu *transducer*. Komponen *transducer* bekerja dengan mengkonversikan energi elektrik menjadi energi mekanik (gelombang akustik) dan sebaliknya. *Transducer* mengirimkan pulsa akustik dengan frekuensi tinggi yang terkandung dalam *beam* (gelombang suara) menyusuri bagian bawah kolom air lalu dipantulkan pada dasar badan air dan diterima kembali oleh sebuah *receiver* atau penerima gelombang untuk kemudian pantulan gelombang akustik tersebut dikonversi menjadi sinyal elektrik oleh *transducer*. Perangkat SBES yang digunakan pada penelitian ini adalah Echologger EU400 seperti terlihat pada **Gambar 2.14** dengan spesifikasi yang disajika pada **Tabel 2.5**.

Tabel 2.5. Spesifikasi Echologger EU400

No	Parameter	Nilai
1	Frekuensi	450 KHz
2	Jangkauan	0,15-100 m
3	<i>Sampling rate</i>	100 KHz
3	Cakupan sudut	5°



Gambar 2.14. Echologger EU400 (Sumber: echologger.com)

2.2.5.3 *Multi Beam Echosounder (MBES)*

Multi Beam Echosounder (MBES) adalah alat ukur kedalaman yang menggunakan banyak pancaran sebagai pengirim dan penerima sinyal gelombang. Alat MBES memiliki prinsip dasar yang sama dengan alat SBES dengan memancarkan pulsa gelombang akustik dan menangkap kembali pantulannya dari sebuah *transducer*. Namun terdapat perbedaan pada MBES yang memiliki banyak *beam* yang dipancarkan melebar dan melintang terhadap badan kapal. Pada penelitian ini digunakan alat MBES dengan jenis R2Sonic 2020 yang ditunjukkan pada **Gambar 2.15** dan dapat dilihat spesifikasinya pada **Tabel 2.6**.

Tabel 2.6. Spesifikasi R2Sonic 2020

No	Parameter	Nilai
1	Frekuensi	200-400 KHz
2	Jangkauan	100-3000 m
3	Resolusi	1,25 cm
3	Cakupan sudut	10°-30°



Gambar 2.15. R2Sonic 2020 (Sumber: r2sonic.com)

2.2.6 Ground station

Ground station atau biasa disebut *ground control station* merupakan perpanjangan tangan dari sistem GNC pada USV. Elemen ini berfungsi sebagai pusat pantau kendali operator dari USV baik dalam kendali manual maupun otomatis. Untuk kendali manual seperti telah dijelaskan pada **subbab 2.2.2.** dikendalikan dengan menggunakan *remote control*. Selain perangkat *remote control*, digunakan pula dua buah laptop sebagai *ground station* dengan satu laptop digunakan untuk pemantauan status USV melalui perangkat lunak Ardupilot Mission Planner dan satu laptop lain yang digunakan untuk pemantauan akuisisi data batimetri melalui *remote desktop connection* dari jaringan WiFi.

2.3 Pengaturan Sistem USV

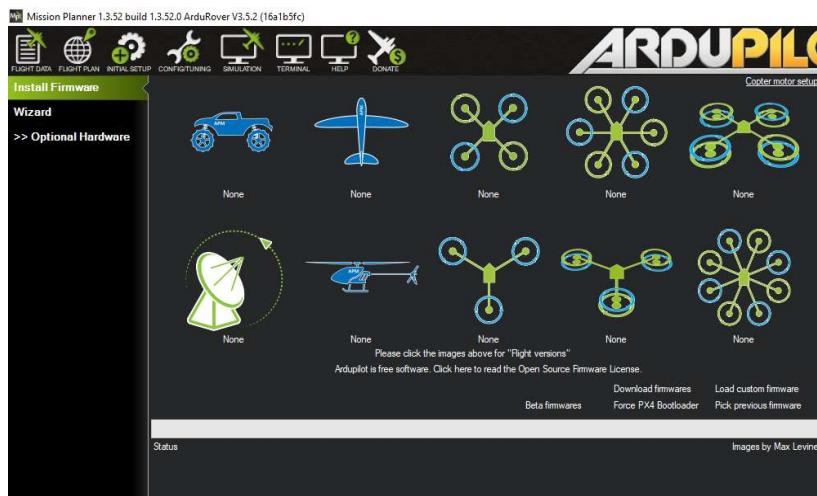
2.3.1 Pengaturan Parameter Kendali Otomatis pada Mission Planner

Pengaturan parameter kendali otomatis pada USV dilakukan pada perangkat lunak Ardupilot Mission Planner. Perangkat lunak ini adalah perangkat lunak yang digunakan untuk mengatur dan memberikan perintah kepada USV. Untuk dapat melakukan pengaturan atau memberi perintah menuju laptop haruslah tersambung (baik dengan kabel maupun nirkabel) dengan melakukan koneksi dari komputer ke USV pada COM ports tertentu seperti yang ditunjukkan **Gambar 2.16**.

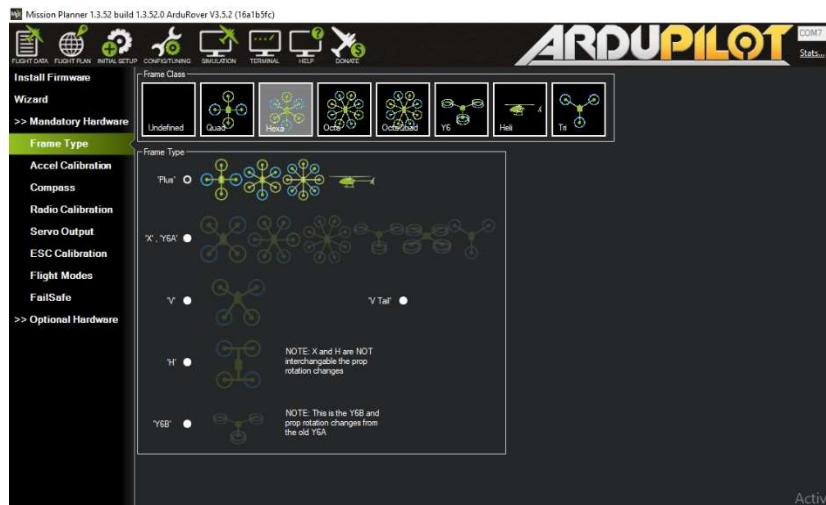


Gambar 2.16. Koneksi Ke Komputer

Dikarenakan Ardupilot Mission Planner adalah perangkat lunak yang dapat digunakan dengan banyak jenis *unmanned system*, sebelum dilakukan pengaturan pertama diharuskan untuk memilih *firmware* sesuai dengan jenis wahana yang digunakan seperti yang ditunjukkan **Gambar 2.17**. Untuk wahana USV digunakan *firmware* ArduRover. Setelah dilakukan pemilihan *firmware*, dilakukan pemilihan *frame* wahana yang akan digunakan (ditunjukkan **Gambar 2.18**). Hal ini dilakukan agar nantinya perintah yang diberikan dapat sesuai antara perangkat lunak dengan sistem yang tersedia pada USV.



Gambar 2.17. Install Firmware



Gambar 2.18. Pemilihan frame

Selanjutnya dilakukan *radio control calibration* seperti yang ditunjukkan **Gambar 2.19** untuk memasukkan *input* dari pergerakan stik/tombol pada *remote control* agar dapat diterima dan diterjemahkan menjadi sebuah perintah oleh sistem GNC. Lalu, dilakukan *accelerometer calibration* seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.20** yang berfungsi untuk melakukan kalibrasi orientasi dari USV menggunakan *input* dari IMU yang sudah terpasang sebagai bawaan dari perangkat Pixhawk 2. Kalibrasi dilakukan dengan menggerakkan perangkat Pixhawk 2 kepada beberapa posisi yang memiliki beda orientasi.



Gambar 2.19. Accelerometer Calibration



Gambar 2.20. Radio Calibration

Lalu, dilakukan *compass calibration* yang dilakukan untuk mengkalibrasi komponen kompas yang terdapat pada sistem navigasi USV seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.21**. Prosedur dari kalibrasi ini mirip dengan kalibrasi sebelumnya dengan menggerakkan perangkat Pixhawk 2 ke beberapa posisi berbeda sesuai dengan instruksi. Selanjutnya, dilakukan pengaturan *flight mode* yang ditunjukkan **Gambar 2.22** untuk melakukan *input* dari saklar (*switch*) dari *remote control* agar dapat diterjemahkan oleh sistem GNC sebagai pergantian mode layar/terbang antara otomatis, manual, *return to launch* (RTL)/kembali ke *home* atau titik nol misi, dan masih banyak mode lainnya.



Gambar 2.21. Compass calibration



Gambar 2.22. Pengaturan flight mode

Setalah itu dilakukan pengaturan mekanisme *failsafe* yang ditunjukkan pada **Gambar 2.23**. Mekanisme ini berfungsi sebagai pengaman dai misi agar wahana dapat kembali secara otomatis ke *home* ketika terjadi hal-hal tertentu yang dapat membahayakan wahana seperti baterai yang sudah lemah (hampir habis) atau sinyal telemetri yang terputus. Perintah *failsafe* ini juga dapat diberikan oleh *ground station* jika dirasa terdapat faktor eksternal yang dapat membahayakan wahana.

Terakhir, dilakukan pengaturan untuk parameter dari sistem kendali kepada sistem propulsi/aktuuator. Pengaturan ini dilakukan pada *tab Full Parameter List* seperti ditunjukkan **Gambar 2.24** dengan memilih *pin SERVO* sesuai yang telah disambungkan kepada sistem propulsi/aktuuator. Selanjutnya, dilakukan pemilihan opsi untuk fungsi aktuator tersebut pada baris *SERVO_FUNCTION*. Pada penelitian ini ditentukan pin untuk sistem propulsi yang digunakan (dua motor) adalah SERVO1 dan SERVO3 dengan opsi yang dipilih sesuai dengan jenisnya yaitu *throttle* (kanan dan kiri). Terdapat pula pengaturan *SERVO_RESERVED* untuk mengubah arah putar/gerak dari *throttle* tersebut. Namun, hal ini tidak perlu diganti pengaturannya apabila telah dilakukan penyesuaian sebelumnya dengan *remote controller* yang mana dapat menggerakkan sistem propulsi tanpa adanya perangkat pixhawk dan melakukan pengaturan arah putar *throttle*.



Gambar 2.23. Mekanisme failsafe



Gambar 2.24. Parameter kendali

2.3.2 Tuning

Pada sistem USV yang telah dikonfigurasi setelan parameter kendalinya, ketika dilakukan tes jalan USV tersebut akan terdapat beberapa masalah pada respon perintah kendali otomatis. Bagian dari sistem GNC yang berfungsi untuk perihal respon kendali ini adalah kontroler *proportional-integral-derivative* (PID) yang pada penelitian ini sudah menjadi satu bagian dengan sistem GNC (pada perangkat Pixhawk 3). Untuk mendapatkan respon kendali yang baik maka harus dilakukan *tuning* atau pemberian nilai parameter koreksi dari respon sistem kendali. Pada penelitian ini dilakukan *tuning* dengan cara *trial and error* dari hasil tes jalan. Untuk hasil dari parameter PID dari USV yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 2.25** dan hasil

dari *tuning* dapat dilihat pula dengan membandingkan trajektori kapal dengan trajektori perintah misi seperti yang ditunjukkan **Gambar 2.26**.



Gambar 2.25. Pengaturan tuning



Gambar 2.26. Hasil Tuning (kuning: jalur rencana misi, ungu: trek USV)

2.4 Survei Batimetri dengan Single Beam Echosounder

Survei batimetri adalah proses penggambaran dasar perairan yang meliputi akusisi data, pengolahan, hingga penyajiannya (Poerbandono & Djunarsjah, 2005). Luaran yang didapatkan dari hasil survei batimetri berupa peta yang menampilkan model permukaan dengan garis-garis kontur atau lebih dikenal dengan peta kontur bawah air. Survei ini dilakukan dengan menggunakan alat sensor akustik untuk penentuan kedalaman dan *receiver* GNSS untuk penentuan posisi horizontal seperti yang telah dijelaskan pada subbab 2.2.5. menggunakan metode RTK. Metode RTK GNSS yang dilakukan pada penelitian di Situ 1 menggunakan koreksi melalui radio dari *receiver* yang terletak pada *benchmark* (*base*) sedangkan penelitian di Situ 2 menggunakan koreksi melalui jaringan internet dari sistem *Continuously Operating Reference Station* (CORS) yang dimiliki oleh Badan Informasi Geospasial. Pada penelitian ini, penentuan posisi horizontal dilakukan menggunakan sistem proyeksi *universal transverse mercator* (UTM) zona 48 S.

Pada alat SBES digunakan pancaran tunggal yang tegak lurus dasar perairan. Gelombang akustik yang dipancarkan ke arah dasar perairan akan merambat melalui kolom air hingga mencapai dasar perairan dan dipantulkan kembali. Pantulan dari gelombang akustik yang diterima nantinya akan dikonversi menjadi gelombang elektrik dan direkam. Hasil dari perekaman tersebut merupakan selang waktu antara gelombang yang dipancarkan dengan gelombang yang dipantulkan. Selanjutnya, dari hasil perekaman selang waktu tersebut dilakukan perhitungan (persamaan 2.1) untuk menghasilkan nilai kedalaman terukur untuk satu titik dari satu *beam* yang dipancarkan. Ilustrasi dari penggunaan alat SBES untuk pengukuran kedalaman dapat dilihat pada **Gambar 2.27.**

$$d = c \cdot \frac{\Delta t}{2} + k + d_r \quad (2.1)$$

Dengan,

D : kedalaman hasil pengukuran

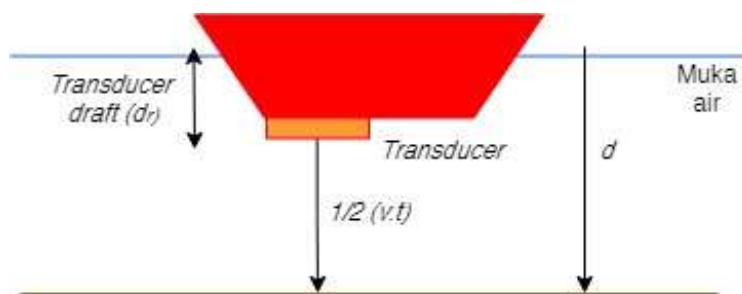
c : kecepatan gelombang akustik pada kolom air,

Δt : selang waktu antara pemancaran dan penerimaan kembali gelombang akustik

k

: konstanta indeks sistem (konstanta yang memuat koreksi dari kesalahan delay pada sistem transducer)

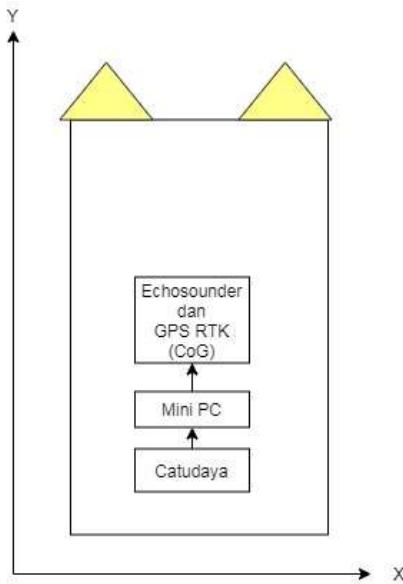
d_r : transducer draft, pergeseran vertikal dari bawah permukaan wahana ke muka air.



Gambar 2.27. Diagram pemeruman dengan SBES

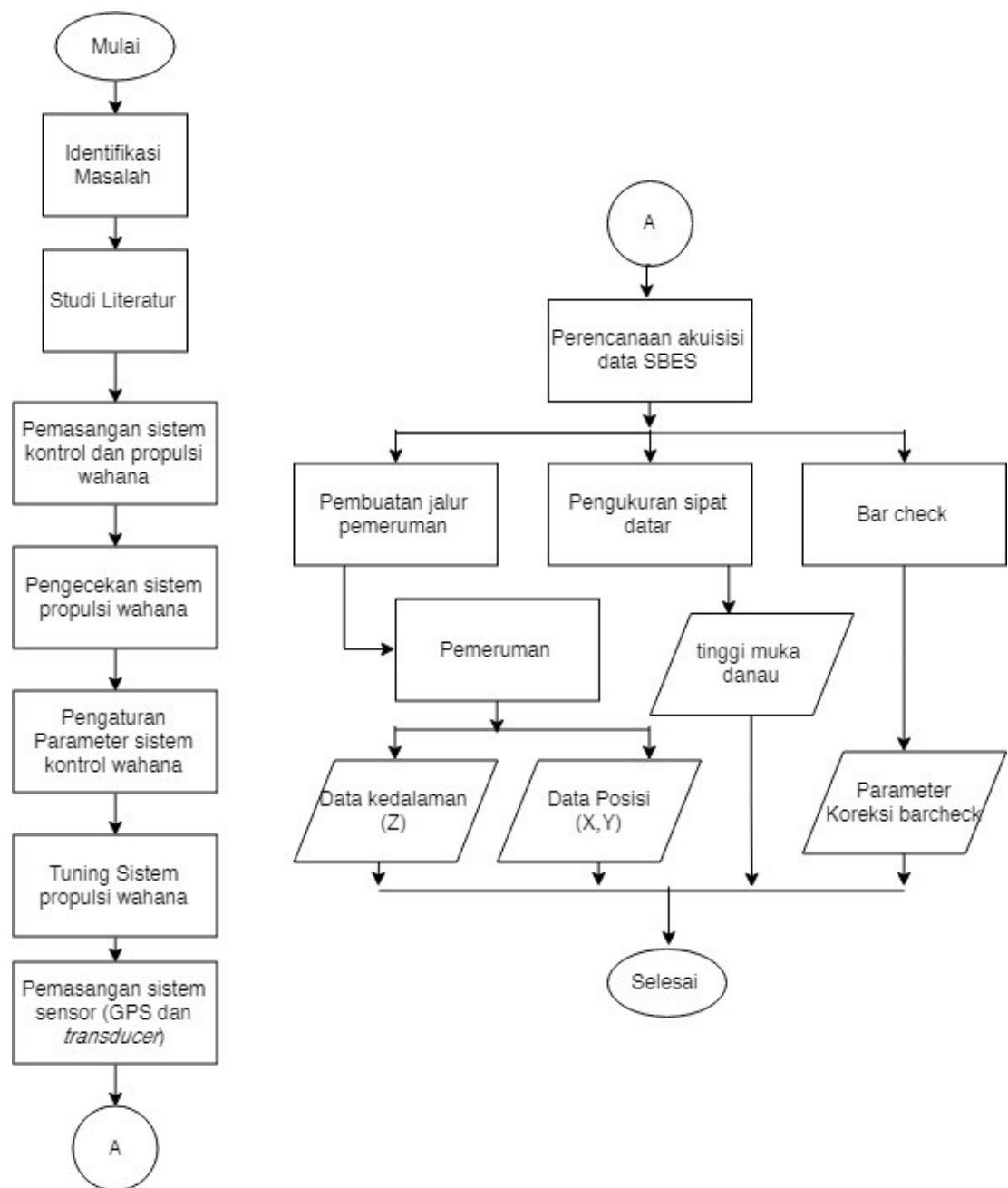
Posisi alat secara horizontal pada kapal selama proses akuisisi ditunjukkan pada

Gambar 2.28. Posisi *transducer* dan posisi *receiver* GPS RTK terletak pada lokasi yang sama yaitu pada *center of gravity* (COG) dari wahana USV.



