



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RM184831

**ANALISIS KERENTANAN TOPOGRAFI DASAR LAUT
TERHADAP POTENSI LONGSOR BAWAH LAUT
(*UNDERWATER LANDSLIDE*)
DI TELUK PALU, SULAWESI TENGAH**

THINA EL LABIBAH MINAHUS SANIAH
NRP 03311540000066

Dosen Pembimbing
Dinar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

“Halaman Ini Sengaja di Kosongkan”



TUGAS AKHIR - RM 184831

ANALISIS KERENTANAN TOPOGRAFI DASAR LAUT TERHADAP POTENSI LONGSOR BAWAH LAUT (UNDERWATER LANDSLIDE) DI TELUK PALU, SULAWESI TENGAH

THINA EL LABIBAH MINAHUS SANIAH
NRP 0331154000066

Dosen Pembimbing
Dinar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL ASSIGNMENT - RM 184831

ANALYSIS OF SEABED TOPOGRAPHY VULNERABILITY TOWARD THE POTENTIAL OF UNDERWATER LANDSLIDE IN PALU BAY, CENTRAL SULAWESI

THINA EL LABIBAH MINAHUS SANIAH
NRP 0331154000066

Supervisor
Dinar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMENT OF GEOMATICS ENGINEERING
Faculty of Civil Enviromental and Geo Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**ANALISIS KERENTANAN TOPOGRAFI DASAR LAUT
TERHADAP POTENSI LONGSOR BAWAH LAUT
(UNDERWATER LANDSLIDE) DI TELUK PALU,
SULAWESI TENGAH**

Nama : Thina El Labibah Minahus Saniah
NRP : 0331154000066
Jurusan : Teknik Geomatika FTSLK-ITS
Dosen Pembimbing : Danar G. Pratomo, S.T., M.T., Ph.D

Abstrak

Kota Palu adalah salah satu wilayah di Indonesia yang rentan terhadap bencana tsunami dan perlu memiliki suatu rencana mitigasi untuk mengurangi potensi resiko. Terjadinya tsunami pada tanggal 28 September 2018 merupakan salah satu bencana yang disebabkan oleh adanya longsor bawah laut. Salah satu penyebab terjadinya longsor bawah laut adalah runtuhnya sedimen yang belum terkonsolidasi dan ketidakstabilan kemiringan di bawah laut. Studi penelitian ini ditujukan untuk mengetahui seberapa besar potensi longsor bawah laut di Teluk Palu yang ditinjau dari sedimen penyusun dasar laut dan kelerengannya. Metode yang digunakan dalam penelitian yaitu dengan menganalisa persebaran jenis sedimen dari pengolahan *backscatter* dan perolehan nilai kelerengan menggunakan data *multibeam echosounder* EM302. Hasil penelitian menunjukkan bahwa di Teluk Palu terdapat beberapa jenis sedimen dasar perairan yaitu *cobble*, *gravel*, *sand*, *slit*, dan *clay*. Jenis sedimen yang mendominasi adalah *sand* sebesar 10627,137 Ha dengan rentang nilai *backscatter* dari -31,67 dB sampai -22,36 dB. Sedangkan kelerengan yang paling besar terdapat pada kelas terjal (40% - 100%) dengan luasan sebesar 11750,030 Ha. Hasil analisis dari potensi longsor bawah laut di Teluk Palu menunjukkan bahwa di area penelitian memiliki kerentanan yang sangat tinggi yaitu sebesar 66,68%.

Kata Kunci: *Backscatter, Kelerengan, Longsor bawah laut, Sedimen*

**ANALYSIS OF SEABED TOPOGRAPHY
VULNERABILITY TOWARD THE POTENTIAL OF
UNDERWATER LANDSLIDE IN PALU BAY, CENTRAL
SULAWESI**

Name : Thina El Labibah Minahus Saniah
NRP : 0331154000066
Department : Geomatics Engineering FTSLK-ITS
Supervisor : Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.

Abstract

Palu, Central Sulawesi is one of the areas in Indonesia that is vulnerable to the tsunami disaster and needs to have a mitigation plan to reduce potential risks. The earthquake and tsunami that occurred on September 28, 2018 was one of the disasters which caused many material and non-material losses. Underwater slope instability associated with underwater avalanches can be caused by the collapse of sediments that have not been consolidated due to tectonic processes, such as earthquakes or oversteepening. This research is intended to find out how much potential underwater landslides in Palu Bay are viewed from the constituent sediments of the seabed and its slope. The method used in the research is by analyzing the distribution of sediment types from backscatter processing and obtaining slope values using multibeam echosounder EM302 data. The results showed that in Palu Bay there were several types of sediment distribution on seabed, namely cobble, gravel, sand, silt, and clay. The type of sediment that dominates is sand at 10627.137 ha and the range of backscatter values from -62.59 dB to -22.36 dB. While the largest slope is found in steep classes (40% - 100%) with an area of 11750.030 ha. From the parameters of the type of sediment and slope obtained the distribution of potential underwater landslides and classified into four groups, namely low, moderate, high, and very high. Analysis of the potential of underwater landslides in

Palu Bay shows that the largest percentage of 66.68% of the total research area is very high.

Keywords: *Landslide, Backscatter, Seabed Sediment*

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KERENTANAN TOPOGRAFI DASAR LAUT TERHADAP POTENSI LONGSOR BAWAH LAUT (UNDERWATER LANDSLIDE) DI TELUK PALU, SULAWESI TENGAH

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

THINA EL LABIBAH MINAHUS SANIAH
NRP. 0331154000066

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19800507 200312 1 001



SURABAYA, JULY 2019



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa penulis haturkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul “Analisis Kerentanan Topografi Dasar Laut Terhadap Potensi Longsor Bawah Laut (*Underwater Landslide*) Di Teluk Palu, Sulawesi Tengah” dengan lancar dan tepat pada waktunya.

Tersusunnya laporan Tugas Akhir ini merupakan hasil kerja keras penulis serta bantuan dan dukungan dari berbagai pihak baik secara moral maupun material. Atas bantuan dan dukungan tersebut penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Orang tua penulis, Bapak Saifulloh Hubaidi dan Ibu Nurul Hidayati, serta kakak dan adik penulis, yaitu Silma Kamila, Adam Musthofa Billah, Dzaka Lillah, dan Dzakia Tammia yang selalu memberikan doa, dukungan, motivasi, dan semangat kepada penulis.
2. Bapak Dinar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan bimbingan dan saran.
3. Kepala Dishidros TNI AL dan Kasubdis Survei yang telah memberikan izin penelitian menggunakan data hasil survei batimetri
4. Bapak Mochammad Nur Cahyadi, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Departemen Teknik Geomatika ITS dan selaku dosen wali yang senantiasa memberikan bimbingan kepada penulis selama belajar di Departemen Teknik Geomatika ITS.
5. Teman-teman laboratorium geomarine yang membantu dan menemani mengerjakan tugas akhir ini.
6. Teman-teman mahasiswa Teknik Geomatika ITS angkatan 2015
7. Pihak-pihak yang telah membantu penulis, yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dari laporan Tugas Akhir ini, baik dari materi maupun teknik

penyajianya, mengingat kurangnya pengetahuan dan pengalaman. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan.

Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih, semoga hasil laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat, terutama bagi Mahasiswa Departemen Teknik Geomatika ITS.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Longsor Bawah Laut (<i>Under Water Landslide</i>).....	5
2.2 Aplikasi <i>Multibeam Echosounder</i>	8
2.3 Pasang Surut.....	9
2.4 <i>Sound Velocity Profile</i>	12
2.5 Kualitas Data Batimetri	14
2.6 Sedimen Dasar Laut	16
2.7 <i>Angular Response Curve</i>	18
2.8 Korelasi dan Regresi.....	20
2.9 Kongsberg EM302.....	22
2.10 Metode Skoring	22
2.11 Penelitian Sebelumnya	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Lokasi Penelitian	25
3.2 Data dan Peralatan.....	25
3.2.1 Data.....	25
3.3.5 Peralatan.....	26
3.3 Metodologi Penelitian.....	26
3.3.1 Tahapan Penelitian	26
3.3.2 Tahap Identifikasi Masalah	26
3.3.3 Tahap Studi Literatur.....	27
3.3.4 Tahap Pengumpulan Data.....	27

3.3.5	Tahap Pengolahan Data	27
3.3.6	Tahap Analisis	32
3.3.7	Tahap Penyusunan Laporan	33
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1	Hambur Balik dan Klasifikasi Sedimen	35
4.2	Batimetri	45
4.3	<i>Slope</i>	48
4.4	Klasifikasi Kerentanan Longsor Bawah Laut	51
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1	Kesimpulan	55
5.2	Saran	56
	DAFTAR PUSTAKA	57
	LAMPIRAN	61
	BIODATA PENULIS	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Klasifikasi Gerakan Longsor	8
Gambar 2. 2 Area Sapuan MBES	9
Gambar 2. 3 Profil Kecepatan Suara	13
Gambar 2. 4 Diagram <i>Sand, Silt, and Clay</i>	17
Gambar 2. 5 Pembagian Domain ARC	18
Gambar 2. 6 <i>Angular Response Curve</i>	19
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian di Teluk Palu	25
Gambar 3. 2 Diagram Alir Tahapan Penelitian	28
Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengolahan Data	29
Gambar 4. 1 Perbedaan Warna Mosaik	37
Gambar 4. 2 Persebaran Nilai Intensitas <i>Backscatter</i>	37
Gambar 4. 3 Mosaik Teluk Palu	38
Gambar 4. 4 <i>Angular Response Curve</i> 1.....	39
Gambar 4. 5 <i>Angular Response Curve</i> 2.....	39
Gambar 4. 6 <i>Angular Response Curve</i> 3.....	40
Gambar 4. 7 <i>Angular Response Curve</i> 4.....	40
Gambar 4. 8 Persentase Persebaran Jenis Sedimen	42
Gambar 4. 9 Persebaran Jenis Sedimen	43
Gambar 4. 10 Grafik Regresi Linear	45
Gambar 4. 13 Batimetri Teluk Palu	48
Gambar 4. 14 Diagram Lingkaran Luas Kelerengan	49
Gambar 4. 15 Kelerengan Teluk Palu.....	51
Gambar 4. 16 Persentase Kerentanan Longsor	54
Gambar 4. 17 Kerentanan Longsor Bawah Laut.....	54

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Longsor	5
Tabel 2. 2 Hubungan Unsur Utama	11
Tabel 2. 3 Hubungan Bilangan Formzhal dengan Pasut	12
Tabel 2. 4 Standar Minimum Survey Hidrografi	15
Tabel 2. 5 Klasifikasi Tipe Sedimen	16
Tabel 2. 6 Koefisien Korelasi	20
Tabel 2. 7 Spesifikasi Teknik MBES EM302	22
Tabel 3. 1 Klasifikasi Slope	32
Tabel 4. 1 Nilai Intensitas ARC	41
Tabel 4. 2 Klasifikasi Jenis Sedimen Dari Intensitas	41
Tabel 4. 3 Luasan Total Tiap Jenis Sedimen	42
Tabel 4. 4 Ukuran Butir Sampel Sedimen	44
Tabel 4. 5 Ukuran Sedimen dari Nilai <i>Backscatter</i>	44
Tabel 4. 6 <i>Quality Report</i> Caris Hips&Sips	46
Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Ketelitian.....	47
Tabel 4. 8 Luasan dari Masing-Masing Kelas <i>Slope</i>	49
Tabel 4. 10 Nilai Bobot Tiap Kelas Jenis Sedimen	52
Tabel 4. 11 Klasifikasi Nilai Kerentanan Longsor Bawah Laut .	53
Tabel 4. 12 Luas Kerentanan.....	53

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Sedimen Sampel 1 In-Situ	61
Lampiran 2 Data Sedimen Sampel 2 In-Situ	62
Lampiran 3 Data Sedimen Sampel 3 In-Situ	63
Lampiran 4 Data Sedimen Sampel 4 In-Situ	64
Lampiran 5 Data Sedimen Sampel 5 In-Situ	65
Lampiran 6 Perhitungan Ketelitian.....	66
Lampiran 7 Peta Mosaic Teluk Palu.....	70
Lampiran 8 Peta Sebaran Sedimen	71
Lampiran 9 Pata Batimetri Teluk Palu	72
Lampiran 10 Peta Kelerengan Teluk Palu	73
Lampiran 11 Peta Kerentanan Longsor Bawah Laut	74

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gempabumi tektonik telah terjadi di Kabupaten Donggala, Sulawesi Tengah pada hari Jumat, 28 September 2018, jam 17.02.44 WIB dengan kekuatan 7,4 SR Lokasi 0,18 LS dan 119,85 BT dan jarak 26 km dari Utara Donggala Sulawesi Tengah, dengan kedalaman 10 km (BMKG 2018). Salah satu akibat dari gempa ini adalah terjadinya tsunami yang melanda sejumlah wilayah, antara lain Palu, Donggala, dan Mamuju.