Gambar 2.28. Posisi alat pada kapal

Untuk alur penggerjaan survei batimetri menggunakan SBES yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 2.29** dan dokumentasi pemeruman menggunakan USV dapat dilihat pada **Lampiran A**.



Gambar 2.29. Diagram alir Survey batimetri dengan SBES

2.4.1 Pembuatan jalur pemeruman

Kegiatan pemeruman (*sounding*) atau survei batimetri diawali dengan penentuan jalur pemeruman. Pemeruman dilakukan dengan membuat potongan dalam bentuk lajur

yang berupa garis-garis lurus pengukuran kedalaman. Lajur ini direncakana sedemikian rupa agar dapat mendekksi perubahan kedalaman yang ekstrim. Pembuatan lajur pemeruman dilakukan pada perangkat lunak Ardupilot Mission Planner.

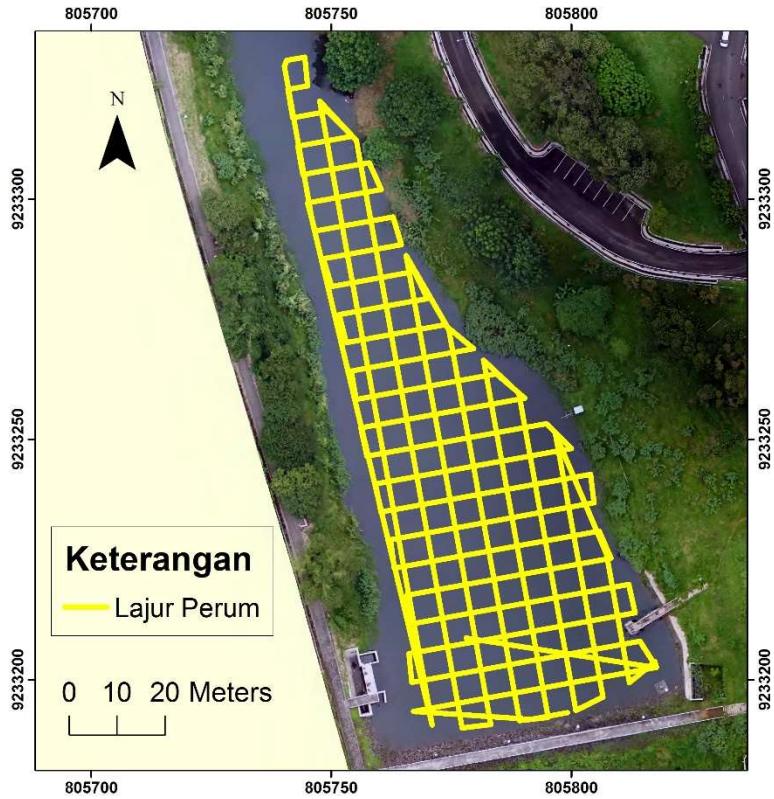
Selanjutnya, lajur pemeruman terdiri dari dua bagian yaitu lajur perum utama dan lajur silang. Lajur utama dibuat dengan tegak lurus garis pantai dengan interval mengikuti pedoman SNI 7646-2010 tentang Survei Hidrografi menggunakan SBES sebesar maksimal satu sentimeter dari skala survei. Oleh karena skala survei pada penelitian ini ditentukan pada 1:600 maka interval antar lajur utama ditentukan sebesar enam meter. Lajur silang ditentukan dengan fungsi untuk uji kualitas dari hasil pemeruman baik ketelitian posisi horizontal maupun vertikal. Lajur silang dibuat dengan membentuk sudut 90° dari lajur utama. Pada penelitian ini digunakan interval antar lajur silang yang sama dengan lajur utama. Untuk visualisasi lajur pemeruman situ 1 dapat dilihat pada **Gambar 2.30** dan untuk situ 2 dapat dilihat pada **Gambar 2.31**. Parameter misi dari lajur pemeruman situ 1 dan situ 2 ditunjukkan secara berturut-turut pada **Tabel 2.7** dan **Tabel 2.8**.

Tabel 2.7. Parameter misi Situ 1

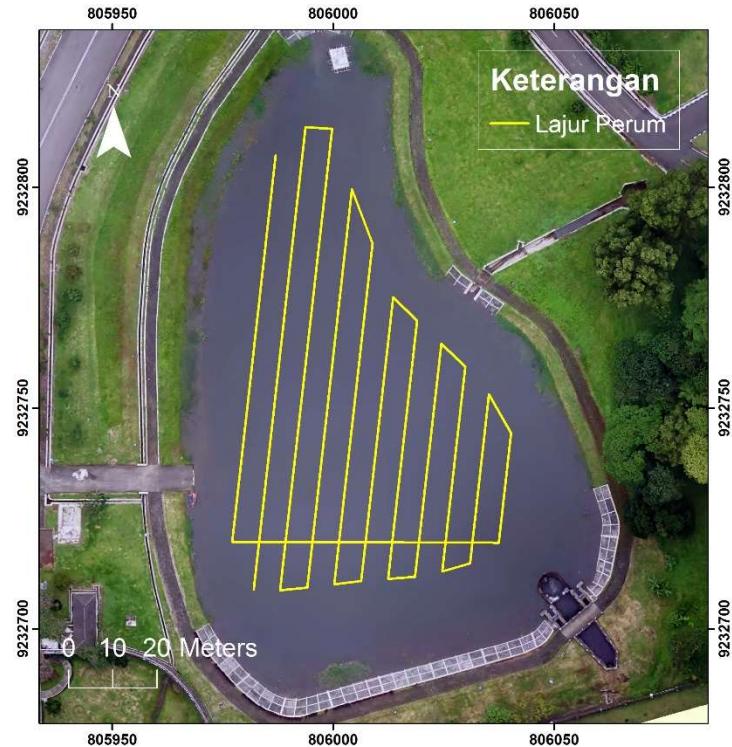
No	Parameter	Nilai
1	Panjang lajur	1,86 km
2	Banyak lajur	35
3	Estimasi Waktu	38'47''
4	Kecepatan kapal	2 m/s

Tabel 2.8. Parameter misi Situ 2

No	Parameter	Nilai
1	Panjang lajur	0,99 km
2	Banyak lajur	11
3	Estimasi Waktu	20'34''
4	Kecepatan kapal	2 m/s



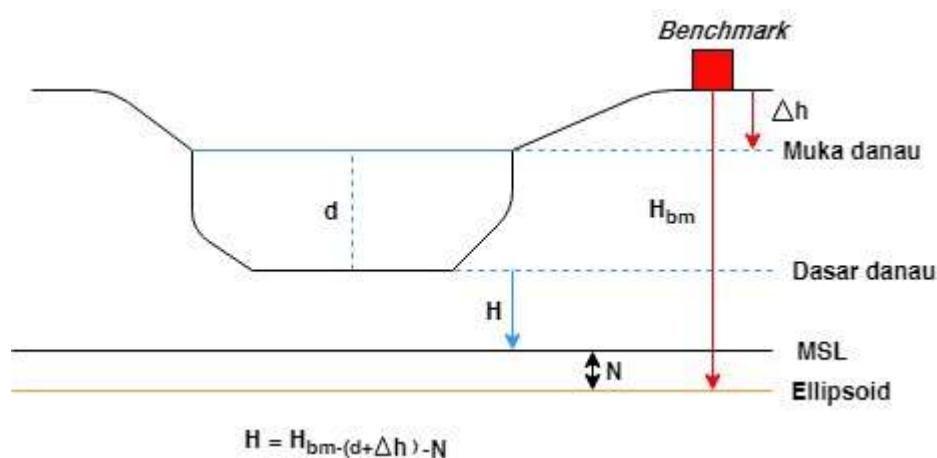
Gambar 2.30. Jalur Pemeruman Situ 1



Gambar 2.31. Jalur Pemeruman Situ 2

2.4.2 Pengikatan tinggi

Pengikatan tinggi dilakukan untuk mendefinisikan permukaan perairan relatif terhadap suatu *benchmark* atau titik referensi yang sudah diketahui koordinatnya. Sehingga dengan dilakukan kegiatan pengikatan tinggi maka kedalaman model kedalaman dasar perairan dapat terdefinisi menjadi model ketinggian terhadap suatu bidang/datum. Visualisasi dari pengikatan tinggi dapat dilihat pada **Gambar 2.32**.



Gambar 2.32. Diagram pengikatan tinggi

Metode pengikatan tinggi yang dilakukan penelitian ini adalah metode RTK GNSS seperti yang telah dijelaskan sebelumnya dan metode sifat datar. Untuk metode sifat datar, kegiatan pengikatan tinggi dilakukan dengan alat *waterpass* dan rambu ukur. Pada penelitian ini digunakan datum vertikal berupa bidang *mean sea level* (MSL) yang memiliki undulasi MSL sebesar 22,786 meter dari tinggi ellipsoid WGS 1984 dengan titik referensi *benchmark* bagi Situ 1 dan Situ 2 yaitu JT-014 dan JT-017 secara berurutan serta titik CSUM untuk metode RTK CORS. Ketiga titik ini memiliki koordinat yang ditunjukkan pada **Tabel 2.9**.

Tabel 2.9. Koordinat titik referensi

<i>Titik</i>	<i>Lintang</i>	<i>Bujur</i>	<i>Tinggi (m)</i>
JT-014	6° 56' 01.28347" S	107° 46' 10.06353" E	741,5374
JT-017	6° 55' 45.68579" S	107° 46' 00.58882" E	760,7581
CSUM	6 ° 51 ' 32.0758" S	107 ° 55 ' 19.1190" E	482,4480

2.4.3 Bar check

Metode *barcheck* dilakukan untuk mengkalibrasi perangkat SBES yang mana perangkat ini mengandung kesalahan dari propagasi gelombang akustik yang melewati kolom air juga kesalahan sistematis dari perangkat SBES. Kegiatan *barcheck* dilakukan dengan menurunkan pelat besi yang dikaitkan dengan tali dan sudah ditandai panjangnya. Setelah diturunkan pelat besi sesuai dengan kedalaman tertentu (yang sudah ditandai), masukkan SBES kedalam air tepat diatas dan tegak lurus pelat besi. Lalu, baca kedalaman terukur oleh perangkat SBES dan bandingkan dengan kedalaman aktual dari pelat besi tersebut. Perbedaan dari kedalaman terukur dan kedalaman aktual ini yang dijadikan sebagai koreksi *barcheck*. Untuk visualisasi dari *barcheck* dapat dilihat pada **Gambar 2.33** dan **Gambar 2.34**.



Gambar 2.33. Diagram Barcheck



Gambar 2.34. Kegiatan barcheck

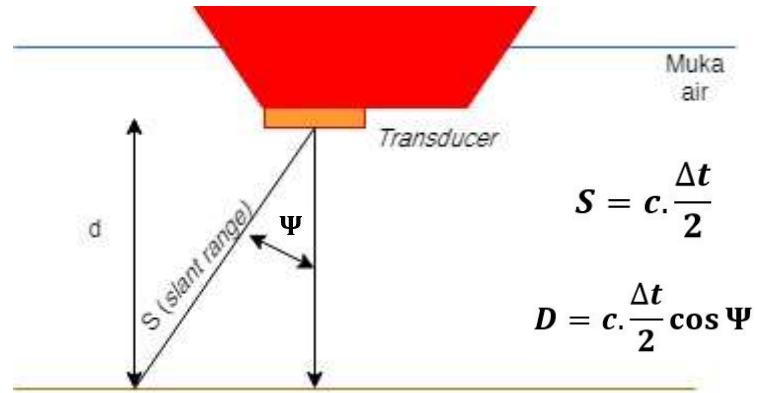
2.5 Survei Batimetri dengan Multi Beam Echosounder

Secara umum perbedaan pada sistem MBES dan SBES adalah jumlah *beam* yang dipancarkan. Pada MBES ada lebih dari satu *beam* yang dipancarkan. Sama seperti dengan SBES, setiap *beam* yang dipancarkan maka akan direkam sebagai satu titik dan semua titik tersebut bila digabungkan akan membentuk profil dasar perairan. Masing-masing pancaran *beam* memiliki kode tertentu untuk selanjutnya dapat dideteksi arah datang gelombang yang dipantulkan dari dasar perairan. Pancaran tersebut memiliki pola melintang dan melebar terhadap badan kapal. Luasan yang melintang tegak lurus terhadap badan kapal disebut juga dengan *swath*. Dimensi dari *swath* ini selanjutnya dikenal dengan lebar *swath* dan cakupan dari *swath* disebut dengan *coverage*.

Prinsip kerja dari MBES ini menggunakan data perekaman beda fase pulsa akustik dan beda waktu antara gelombang yang dipancarkan dengan gelombang yang dipantulkan untuk dapat menentukan kedalaman sesuai dengan persamaan 2.2 dan diilustrasikan pada **Gambar 2.35**.

$$D = c \cdot \frac{\Delta t}{2} \cos \Psi \quad (2.2)$$

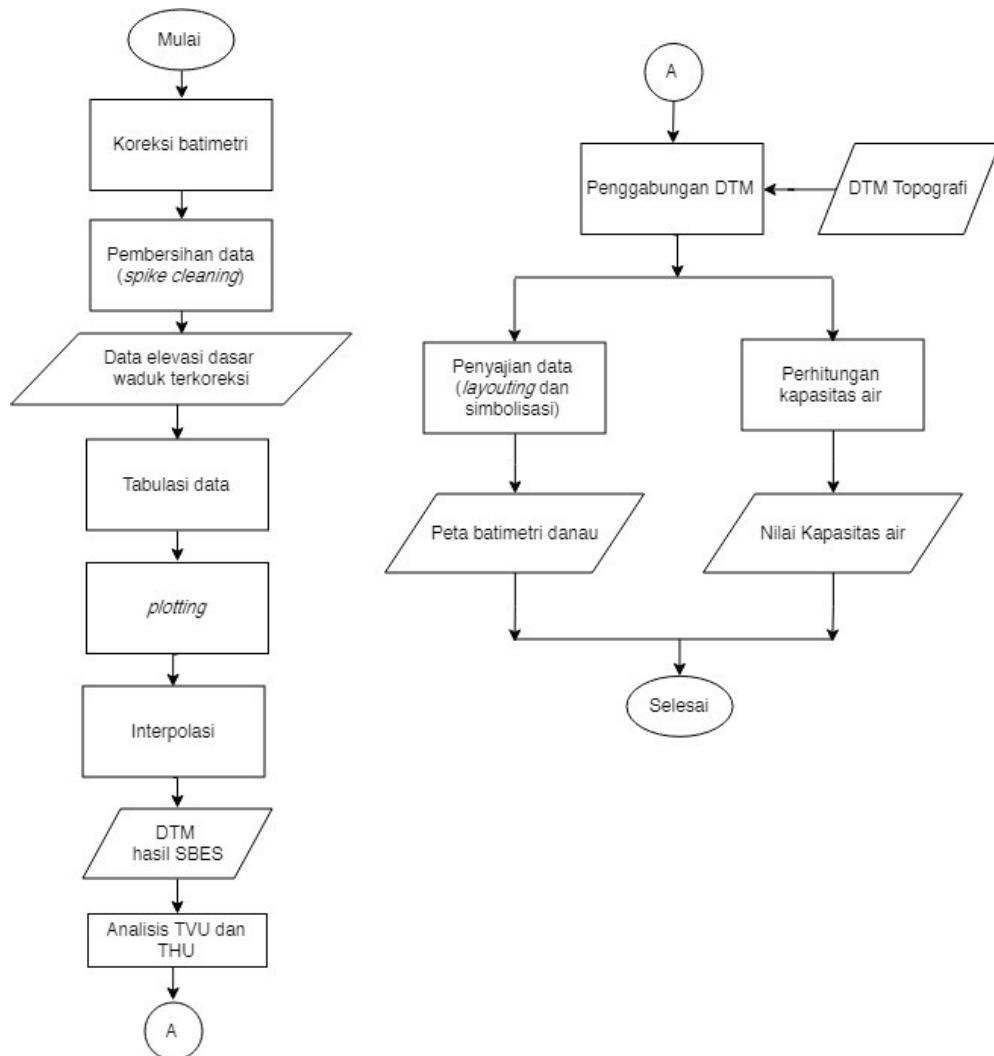
Dengan D adalah kedalaman hasil pengukuran, c adalah kecepatan gelombang akustik pada kolom air, Ψ adalah sudut *swath*, dan Δt adalah selang waktu antara pemancaran dan penerimaan kembali gelombang akustik.



Gambar 2.35. Diagram pemeruman dengan MBES

2.6 Pengolahan Data Single Beam Echosounder

Untuk alur pengolahan survei batimetri menggunakan SBES yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 2.36**



Gambar 2.36. Diagram alir pengolahan data batimetri dengan SBES

2.6.1 Koreksi batimetri

Koreksi batimetri dilakukan dengan menambahkan nilai koreksi kepada nilai kedalaman terukur untuk menghasilkan kedalaman yang akurat.. Mengacu kepada SNI 7646-2010 tentang Survei Hidrografi menggunakan *Single-beam echosounder*, data kedalaman harus dikoreksi dari beberapa sumber kesalahan yaitu:

- a. Kecepatan gelombang suara
- b. Perbedaan waktu dan tinggi pasang surut
- c. Kecepatan kapal
- d. Offset posisi peralatan survei di kapal
- e. Posisi kapal
- f. Sinkronisasi waktu

Pada penelitian ini koreksi batimetri yang dilakukan mencakupi koreksi *barcheck* untuk mengoreksi kesalahan akibat kecepatan gelombang suara, parameter pengikatan tinggi seperti tinggi BM terhadap ellipsoid, beda tinggi BM-0palem, dan elevasi rata-rata (USV); dan *transducer draft* (d_r). Untuk kesalahan selain kecepatan gelombang suara disumsikan nol.