Menurut analisis sementara dari para ahli tsunami Institut Teknologi Bandung (ITB), Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), dan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) yang dikutip oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), tsunami disebabkan oleh dua hal yaitu adanya gempa lokal dan adanya longoran sedimen dasar laut di kedalaman 200-300 meter.

Ketidakstabilan kemiringan di bawah laut yang terkait dengan longoran bawah laut dapat disebabkan oleh beberapa hal yaitu sedimen yang belum terkonsolidasi akan runtuh yang dipicu oleh proses tektonik, seperti gempa bumi atau *oversteepening* (persimpangan antar lempeng). Selain itu perubahan pada sedimen karena erosi yang disebabkan oleh perubahan permukaan laut dapat menyebabkan terjadinya longsor bawah laut (Evan 1995).

Peneliti geofisika kelautan dari Pusat Penelitian Oseanografi LIPI, Nugroho Dwi Hananto (LIPI 2018), mengungkapkan tsunami gempa di sesar mendarat cenderung tidak menimbulkan tsunami. Diduga ada gerakan vertikal di sesar di dasar laut serta bentuk dasar laut Teluk Palu yang curam. Adanya kemungkinan longsor di tebing bawah laut yang runtuh akibat gempa sehingga berakibat tsunami karena kondisi geomorfologi yang curam dan tipe batu yang tidak

terkonsolidasi memungkinkan terjadinya longsor tebing laut.

Potensi longsor di bawah laut sudah seharusnya menjadi perhatian bersama. Solusi untuk memetakan potensi-potensi longsor bawah laut adalah dengan melakukan survei pemetaan bawah laut menggunakan data batimetri untuk mengetahui bentuk dan nilai kemiringan topografi dasar laut. Selain itu persebaran sedimen bawah laut juga berpengaruh terhadap kerentanan terjadinya longsor bawah laut sehingga perlu dilakukan analisis terhadap bentuk topografi dasar laut di Perairan Donggala. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana penyebaran sedimen dan nilai kemiringan topografi bawah laut serta pengaruhnya terhadap terjadinya tsunami.

Multibeam echosounder (MBES) merupakan instrumen akustik yang digunakan untuk pemetaan dasar perairan dengan prinsip menghasilkan sinyal akustik pendek atau *ping* menuju dasar perairan dan menangkap sinyal yang terpantul dari dasar perairan (Manik, Yulius dan Udrekh 2015). Selain data kedalaman, data lain yang didapat dari instrumen MBES yaitu nilai hambur balik (*backscatter*) dari sinyal akustik yang dipantulkan oleh permukaan dasar laut.

Pada penelitian ini diperlukan data persebaran jenis sedimen dan kelerengan dasar laut yang kemudian digunakan untuk mengetahui kerentanan longsong bawah laut. Jenis sedimen dasar perairan didapatkan dari nilai intensitas *backscatter strength* yang dipancarkan oleh MBES, sedangkan data kelerengan didapatkan dari pengolahan batimetri. Hasil persebaran sedimen dan nilai kemiringan topografi dasar laut tersebut digunakan untuk mengetahui seberapa besar kerentanan area penelitian terhadap terjadinya longsor bawah laut

1.2 Perumusan Masalah

Untuk mengetahui suatu area perairan tersebut rentan atau tidak terhadap longsor bawah laut (*under water landslide*), maka penulis merumuskan beberapa masalah yang

akan diteliti, antara lain:

- a. Berapa rentang nilai kelerengan yang mendominasi di Teluk Palu ditinjau dari data batimetri?
- b. Bagaimana cara mengetahui persebaran sedimen penyusun topografi dasar Teluk Palu dari data *backscatter*?
- c. Seberapa besar kerentanan potensi longsor bawah laut di Teluk Palu?

1.3 Batasan Masalah

Dalam pengerjaan penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah, antara lain:

- a. Wilayah penelitian meliputi daerah pantai di sepanjang Kabupaten Donggala dan Kota Palu yang secara geografis terletak antara $0^{\circ} 40' 3,37''$ LS – $0^{\circ} 49' 45,11''$ LS dan $119^{\circ} 38' 49,34''$ BT – $119^{\circ} 58' 36,77''$ BT.
- b. Data yang digunakan menggunakan data MBES dari hasil survei yang dilakukan oleh PUSHIDROSAL pada tahun 2018.
- c. Hasil penelitian adalah seberapa besar tingkat kerentanan topografi dasar laut dari nilai kemiringan dan sedimen penyusunnya.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

- a. Memetakan batimetri wilayah Teluk Palu berdasarkan nilai kelerengan topografi dasar laut.
- b. Memetakan persebaran sedimen permukaan dasar perairan di wilayah Teluk Palu.
- c. Menganalisis kerentanan dasar laut berdasarkan hasil pengolahan kelerengan dan persebaran sedimen.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian tentang kerentanan topografi dasar laut ini, diharapkan penelitian ini dapat mencapai:

- a. Dapat memberikan gambaran bentuk permukaan dasar perairan dan persebaran sedimen di Teluk Palu.
- b. Dapat mengetahui seberapa besar kerentanan dasar perairan di Teluk Palu ditinjau dari nilai kemiringan dan sedimen penyusunnya.
- c. Dapat dijadikan sebagai referensi pembuatan peta rawan bencana di daerah Teluk Palu.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Berdasarkan fokus permasalahan yang akan diteliti yaitu terkait Kerentanan Topografi Dasar Laut Terhadap Potensi Longsor Bawah Laut (*Under Water Landslide*), perlu dilakukan pengkajian dasar-dasar teori sesuai dengan konsep penelitian. Maka dari itu diperlukan referensi yang mendukung dalam pengerjaan tugas akhir diantaranya yaitu mengenai prinsip pengolahan data MBES untuk mendapatkan nilai kemiringan dan sebaran sedimen penyusunnya yang akan dijelaskan secara lebih rinci akan dijelaskan pada uraian berikut.

2.1 Longsor Bawah Laut (*Under Water Landslide*)

Tanah longsor adalah perpindahan material pembentuk lereng berupa batuan, bahan rombakan, tanah, atau material campuran tersebut, bergerak ke bawah atau keluar lereng (Energi dan Sumber Daya Mineral 2005). Berdasarkan mekanisme longsorannya, tanah longsor dapat diklasifikasikan menjadi empat jenis, yaitu luncuran (*slide*), reruntuhan (*fall*), jatuhnya (*topple*), dan aliran (*flow*) (Muntohar 2008). Monroe dan Wicander 1997 membuat klasifikasi longsor dan karakteristiknya (lihat Tabel 2.1).

Tabel 2. 1 Klasifikasi Longsor (Monroe dan Wicander 1997)

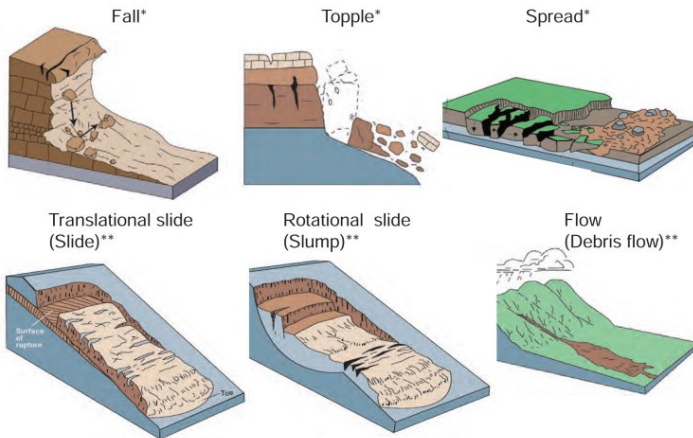
Tipe Pergerakan	Pembagian	Karakteristik	Kecepatan Pergerakan
<i>Falls</i>	<i>Rockfall</i>	Batuan berbagai ukuran dari <i>steep cliffs, canyons</i> , dan jalan yang terpotong	Sangat cepat
<i>Flow</i>	<i>Rockslide</i>	Pergerakan sepanjang permukaan planar	Cepat hingga sangat cepat

Tipe Pergerakan	Pembagian	Karakteristik	Kecepatan Pergerakan
<i>Flow</i>	<i>Mudflow</i>	Komposisi terdiri dari sedikitnya 50% partikel berukuran lanau dan lempung dengan kandungan air hingga 30%	Sangat cepat
	<i>Debris Flow</i>	Mengandung partikel lebih besar dan kandungan air lebih sedikit dibanding <i>mudflow</i>	Cepat hingga sangat cepat
	<i>Earthflow</i>	Material liat dan tebal, massa <i>regolith</i> basah berbentuk melidah (<i>tongue shaped</i>)	Lambat hingga sedang
	<i>Quick clays</i>	Partikel lanau halus dan lempung yang jenuh air dan ketika terganggu oleh guncangan yang tiba-tiba maka kohesivitasnya hilang dan mengalir seperti larutan	Cepat hingga sangat cepat
	<i>Solifluction</i>	Sedimen permukaan jenuh air	Lambat
	<i>Creep</i>	Pergerakan tanah dan batuan menuruni lereng	Lambat
<i>Complex movement</i>		Kombinasi tipe pergerakan yang berbeda	Lama hingga sangat cepat

Ada beberapa jenis longsor dasar laut yaitu *flow slide* (longsor mengalir), *mudflow* (aliran lumpur) dan *slump* (nendatan). *Flow slide* disebabkan oleh akumulasi bahan rombakan longsor yang mengalir dari lereng atas ke bawah mengikuti lereng. Jenis longsor ini biasanya muncul di sedimen lemah berupa pasir dengan pergerakan yang sangat cepat (Garrison dan Sangrey 1997)

Mudflow adalah longsor yang terjadi di daerah yang mengalami pengendapan secara cepat. Bentuk longsor ini sangat kompleks sehingga mekanisme kejadiannya jarang bisa diketahui (Garrison dan Sangrey 1997).