Koreksi kedalaman dari data *bar check* dihitung dengan menggunakan metode *incremental* (USACE, 2002) dikarenakan kecepatan rambat gelombang pada air dianggap sama dengan koreksi kesalahan akibat kecepatan rambat gelombang air pada situ dianggap stabil dan bertambah linear dengan pertambahan kedalaman. dengan menggunakan persamaan berikut,

$$d_c = [((bar_i - bar_{i+1}) \div (rec_i - rec_{i+1})) \times (d_0 - rec_i)] + bar_i \quad (2.3)$$

Dengan,

d_c : kedalaman terkoreksi, d_0 adalah kedalaman observasi (yang akan dikoreksi)

bar_i : kedalaman barcheck ke $- i$

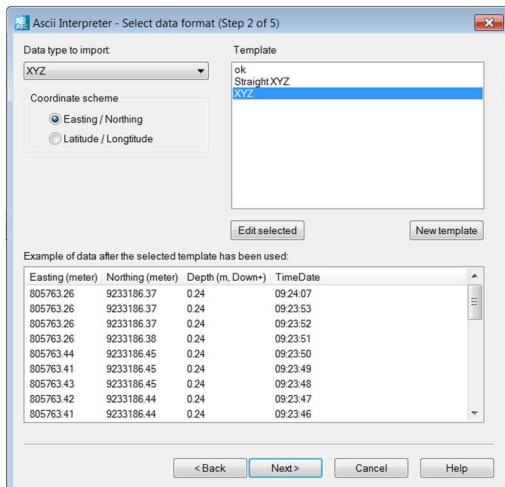
bar_{i+1} : kedalaman barcheck ke $- i + 1$

rec_i : kedalaman echosounder ke $- i$

rec_{i+1} adalah kedalaman echosounder ke $- i + 1$
 $i, i + 1$ adalah nomor kedalaman yang berurutan .

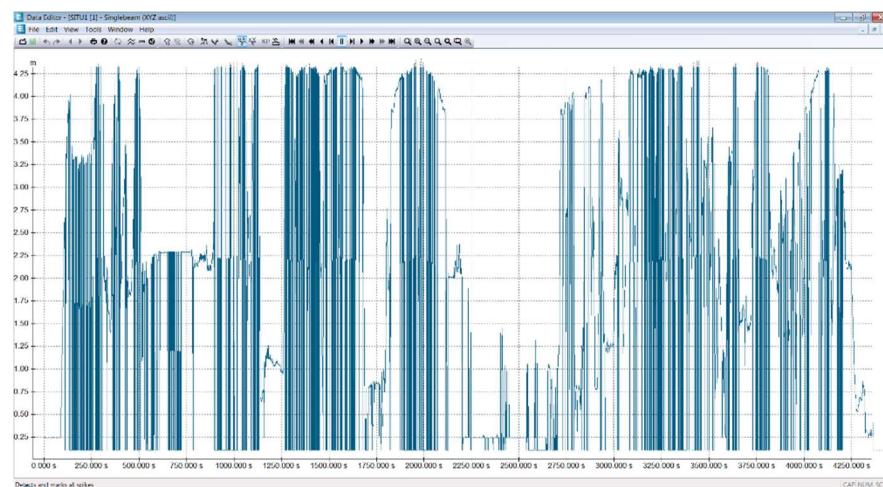
2.6.2 Pembersihan data

Data mentah hasil survei batimeri menggunakan SBES didapatkan dalam bentuk teks ASCII. Data ini berisikan kolom *easting*, *northing*, *depth*, *elevation*, *time*. Data mentah yang akan diolah ini masih memiliki kesalahan berupa *noise* yang harus dihilangkan. Untuk dapat dilakukan pembersihan *noise*, data haruslah di *import* ke pada perangkat lunak NaviEdit, produk bawaan EIVA Navisuite untuk manajemen data survei batimetri. Naviedit berfungsi untuk melakukan manipulasi pada data yang telah diakuisisi menggunakan sensor utama seperti SBES dan sensor sekunder seperti data GPS, dan lain lain. Proses *import* pada Naviedit dilakukan dengan ASCII interpreter seperti yang ditunjukkan **Gambar 2.37** yang berfungsi untuk menerjemahkan data teks agar dapat dikenali oleh perangkat lunak.



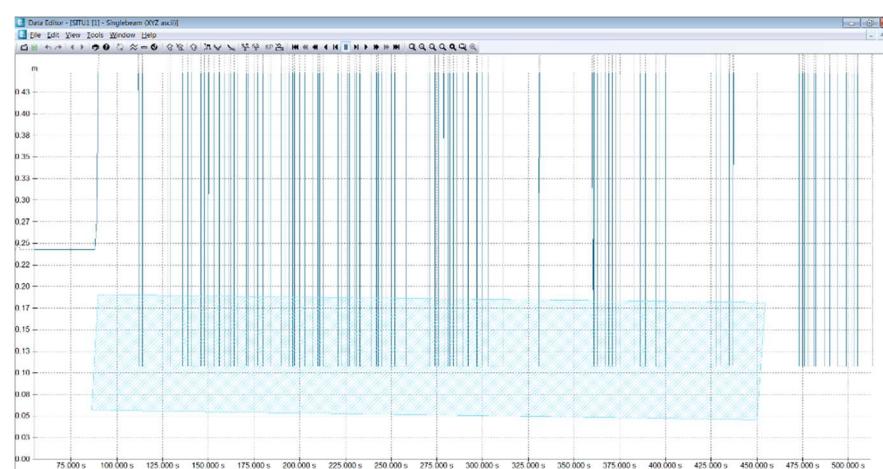
Gambar 2.37. Import ke navedit

Selanjutnya pembersihan dilakukan pada fitur *data editor*, fitur dari Naviedit yang berfungsi untuk memanipulasi data sensor utama. Pada data editor dapat dilihat visualisasi hasil dari pemeruman dengan *plot* berupa sumbu vertikal kedalaman dalam meter dan sumbu horizontal berupa waktu pengambilan data dalam detik seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.38**.



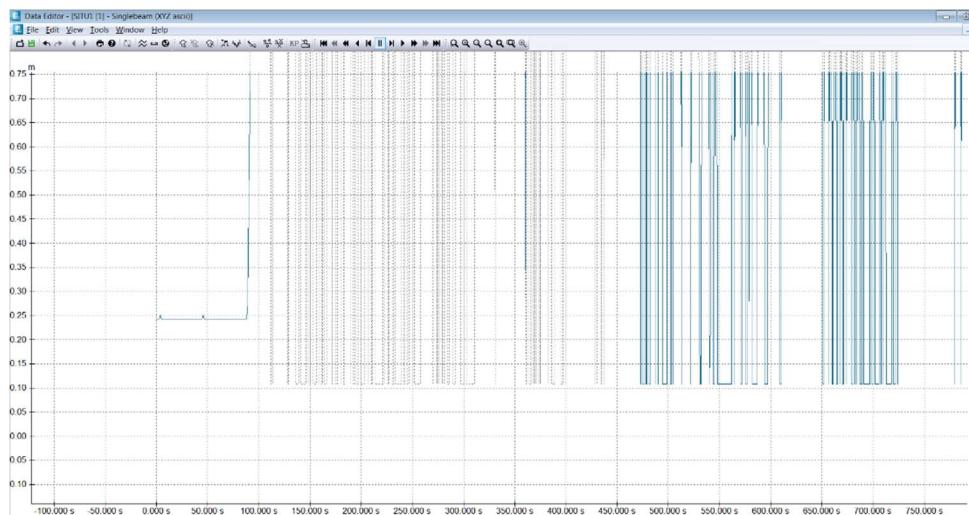
Gambar 2.38. Tampilan data editor

Sebuah *spike* dapat diidentifikasi dari secara kasar dari perubahan tinggi yang sangat ekstrim dan/atau kedalaman yang tidak wajar. Setelah diidentifikasi, *spike* ditandai dengan *region* seperti yang ditunjukkan **Gambar 2.39**.



Gambar 2.39. Pembersihan spike

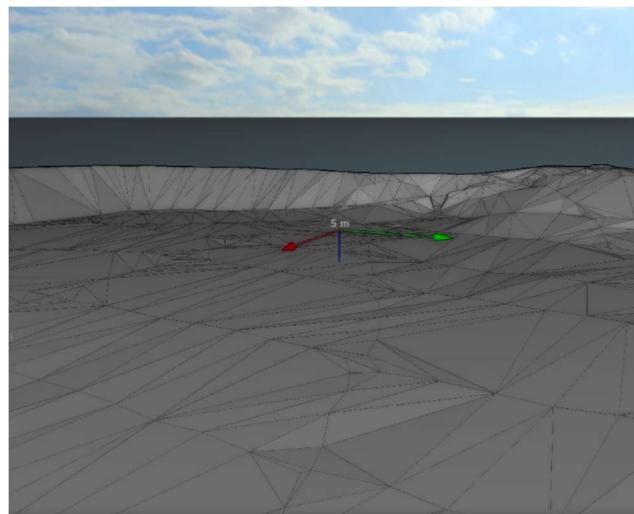
Selanjutnya, hapus data *noise* yang termasuk pada region tersebut dengan fitur *delete* sehingga *noise* terhapus seperti ditunjukkan **Gambar 2.40**. Lalu setelah dilakukan pembersihan data, hasil dari pembersihan di *export* kedalam format .XYZ untuk selanjutnya dapat dibentuk model permukaan.



Gambar 2.40. Spike berhasil dibersihkan

2.6.3 Interpolasi

Interpolasi dilakukan untuk memprediksi nilai dari kedalaman pada suatu titik yang tidak diukur namun masih dalam area yang tercakup pada pengamatan. Untuk interpolasi data SBES digunakan metode *triangulated irregular network* (TIN). TIN merepresentasikan permukaan sebagai suatu kumpulan segitiga tidak beraturan yang berkelanjutan, tidak bertampalan, dan berhubungan satu sama lain. Pada metode ini setiap permukaan segitiga akan menyesuaikan dimensi dengan segitiga lain di sekitarnya. Setiap ujung dari segitiga yang membentuk model TIN ini identik dengan titik hasil pemeruman dan pada setiap segitiga permukaan (model) akan direpresentasikan dalam suatu bidang. Penggunaan model TIN untuk interpolasi data SBES dilakukan dikarenakan metode ini baik dalam menggambarkan perubahan tinggi dari lereng lebih baik (EIVA,2011). Untuk interpolasi dilakukan pada perangkat lunak Navimodel, produk bawaan EIVA Navisuite yang berfungsi untuk membentuk model permukaan digital atau *digital terrain model* (DTM). Untuk ilustrasi dari model TIN dapat dilihat pada **Gambar 2.41**.

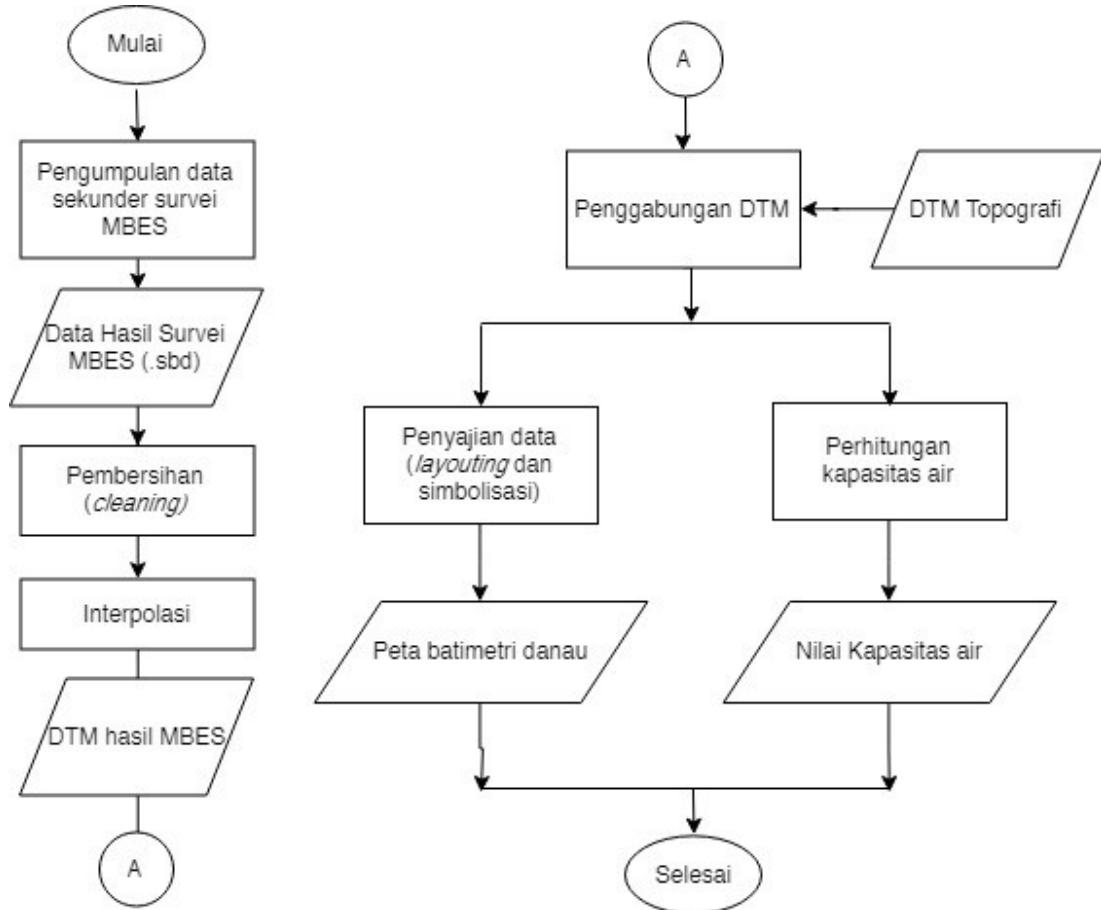


Gambar 2.41. Visualisasi TIN

Selanjutnya dari hasil model TIN yang telah dibentuk, dapat dilakukan manipulasi pada model TIN seperti penghapusan permukaan segitiga untuk mendapatkan model yang menyerupai bentuk aslinya dengan menggunakan fitur TIN editor. Setelah selesai didapatkan model yang telah dimanipulasi selanjutnya dibuat garis kontur dari model tersebut dengan fitur *create contour*.

2.7 Pengolahan Data Multi Beam Echosounder

Untuk alur pengolahan data batimetri menggunakan MBES yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 2.42**



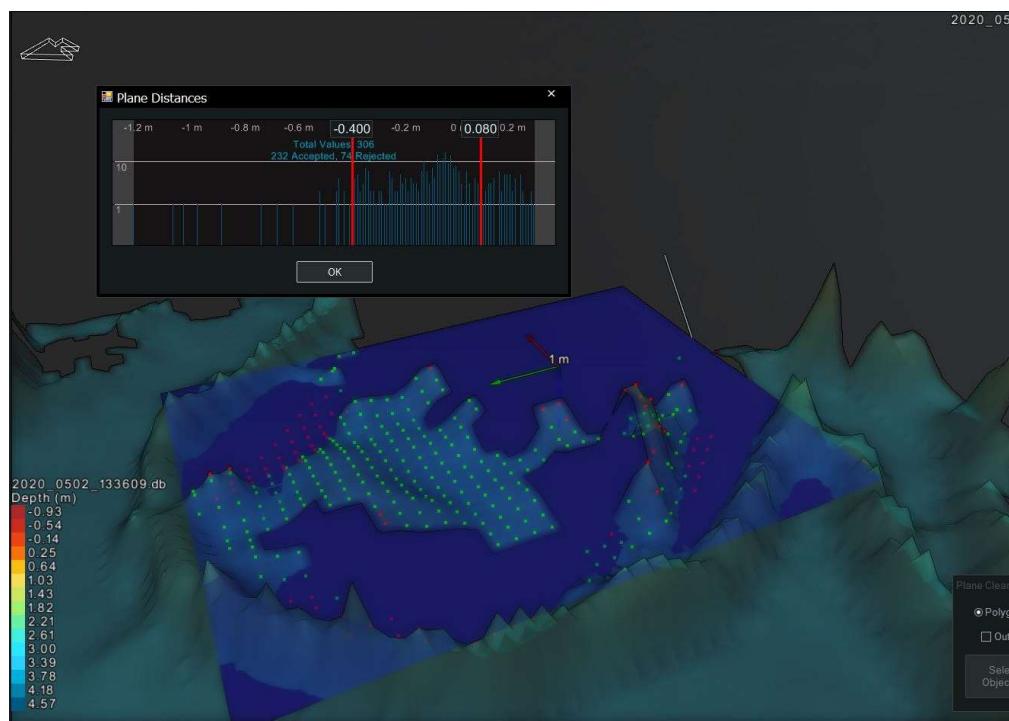
Gambar 2.42. Diagram alir pengolahan data batimetri dengan MBES

Pengolahan data MBES pada penelitian ini diawali dengan menampilkan *digital terrain model* (DTM) pada perangkat lunak Navimodel. Data hasil survei MBES diimport pada Naviedit terlebih dahulu untuk membentuk basis data bersama dengan data SBES. Selanjunya Naviedit dihubungkan dengan perangkat lunak Navimodel lalu dibentuk DTM dari data hasil perum tersebut. Setelah dihubungkan, data MBES diimport dengan fitur import MBE points to DTM lalu pilih direktori *output fail* DTM dan nilai *cell size* dari DTM yang akan dibentuk. Pada awal DTM terbentuk, aktifkan model DTM dengan *set as active* agar dapat mulai mengolah DTM yang dipilih aktif.

2.7.1 Pembersihan data

Sama seperti pada data SBES, pembersihan data dilakukan untuk menghilangkan *noise*. Pembersihan data dilakukan pada Navimodel menggunakan *point cleaning toolbox* yang dapat membersihkan data secara otomatis, semi-otomatis, dan manual. Pada penelitian ini pembersihan data dilakukan secara semi-otomatis dan manual menggunakan *tools* sebagai berikut:

- a. *Histogram plane cleaning*, membersihkan data pada suatu daerah di dalam poligon yang dibentuk. Pembersihan data dilakukan dengan mengatur nilai ambang batas dari histogram yang menunjukkan frekuensi dari ketinggian. Data yang berada diluar ambang batas akan dihapus. Ilustrasi dari pembersihan dengan *tools* ini ditunjukkan pada **Gambar 2.43**.
- b. *Histogram spike shooting*, membersihkan data pada suatu daerah yang berupa lingkatan dengan radius tertentu. Pembersihan data dilakukan dengan prinsip yang sama dengan *histogram plane cleaning*.
- c. *Reject cleaning tools* untuk membersihkan secara manual dengan memilih data yang akan dihapus dalam bentuk sebuah poligon.

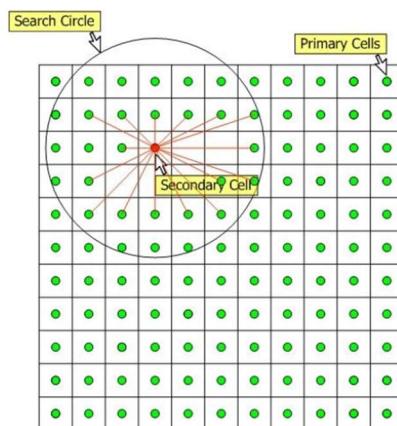


Gambar 2.43. Histogram plane cleaning

2.7.2 Interpolasi

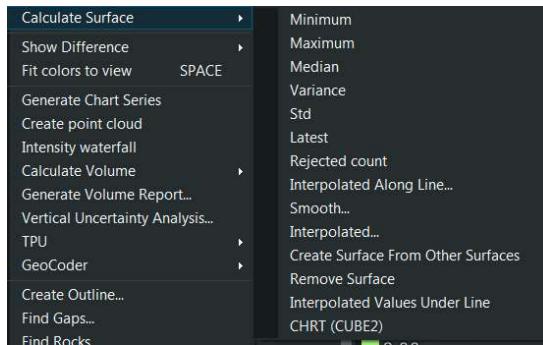
Untuk mengisi beberapa daerah didalam cakupan survei yang tidak memiliki nilai kedalaman dilakukan interpolasi. Interpolasi pada data MBES pada penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan model *triangulated regular network* (TRN).