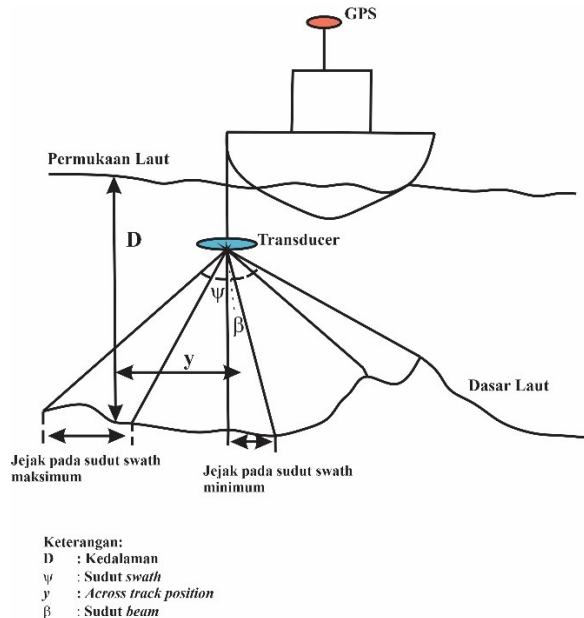
Slump adalah pergerakan material tidak terkonsolidasi atau terkonsolidasi lemah di permukaan retakan yang berotasi turun sepanjang bidang lengkung (Monroe dan Wicander 1997). *Slump* bisa terjadi pada hampir semua daerah paparan benua (*continental shelf*) yang memiliki gradien lereng cukup curam. Walau *slump* sering bergerak lebih lambat daripada jenis longsor lain tapi potensi kerusakan yang diakibatkannya lebih besar mengingat perpindahan materialnya di sepanjang bidang luncur (*failure surface*) akan merusak tiap struktur buatan manusia (Garrison dan Sangrey 1997). Beberapa tipe dari gerakan longsor dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Klasifikasi Gerakan Longsor (Varnes 1958)

2.2 Aplikasi Multibeam Echosounder

Multibeam Echosounder (MBES) merupakan instrumen hidroakustik yang banyak digunakan dalam survei batimetri. Hal ini disebabkan kemampuan instrumen tersebut dalam melakukan pemeruman dasar laut dengan akurasi yang sangat tinggi dan cakupan yang luas Anderson dkk. 2008 dalam (Fahrulian 2012). *Multibeam* mengirimkan pulsa suara dalam bentuk sapuan ke dasar perairan, hal ini memungkinkan untuk dapat dilakukan pemetaan dasar laut secara luas MBES menerima banyak sinyal akustik sehingga membentuk area sapuan/*swath* dengan sudut tertentu sebagaimana pada Gambar 2.2. Prinsip kerja pada instrumen akustik ini pada umumnya sama dengan *single beam*, yaitu dengan mengukur perbedaan waktu yang dipancarkan dan diterima kembali oleh *receiver*.



Gambar 2. 2 Area Sapuan MBES

Data kedalaman dari masing-masing pulsa suara yang dipancarkan terdiri dari nilai amplitudo yang berasal dari pulsa suara yang dipantulkan kembali oleh dasar perairan. Informasi ini disebut data *backscatter* dan digunakan untuk mengetahui kondisi dasar laut. Gelombang pantul yang lemah (amplitudo kecil) mengindikasikan substrat dasar perairan yang lunak dan gelombang pantul yang kuat mengindikasikan material dasar perairan yang keras (Fahrulian 2012).

2.3 Pasang Surut

Data pasang surut digunakan sebagai data masukan pada pengolahan bathimetri yakni sebagai koreksi dan datum vertikal. Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut sebagai fungsi waktu karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi

(Triatmodjo 2009). Meskipun massa bulan jauh lebih kecil dari massa matahari, tetapi karena jaraknya terhadap bumi jauh lebih dekat, maka pengaruh gaya tarik bulan terhadap bumi lebih besar daripada pengaruh gaya tarik matahari. Oleh karena itu, permukaan air laut tidak statik melainkan dinamik dan selalu bergerak. Menurut (Hydrographer of the Navy 1964) ketinggian air pasang surut dapat diformulasikan pada persamaan 2.1.

$$H = A \cos \theta \cos n t - A \sin \theta \sin n t \quad (2.1)$$

Dimana

- n : Kecepatan sudut (derajat/jam)
 t : Waktu (jam)
 A : Amplitudo (m)
 θ : Fase pada saat t (derajat/jam)

Bentuk pasang surut diberbagai daerah tidak sama. Di suatu daerah dalam satu hari dapat terjadi satu kali atau dua kali pasang surut. Secara umum pasang surut di berbagai daerah dapat dibedakan dalam empat tipe, yaitu pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*), harian ganda (*semi-diurnal tide*) dan dua jenis campuran atau *mixed tide* (Triatmodjo 2009). Berikut adalah penjelasan dari keempat tipe pasang surut:

- a. Pasang Surut Harian Tunggal (*diurnal tide*)
- b. *Semi diurnal tide* atau pasut harian ganda (dua kali pasang dan dua kali surut dalam 24 jam)
- c. Pasang Surut Campuran Condong ke Harian Ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*)
- d. Pasang Surut Campuran Condong ke Harian Tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*).

Untuk mengetahui jenis pasang surut dapat diketahui dengan mengetahui besarnya bilangan Formzhal (Hydrographer of the Navy 1964) yaitu:

$$F = \frac{AK1+AO1}{AM2+AS2} \quad (2.2)$$

Dimana

$A(K_1)$: amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan dan matahari

$A(O_1)$: amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan

$A(M_2)$: amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan

$A(S_2)$: amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik matahari

Dengan hubungan antara unsur utama pembangkit pasang surut laut dengan periode, sudut dan sifatnya seperti pada Tabel 2.2. Sebagai salah satu contoh adalah jika suatu gelombang mempunyai waktu tempuh untuk mencapai gelombang penuh membutuhkan waktu 12,42 jam dan mempunyai kecepatan sudut gelombang 28,984 derajat/jam maka disebut M_2 dan mempunyai sifat gelombang harian ganda begitu seterusnya untuk unsur yang lainnya.

Tabel 2. 2 Hubungan Unsur Utama Dengan Lainnya (Haryono dan Narni 2004)

Unsur	Periode (jam)	Kecepatan Sudut (derajat/jam)	Sifat
M_2	12,42	28,9841	Harian Ganda
S_2	12,00	30,0000	Harian Ganda
K_2	11,97	30,0821	Harian Ganda
N_2	12,66	28,4397	Harian Ganda
K_1	23,93	15,0411	Harian Tunggal
O_1	25,82	13,9430	Harian Tunggal
P_1	24,07	14,9589	Harian Tunggal
M_4	6,21	57,9882	Harian Kuartar
MS_4	6,20	58,9841	Harian Kuartar

Berdasarkan pada besar bilangan Formzhal, maka jenis pasang surut laut dapat diketahui berdasarkan kriteria seperti yang dijelaskan pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Hubungan Besarnya Bilangan Formzhal dengan Jenis Pasang Surut Air Laut (Hydrographic Services 1969)

Bilangan Formzal	Jenis Pasang Surut
$0,00 < F \leq 0,25$	Pasang surut harian ganda beraturan
$0,25 < F \leq 1,50$	Pasang surut campuran condong harian ganda
$1,50 < F \leq 3,00$	Pasang surut campuran condong harian tunggal
$F > 3,00$	Pasang surut harian tunggal beraturan

2.4 Sound Velocity Profile

Sound velocity profile digunakan untuk melakukan koreksi terhadap faktor-faktor oseanografi yang dapat mempengaruhi cepat rambat gelombang suara di dalam air. Persamaan yang digunakan untuk mendapat nilai kedalaman adalah (Lurton dkk. 2015):

$$D = \frac{c}{t} \quad (2.3)$$

Keterangan:

D : Kedalaman (m)

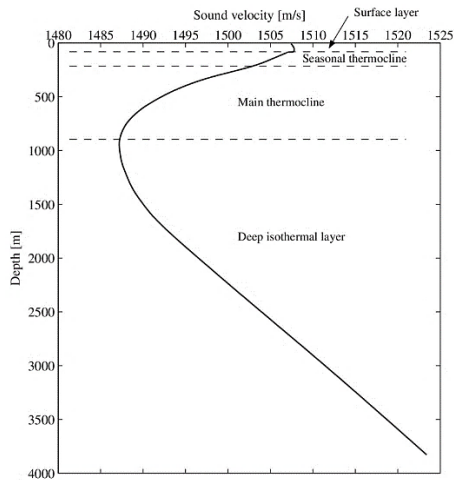
c : Cepat rambat gelombang suara (m/s)

t : Waktu kembalinya sinyal dari dasar laut ke *Transducer* (s)

SVP merupakan sebuah gambaran atau profil yang menggambarkan tingkat kecepatan rambat suara di perairan. Kecepatan suara sering disimbolkan dengan c . Nilai kecepatan rambat suara air laut berada antara 1450 m/s – 1540 m/s. Pengetahuan mengenai kondisi lingkungan air laut sangat penting untuk diketahui. Kecepatan suara akan meningkat dengan bertambahnya suhu, salinitas dan tekanan. Faktor-faktor tersebut memiliki hubungan yang sangat kompleks untuk dibahas. Namun variasi nilai kecepatan rambat suara ini relatif kecil.

Kecepatan suara ini memiliki nilai yang bervariasi (Kinsler dkk. 2000) membuat suatu profil kecepatan suara

ketika berada di dalam kolom perairan. Perubahan kecepatan suara secara drastis terjadi pada palung laut atau berada pada lapisan *thermocline*. Hal ini dikarenakan pada lapisan tersebut terjadi perbedaan suhu yang signifikan. Gambar 2.3 menggambarkan profil kecepatan suara yang umumnya terjadi di perairan laut.



Gambar 2. 3 Profil Kecepatan Suara (Mike 2008)

Kecepatan suara merupakan faktor yang sangat penting dalam survei batimetri. Hal ini disebabkan kecepatan suara dalam air memiliki nilai yang tidak selalu sama untuk setiap wilayah, sehingga langkah awal untuk melakukan pemetaan dasar laut (*marine mapping*) adalah melakukan perhitungan terhadap kecepatan suara di wilayah tersebut. Pengambilan data kecepatan suara dapat dilakukan menggunakan *Conductivity Temperature and Depth* (CTD) ataupun *Sound Velocity Profiler* (SVP).

Mike (2008) menjelaskan laut memiliki tiga zona utama kecepatan suara (Gambar 2.3) yaitu:

- a. Permukaan/Musiman: Merupakan bagian yang sangat

- bervariasi dengan permukaan berkisar 0 sampai 100 m dan musiman berkisar 100 m sampai 200 m.
- b. Termoklin utama (*Main thermocline*): Pada bagian ini cenderung mengalami penurunan SV sampai 1000 m karena terutama terjadi penurunan suhu.
 - c. Lapisan kedalaman isothermal (*Deep isothermal layer*): berada di bawah 1000 m. Suhu air mendekati 2°C dan kecepatan suara meningkat.

2.5 Kualitas Data Batimetri

Data batimetri yang diperoleh agar sesuai dengan standar yang telah ditentukan pada S-44 IHO tahun 2008, perlu dilakukan suatu kontrol kualitas (*Quality Control*) berupa koreksi data batimetri. Persyaratan ketelitian pengukuran batimetri ditetapkan 4 tingkat (orde), secara ringkas daftar standar minimum survei batimetri dinyatakan pada Tabel 2.4. Perhitungan ketelitian dilakukan pada daerah pertampalan antara lajur utama dengan lajur silang, asumsinya titik-titik kedalaman pada daerah yang bertampalan ini memiliki nilai kedalaman yang sama, namun kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa kedalaman pada daerah tersebut bisa saja memiliki kedalaman yang berbeda. Ketelitian dilakukan menggunakan persamaan berikut (International Hydrographic Organization 2008)

$$\text{Batas toleransi } (\sigma) = \pm \sqrt{a^2 + (b \times d)^2} \quad (2.4)$$

keterangan :

σ : nilai batas toleransi ketelitian kedalaman (m)

a : konstanta kesalahan kedalaman (m)

b : faktor kesalahan yang tidak dipengaruhi kedalaman (m)

d : kedalaman (m).