Visualisasi dari pendekatan ini dapat dilihat pada **Gambar 2.44**.



Gambar 2.44. Interpolasi pendekatan TRN

Pada **gambar 46** terdapat tiga elemen yaitu *primary cells*, *secondary cell*, dan *search circle*. Data pemerulan ditunjukkan pada *primary cells* dan titik yang ingin dicari nilainya ditunjukkan pada *secondary cell*. Proses interpolasi dilakukan dengan radius tertentu disekitar *secondary cells* ditunjukkan dengan *search circle*. Selanjutnya, proses interpolasi dimulai dengan pencarian *primary cells* didalam *search circle*. Setelah didapatkan satu atau lebih *primary cells* dalam *search circle*, nilai *secondary cells* dapat ditentukan dengan rata-rata berbobot (*weighted average*) dari nilai-nilai *primary cells*. Interpolasi dengan pendekatan model TRN dilakukan dengan menggunakan fitur *calculate surface* seperti yang ditunjukkan **Gambar 2.45**.



Gambar 2.45. Calculate surface

2.8 Uji Ketelitian

Uji ketelitian yang dilakukan dari hasil pemetaan batimetri dilakukan pada daerah yang diukur lebih dari satu kali atau bertampalan dengan asumsi nilai pada daerah tersebut haruslah bernilai sama. Pada survei batimetri terdapat standar IHO-S44 yang ditentukan sebagai standar batas toleransi maksimal kesalahan dari data batimetri seperti yang tercantum pada **Tabel 2.10**.

Tabel 2.10. Standar S-44 IHO edisi 5 (2008)

Orde	Spesial	1a	1b	2
Daerah Survei	Pelabuhan, tempat, tempat sandar kapal, dan daerah yang kritis (berbahaya bagi keselamatan navigasi) dengan cakupan batimetri 100% dan kedalaman hingga 40 meter	Perairan cukup dangkal hingga kedalaman 100 meter dengan cakupan batimetri 100% namun tidak lebih kritis dari orde spesial	Area perairan dengan kedalaman hingga 100 meter yang tidak memerlukan cakupan batimetri 100% karena karakteristik dasar laut yang tidak kritis	Area perairan dengan kedalaman lebih dari 100 meter dan tidak dibutuhkan cakupan batimetri 100 %
Toleransi Ketidakpastian Horizontal/THU(tingkat kepercayaan 95%)	2 meter	5 meter + 5% kedalaman	5 meter + 5% kedalaman	20 meter + 10% kedalaman
Toleransi Ketidakpastian Vertikal/TVU (tingkat kepercayaan 95%)	$a = 0,25;$ $b = 0,0075$	$a = 0,5;$ $b = 0,013$	$a = 0,5;$ $b = 0,013$	$4 \times \text{kedalaman rata-rata}$

Untuk toleransi ketidakpastian vertikal seperti tercantum pada tabel x. dapat dilakukan perhitungan nilai toleransi dengan menggunakan persamaan 2.4 berikut:

$$TVU = \pm \sqrt{a^2 + (b \times d)^2} \quad (2.4)$$

Dengan,

a : faktor yang tidak bergantung kedalaman

b : faktor yang bergantung kedalaman

d : nilai kedalaman rata – rata

Nilai toleransi yang didapatkan dari perhitungan untuk masing-masing orde selanjutnya dibandingkan dengan nilai kesalahan baku dengan tingkat kepercayaan 95%. Kesalahan baku merupakan nilai simpangan dari rata-rata data dan dapat dirumuskan seperti pada persamaan (2.5).

$$SE = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.5)$$

Dengan,

SE : kesalahan baku

σ : simpangan baku

n : jumlah data

Semakin menyimpang nilai sebuah data dari rata-ratanya, maka semakin tidak presisi data tersebut. Tingkat kepercayaan 95% berarti nilai data yang diterima memiliki probabilitas 95% untuk dapat dinyatakan tidak salah. Tingkat kepercayaan 95% biasa digunakan oleh surveyor untuk mengidentifikasi adanya outlier (Ghilani&Wolf, 2006). Probabilitas 95% sebaran data yang dinyatakan dapat diterima memiliki rentang sesuai dengan kesalahan baku ($\pm\sigma$). Rentang ini disebut rentang kepercayaan yang dapat ditentukan dengan perhitungan menggunakan persamaan 2.6.

$$CI = z \times SE \quad (2.6)$$

Dengan,

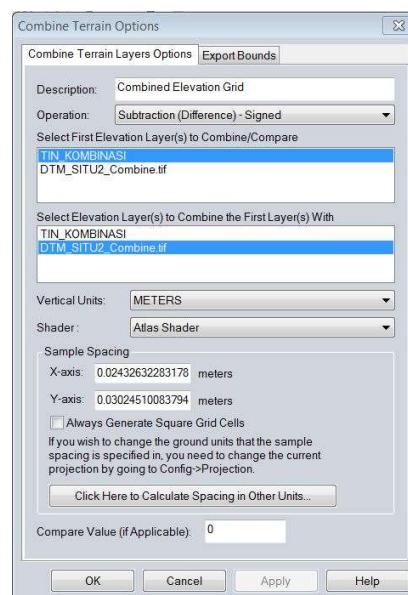
z : nilai dari tabel distribusi normal (atau t student) untuk tingkat kepercayaan tertentu

SE : nilai kesalahan baku

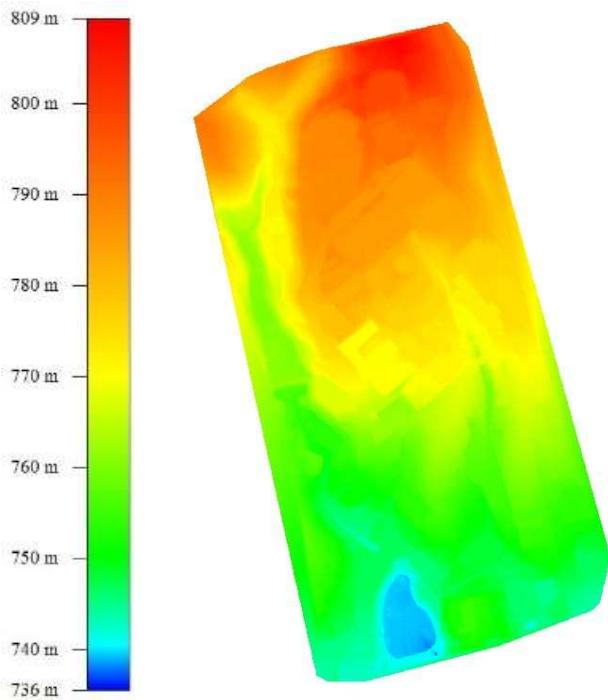
Pada penelitian ini dikarenakan hanya data pengolahan data *singlebeam echosounder* saja yang dilakukan uji ketelitian maka untuk orde yang diuji ketelitiannya hanya orde 1b dan orde 2. Hal ini dikarenakan daerah survei yang tidak tercakupi 100% tidak memenuhi syarat orde khusus dan orde 1a.

2.9 Penggabungan DTM

Untuk dapat melingkupi seluruh luasan daerah survei maka dilakukan integrasi antara data DTM hasil batimetri dan DTM topografi oleh Laboratorium survei dan pemetaan dan KK InSIG FITB ITB. Data DTM topografi merupakan data sekunder hasil dari pengolahan data dari survei LiDAR. Data hasil batimetri memiliki resolusi 1 meter sedangkan data topografi memiliki resolusi 0,03 m. Untuk melakukan penggabungan DTM, dilakukan *resampling* data batimetri agar memiliki resolusi yang sama dengan data topografi yaitu 0,03 meter. Selanjutnya dilakukan proses mosaik atau penggabungan kedua DTM ini pada perangkat lunak global mapper. Penggabungan dilakukan dengan menggunakan fitur *combine terrain layer* seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.46** dengan menggunakan operasi *minimum elevation*. Operasi ini bekerja dengan memilih nilai elevasi paling kecil dari dua DTM sebagai nilai DTM hasil kombinasi. Operasi ini tepat untuk dapat mengubah nilai dari DTM Lidar menjadi nilai DTM batimetri pada bagian badan air. Ilustrasi dari DTM topografi ditunjukkan pada **Gambar 2.47**.



Gambar 2.46. Combine terrain



Gambar 2.47. DTM ITB Jatinangor
(Laboratorium survei dan pemetaan dan KK InSIG FITB ITB)

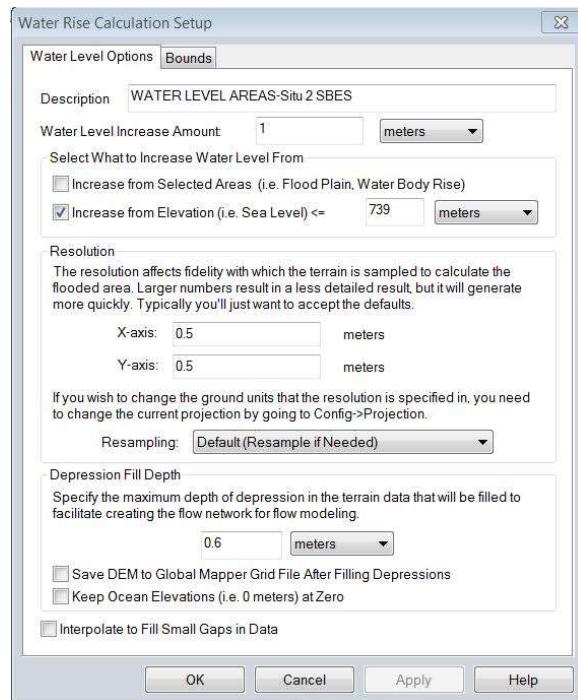
2.10 Perhitungan Kapasitas Air

Perhitungan kapasitas air dilakukan pada perangkat lunak Global Mapper dengan mengurangi dua permukaan model. Pada penelitian ini, permukaan model yang digunakan adalah permukaan hasil DTM batimetri dan permukaan bidang acuan berupa muka air sesaat (tinggi muka air ketika pintu air terbuka) serta bidang sejajar tinggi puncak bendung (tinggi muka air ketika pintu air tertutup). Permukaan bidang acuan yang dimaksud memiliki tinggi seperti tercantum pada **Tabel 2.11**.

Tabel 2.11. Tinggi Muka acuan perhitungan kapasitas tumpang air

Situ	Tinggi Muka Acuan dari MSL (m)	
	Pintu air terbuka	Pintu air tertutup
Situ 1	737	738
Situ 2	717	719

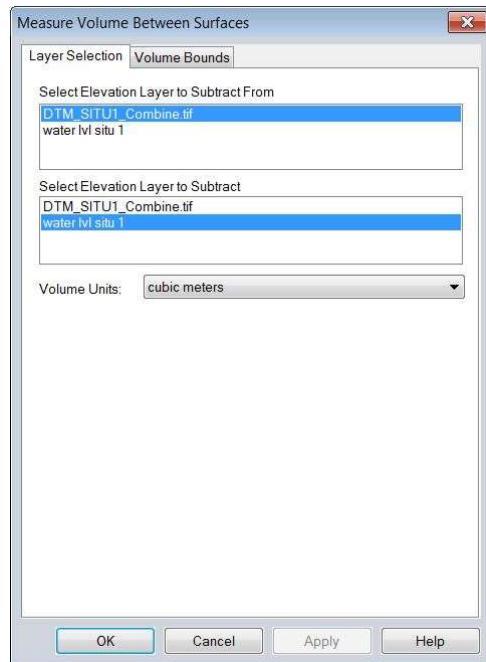
Pertama dibentuk model simulasi permukaan muka air tergenang sesuai dengan tinggi muka air (ketika pintu terbuka maupun pintu tertutup) seperti yang ditunjukkan **Gambar 2.48.**



Gambar 2.48. Pembentukan model muka air sesaat

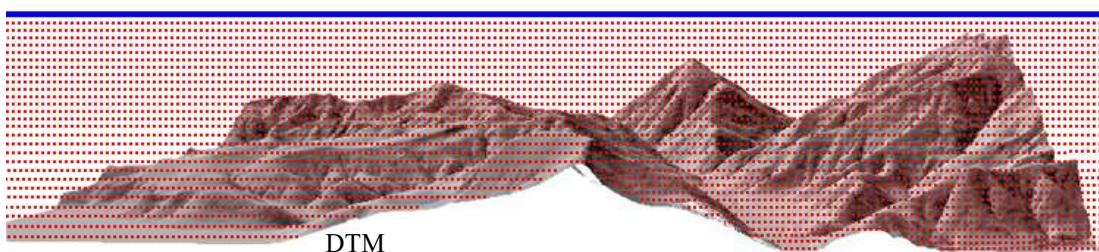
Selanjutnya dilakukan perhitungan volume menggunakan fitur *measure volume between surface* seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.49**. Prinsip dari perhitungan kapasitas dengan fitur ini adalah dengan menjumlahkan nilai beda ketinggian pada tiap sel dikalikan dengan nilai luas tiap sel tersebut mengikuti persamaan 2.7. Visuisasi perhitungan kapasitas tampung air ditunjukkan pada **Gambar 2.50**.

$$\text{Kapasitas (volume)} = \text{luas sel} \times (\text{tinggi muka air} - \text{tinggi dtm}) \quad (2.7)$$



Gambar 2.49. Perhitungan kapasitas tumpang (volume)

Model muka air sesaat



Gambar 2.50. Visualisasi perhitungan Kapasitas air (volume)

Bab 3

Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Koreksi Batimetri

Koreksi kedalaman *bar check* dilakukan dengan tabulasi dari hasil perbandingan antara kedalaman sebenarnya (*bar check*) terhadap kedalaman terukur seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1. Tabel Hasil barcheck

No	Kedalaman <i>barcheck</i> (m)	Kedalaman <i>echosounder</i> (m)
1	0,5	0,345
2	1	0,885
3	1,5	1,38

Dari **Tabel 3.1** dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 2.3 dan dihasilkan persamaan koreksi kedalaman yang dapat dilihat pada persamaan 3.1.

$$d_c = 0,9656d_o + 0,1599 \quad (3.1)$$

Dengan,

dc : kedalaman yang telah terkoreksi

do : kedalaman terukur

Maka dengan memasukkan nilai kedalaman terukur kepada persamaan 3.1 dapat dilakukan koreksi kedalaman *bar check* yang dilakukan terhadap kesalahan kecepatan rambat gelombang suara dan konstanta indeks (USACE, 2002). Untuk parameter pengikatan tinggi didapatkan nilai hasil sifat datar (beda tinggi BM-0palem) dan hasil pengukuran GNSS (elevasi rata-rata USV) yang kemudian kedua nilai tersebut nantinya akan dibandingkan hasilnya.

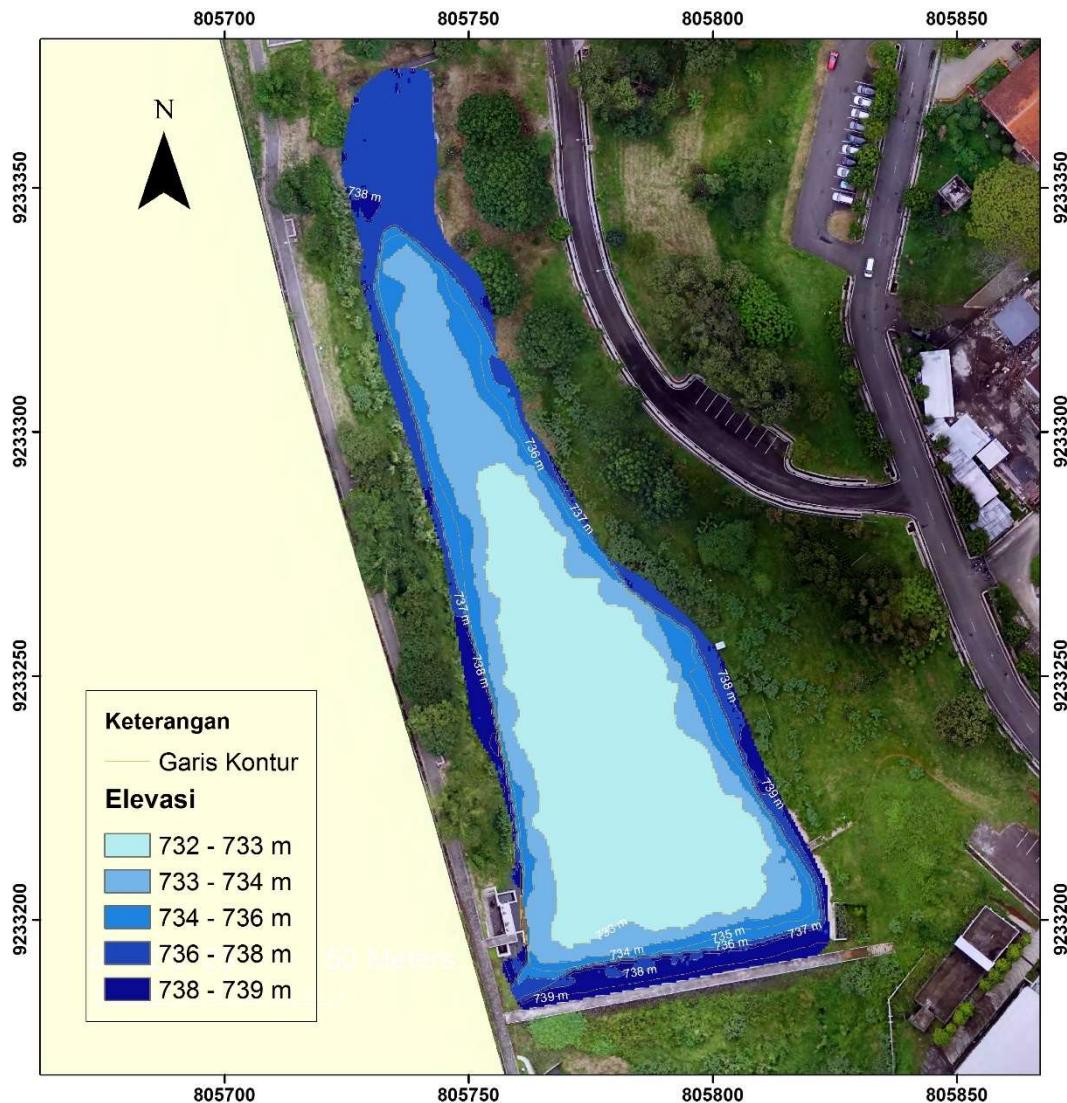
Selanjutnya untuk nilai dari koreksi batimetri dapat dilihat pada **Tabel 3.2.**

Tabel 3.2. Koreksi baimetri

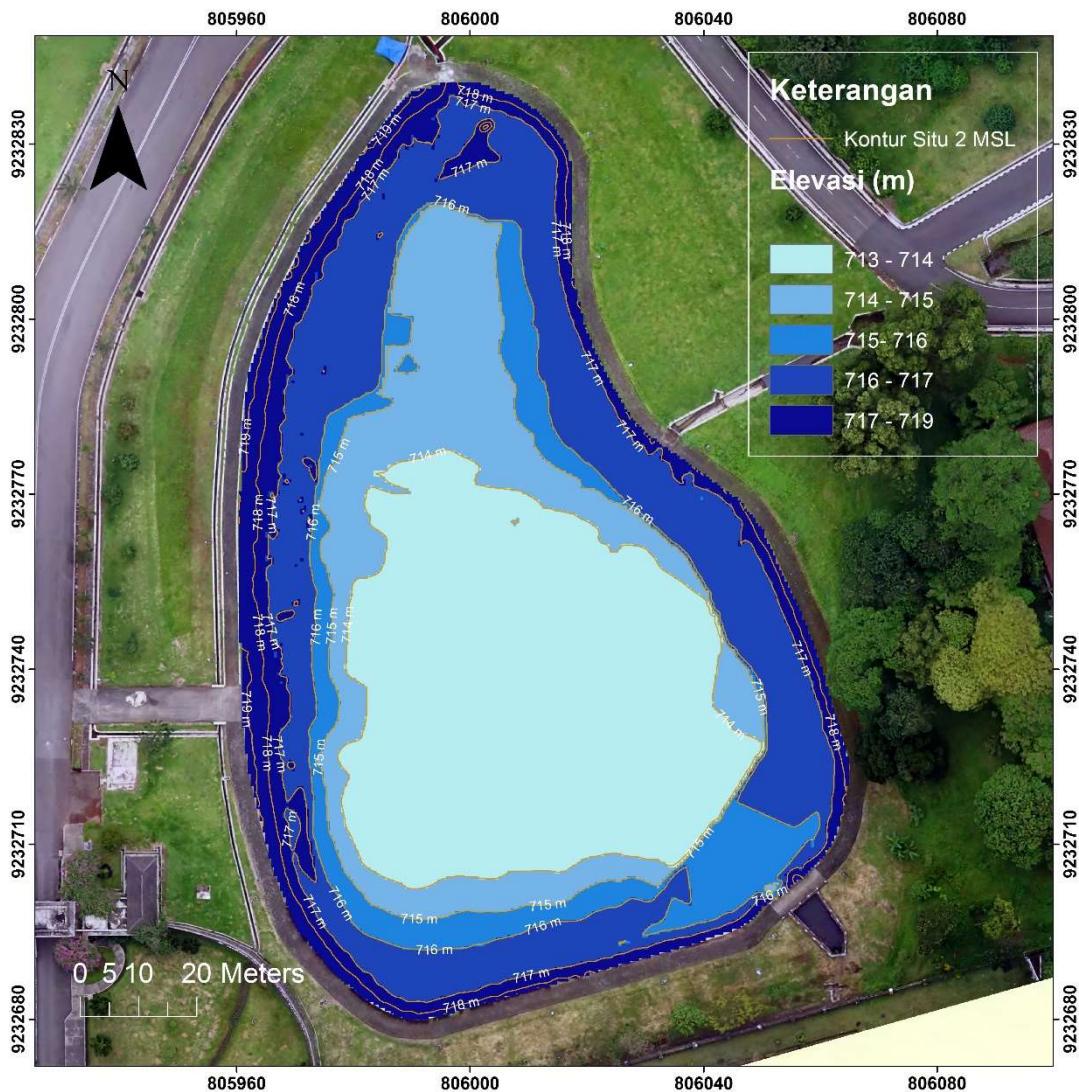
Koreksi Batimetri	Nilai (m)
<i>Transducer draft</i>	0,052
Beda tinggi BM-Opalem (Situ 1)	-0,8295
Tinggi BM (Situ 1)	760,7581
Beda tinggi BM-Opalem (Situ 2)	-1,8195
Tinggi BM (Situ 2)	741,5374

3.2 Hasil Batimetri dan Perhitungan Kapasitas Air Menggunakan Single Beam Echosounder

Hasil dari pemetaan batimetri berupa peta kontur bawah perairan yang didapatkan dari pengolahan data untuk Situ 1 ditunjukkan pada **Gambar 3.1** dan untuk Situ 2 ditunjukkan pada **Gambar 3.2**.



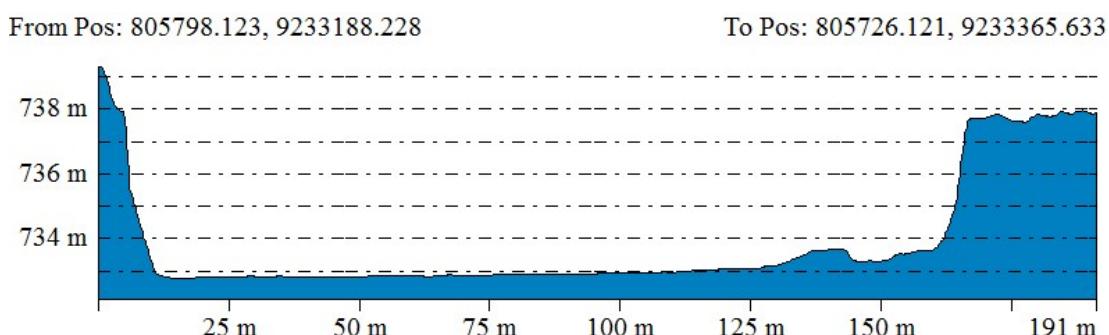
Gambar 3.1. Peta Batimetri Situ 1 Kampus ITB Jatinangor



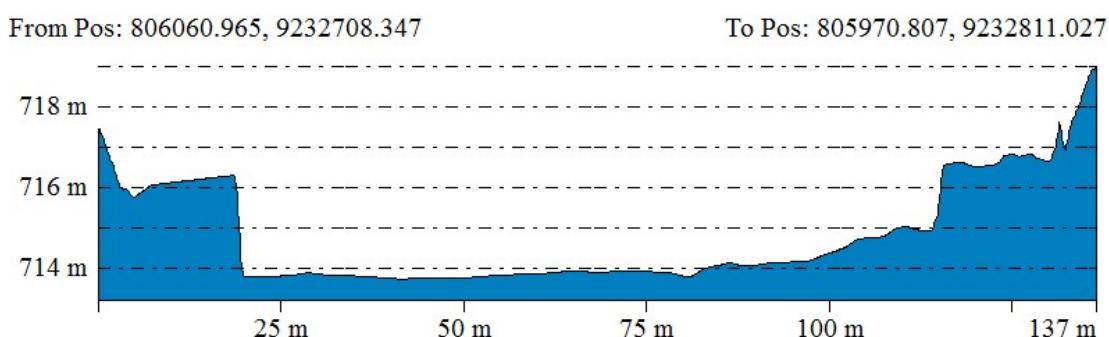
Gambar 3.2. Peta Batimetri Situ 2 Kampus ITB Jatinangor

Seperti yang dapat dilihat pada gambar, hasil dari pemeruman Situ 1 dihasilkan peta batimetri dengan rentang elevasi dasar situ sebesar 755 meter (minimal) hingga 762 meter (maksimal) terhadap bidang ellipsoid WGS 1984. Sementara, hasil dari pemeruman Situ 2 dihasilkan rentang dasar situ sebesar 736 meter (minimal) hingga 732 (maksimal). Peta disajikan dalam sistem proyeksi *universal transverse mercator* zona 48 S. Kemudian disajikan pula kontur dengan interval kontur tiga meter dan visualisasi daerah sekitar Situ berupa ortofoto yang didapatkan dari Laboratorium survei dan pemetaan dan KK InSIG FITB ITB.

Kedua situ memiliki profil yang ditunjukkan pada **Gambar 3.3** dan **Gambar 3.4**.



Gambar 3.3. Profil Situ 1



Gambar 3.4. Profil Situ 2

Ketelitian dari kedua hasil pemeruman ini selanjutnya digolongkan kepada beberapa orde sesuai dengan *Standards for Hydrography Surveys (IHO) 4th Edition, SP.44, 2008* dengan hasil seperti ditunjukkan pada **Tabel 3.1** dan **Tabel 3.2** untuk Situ 1 serta **Tabel 3.3** dan **Tabel 3.4** untuk Situ 2.

Tabel 3.3. Uji kualitas vertikal Situ 1

Area Sampel	Akurasi Vertikal CI95% ± (meter)	TVU Orde ± (meter)	
		1b	2
1	0,02	0,50	17,30
2	0,02	0,50	17,16
3	0,02	0,50	16,91
4	0,01	0,50	16,38
5	0,01	0,50	17,26

Tabel 3.4. Uji Kualitas horizontal Situ 1

Area Sampel	Akurasi Horizontal Cl95% ± (meter)	THU Orde ± (meter)	
		1b	2
1	1,34	5,22	20,43
2	1,29	5,21	20,43
3	1,02	5,21	20,42
4	0,95	5,20	20,41
5	2,04	5,22	20,43

Tabel 3.5. Uji Kualitas Vertikal Situ 2

Area Sampel	Akurasi Vertikal Cl95% ± (meter)	TVU Orde ± (meter)	
		1b	2
1	0,01	0,50	12,69
2	0,02	0,50	12,31
3	0,40	0,50	11,76
4	0,40	0,50	11,51
5	0,02	0,50	12,56

Tabel 3.6. Uji Kualitas Horizontal Situ 2

Area Sampel	Akurasi Horizontal Cl95% ± (meter)	THU Orde ± (meter)	
		1b	2
1	0,97	5,16	20,32
2	1,23	5,15	20,31
3	1,23	5,15	20,29
4	1,08	5,14	20,29
5	0,99	5,16	20,31

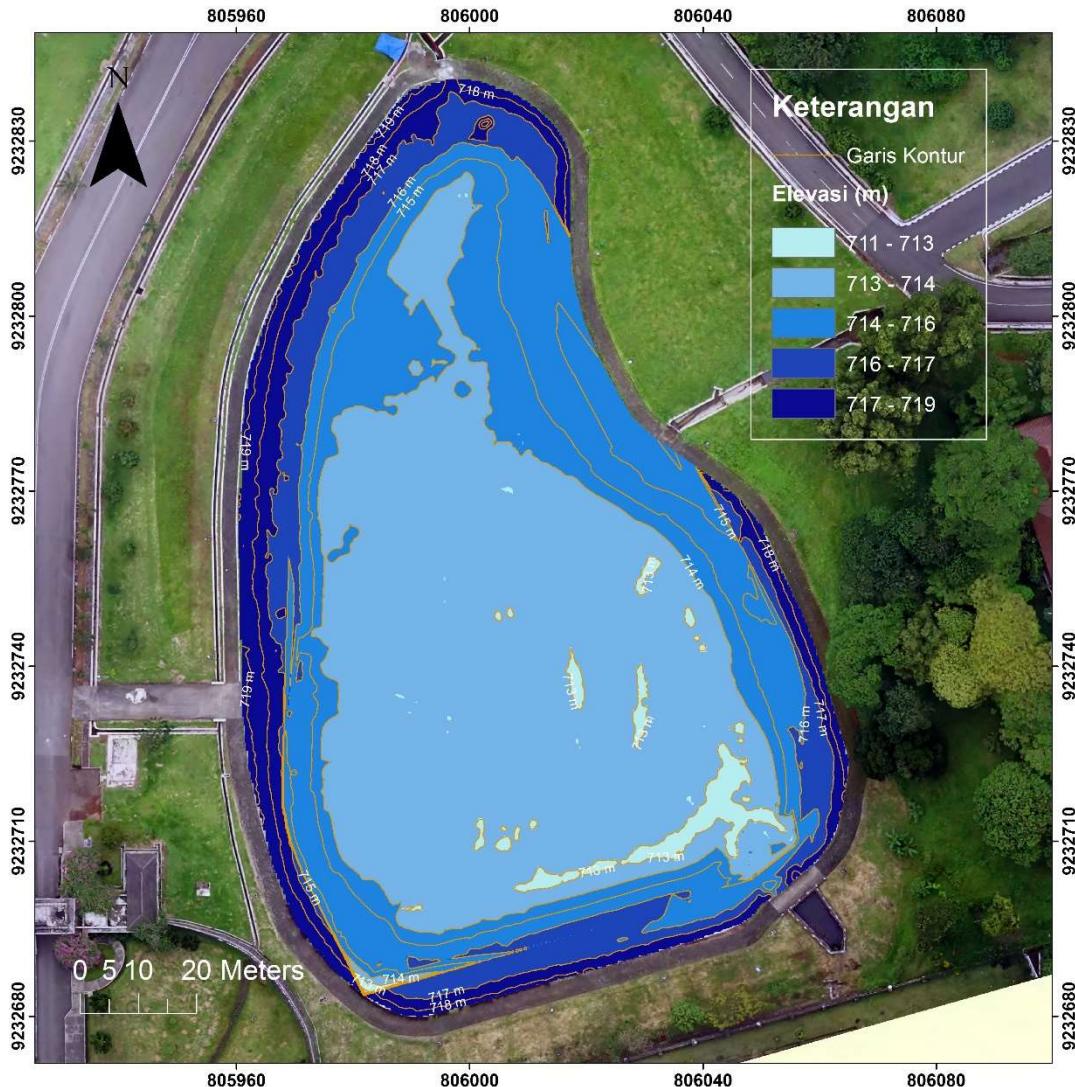
Keterangan:

Sudah Memenuhi

Dari hasil uji ketelitian, didapatkan hasil baik dari tingkat ketidakpastian horizontal dan tingkat ketidak pastian vertikal dari pemeruman kedua situ. Ketelitian dari pemeruman kedua danau memiliki kualitas yang memenuhi standar IHO-S44 untuk orde khusus, satu, dan dua dari empat sampel yang diambil di tiap situ.

3.3 Hasil Batimetri dan Perhitungan Kapasitas Air Menggunakan Multi Beam Echosounder Situ 2

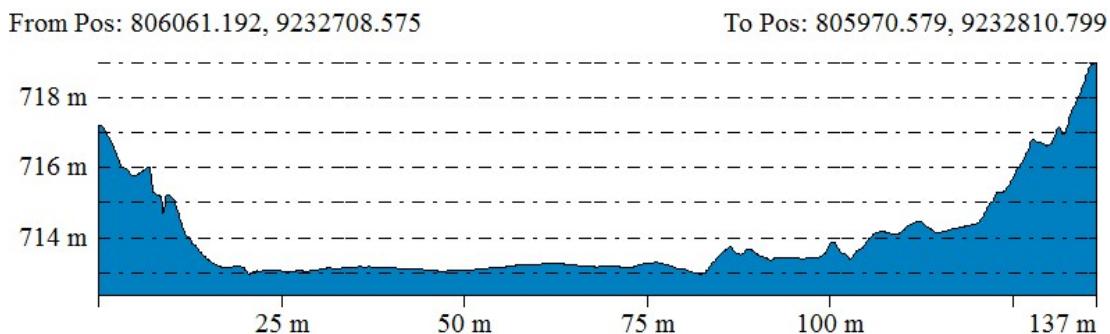
Hasil dari pengolahan data batimetri menggunakan sensor MBES didapatkan peta kontur bawah air yang ditunjukkan **Gambar 3.5**.



Gambar 3.5. Peta Batimetri Situ 2 Kampus ITB Jatinangor (MBES)

Seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 3.5** hasil dari pemeruman Situ 2 dihasilkan peta batimetri dengan rentang elevasi dasar situ sebesar 734 meter (minimal) hingga 7342 meter (maksimal) terhadap bidang ellipsoid WGS 1984. Seperti pada peta yang dihasilkan dari pengolahan data batimetri menggunakan SBES, dilakukan visualisasi untuk daerah sekitar Situ berupa ortofoto yang didapatkan dari Laboratorium survei

dan pemetaan dan KK InSIG FITB ITB. Adapun hasil batimetri menggunakan MBES pada situs 2 memiliki profil seperti ditunjukkan Gambar 3.6.