Tabel 2. 4 Standar Minimum Survey Hidrografi (International Hydrographic Organization 2008)

Orde	Khusus	1a	1b	2
Contoh tipe-tipe area	Daerah perairan kritis, seperti perairan dangkal dengan kedalaman air dibawah lunas minim	Daerah perairan dangkal kurang dari 100m, jarak dibawah lunas kapal pengaruh critical area lebih kecil	Daerah perairan dangkal kurang dari 100m, jarak bawah lunas kapal tidak dipertimbangkan lagi	Daerah perairan lebih dari 100 meter atau perairan dalam
Ketelitian Horisontal	2 m	5 m + 5% kedalaman	5 m + 5% kedalaman	20 m + 5% Kedalaman
Ketelitian Kedalaman	a = 0,25 m b = 0,0075 m	a = 0,5 m b = 0,013	a = 0,5 m b = 0,013	a = 1,0 m b = 0,023 m
Cakupan Dasar Laut Secara Penuh	Perlu	Perlu	Tidak Perlu	Tidak Perlu
Deteksi Fitur Dasar Laut	Fitur Kubus > 1 m	2 m untuk kedalaman sampai 40 m, 10% kedalaman untuk sisanya	Tidak diaplikasikan	Tidak diaplikasikan

2.6 Sedimen Dasar Laut

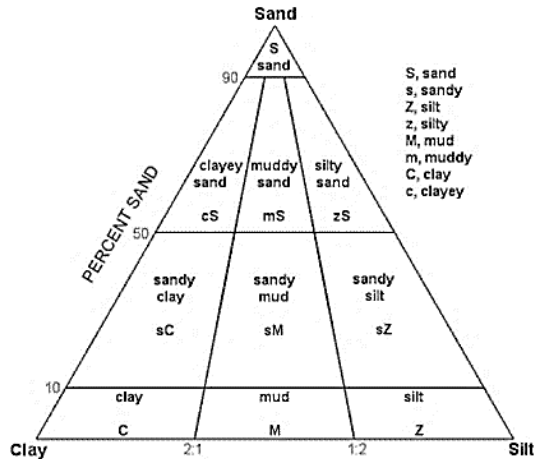
Sedimen adalah kerak bumi (*regolith*) yang ditransportasikan melalui proses hidrologi dari suatu tempat ke tempat yang lain, baik secara vertikal maupun secara horizontal. Seluruh permukaan dasar laut ditutupi oleh partikel-partikel sedimen yang diendapkan secara perlahan-lahan dalam jangka waktu berjuta-juta tahun (Garrison 2005)

Ukuran-ukuran partikel sedimen merupakan salah satu cara yang mudah untuk menentukan klasifikasi sedimen. Klasifikasi berdasarkan ukuran partikelnya menurut (Wentworth 1922) dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Klasifikasi Tipe Sedimen (Wentworth 1922)

Nama	Tipe Sedimen	Diameter (mm)
Batu (<i>Stone</i>)	Bongkah (<i>boulder</i>)	> 256
	Krakal (<i>cobble</i>)	65 – 256
	Kerikil (<i>pebble</i>)	4 – 64
	Butiran (<i>granule</i>)	2 – 4
Pasir (<i>Sand</i>)	Pasir sangat kasar (<i>very coarse sand</i>)	1 – 2
	Pasir kasar (<i>coarse sand</i>)	0,5 – 1
	Pasir sedang (<i>medium sand</i>)	0,25 – 0,5
	Pasir halus (<i>fine sand</i>)	0,125 – 0,25
	Pasir sangat halus (<i>very fine sand</i>)	0,0625 – 0,125
Lumpur (<i>Silt</i>)	Lumpur kasar (<i>coarse silt</i>)	0,0310 – 0,0625
	Lumpur sedang (<i>medium silt</i>)	0,0156 – 0,0310
	Lumpur halus (<i>fine silt</i>)	0,0078 – 0,0156
	Lumpur sangat halus (<i>very fine silt</i>)	0,0039 – 0,0078
Lempung (<i>Clay</i>)	Lempung kasar (<i>coarse clay</i>)	0,0015 – 0,0039
	Lempung sedang (<i>medium clay</i>)	0,0009 – 0,0015
	Lempung halus (<i>fine clay</i>)	0,0004 – 0,0009
	Lempung sangat halus (<i>very fine clay</i>)	0,0002 – 0,0004

Klasifikasi sedimen dapat dilakukan dengan menggunakan diagram pasir, lumpur dan tanah liat seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Diagram *Sand, Silt, and Clay* (Alden 2017)

Ukuran butiran (*grain size*) dapat dinyatakan secara langsung sebagai diameter butir (dalam milimeter atau mikron) atau dengan nilai phi (ϕ). Untuk perhitungan nilai kekuatan hambur balik (*backscatter strength*) dengan rata-rata diameter dari tipe sedimen diformulasikan dengan persamaan (Manik, Furusawa dan Amakasu 2006):

$$BS (dB) = 9.0 \text{ Log}_{10} (d[\mu\text{m}]) - 36.4 \quad (2.5)$$

Dan untuk perhitungan nilai phi didapatkan berdasarkan logaritma negatif berbasis 2 dengan satuan millimeter (Dufek 2012)

$$\phi = -\text{Log}_2 d[\text{mm}] \quad (2.6)$$

keterangan :

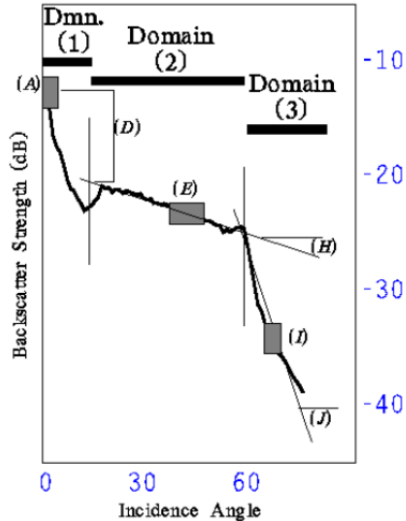
BS : nilai kekuatan hambur balik / *backscatter strength* (dB)

d : ukuran butiran (μm , mm)

\emptyset : ukuran butiran (ϕ)

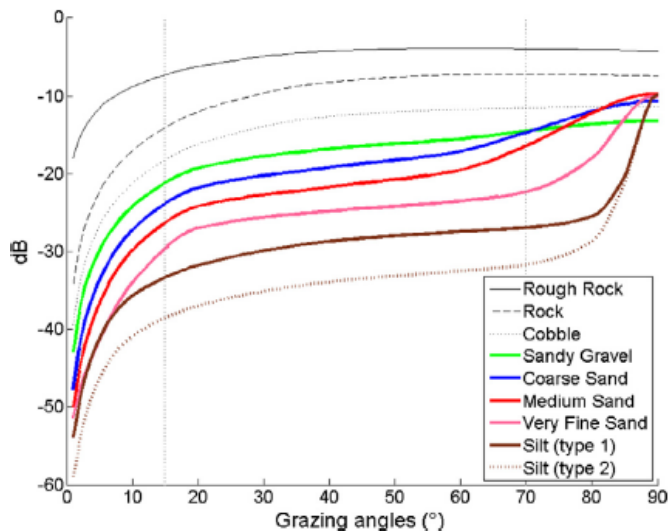
2.7 Angular Response Curve

Angular response curve (ARC) adalah kurva yang menunjukkan hubungan *grazing angle* dengan nilai hambur balik. ARC dibagi menjadi 3 bagian atau *domain*, yaitu *domain 1*, 2, dan 3 (Huges Clake, Danforth dan Valentine 1997). *Domain 1* adalah *domain* atau area yang berada pada dekat nadir, dengan *grazing angle* berkisar antara 90 - 70 atau 65 derajat. *Domain 2* adalah *domain* dengan *grazing angle* 70 atau 65 derajat hingga 10 derajat. *Domain 3* adalah *domain* dengan *grazing angle* 10 derajat sampai 0 derajat. Pembagian *domain* pada ARC dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Pembagian Domain ARC (Huges Clake, Danforth dan Valentine 1997)

Pada *vertical incidence*, nilai hambur balik dari objek yang skala kekasaran tinggi namun variasinya kecil mendominasi hambur balik objek dengan skala kekerasan rendah. Di sudut *incidence* menengah, hambur balik dari objek skala kekerasan rendah mendominasi, sedangkan pada nilai *grazing angle* yang rendah, nilai hambur balik terus menurun, sehingga mengurangi nilai intensitas hambur balik. Hal ini dapat terlihat melalui contoh *angular response curve* seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 *Angular Response Curve* (Haniotis dkk. 2015)

Nilai dari *angular response* atau *angular dependence* merupakan nilai yang harus diperhatikan, dikarenakan mempunyai pengaruh terhadap interpretasi dari jenis sedimen dasar laut. Dasar laut yang kasar (misal batuan) cenderung menghamburkan gelombang suara secara homogen ke semua arah dan *echo level* nya tidak terlalu bergantung pada *incidence angle* (intensitas BS stabil di semua sudut), sedangkan dasar laut atau sedimen yang halus mempunyai

respon balik dimana pada sudut vertikal nilainya maksimum dan nilainya minimum di sudut miring.

2.8 Korelasi dan Regresi

Uji korelasi adalah uji statistik untuk mengukur kekuatan hubungan antara dua variabel secara kuantitatif. Ukuran derajat kekuatan hubungan ini dinamakan koefisien korelasi. Nilai koefisien korelasi berkisar pada $-1 \leq r \leq 1$, artinya koefisien korelasi bisa bertanda positif dan negatif Marliana (2016) menyebutkan bahwa:

- Tanda positif menunjukkan adanya hubungan yang selaras antara variabel bebas dengan variabel terikat dalam artian semakin tinggi nilai dari variabel bebas semakin tinggi pula nilai dari variabel terikat.
- Tanda negatif menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai dari variabel bebas maka semakin kecil nilai dari variabel terikat.

Kekuatan hubungan antar variabel dibagi menjadi beberapa kategori (Jaya 2010) , yaitu:

Tabel 2. 6 Koefisien Korelasi (Jaya 2010)

Koefisien Korelasi	Tafsiran
$0 - < 0,2$	Tidak terdapat korelasi antar variabel
$\geq 0,2 - < 0,4$	Hubungan yang rendah atau hubungan tidak erat
$\geq 0,4 - < 0,7$	Hubungan <i>moderate</i> / sedang
$\geq 0,7 - < 0,9$	Hubungan erat / kuat
$\geq 0,9 - < 1$	Hubungan sangat erat / sangat kuat

Adapun persamaan untuk menghitung nilai koefisien korelasi adalah (Sarwono 2006).

$$r = \frac{\frac{1}{N}\Sigma(X-\bar{X})(Y-\bar{Y})}{\sqrt{\frac{\Sigma(X-\bar{X})^2}{N}} \times \sqrt{\frac{\Sigma(Y-\bar{Y})^2}{N}}} \quad (2.7)$$

Keterangan:

r : Koefisien korelasi

N : Jumlah sampel

X : Variabel pertama

Y : Variabel kedua

\bar{X} : Rata-rata variabel X

\bar{Y} : Rata-rata variabel Y

Regresi merupakan alat ukur yang digunakan mengetahui ada tidaknya korelasi antar variabel. Regresi linear (*linear regression*) adalah teknik yang digunakan untuk memperoleh model hubungan antara 1 variabel dependen dengan 1 atau lebih variabel independen. Jika hanya digunakan 1 variabel independen dalam model, maka teknik ini disebut sebagai regresi linear sederhana (*simple linear regression*), sedangkan jika yang digunakan adalah beberapa variabel independen, teknik ini disebut regresi linear ganda (*multiple linear regression*). Persamaan linear sederhana dapat dituliskan dalam bentuk (Walpole 1992).

$$y = a + bx \quad (2.8)$$

Dapat diperoleh dari rumus:

$$b = \frac{n \Sigma_{i=1}^n x_i y_i - (\Sigma_{i=1}^n x_i)(\Sigma_{i=1}^n y_i)}{n \Sigma_{i=1}^n x_i^2 - (\Sigma_{i=1}^n x_i)^2} \quad (2.9)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (2.10)$$

Keterangan:

y : Variabel terikat

x : Variabel bebas

- \bar{x} : Rata-rata variabel bebas
 \bar{y} : Rata-rata variabel terikat
 a : Intersep/ perpotongan dengan sumbu tegak
 b : Kemiringan / gradien

2.9 Kongsberg EM302

Multibeam echosounder kongsberg EM302 dirancang untuk melakukan pemetaan dasar laut dengan resolusi tinggi dan akurasi hingga kedalaman maksimum lebih dari 7000 m. Sistem pada EM302 memiliki hingga 432 *sounding* setiap sapuannya dengan sudut otomatis akan disesuaikan dengan jangkauan kedalaman.