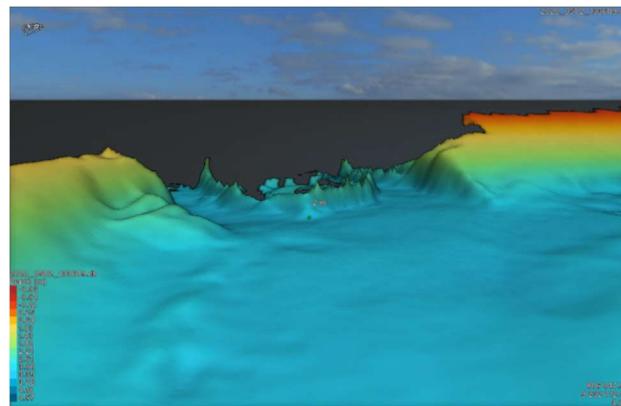


Gambar 3.6. Profil Situ 2 menggunakan MBES

Secara visual dapat dilihat terbentuk beberapa fitur-fitur bawah air yang cukup detail dibandingkan dengan hasil dari SBES. Salah satu fitur yang terlihat jelas pada MBES dan tidak terlihat pada SBES adalah pintu air (**Gambar 3.7**) pada bagian tenggara peta batimetri (**Gambar 3.8.**) yang lebih jelasnya dapat terlihat pada model tiga dimensi (**Gambar 3.9).**



Gambar 3.7. Fitur Pintu air pada peta batimetri

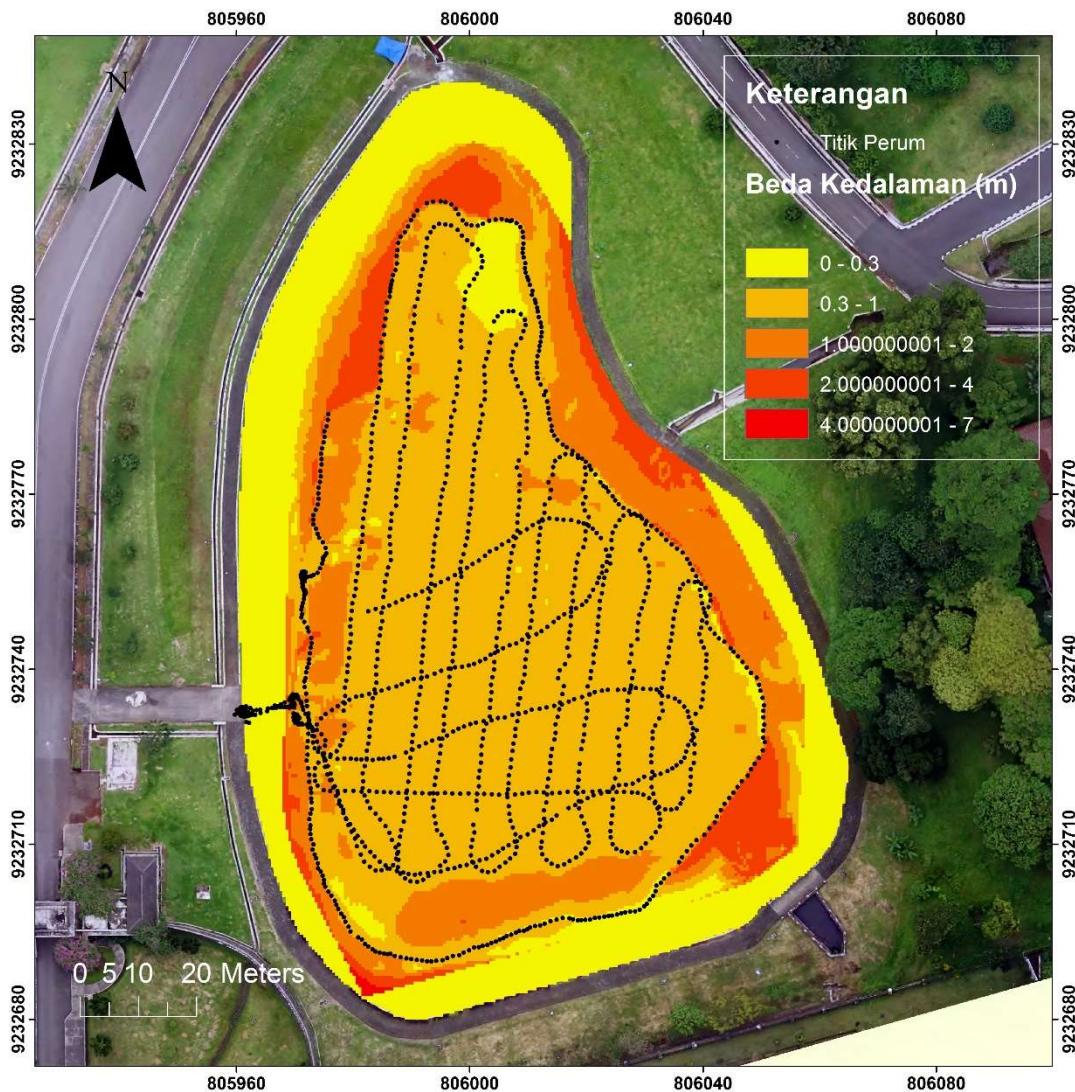


Gambar 3.8. Fitur Pintu air pada model 3D



Gambar 3.9. Dokumentasi fitur Pintu air

Lalu dilakukan pula analisis komparasi terhadap hasil pemetaan batimetri secara numerik menggunakan fitur *raster calculator* dari perangkat lunak GIS. Dengan *raster calculator*, dapat diketahui selisih dari nilai ketinggian setiap titik pada DTM SBES dan DTM MBES. Hasil dari pengurangan dapat dilihat pada **Gambar 3.10**.



Gambar 3.10. Perbandingan SBES dan MBES

Pada **Gambar 3.10** dilakukan tumpang susun (*overlay*) dengan titik hasil perum SBES untuk mengetahui luasan mana yang tercakupi oleh survei SBES. Untuk luasan diluar titik perum dapat diabaikan pada pembahasan ini karena hanya hasil SBES dan MBES yang bertampalan saja yang akan dibandingkan. Pada sebagian besar wilayah survei, beda antara hasil kedalaman SBES dan MBES mencapai 0,3 hingga 1 meter. Perbedaan terbesar terletak pada bagian barat dan selatan dengan kisaran beda kedalaman 1 meter hingga 2 meter. Perbedaan terkecil yang hanya mencakupi sebagian kecil luasan di utara dan barat daya memiliki kisaran beda kedalaman hingga 0,3 meter. Adapun hasil perbandinan antara SBES dan MBES yang dilakukan pada

Situs 2 memiliki kemungkinan kesalahan posisi horizontal mengingat referensi pengukuran dilakukan dari titik yang berbeda dan metode yang berbeda pula dengan hasil SBES menggunakan metode *point positioning* dan hasil MBES menggunakan metode RTK dengan referensi titik bantu yang diukur dari CORS CSUM.

Galat yang cukup besar ini disinyalir sebagai akibat dari dua hal yaitu akurasi pengukuran MBES yang tidak lebih baik daripada SBES (De Jong, dkk., 2013) sehingga adanya galat memang suatu hal yang pasti dan tidak dilakukannya koreksi dan kalibrasi pada pengolahan data MBES sehingga kedalaman yang didapatkan dari pemerulan masih mengandung kesalahan. Koreksi dan kalibrasi yang dimaksud meliputi,

- a. koreksi *gyro*, koreksi sudut penyimpangan antara utara bumi dengan sudut utara lokal dari *heading* kapal
- b. koreksi sensor gerak, koreksi terhadap pergerakan kapal (*heave, pitch, roll*)
- c. koreksi kecepatan suara, koreksi yang diakibatkan oleh adanya perubahan suhu dan salinitas pada kolom air yang mempengaruhi kecepatan rambat suara. Jika sinar yang terekam dihitung menggunakan cepat rambat yang salah maka akan menyebabkan akurasi batimetri berkurang dan meningkatkan distorsi *terrain* (Rahmawati, 2018).
- d. kalibrasi *patch test*, kalibrasi yang dilakukan untuk menentukan nilai sudut *transducer* relatif terhadap tiga sumbu yang mengacu pada sistem koordinat kapal (*roll, pitch, heading*) dan menentukan hubungan antara *time tagging transducer* dan data posisi.

3.4 Perhitungan Kapasitas Tampung air Situ ITB Jatinangor

Dari hasil perhitungan kapasitas tampung air Situ ITB Jatinangor yang dilakukan dengan acuan permukaan muka air sesaat (pintu air terbuka) dan acuan permukaan tinggi muka air maksimal (pintu air tertutup) didapatkan hasil seperti tercantum pada **Tabel 3.7.**

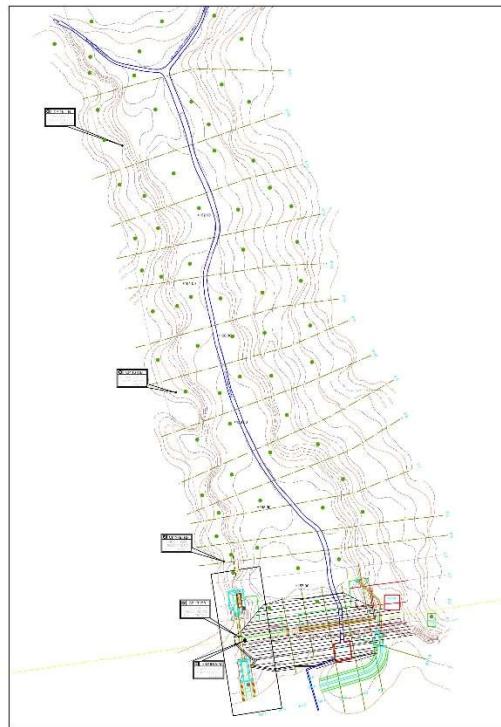
Tabel 3.7. Hasil Perhitungan Kapasitas Tampung Air Situ ITB Jatinangor

Situ	Kapasitas Tampung air (m^3)		Luas (m^2)	Kedalaman max. (m)	Kedalaman min. (m)
	Pintu air terbuka	Pintu air tertutup			
Situ 1	15.338,349	18.298,874	19.154	4,47	3,3
Situ 2 (SBES)	14.609,956	32.666,745	16.640	0,8	0,9
Situ 2 (MBES)	21.491,822	41.288,48	16.640	4,6	0,2

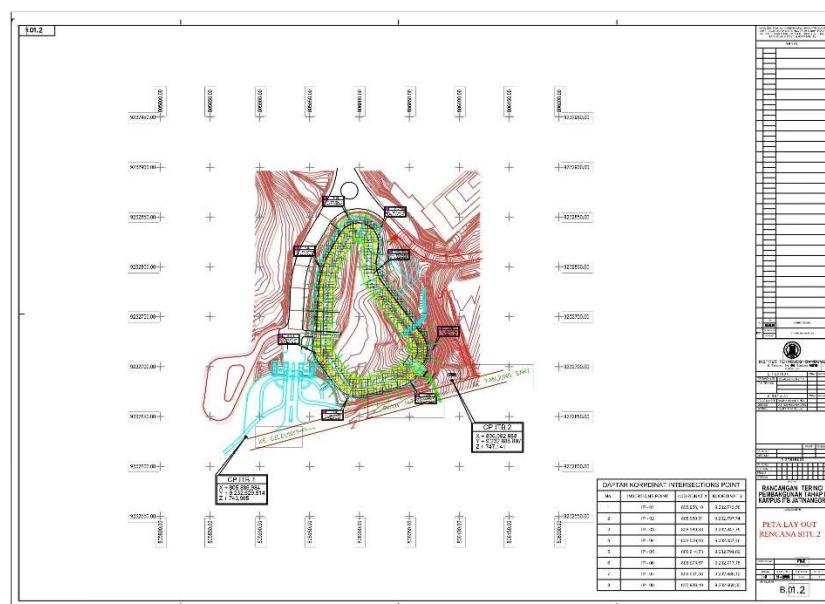
Dapat dilihat dari Tabel 3.9, hasil perhitungan kapasitas tampung air ketika pintu air terbuka dan pintu air ditutup memiliki beda sekitar dua kali lipat lebih besar ketika pintu air tertutup. Serta dapat dilihat perbedaan pada kapasitas tampung air Situ 2 dari dua sensor berbeda yang menunjukkan perbedaan cukup besar diantara keduanya. Perbedaan diantara hasil sensor MBES hampir mencapai dua kali lipat dari hasil perhitungan dari sensor SBES. Perbedaan ini disebabkan oleh hasil batimetri yang berbeda antara satu sensor dengan sensor lain dengan rasionalisasi yang telah dijelaskan pada subbab sebelum.

Selanjutnya, dilakukan perbandingan hasil perhitungan kapasitas tampung air maksimal hasil survei dengan kapasitas tampung air maksimal hasil perhitungan dari data *as built*. Data *as built* yang digunakan pada penelitian ini didapatkan dari Direktorat Sarana Prasarana ITB Kampus Jatinangor dengan survei data *as built* untuk Situ 1 dilakukan pada tahun 2011 dan untuk Situ 2 dilakukan pada tahun 2014. Perhitungan dari hasil *as built* dilakukan dengan menjumlahkan volume antara dua garis kontur dimulai dari kontur terendah.

Ilustrasi dari data *as built* dapat dilihat pada **Gambar 3.11** untuk Situ 1 dan **Gambar 3.12** untuk Situ 2.



Gambar 3.11. Ilustrasi *as built* Situ 1
(Direktorat Sarana Prasarana ITB Kampus Jatinangor)



Gambar 3.12. Ilustrasi *as built* Situ 2
(Direktorat Sarana Prasarana ITB Kampus Jatinangor)

Untuk hasil perbandingan kapasitas tampung air hasil survei dan hasil *as built* dapat dilihat pada **Tabel 3.8**

.

Tabel 3.8. Perbandingan Kapasitas tampung *as built* dan survei batimetri

Situ	Kapasitas Tampung air (m^3)		Galat (m^3)
	Survei batimetri	<i>As built</i>	
Situ 1	18.298,874	22150.166	3851.292
Situ 2 (SBES)	32.666,745	32689.312	22.567
Situ 2 (MBES)	41.288,48	32689.312	-8599.167

Dari tabel hasil perbandingan kapasitas tampung air hasil survei batimetri dan hasil *as built* didapatkan galat untuk masing-masing situ. Dikarenakan nilai dari survei batimetri dan *as built* merupakan nilai kapasitas tampung air dari dua periode berbeda maka dengan melakukan perbandingan dari kedua nilai tersebut maka dapat diketahui volume endapan sedimen yang terjadi selama kurun waktu antara pengukuran paling muktahir (survei batimetri) dan pada saat dibangunnya situ (*as built*). Adanya endapan sedimen ini disebabkan oleh peristiwa sedimentasi atau pengendapan dari benda padat yang tersuspensi di aliran air.

Kapasitas tampung Situ 1 menghasilkan volume endapan sedimen sebesar 3851.292 m^3 dalam periode selama sembilan tahun. Sedangkan, kapasitas tampung Situ 2 (hasil SBES) menghasilkan volume endapan sedimen sebesar 22.567 m^3 dalam periode selama enam tahun. Dari kedua situ terdapat perbedaan volume endapan sedimen yang cukup besar. Hal ini dikarenakan pembuatan Situ 1 yang lebih dahulu dibangun sehingga memiliki periode sedimentasi yang lebih panjang dibandingkan dengan Situ 2. Selain itu ditinjau dari aliran sungai yang masuk ke dalam situ, akibat adanya pembendungan maka kecepatan aliran air berkurang. Hal ini menyebabkan kapasitas angkutan sedimen inlet (aliran air masuk ke situ) menjadi berkurang. Posisi Situ 1 yang berada diatas (hulu) dari Situ 2 mengakibatkan pengendapan terjadi lebih dahulu pada Situ 1 sehingga pada saat hasil aliran outlet dari Situ 1 masuk sebagai inlet di Situ 2 materi endapan yang tersuspensi sudah berkurang jumlahnya. Oleh karena itu, lebih banyak endapan sedimen yang terbentuk di Situ 1 dibandingkan Situ 2.

Selanjutnya, pada hasil perhitungan kapasitas tampung Situ 2 dari sensor MBES memiliki hasil yang tidak normal dengan memiliki pertambahan kapasitas tampung selama periode enam tahun. Hal ini tentu tidak benar mengingat proses sedimentasi atau pengendapan merupakan proses alami yang terjadi pada suatu situ (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2009). Adanya anomali ini diakibatkan oleh hasil survei batimetri menggunakan MBES masih mengandung banyak kesalahan seperti yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya.

Terlepas dari proses sedimentasi, dari hasil perbandingan perbandingan kapasitas tampung air hasil survei batimetri dan hasil *as built* terdapat hal yang perlu dicermati secara umum yaitu adanya kemungkinan perbedaan metode survei dari kedua data. Hal ini dapat berkontribusi pula kepada adanya galat dari hasil perhitungan kapasitas tampung air.

3.5 Analisis Keterbatasan Sistem USV untuk Pemetaan Batimetri

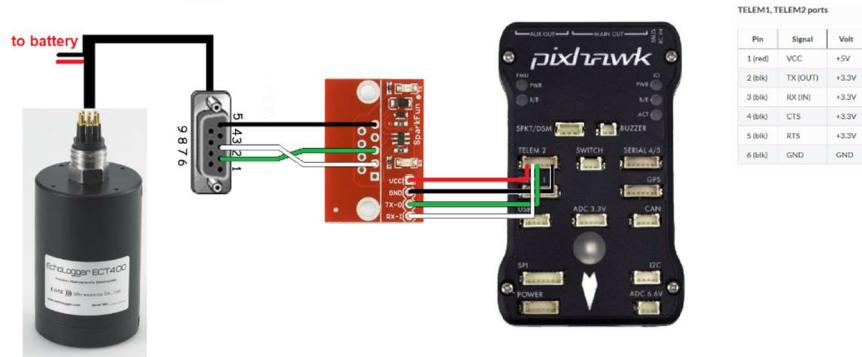
Seperti yang telah dibahas pada bab sebelumnya, sistem USV terdiri dari beberapa elemen dengan pengaturannya. Sistem ini nyatanya masih memiliki keterbatasan dalam aplikasinya untuk pemetaan batimeri. keterbatasan pertama yang akan dibahas adalah tidak adanya integrasi antara sistem akuisisi data dengan sistem GNC wahana USV. Seperti yang telah dijelaskan pada **subbab 2.2.5**, sistem akuisisi data memiliki kendali yang berbeda yang mana kendali ini tidak terintegrasi sama sekali dengan sistem GNC pada wahana USV. Tidak adanya integrasi antara kedua sistem kendali ini menyebabkan beberapa masalah seperti,

- a. Bertambahnya muatan (*payload*) yang harus dibawa oleh wahana USV, yaitu kendali sistem akustik (mini PC). Pertambahan muatan ini tentunya akan menambah beban dari wahana USV serta menambah daya yang harus disediakan dalam wahana USV.
- b. Sistem pemantauan dari misi dilakukan tidak efisien menggunakan dua komputer dengan perangkat lunak yang berbeda.

- c. Sistem kendali yang berbeda memiliki sistem komunikasi yang berbeda untuk masing-masing kendali. komunikasi menggunakan perangkat Mini PC dari sistem kendali akustik kepada *ground station* masih memiliki keterbatasan jangkauan pengiriman data. Pada jarak tertentu, kegiatan perum tidak dapat dipantau oleh karena keterbatasan tersebut. Sementara, komunikasi sistem wahana USV dengan telemetri radio memiliki jangkauan yang jauh lebih luas.

Penyebab dari tidak adanya integrasi antara kedua sistem kendali adalah keterbatasan perangkat keras maupun lunak sistem GNC dari USV yang digunakan pada penelitian ini. Secara generik, Perangkat keras maupun perangkat lunak untuk sistem GNC yaitu produk Pixhawk dan Ardupilot Mission Planner tidak *compatible* dengan pemakaian sensor akusisi data akustik (Echologger EU400). Sehingga, dibutuhkan perangkat kendali diluar sistem GNC yang *compatible* baik perangkat keras maupun perangkat lunak untuk dapat melakukan akuisisi dengan sensor akustik. Perangkat lunak yang *compatible* berupa perangkat lunak khusus survei hidrografi, HYDROPRO dengan perangkat keras yang memiliki sistem operasi yang dapat di-*install* dengan perangkat lunak tersebut.

Setelah mengetahui penyebabnya, dapat dirumuskan dua pendekatan solusi yang dapat dilakukan untuk mengatasi keterbatasan. Pertama, dengan melakukan beberapa konfigurasi untuk dapat menyambungkan perangkat keras sistem GNC (Pixhawk 2) dengan sistem sensor akustik. Konfigurasi dapat dilakukan dengan mengubah *output interface* dari sensor yang secara generik berupa USB *port* menjadi *serial port* seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.14** Selanjutnya, pengaturan parameter terkait dengan sensor akustik dapat dilakukan pada Ardupilot Mission Planner dengan melakukan pengaturan parameter pada sistem kendali. Selain Ardupilot Mission Planner, pengaturan parameter sensor akustik dapat dilakukan dengan program komputer terminal seperti putty yang diilustrasikan pada **Gambar 3.15**.