Secara lengkap spesifikasi *multibeam echosounder* kongsberg EM302 ditunjukkan pada Tabel 2.7.

Tabel 2. 7 Spesifikasi Teknik MBES EM302 (Kongsberg 2017)

Spesifikasi	<i>Operating System</i>
Frekuensi	30 kHz
Rentang Kedalaman	10 – 7000 m
Lebar Sapuan	± 8 km
Toleransi Pergerakan Kapal	
• <i>Yaw</i>	± 10°
• <i>Pitch</i>	± 10°
• <i>Roll</i>	± 15°

2.10 Metode Skoring

Menurut Pratomo (2008) metode skoring merupakan metode yang paling sering digunakan dalam analisis atribut. Skoring merupakan pemberian nilai terhadap suatu poligon peta untuk memberikan tingkat kedekatan, keterkaitan atau beratnya dampak tertentu pada suatu fenomena secara spasial.

Skoring dapat dilakukan secara objektif dengan perhitungan statistik atau secara subyektif dengan

menetapkannya berdasarkan pertimbangan tertentu. Penentuan skor secara subyektif harus dilandasi pemahaman tentang proses tersebut. Suatu metode pemberian skor atau nilai dilakukan kepada masing - masing parameter untuk menentukan tingkat kemampuannya.

Hasil dari skoring dan pembobotan kemudian diklasifikasikan menjadi rentang kelas sesuai yang diinginkan menggunakan persamaan (Pratomo 2008):

$$Ki = \frac{Xt - Xr}{k} \quad (2.8)$$

Keterangan:

Ki = Kelas interval

Xt = Nilai tertinggi

Xr = Nilai terendah

k = Jumlah kelas yang diinginkan

Nilai interval ditentukan dengan pendekatan relatif dengan cara melihat nilai maksimum dan nilai minimum tiap satuan pemetaan, kelas interval didapatkan dengan cara mencari selisih antara data tertinggi dengan data terendah dan dibagi dengan jumlah kelas yang diinginkan (Larasati, Hariyanto dan Kurniawan 2017)

2.11 Penelitian Sebelumnya

Adapun penelitian yang telah dilakukan sebelumnya adalah sebagai berikut:

- a. Penelitian terdahulu terkait dengan potensi longsor dasar laut di perairan Maumare yang dilakukan oleh (Arifianti 2011) menggunakan data penelitian berupa peta batimetri dasar laut yang digunakan untuk mengetahui morfologi Perairan Maumere yaitu dengan perhitungan *slope*. Untuk penampang seismik refleksi 2 dimensi yang terdiri dari 35 lintasan yang dianalisis secara langsung adalah konfigurasi refleksi seismik. Konfigurasi ini adalah pola stratifikasi atau

perlapisan kasar yang terdapat pada rekaman seismik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Perairan Maumere memiliki rentang kedalaman yang cukup besar sehingga interval kontur pada peta batimetrinya adalah 50 m. Perairan Maumere relatif terletak di Satuan Morfologi Dasar laut Curam. Satuan ini terdapat memanjang dengan arah timur laut – barat pada kisaran kedalaman laut 250 – 1350 m. Luas sebaran mencapai 568,8 km² atau sekitar 40% dari total luas daerah penelitian. Kemiringan lereng pada satuan ini 7 sampai 24,6% dengan relief sedang sampai rapat, didominasi oleh topografi punggung dengan kemiringan lereng yang bervariasi dari yang bergelombang sampai curam. Perairan Maumere memiliki kelas lereng yang kemiringannya curam 20% atau lebih berpotensi untuk bergerak atau longsor dan bisa mengakibatkan tsunami.

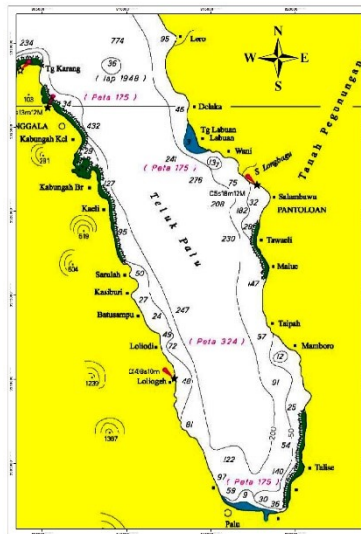
- b. Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Kris Budiono tahun 2009 mengenai identifikasi longsor bawah laut berdasarkan penafsiran seismik pantul di perairan Flores. Pada penelitian ini data yang digunakan adalah data 35 penampang seismik pantul 2-dimensi. Berdasarkan data tersebut rata-rata perairan Flores mempunyai kemiringan lereng antara 35% – 40% dan dikelilingi oleh kelurusan struktur geologi. Selanjutnya berdasarkan rekaman seismik dijumpai indikasi longsor jenis *slump*. Berdasarkan hasil tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa longsor bawah laut sangat berpotensi terjadi pada daerah dengan kemiringan lereng yang curam, berintensitas tektonik dan juga gempa bumi yang cukup besar.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Teluk Palu yang terletak dengan posisi geografis antara $0^{\circ} 40' 3,37''$ LS – $0^{\circ} 49' 45,11''$ LS dan $119^{\circ} 38' 49,34''$ BT – $119^{\circ} 58' 36,77''$ BT serta luas area penelitian sekitar 17773,826 Ha.



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian di Teluk Palu (Peta Laut Indonesia 2009)

3.2 Data dan Peralatan

Data dan peralatan yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini sebagai berikut:

3.2.1 Data

Data yang akan digunakan untuk penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. *Raw data* survei MBES tahun 2018 di TelukPalu didapatkan dari PUSHIDROSAL.
- b. Data batimetri Teluk Palu 2018 (MBES) skala 25.000 didapatkan dari Pusat Oseanografi dan Hidrografi TNI Angkatan Laut (PUSHIDROSAL).
- c. Data pasang surut yang diamati selama proses pemeruman oleh PUSHIROBAL.
- d. Data SVP Teluk Palu 2018 didapatkan dari PUSHIDROSAL.
- e. Data sampel sedimen Teluk Palu yang didapat dari PUSHIDROSAL.

3.3.5 Peralatan

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. *Software* CARIS HIPS&SIPS 8.1
Perangkat lunak ini digunakan untuk proses pengolahan data batimetri dan *backscatter*.
- b. *Software* ArcGIS 10.6.1
Perangkat lunak ini digunakan untuk proses pengeplottan dan *layouting*.

3.3 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan sesuai dengan metode penelitian yang dijelaskan pada uraian berikut.

3.3.1 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan kegiatan yang dilakukan pada saat penelitian yaitu seperti yang dijelaskan dalam diagram alir pada Gambar 3.4.

3.3.2 Tahap Identifikasi Masalah

Tahap identifikasi masalah bertujuan untuk pengidentifikasi atau memfokuskan permasalahan yang akan diteliti. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kerentanan permukaan dasar laut di Teluk

Palu terhadap potensi longsor bawah laut yang ditinjau dari sedimen penyusun dan kemiringannya.

3.3.3 Tahap Studi Literatur

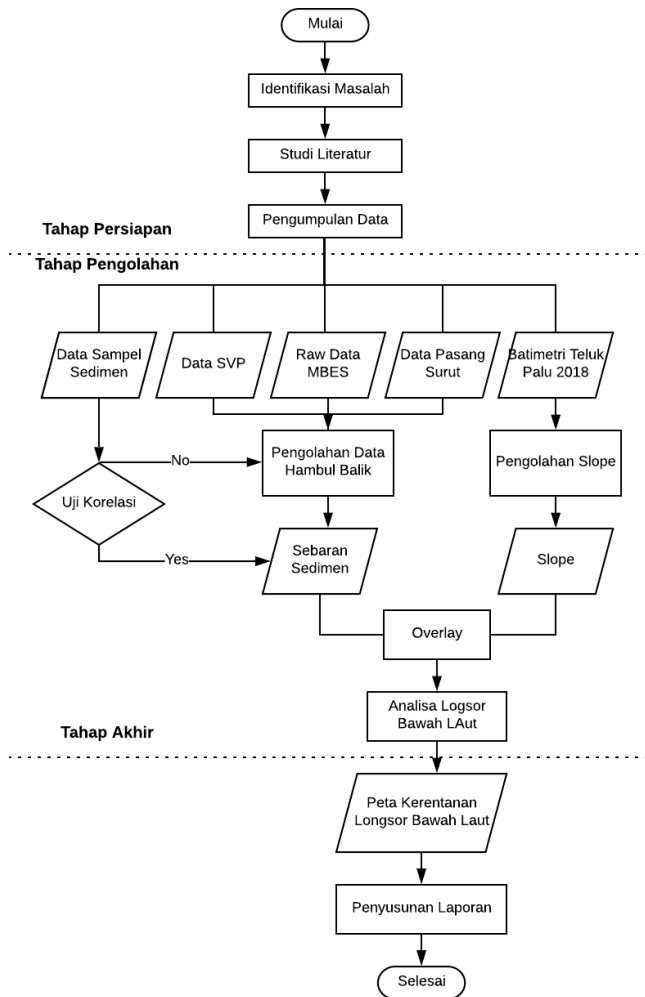
Pada tahap studi literatur ini dilakukan untuk mendapatkan referensi dan memahami materi untuk mendukung pengerjaan penelitian. Literatur tersebut dapat berasal dari buku, jurnal, internet, dan sumber terpercaya lainnya.

3.3.4 Tahap Pengumpulan Data

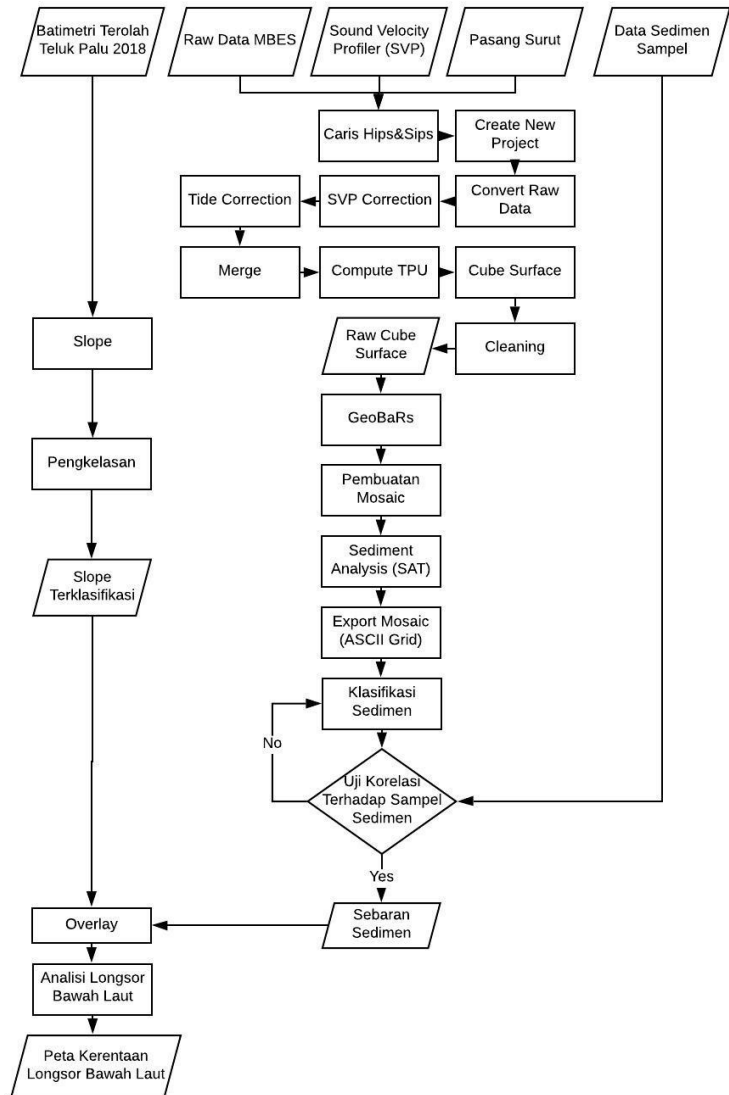
Mengumpulkan data yang diperlukan untuk mendukung pengerjaan dan kekayaan data tugas akhir, seperti raw data survei MBES Teluk Palu, data *sound velocity profile*, data pasang surut, dan data batimetri tahun 2018 skala 1:25.000.