Gambar 3.13. Konfigurasi pengubahan Output Interface pada Echologger EU400 (Ardupilot.org)

```
COM25 - PuTTY

help
>
Info
Ultrasonic Echo Sounder ECHOLASSEUR EU400 / ECT400 / ECS400 / EGT400
Made by Echologger (www.echologger.com)
Version 2.80 Sep 5 2017 10:40:40
Device ID: 0201 Echologger 450000 Hz Type USB / RS-232, 422, 485

Specification:
* Tx Frequency      450000 Hz
* Work Max Range   100m
* Tx Length          20-100 uks
* Speed of Sound    1500 mps

Water Temperature [Celsius]: 27.21°C

Tilt Sensor: Pitch (X-axis inclination),degree 0.000
Tilt Sensor: Roll (Y-axis inclination),degree 0.000

Tilt Sensor is absent!

B64INFO[yQAAAKCGAQyAAAAAD+WAQAAgAAAAAAACAPwEAAwDcBQAAAAAAAFK7ZQQA]

Commands:
- #help
- #go      (goto Work Mode)
- #default (set default Settings)

Device ID: 0201 Echologger 450000 Hz Type USB / RS-232, 422, 485
- #range [100000 mm]           | Range, 1000 ~ 100000
- #interval [0.50 sec]         | Interval between pulses, 0.1 ~ 100000
- #threshold [ 10 %]           | Threshold, 0 ~ 100% Full Scale
- #deadzone [ 0 mm]            | Dead Zone 0 ~ 1000
- #deadzone [ 150 mm]          | Dead Zone 0 ~ 1000
- #xlength [ 50 uks]           | TX Pulse length, 10 ~ 100
- #xlength [ 1500 mps]          | Sound speed, mps
- #sound [ 1500 mps]           | Output format 1 ~ 7
- #output [ 3 ]                 | Output format 1 ~ 7
                                1 : Altimeter Simple
                                2 : EchoSounder
                                3 : Altimeter NMEA
                                4 : EchoSounder Fixed 200 Samples
                                5 : EchoSounder Fixed 500 Samples
                                6 : EchoSounder Fixed 1000 Samples
                                7 : PSA-916
- #gain [ 0.0 dB]               | Analog Gain, -30~+30
- #tvemode [ 1 ]                | TVG Curve type, 0,1,2,3
- #tvgs [ 1.00 ]                | TVG Curve Slope, 0.1~10
- #speed [ 115200 ]             | Baud Rate, 9600~115200
- #syncextern [ 0 ]              | Sync Pulse External, 0,1 ~ OFF,ON
- #syncextmod[ 1 ]              | External Sync Pulse edge, 0,1 ~ Falling,Rising
- #syncoutpol[ 1 ]              | Sync Pulse Output, 0,1 ~ Low,High
- #meadbt [ 1 ]                 | NMEA DBT message output, 0,1 ~ OFF,ON
- #meadt [ 0 ]                  | NMEA DPT message output, 0,1 ~ OFF,ON
- #meawt [ 0 ]                  | NMEA MTW message output, 0,1 ~ OFF,ON
- #meaxdr [ 0 ]                  | NMEA XDR message output, 0,1 ~ OFF,ON
- #meameem [ 0 ]                 | NMEA EMA message output, 0,1 ~ OFF,ON
```

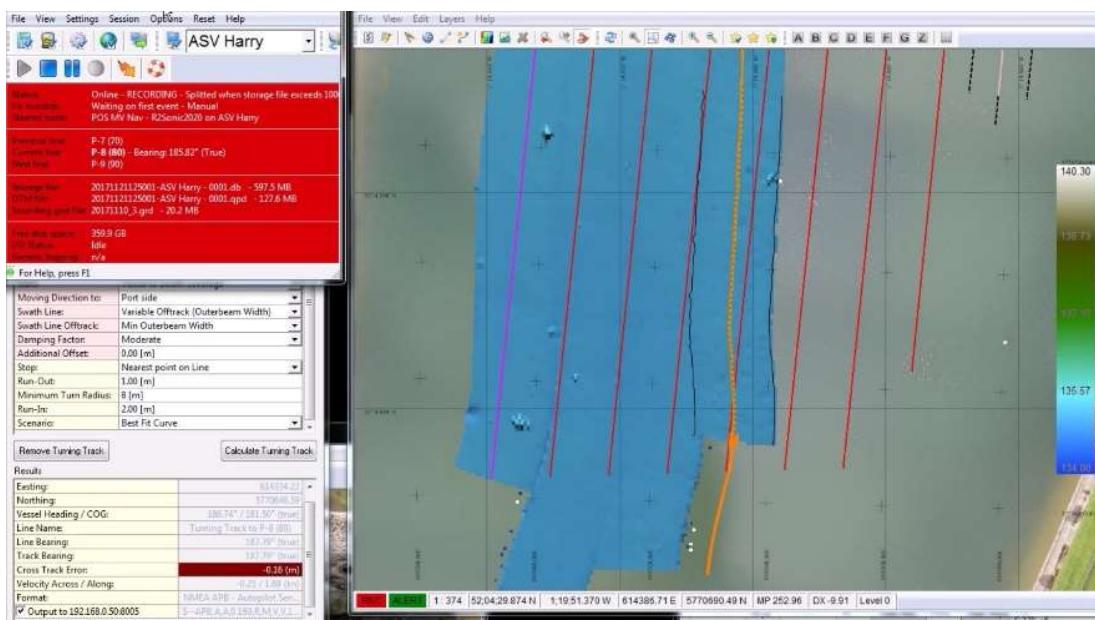
Gambar 3.14. Program terminal, putty (Ardupilot.org)

Kedua, pendekatan dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat sistem GNC alternatif yang secara generik *compatible* dengan sensor akustik. Salah perangkat yang dapat digunakan adalah Dynautics E- Boat SPECTRE seperti yang ditunjukkan **Gambar 3.16.** Perangkat ini merupakan modul *autopilot* yang terdiri dari sistem GNC

dan komunikasi. Perangkat keras E-Boat SPECTRE dapat digunakan bersama dengan perangkat lunak khusus hidrografi seperti Hypack atau Qinsy (**Gambar 3.17**) yang tentunya baik perangkat keras maupun perangkat lunak *compatible* dengan sensor akustik dan dapat digunakan dengan mudah untuk akuisisi data batimetri serta pemantauannya.

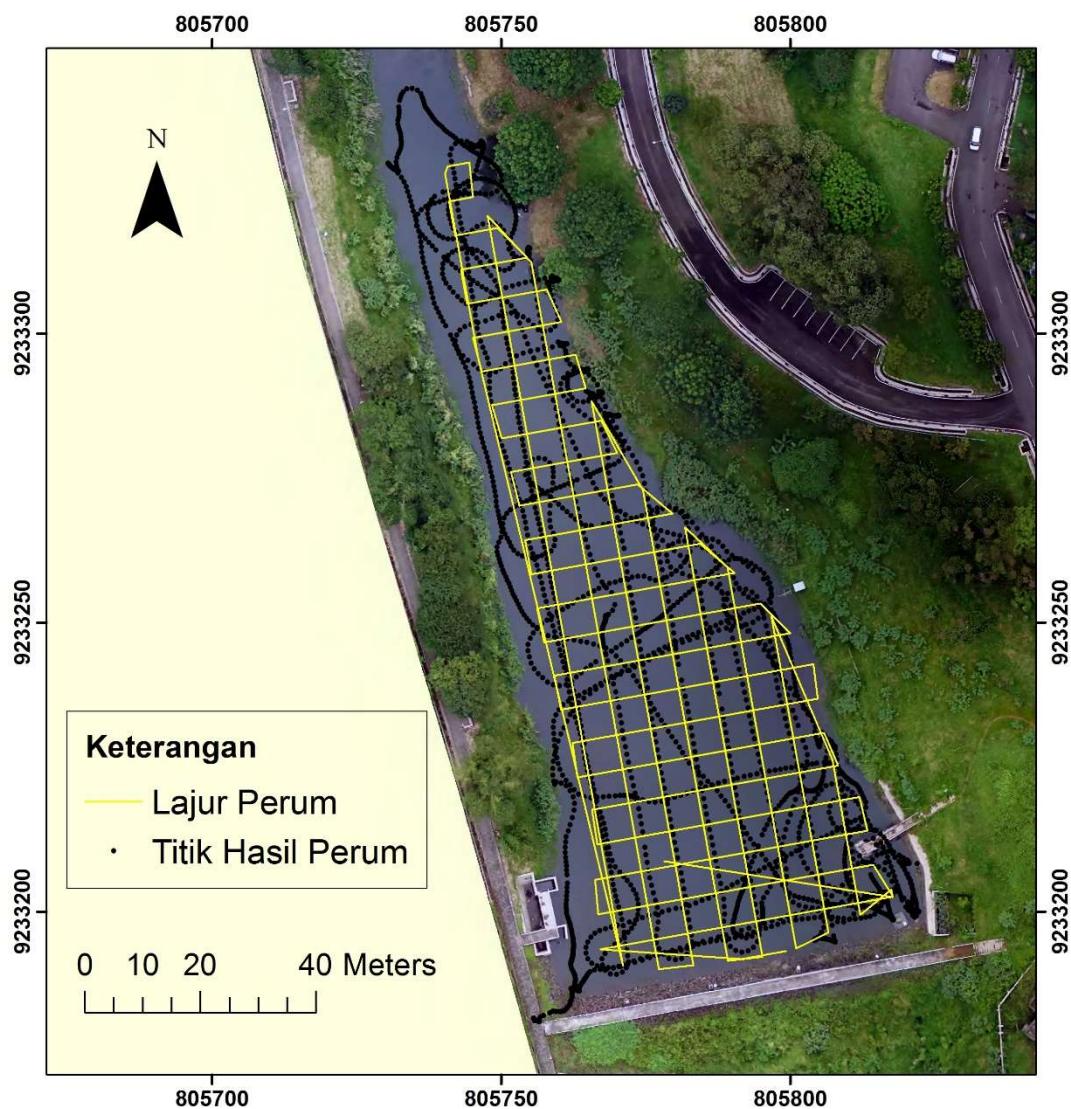


Gambar 3.15. Dynautics SPECTRE (sumber: dynautics.com)

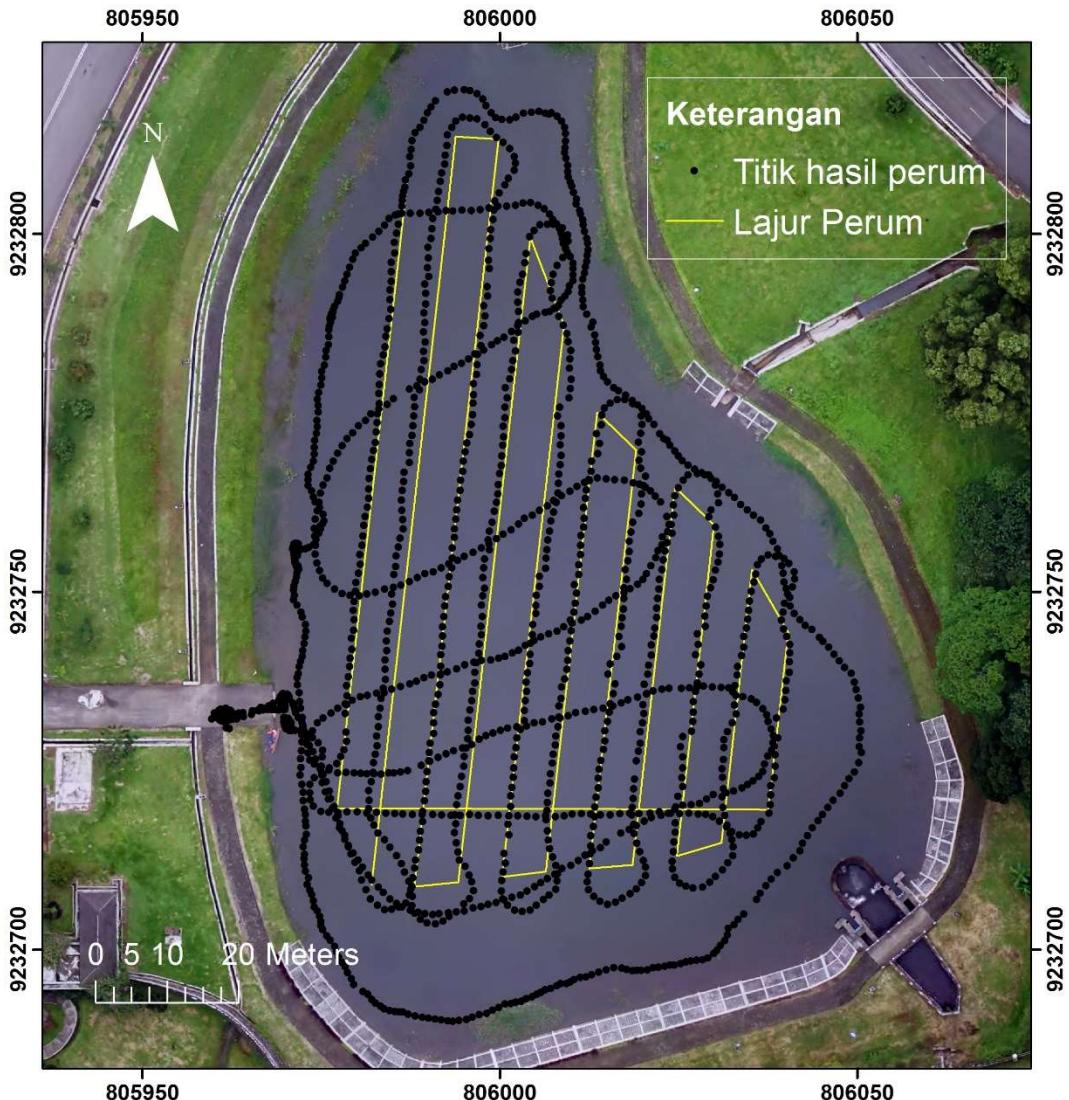


Gambar 3.16. Qinsy Autopilot (cofluence.qps.nl)

Keterbatasan kedua yang akan dibahas adalah keandalan dari sistem otomatis USV. Untuk dapat membahas keterbatasan ini, perhatikan perbandingan lajur perum rencana dengan titik hasil perum **Gambar 3.18** untuk Situ 1 dan **Gambar 3.19** untuk Situ 2.



Gambar 3.17. Perbandingan lajur rencana dan titik hasil perum Situ 1



Gambar 3.18. Perbandingan lajur rencana dengan titik hasil perum Situ 2

Dapat dilihat pada kedua gambar, kedua jalur rencana misi pemeruman tidak mencakupi seluruh luasan situ. Lalu, titik hasil perum pada Situ 2 cenderung lebih rapih dan mengikuti lajur perum rencana daripada Situ 1. Hal ini dikarenakan daerah survei Situ 1 yang cukup memiliki banyak penghalang pada bagian pinggir sehingga beberapa kali USV tersangkut pada pinggir situ. Pada perencanaan misi yang dilakukan menggunakan Ardupilot Mission Planner, misi yang dibuat tidak bisa melihat kondisi lapangan secara *real* sehingga dengan misi yang telah direncanakan walaupun sudah dilakukan dengan berhati-hati untuk menghindari penghalang terkadang masih terkendala. Hal ini juga diperburuk dengan sistem navigasi yang digunakan pada USV seperti yang dijelaskan pada subbab 2.2.5. Sistem navigasi ini

menggunakan *receiver* GNSS yang memiliki ketelitian tiga sampai lima meter sehingga menyebabkan pergerakan dari USV tidak sama persis dengan jalur yang dibuat.

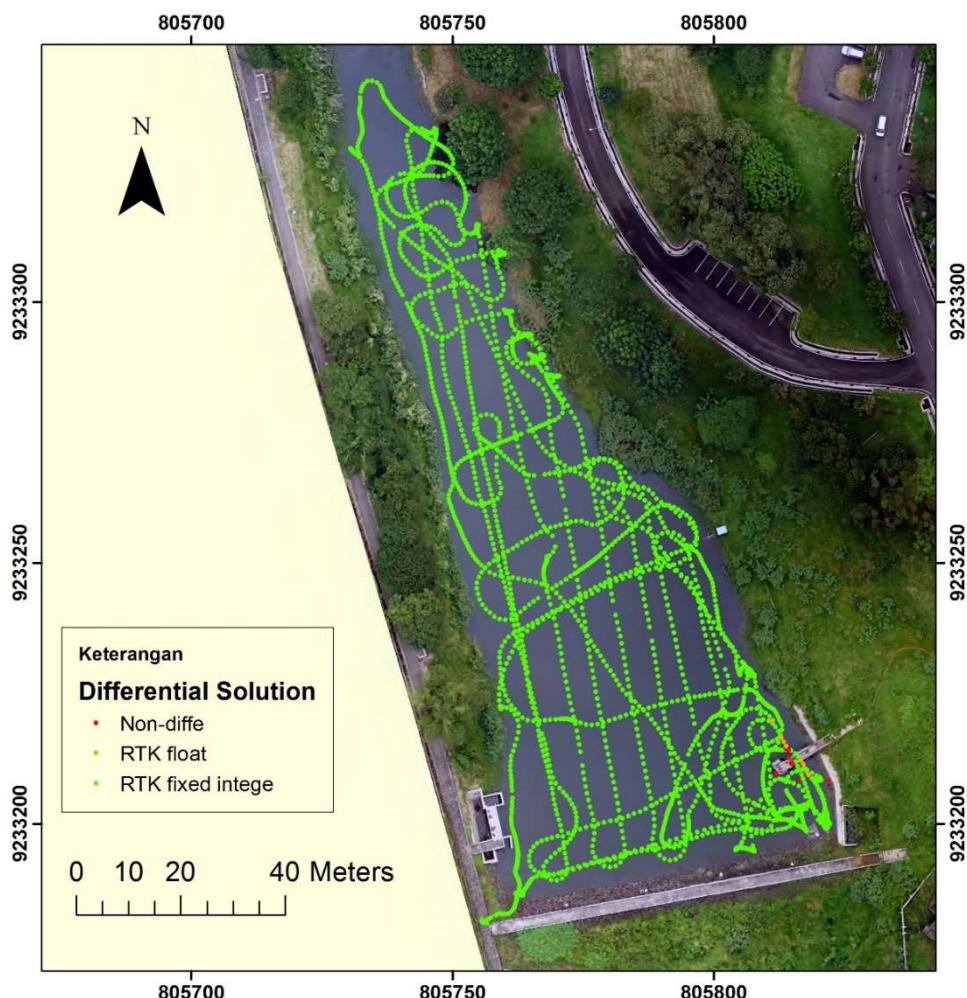
Disebabkan adanya keterbatasan ini maka misi pemeruman yang dilakukan pada penelitian ini tidak sepenuhnya dilakukan otomatis namun terdapat beberapa lajur yang dilakukan secara manual untuk menghindari penghalang. Beberapa kali USV tersangkut ketika mode otomatis, lalu dicoba untuk di-update jalur rencana pemeruman namun tetap beberapa kali tersangkut sehingga digunakan mode manual. Hal ini yang menyebabkan titik hasil perum di Situ 1 cenderung kurang rapih. Titik hasil perum Situ 2 dapat memiliki hasil lebih baik dikarenakan misi otomatis hanya dilakukan pada bagian tengah situ lalu untuk lajur silang dan bagian pinggir dilakukan secara manual.

Solusi dari permasalahan keterbatasan mode otomatis untuk menghindari penghalang dapat dilakukan dengan memasang sebuah sistem deteksi pemhalang menggunakan sensor radar (Almeida dkk., 2009), *laser scanner* (Ruiz & Granja, 2008), kamera (Wang dkk., 2011) dan gabungan antara radar dan kamera (Hermann dkk., 2015).

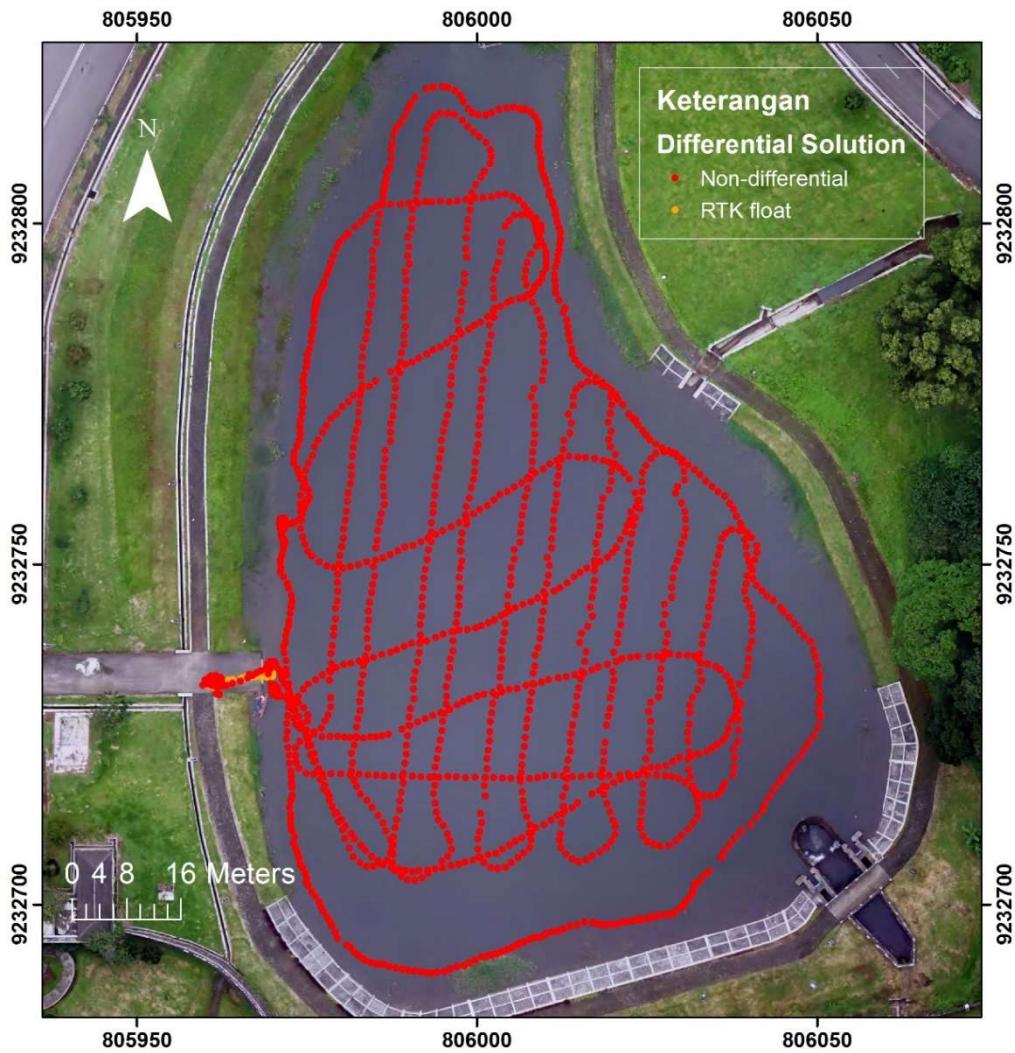
3.6 Analisis Penentuan Posisi Horizontal pada sistem USV untuk pemetaan batimeri

Penentuan posisi horizontal untuk pemetaan batimetri pada USV seperti yang dijelaskan pada subbab 2.2.4 dilakukan menggunakan *real time kinematics* GNSS. Dua jenis koneksi yang digunakan yaitu koreksi menggunakan sinyal radio pada Situ 1 dan koreksi melalui internet menggunakan stasiun CORS pada situ 2. Sebaran hasil dari solusi ambiguitas fase untuk penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 3.20** untuk situ 1 dan **Gambar 3.21** untuk situ 2. Solusi ambiguitas fase ini nantinya akan mempengaruhi akurasi dari GNSS dengan solusi *fixed* dapat menghasilkan akurasi

sekitar dua sentimeter dan solusi *float* dapat menghasilkan akurasi 20 sentimeter hingga satu meter (Xu, 2012).



Gambar 3.19. Sebaran solusi diferensial GNSS Situ 1



Gambar 3.20. Sebaran solusi diferensial GNSS Situ 2

Pada Situ 1 dapat dilihat bahwa sebagian besar hasil titik perum yang dihasilkan penentuan posisinya berhasil mencapai solusi diferensial *fixed*, sedangkan pada situ 2 sebagian besar hasil titik perum gagal menghasilkan solusi diferensial (non-diferensial). Solusi non-diferensial berarti penentuan posisi menggunakan metode *point positioning* yang mana menghasilkan akurasi tiga sampai lima meter. Hasil yang timpang yang mana penentuan solusi diferensial berhasil di Situ 1 dan gagal pada Situ 2 diakibatkan oleh kemampuan RTK yang sangat dipengaruhi oleh kemampuan jaringan internet yang digunakan untuk menerima data koreksi dari stasiun CORS. Jaringan internet yang buruk tentunya akan menyebabkan perangkat *receiver* tidak dapat menerima koreksi posisi. Koneksi internet antara GPS *rover* di USV

disambungkan melalui sinyal WiFi dari telepon genggam juga dapat mengakibatkan *receiver* tidak mendapatkan koreksi dari stasiun CORS.

Penyebab lain dari kegagalan dalam mencapai solusi diferensial pada penelitian Situ 2 adalah kurang lamanya waktu pengamatan karena jarak baseline lebih panjang membutuhkan periode resolusi ambiguitas fasenya lebih lama karena disebabkan oleh efek kesalahan ionosfer (Abousalem dkk, 2001). Namun terlepas dari solusi diferensial yang buruk di Situ 2 dan menghasilkan solusi *point positioning*, hasil dari penentuan posisi horizontal masih dapat diterima dari uji ketelitian menggunakan standar IHO untuk semua orde seperti dapat dilihat pada subbab sebelumnya. Sehingga, dapat disimpulkan untuk pemetaan batimetri menggunakan USV menggunakan metode penentuan posisi RTK GNSS dapat dilakukan menggunakan RTK koreksi radio maupun *point positioning* untuk mencapai standar IHO.

3.7 Analisis pengikatan tinggi untuk pemetaan batimetri menggunakan USV

Pengikatan tinggi pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode GNSS dan sifat datar. Untuk metode GNSS seperti yang telah dijelaskan pada subbab 3.5 bahwa hasil yang didapatkan untuk pengukuran pada Situ 1 dihasilkan dengan metode diferensial RTK sedangkan pada Situ 2 dihasilkan dengan metode *point positioning*. Pengukuran dengan metode sifat datar dan GNSS dilakukan terhadap referensi *benchmark* yang sama untuk tiap situ yaitu *benchmark* JT-017 untuk Situ 1 dan JT-014 untuk Situ 2 dengan rincian koordinat dijelaskan pada **Tabel 2.9**. Hasil dari pengikatan tinggi menggunakan kedua metode dapat dilihat pada **Tabel 3.9**.

Tabel 3.9. Hasil pengikatan tinggi

Situ	Tinggi Muka Air terhadap ellipsoid (m)		Galat (m)
	Sifat Datar	GNSS	
Situ 1	759,927	760.027	-0.098
Situ 2	739,718	738.977	0.741

Dari hasil pengukuran dilakukan perbandingan dengan referensi berupa pengukuran sifat datar yang mana pengukuran sifat datar dapat menghasilkan ketelitian dalam fraksi milimeter sedangkan pada metode GNSS menghasilkan ketelitian dalam fraksi sentimeter hingga meter. Pada kedua situ, didapatkan galat yang kecil yaitu senilai sembilan sentimeter untuk Situ 1 dan cukup besar pada Situ 2 yaitu sebesar 70 sentimeter. Sehingga, untuk metode pengikatan tinggi pada pemetaan batimetri menggunakan USV dapat dilakukan dengan menggunakan metode RTK GNSS dan tidak disarankan untuk menggunakan metode *point positioning* GNSS pada wahana USV.

Bab 4

Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

1. Studi terkait sistem USV untuk pemetaan dilakukan pada tiga aspek yaitu, keterbatasan, penentuan posisi, dan pengikatan tinggi. Keterbatasan yang terdapat pada sistem USV ini adalah tidak adanya integrasi antara sistem akuisisi data dengan sistem GNC wahana USV dan keandalan dari sistem otomatis USV. Dari aspek penentuan posisi horizontal didapatkan hasil studi bahwa penggunaan metode penentuan posisi RTK GNSS dapat dilakukan menggunakan koreksi radio maupun *point positioning* untuk mencapai standar IHO dalam pemetaan batimetri dengan USV. Terakhir, dari aspek pengikatan tinggi dapat disimpulkan untuk dapat dilakukan dengan menggunakan metode RTK GNSS dan tidak disarankan untuk menggunakan metode *point positioning* GNSS pada wahana USV.

Selanjutnya, telah berhasil dihasilkan peta batimetri untuk Situ 1 ditunjukkan pada **Gambar 3.1** dan untuk Situ 2 menggunakan SBES ditunjukkan pada **Gambar 3.2**. Hasil dari pemetaan menggunakan SBES memenuhi standar orde 1b dan 2 dari IHO. Dihasilkan pula peta batimetri menggunakan MBES ditunjukkan pada **Gambar 3.5**.

2. Telah dihasilkan perhitungan kapasitas air untuk Situ 1 ketika pintu air terbuka dan tertutup dengan nilai secara berurutan $15.338,349 \text{ m}^3$ dan $18.298,874 \text{ m}^3$. Serta perhitungan kapasitas Situ 2 (SBES) ketika pintu air terbukan dan tertutup dengan nilai secara berurutan $14.609,956 \text{ m}^3$ dan $32.666,745 \text{ m}^3$. Lalu didapatkan pula nilai kapasitas air untuk Situ 2 menggunakan MBES sebesar $21.491,822 \text{ m}^3$ dan $41.288,48 \text{ m}^3$ untuk pintu air terbuka dan tertutup secara berurutan.

4.2 Saran

Saran dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Pemetaan batimetri dengan MBES dilakukan dengan mengikuti kaidah survei yang ada dengan melakukan *patch test*, pengukuran kecepatan suara, serta menggunakan *gyro* untuk dapat menunjukkan *heading*.
2. Metode pengolahan data SBES maupun MBES dapat memanfaatkan data IMU yang terdapat pada sistem GNC untuk koreksi *pitch*, *roll*, dan *yaw* terhadap *vessel attitude*.
3. Dilakukan penelitian dengan sistem USV yang sudah terintegrasi sistem navigasi dan sistem akuisisi datanya dengan melakukan beberapa konfigurasi untuk dapat menyambungkan perangkat keras sistem GNC (Pixhawk 2) dengan sistem sensor akustik ataupun dengan menggunakan perangkat sistem GNC alternatif yang secara generik *compatible* dengan sensor akustik.
4. Dilakukan penelitian dengan sistem USV yang memiliki sebuah sistem deteksi pemhalang menggunakan sensor radar, *laser scanner*, kamera, atau gabungan antara radar dan kamera.

Daftar Pustaka

- Abidin, H. Z. (2000). *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Abousalem, M., Han, S., Qin, X., Martin, W., & Lemoine, R. (2011). Ashtech Instant-RTK: A Revolutionary Solution for Surveying Professionals. *The 3rd International Symposium on Mobile Mapping*, (hal. 1–12). Cairo.
- Almeida, C., Franco, T., Ferreira, H., Martins, A., & Santos. (2009). Radar based collision detection developments on USV. *IEEE Conf. OCEANS'09*.
- Ardupilot Dev Team. (2019). *Basic Tuning*. Diambil kembali dari ArduPilot: <https://ardupilot.org/copter/docs/basic-tuning.html>
- ArduPilot Dev Team. (2019). *Echologger ECT400 echosounder*. Diambil kembali dari ArduPilot: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-echologger-ect400.html>
- Ardupilot Dev Team. (2019). *Mandatory Hardware Configuration*. Diambil kembali dari ArduPilot: <https://ardupilot.org/copter/docs/configuring-hardware.html>
- Ardupilot Dev Team. (2019). *RFD900 Radio Modem*. Diambil kembali dari ArduPilot: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-rfd900.html>
- Breivik, M. (2010). *Topics in guided motion control of marine vehicles*. Norwegian University of Science and Technology (Ph.D. thesis).
- BSN. (2010). *SNI 7646:2010 Survei Hidrografi menggunakan Single beam Echosounder*. Jakarta: BSN.
- Chairani, A. N. (2018). *Analisis Ketelitian Multibeam Echosounder Terhadap Standar S-44 IHO Edisi 5 Tahun 2008 (Studi Kasus Tipe R2Sonic 2020 dan Kongsberg M3)*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- De Jong, C., Lachapelle, G., Skone, S., & Elema. (2003). *Hydrography*. Delft, The Netherlands: Delft University Press.

- Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. (2009). *Pedoman Konstruksi dan Bangunan Sipil: Survey dan Monitoring Sedimentasi Waduk*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Dronecode. (2020, Maret 30). *Cube Flight Controller*. Diambil kembali dari px4.io: https://docs.px4.io/v1.9.0/en/flight_controller/pixhawk-2.html
- Dwipriadi, P. (2020). *Kombinasi Data Airborne LIDAR dan TLS Dalam Pembuatan DTM ITB Kampus Jatinangor (Studi Kasus : Area ITB Kampus Jatinangor)*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- EIVA. (2014). Navimodel Manual - ver. 4th [pdf]. Denmark: EIVA Training. Diambil kembali dari EIVA.
- EofE Ultrasonics Co., Ltd. (t.thn.). *ECHOLOGGER EU400*. Diambil kembali dari Echologger: <http://www.echologger.com/products/6>
- FERRISKA, O. (2017). TUGAS AKHIR - RG141536: SURVEI BATIMETRI DI PERAIRAN DANGKAL DENGAN MENGGUNAKAN WAHANA USV (UNMANNED SURFACE. Surabaya: DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Geo-matching. (t.thn.). *Dynautics Ltd Dynautics control system integration with Survey Software*. Diambil kembali dari Geo-matching: <https://geo-matching.com/category/hydrographic-acquisition-software/dynautics-control-system-integration-with-survey-software>
- Ghilani, C. D. (2010). *Adjustment Computation Spatial Data Analysis Fifth Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Hermann, D., Galeazzi, R., Andersen, R., & Blanke, M. (2015). Smart Sensor Based Obstacle Detection for High-Speed Unmanned Surface Vehicle. *IFAC-PapersOnLine* 48-16, 190–197.
- IHO. (2008). *IHO Standards for Hydrographic Survey (S-44)*. Monaco: International Hydrographic Bureau.
- Liu, Z., Zhang, Y., Yu, X., & Yuang, C. (2016). Unmanned surface vehicles: An overview of developments and challenges. *Annual Reviews in Control* 41, 71–93.

- Measurement System Ltd. (2016). *Comnav T300 GNSS Receiver*. Diambil kembali dari Measurement System: <https://www.measurementsystems.org/comnav-t300-gnss-receiver>
- Perbani, N. M., & Suwardhi, D. (2014). Pembangunan Sistem Penentuan Posisi dan Navigasi. *Jurnal Itenas Rekayasa*, 9-22.
- Poerbandono, & Djunarsjah. (2005). *Survei Hidrografi*. Bandung: PT. Refika Aditama.
- Rahmawati, R. R. (2018). *Estimasi Distorsi Kedalaman Pada Variasi Koreksi Sound Velocity Profiler Dalam Pengolahan Data Multibeam Echosounder*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Ruiz, A., & Granja, F. (2008). A short-range ship navigation system based on ladar imaging and target tracking for improved safety and efficiency. *IEEE Transac. Intelligent Transportation Systems*, 10(1), 186–197.
- Santosa, M. G. (2016). Propulsi Kapal dalam Tinjauan Uji Model. Wave. *Jurnal Ilmiah Teknologi Maritim* 10(1), 25-30.
- Schuster, M., Blaich, M., & and Reuter, J. (2014). Collision avoidance for vessels using a low-cost radar sensor. *19th IFAC World Congress*, (hal. 9673 – 9678).
- Suhari, K. T., Karim, H., Gunawan, P. H., & Purwanto, H. (2017). SMALL ROV MARINE BOAT FOR BATHYMETRY SURVEYS OF SHALLOW WATERS –POTENTIAL IMPLEMENTATION IN MALAYSIA. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* (hal. 201). Kuala Lumpur: School of Geodesy and Geoinformation Engineering, Singaraja, Bali, Indonesia.
- Suhari, K., & Gunawan, P. (2017). The Anyar River Depth Mapping from Surveying Boat (SHUMOO) Using ArcGIS and Surfer. *The 2017 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCEREC)* (hal. 227-230). IEEE.
- Syetiawan, A., Prayoga, O., & Joni, E. (2016). UJI AKURASI PENENTUAN POSISI METODE GPS-RTK MENGGUNAKAN PERANGKAT CHC X91+. *Seminar Nasional Peran Geospasial dalam Membingkai NKRI* (hal. 109-116). Badan Informasi Geospasial.

- uBlox. (t.thn.). *NEO-M8 series*. Diambil kembali dari <https://www.ublox.com/en/product/neo-m8-series>
- US Army Corps of Engineers. (2002). *Hydrographic Surveying. Draft Engineer Manual EM 1110-2-1003*. Washington, DC: US Army Corps of Engineers.
- Wang, H., Wei, Z., Wang, S., Ow, C., Ho, K., & Feng, B. (2011). Real-time obstacle detection for unmanned surface vehicle. *Defense Science Research Conference and Expo, DSR '2011*.
- Windupranata, W., Aziz, A., Suwardhi, D., & Nusantara, C. (2019). *The Integration of Bathymetric and UAV-Photogrammetry for Pangandaran Digital Elevation*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Xu, H. (2012). Application of GPS-RTK Technology in the Land Change Survey. *Procedia Engineering* 29 , (hal. 3454 – 3459).
- Yadi. (2011, Mei 18). *EMBUNG (SITU)*. Diambil kembali dari Web ITB Kampus Jatinangor: <https://jatinangor.itb.ac.id/embung-situ/>

Lampiran A: Dokumentasi Pemeruman