3.3.5 Tahap Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data seperti pada diagram alir (Gambar 3.2). Selanjutnya (Gambar 3.3) adalah diagram alir teknis proses pengolahan untuk *slope*, *backscatter*, dan untuk mendapatkan nilai kerentanan longsor bawah laut.



Gambar 3.2 Diagram Alir Tahapan Penelitian



Gambar 3.3 Diagram Alir Pengolahan Data

Berikut ini merupakan penjelasan pengolahan data penelitian:

1. Proses Pengolahan *Backscatter*
 - a. Koreksi *Sound Velocity Profiler (SVP)*

Dilakukan untuk tujuan koreksi yang berhubungan dengan dinamika oseanografi yang bertujuan untuk menghitung panjang dan lintasan dari gelombang suara yang melewati kolom air untuk tiap *beam*.
 - b. *Tide Correction*

Perubahan permukaan air yang diakibatkan oleh pasang surut diperhitungkan sebagai koreksi pasang surut. Pada setiap proses pemeruman hasil kedalaman bias saja tidak tepat dari referensi vertikalnya sehingga perlu dilakukan koreksi terhadap pasang surut.
 - c. *Merge*

Proses ini bertujuan untuk mengkombinasikan data pasang surut, kedalaman, data sensor gerak (*roll, pitch, yaw*) dan *offset* kapal untuk menghasilkan georeferensi. Apabila proses *merge* berhasil maka akan terjadi perubahan tampilan warna di lajur survei, yang semula berwarna biru menjadi hijau.
 - d. *Compute TPU (Total Propagated Uncertainty)*

Proses ini bertujuan untuk semua kesalahan yang berkontribusi dari semua sensor akan mengambil pendekatan kontrol kualitas dalam mengolah data batimetri.
 - e. *Cube Surface*

Proses ini adalah untuk menghasilkan *surface* dari dasar laut menggunakan metode CUBE

(*Combined Uncertainty and Bathymetry Estimator*)

- f. GeoBaRs (*Georeferenced Backscatter Raster*)

Tahapan ini bertujuan untuk penilaian awal kualitas dan *editing* data, hal ini dimungkinkan untuk membuat banyak geobars tiap lajur survei. Proses pembuatan mosaik boleh dilakukan hanya satu lajur geobars saja atau lebih dalam pengolahannya.

- g. Proses *Mosaic*

Mosaik hambur balik menggambarkan derajat keabu-abuan (*gray level*) yang merepresentasikan intensitas akustik yang dipantulkan dasar perairan.

Untuk menghasilkan mosaik yang berkualitas tinggi dan akurat digunakan metode *Angular Response Analysis* (ARA), merupakan metode yang menggunakan model pendekatan bahwa setiap tipe sedimen dasar perairan memiliki respon sudut pancaran yang berbeda-beda, yang mana variasi hambur balik akustik ini dihubungkan dengan respon tiap sudut pancaran untuk menentukan tipe sedimen dasar perairan.

- h. Klasifikasi Jenis Sedimen

Proses ini adalah pengkelasan jenis sedimen berdasarkan nilai intensitas yang di pantulkan. Klasifikasi ini menggunakan metode *Angular Response Analysis*.

- i. Uji Korelasi

Hasil klasifikasi jenis sedimen yang didapat proses ARA dicocokkan dengan hasil data jenis sedimen sampel. Maka akan dihasilkan nilai korelasi yang menunjukkan hubungan

antara data olahan dan data lapangan. Jika nilai korelasi antara keduanya masih belum memenuhi syarat maka harus dilakukan klasifikasi ulang dengan pengaturan parameter yang sesuai sampai didapatkan nilai korelasi yang bagus.

2. Proses Pengolahan *Slope*

Pada pengolahan *slope* yang dipakai adalah data batimetri Teluk Palu tahun 2018 skala 1:25.000. Dari data tersebut dibentuklah *slope* dengan pengkelasan sebagai berikut

Tabel 3. 1 Klasifikasi Slope (Khoiri, Jaelani dan Widodo 2018)

Kelas Lereng	<i>Slope</i> %	Keterangan
I	$0 < s \leq 8$	Landai
II	$8 < s \leq 25$	Curam
III	$25 < s \leq 40$	Sangat Curam
IV	$40 < s \leq 100$	Terjal

3. Proses *Overlay*

Overlay digunakan untuk menggabungkan data *slope* dan data hasil olahan *backscatter*. Pada proses *overlay* juga dilakukan pembobotan pada setiap parameter yang dimasukkan pada penelitian ini menggunakan data *slope* dan data hasil *backscatter*. Sehingga dapat diklasifikasikan daerah yang mempunyai potensi longsor bawah laut mulai dari yang rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi.

3.3.6 Tahap Analisis

Setelah pembuatan peta kerentanan longsor bawah laut di Teluk Palu, kemudian dilakukan

analisis seberapa besar potensi longsor bawah laut di Teluk Palu yang ditinjau dari nilai kemiringan dan sebaran sedimen yang ada di dasar perairan Teluk Palu.

3.3.7 Tahap Penyusunan Laporan

Tahap terakhir dari penelitian ini adalah penyusunan laporan dari hasil analisis penelitian yang disajikan dalam bentuk laporan Tugas Akhir.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

4.1 Hambur Balik dan Klasifikasi Sedimen

Data mosaik hambur balik digunakan untuk klasifikasi jenis sedimen pada penelitian ini. Pengolahan hambur balik (*backscatter*) menggunakan perangkat lunak Caris Hips&Sips 8.1 hasil dari proses tersebut adalah mosaik yang mempunyai nilai intensitas. Dari nilai intensitas tersut dapat digunakan untuk mengklasifikasikan jenis sedimen permukaan dasar perairan menggunakan metode *angular response analysis (ARA)*.

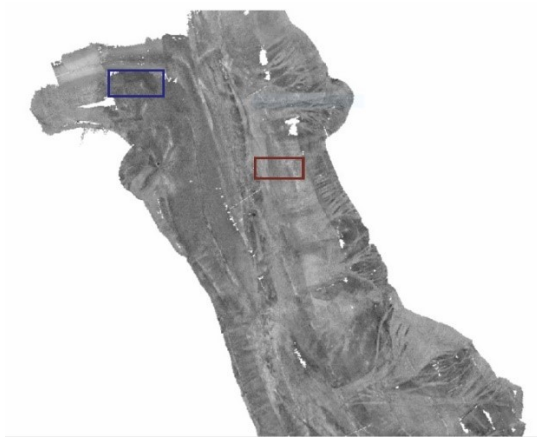
4.1.1 *Mosaic Backscatter*

Hasil proses pembuatan mosaik dari seluruh lajur melalui proses *geobars* dan telah dikoreksi ditunjukkan pada Gambar 4.1. Mosaik hambur balik menunjukkan nilai intensitas yang divisualisasikan dengan warna *grayscale* (derajat keabuan). Mosaik hambur balik yang memiliki energi besar ditunjukkan dengan warna terang dan mosaik yang energi rendah ditunjukkan dengan warna gelap.

Nilai intensitas hambur balik yang semakin rendah menunjukkan semakin lunaknya sedimen di suatu *pixel*. Perbedaan persebaran nilai *backscatter* pada mosaik ditunjukkan pada Gambar 4.1 (b) dan 4.1 (c).

Pada Gambar (a) menunjukkan warna mosaik *backscatter* secara keseluruhan pada area penelitian. Pada Gambar (b) menunjukkan sebaran nilai intensitas yang berwarna lebih gelap sehingga dapat diidentifikasi bahwa sedimen dasar perairan yang ada pada area tersebut memiliki nilai intensitas yang kecil dan sifat sedimen lebih lunak dibandingkan dengan sebaran sedimen yang ada pada area Gambar (c). Pada Gambar (c) memiliki rona yang lebih terang yang merepresentasikan bahwa sedimen yang berada pada

area tersebut memiliki nilai intensitas yang tinggi dan sifat sedimen keras. Namun pada tahap ini belum bisa mengklasifikasikan jenis-jenis sedimen secara detail sehingga perlu dilakukan proses *angular response analysis* untuk mengetahui jenis sedimen secara lebih detail.



(a)



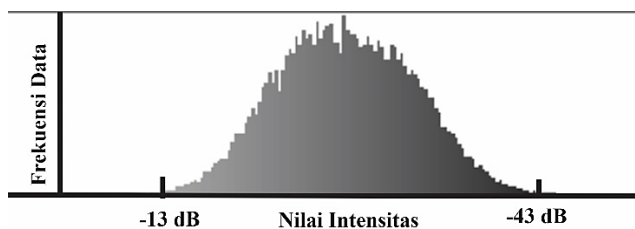
(b)



(c)

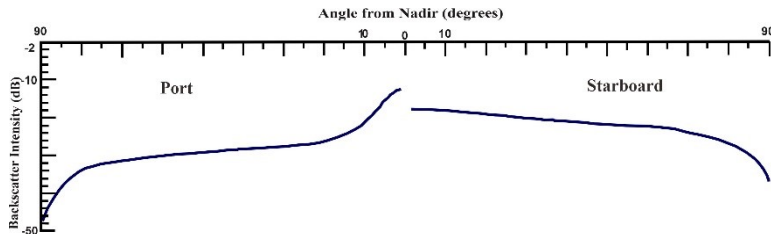
Gambar 4. 1 Perbedaan Warna Mosaik

Nilai intensitas pada mosaik di area penelitian berkisar antara $-0,01$ dB sampai $-62, 59$ dB. Nilai tersebut tidak semuanya menunjukkan intensitas di area mosaik hal tersebut dikarenakan adanya area kosong atau gap diantara lanjur mosaiknya sehingga jika gap tersebut berwarna putih akan terdeteksi dengan intensitas yang sangat besar yakni $-0,01$ dB. Klasifikasi rentang nilai intensitas dapat ditunjukkan pada Gambar 4.2 menggunakan *software* pengolahan Caris Hips&Sips menggunakan tab *menu classification*.

Gambar 4. 2 Persebaran Nilai Intensitas
Backscatter

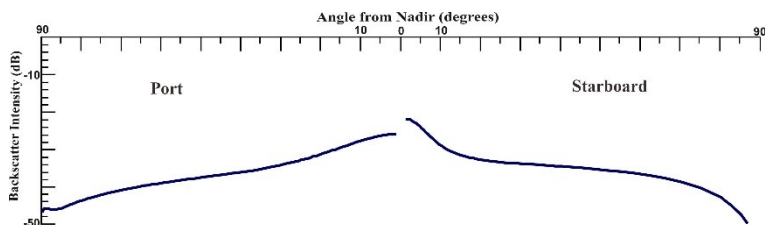
Dari hasil klasifikasi tersebut menunjukkan nilai intensitas pada mosaik memiliki rentang nilai minimal intensitas di sekitar -43 dB sampai maksimal -13 dB. Rentang nilai pada mosaik tersebut selanjutnya diklasifikasikan lagi untuk menentukan jenis sedimen pada permukaan dasar perairan area penelitian.

4.8 dengan *line* yang berwarna biru. Pengambilan ARC diambil pada area yang memiliki kontras warna yang berbeda dengan yang lain untuk memudahkan dalam menentukan rentang nilai intensitas sedimen yang keras lunak.



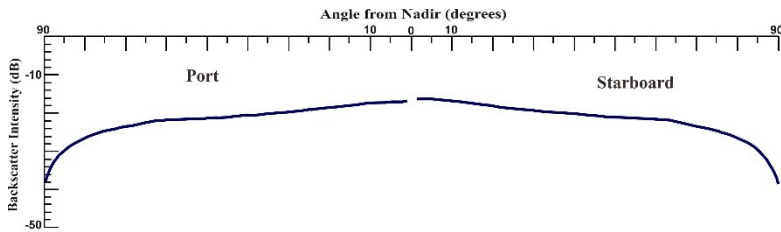
Gambar 4. 4 *Angular Response Curve 1*

ARC di titik sampel pertama diambil pada posisi $0^{\circ}41'39,96''$ S, $119^{\circ}49'29,73''$ E. Nilai intensitas yang berada pada area *starboard* sudut $20^{\circ} - 60^{\circ}$ memiliki rentang nilai mulai $-19,30$ dB sampai $-22,20$ dB.



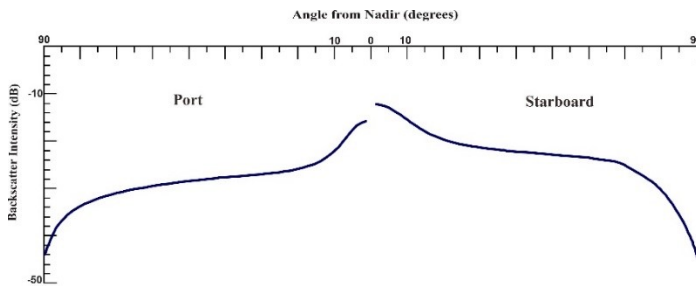
Gambar 4. 5 *Angular Response Curve 2*

Selanjutnya ARC di titik sampel kedua diambil pada posisi $0^{\circ}40'10,16''$ S, $119^{\circ}48'19,48''$ E. Nilai intensitas yang berada pada area *starboard* sudut $20^{\circ} - 60^{\circ}$ memiliki rentang nilai mulai $-32,82$ dB sampai $-36,87$ dB.



Gambar 4. 6 *Angular Response Curve 3*

Selanjutnya ARC di titik sampel ketiga diambil pada posisi $0^{\circ}37'18,42''\text{S}$, $119^{\circ}43'57,02''\text{E}$. Nilai intensitas yang berada pada area *starboard* sudut $20^{\circ} - 60^{\circ}$ memiliki rentang nilai mulai $-17,95$ dB sampai $-22,01$ dB.



Gambar 4. 7 *Angular Response Curve 4*

Selanjutnya ARC di titik sampel 4 diambil pada posisi $0^{\circ}38'08,33''\text{S}$, $119^{\circ}44'04,28''\text{E}$. Nilai intensitas yang berada pada area *starboard* sudut $20^{\circ} - 60^{\circ}$ memiliki rentang nilai mulai $-25,87$ dB sampai $-29,44$ dB.

Pada kurva ARC yang terbentuk di setiap area sampel dapat diketahui nilai intensitas pada setiap sudut-sudut pancarannya. Untuk mengklasifikasikan jenis sedimen diambil nilai intensitas pada sudut $20^{\circ} - 60^{\circ}$ pada setiap area ARC yang diambil (Tabel 4.1). Hal itu dikarenakan nilai intensitas yang stabil berada di bawah sudut $20^{\circ} - 60^{\circ}$.

Nilai intensitas tersebut yang akan digunakan untuk mengklasifikasikan jenis sedimen. *ARC* yang mempunyai nilai intensitas rendah menginterpretasikan jenis sedimen yang bersifat halus, dan semakin tinggi nilai hambur balik terhadap sudut pancaran maka semakin keras pula jenis sedimennya. Pada penelitian ini jenis sedimen yang didapat adalah *clay*, *silt*, *sand*, dan *cobble*.

Tabel 4. 1 Nilai Intensitas ARC

<i>Grazing Angle</i> (derajat)	Intensitas (dB)			
	ARC 1	ARC2	ARC3	ARC4
20	-19,30	-32,82	-17,95	-25,87
30	-20,07	-33,97	-19,50	-26,94
40	-21,23	-34,75	-20,07	-27,50
50	-22,01	-35,52	-21,43	-28,47
60	-22,20	-36,87	-22,01	-29,44

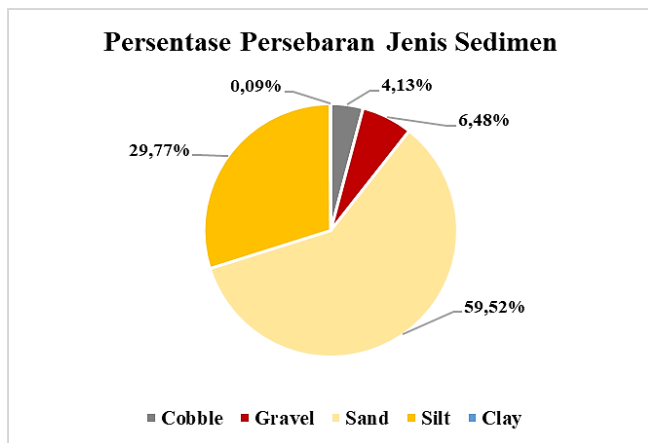
4.1.3 Klasifikasi Jenis Sedimen

Hasil klasifikasi jenis sedimen pada penelitian menggunakan metode ARC ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Klasifikasi Jenis Sedimen Dari Intensitas

Klasifikasi Jenis Sedimen	
Sedimen	Intensitas (dB)
<i>Cobble</i>	-20,07 – -13,61
<i>Gravel</i>	-22,36 – -20,07
<i>Sand</i>	-22,36 – -31,67
<i>Silt</i>	-43,64 – -31,67
<i>Clay</i>	-43,64 – -62,59

Berdasarkan klasifikasi sedimen yang dilakukan pada area penelitian terdapat beberapa jenis sedimen permukaan dasar perairan yang berupa *cobble*, *gravel*, *sand*, *silt*, dan *clay*. Sedimen dasar perairan yang mendominasi di Teluk Palu adalah pasir (*sand*) dan lanau (*silt*). Dengan total luasan sedimen pasir (*sand*) sebesar 10627,137 Ha dan lanau (*silt*) sebesar 5314,317 Ha. Persentase dari keseluruhan sedimen dapat dilihat pada *pie diagram* (Gambar 4.9).



Gambar 4. 8 Persentase Persebaran Jenis Sedimen Berdasarkan Intensitasnya

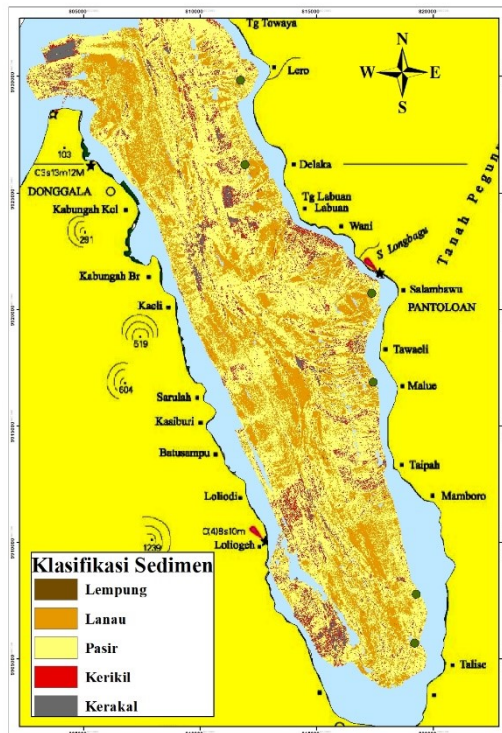
Hasil luasan total dari masing-masing jenis sedimen yang ada di Teluk Palu ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Luasan Total Tiap Jenis Sedimen

Jenis Sedimen	Luasan Ha
<i>Cobble</i>	737,758
<i>Gravel</i>	1157,229

Jenis Sedimen	Luasan Ha
<i>Sand</i>	10627,137
<i>Silt</i>	5314,317
<i>Clay</i>	16,930

Visualisasi dari persebaran jenis sedimen di Teluk Palu ditunjukkan pada Gambar 4.9



Gambar 4. 8 Persebaran Jenis Sedimen

4.1.4 Uji Korelasi

Hasil klasifikasi sebaran sedimen yang didapat dari pengolahan backscatter selanjutnya diuji korelasi dengan data sampel sedimen lapangan yang didapat dari pushidrosal. Tujuan dari uji korelasi adalah untuk menguji hasil klasifikasi sebaran sedimen di Teluk Palu. Variabel yang merepresentasikan sedimen lapangan adalah ukuran butirnya dan juga dijadikan sebagai variabel bebas. Variabel terikat dari uji korelasi ini adalah nilai hambur balik (*backscatter*).

Tabel 4. 4 Ukuran Butir Sampel Sedimen

Titik	<i>Grain Size Lab (mm)</i>	Tipe Sedimen
1	0,063	<i>Very Fine Sand</i>
2	0,056	<i>Coarse Silt</i>
3	0,076	<i>Very Fine Sand</i>
4	0,074	<i>Very Fine Sand</i>
5	0,070	<i>Very Fine Sand</i>

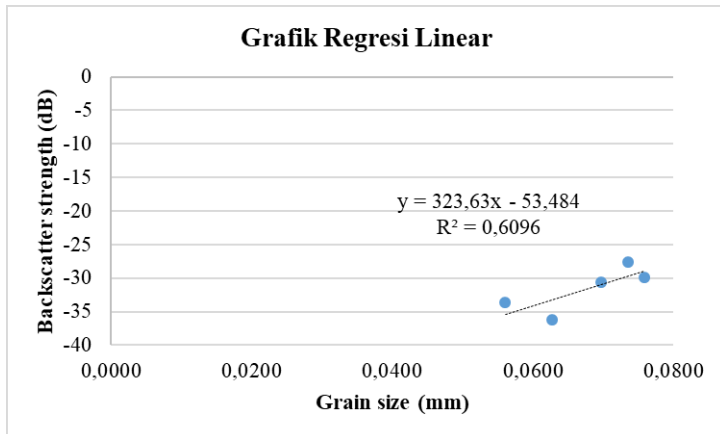
Tabel 4. 5 Ukuran Sedimen dari Nilai *Backscatter*

Intensitas	Ukuran Sedimen (mm)	Tipe Sedimen
-36,273	0,001	<i>Silt</i>
-33,655	0,002	<i>Sand</i>
-29,940	0,005	<i>Sand</i>
-27,652	0,009	<i>Sand</i>
-30,584	0,004	<i>Sand</i>

Hasil grafik regresi linear (Gambar 4.9) menunjukkan R^2 yaitu koefisien determinasi sebesar 0,6096 atau 60,96% yang menunjukkan bahwa adanya hubungan linear yang baik

antara X dan Y, maka terdapat 60,96% di antara varian dalam nilai-nilai Y dapat dijelaskan oleh hubungan linear X. Juga berarti bahwa terdapat 39.04% varians variabel terikat yang dijelaskan oleh faktor lain.. Untuk mendapatkan nilai koefisien korelasi dari penelitian ini dapat dicari dari akar koefisien determinasi atau melakukan perhitungan menggunakan persamaan 2.7.

Hasil korelasi yang didapat dari penelitian ini sebesar 0,78. Nilai korelasi tersebut menunjukkan bahwa dari dua variabel yang di uji memiliki hubungan Hubungan erat / kuat (dapat dilihat dari Tabel 2.6). Hasil dari nilai korelasi ini dapat digunakan sebagai acuan untuk mengklasifikasikan sedimen namun juga harus diperhatikan karena nilai sampel sedimen yang diambil secara langsung hanya lima titik sehingga masih memiliki kemungkinan selisih perhitungan nilai *backscatter* antara sedimen langsung dan sedimen olahan dari MBES.



Gambar 4. 9 Grafik Regresi Linear

4.2 Batimetri

Pengolahan data batimetri di Teluk Palu didapatkan rentang nilai kedalaman antara 25 meter sampai 830 meter.

Nilai kedalaman tersebut yang kemudian diolah menjadi *slope*.

Selanjutnya dilakukan analisis pemeruman sesuai dengan aturan pada IHO-SP-44. Untuk menghitung ketelitian hasil pemeruman digunakan rumus (2.4).

Perhitungan ini dimaksudkan agar dapat mengetahui seberapa besar nilai simpangan di posisi yang sama. Berdasarkan hasil perhitungan kualitas data batimetri pada membandingkan nilai kedalaman pada titik perpotongan antara lajur melintang dan lajur membujur. Dari proses pengolahan batimetri menggunakan Caris Hips&Sips dapat diketahui pengukuran pada area penelitian terklasifikasi dalam orde 2 karena memiliki nilai persentase paling tinggi. *Quality report* dari pengolahan tersebut dapat ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 *Quality Report* Caris Hips&Sips

<i>Special Orde</i> (%)	<i>Orde 1a</i> (%)	<i>Order 1b</i> (%)	<i>Orde 2</i> (%)
74,29	80,865	80,865	88,550
75,737	82,814	82,814	91,380
78,930	86,222	86,222	94,056
82,200	89,244	89,244	95,760
84,574	91,206	91,206	96,527

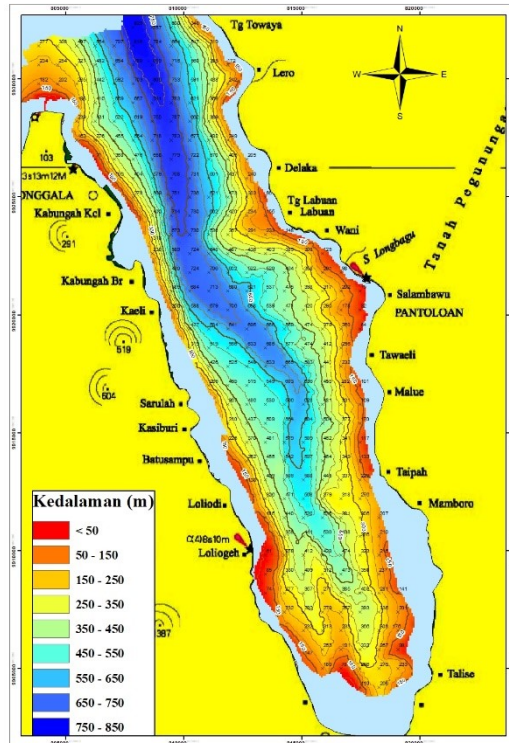
Berdasarkan hasil perhitungan secara manual batas toleransi ketelitian kedalaman antara lajur melintang (utama) dan lajur membujur (*cross*) dapat ditunjukkan pada Tabel 4.7. Dari tabel tersebut, dapat diketahui bahwa akurasi kedalaman dari data batimetri yang ada tidak melebihi nilai toleransi dan terklasifikasi dalam orde 2.

Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Ketelitian

No	<i>East (m)</i>	<i>North (m)</i>	<i>Long (m)</i>	<i>Cross (m)</i>	Rata-Rata (m)	Selisih (m)	Toleransi (m)
1	813276	9924206	186,342	186,49	186,416	0,148	4,403
2	813270	9924207	186,485	186,034	186,260	0,451	4,399
3	813263	9924207	185,153	185,066	185,109	0,087	4,373
4	813244	9924199	186,850	186,710	186,780	0,140	4,411
5	813235	9924198	187,692	187,584	187,638	0,108	4,430
6	813226	9924196	187,959	188,063	188,011	0,104	4,438
7	813218	9924198	188,821	188,515	188,668	0,306	4,453
8	813211	9924198	188,855	188,629	188,742	0,226	4,455
9	813201	9924199	189,648	189,328	189,488	0,320	4,471
10	813198	9924194	188,889	188,591	188,740	0,298	4,455

Penentuan orde tersebut dipilih karena jarak kedalaman pada area penelitian lebih dari 100 meter sehingga sesuai dengan IHO SP-44 masuk dalam orde 2. Dengan nilai $a = 1$ meter dan $b = 0,023$ meter dan hasil toleransi $\pm 4,5$ meter.

Visualisasi dari hasil pengolahan data batimetri ditunjukkan pada Gambar 4.13. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa topografi dasar perairan Teluk Palu berdasarkan hasil pengolahan memiliki topografi yang mana semakin ke tengah semakin dalam dari dilihat dari arah Barat, Timur, Utara, ataupun Selatan. Dilihat dari gradasi warna kedalaman arah dangkal menuju ke perairan dalam di tunjukkan dari arah Tenggara menuju Barat Laut. Kedalaman yang didapat memiliki perubahan yang cukup signifikan karena Teluk Palu berada di Sulawesi Tengah yaitu berada di area perairan laut dalam.



Gambar 4. 13 Batimetri Teluk Palu

4.3 Slope

Pada penelitian ini *slope* (kelerengan) adalah salah satu parameter yang digunakan untuk menentukan kerentanan longsor bawah laut. Kelerengan dapat dinyatakan dengan beberapa satuan diantaranya dengan persen (%) dan derajat ($^{\circ}$). Dalam penelitian ini nilai *slope* diklasifikasikan menjadi empat kelas yang hasilnya dijelaskan sebagai berikut:

4.3.1 Klasifikasi *Slope*

Klasifikasi *slope* dalam penelitian ini menggunakan empat kelas yang dinyatakan dalam persen (%). Pembagian

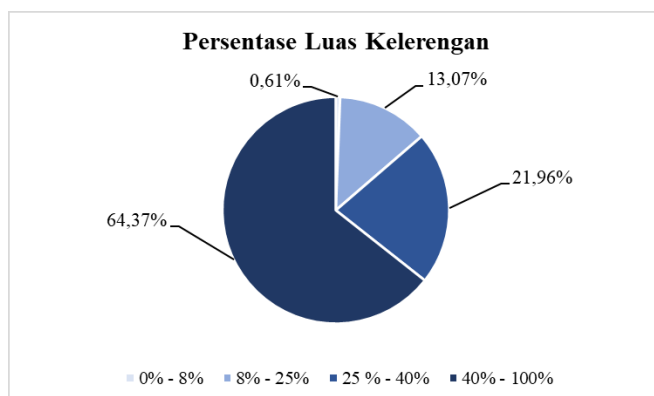
kelas tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Dari pembagian kelas *slope* di area Teluk Palu didapatkan rentang nilai *slope* adalah $40\% < slope \leq 100\%$ dengan luas 11750,031 Ha yang merupakan rentang *slope* yang dominan. Pembagian luas berdasarkan rentang nilai *slope* dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Luasan dari Masing-Masing Kelas *Slope*

Keterangan	Kelas	Luas (Ha)
Landai	0% – 8%	111,403
Curam	8% – 25%	2385,036
Sangat Curam	25% – 40%	4008,126
Terjal	40% – 100%	11750,031

Persentase luas dari setiap *slope* pada area penelitian disajikan dalam bentuk diagram lingkaran pada Gambar 4.14.



Gambar 4. 14 Diagram Lingkaran Luas Kelerengan

4.3.2 Pembobotan *Slope*

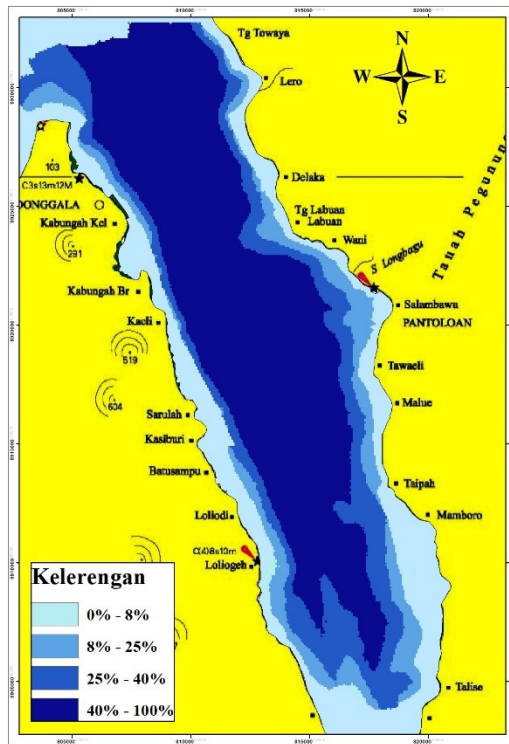
Pemberian bobot pada setiap kelas *slope* adalah sebesar 30%. Nilai 30% atau 0,3 ini diambil dari peraturan

pemerintah tentang pedoman ruang kawasan rawan bencana longsor peraturan menteri pekerjaan umum No.22/PRT/M/2007. Dari peraturan tersebut disebutkan bahwa kelerengan memberikan pengaruh sebesar 30% untuk kawasan rawan longsor. *Slope* dengan nilai persentase kelerengan yang semakin besar maka akan mempunyai bobot yang semakin besar karena akan memberikan efek besar pada terjadinya longsor bawah laut. Pada penelitian ini kelas kelerengan dibagimenjadi empat kelas seperti ditunjukkan pada Tabel 4.8. Untuk nilai bobot dari masing-masing kelas kelerengan ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Nilai Bobot Tiap Kelas *Slope*

Kelas Lereng	<i>Slope</i> %	Bobot
I	0 – 8	0,6
II	8 – 25	1,2
III	25 – 40	1,8
IV	40 – 100	2,4

Visualisasi hasil klasifikasi *slope* pada daerah penelitian ditunjukkan pada Gambar 4.15. Pada daerah penelitian menunjukkan bahwa kelerengan didominasi dengan warna biru gelap yang berarti bahwa area tersebut memiliki kerengan 40% - 100% dan terklasifikasi pada kelerengan kelas IV.



Gambar 4. 15 Kelerengan Teluk Palu

4.4 Klasifikasi Kerentanan Longsor Bawah Laut

Klasifikasi untuk menghasilkan kerentanan longsor bawah laut menggunakan *intersect overlay* yaitu menggabungkan nilai dari parameter yang dijadikan masukkan. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah klasifikasi *slope* dan klasifikasi dari jenis sedimen. Nilai dari masing-masing parameter tersebut seperti pada tabel di bawah.

Kerentanan dibagi menjadi empat kelas lereng dengan nilai bobot yang ditunjukkan pada Tabel 4.9. Pengkelasan

terseut berdasarkan tingkat kemiringan. Jika dasar perairan memiliki persentase kelerengan makin besar maka akan memberika pengaruh yang semakin besar juga terhadap kerentanan longsor bawah laut.

Selanjutnya pemberian bobot pada klasifikasi jenis sedimen. Jenis sedimen yang didapat dari hasil pengolahan adalah *cobble*, *gravel*, *sand*, *silt*, dan *clay*. Dari jenis sedimen tersebut dikelaskan menjadi empat kelas. Pengkelasan ini didasarkan pada tingkat konsolidasi dari tiap sedimen. Semakin sedimen tersebut tidak terkonsolidasi maka akan memiliki kelas bawah dan akan memberikan sumbangan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis sedimen yang lebih terkonsolidasi.

Jenis sedimen pada penelitian ini memberikan kontribusi sebesar 20% untuk tiap-tiap kelasnya. Nilai tersebut diambil dari peraturan pemerintah tentang pedoman ruang kawasan rawan bencana longsor peraturan menteri pekerjaan umum No.22/PRT/M/2007. Dari peraturan tersebut disebutkan bahwa jenis tanah/sedimen memberikan pengaruh sebesar 20% untuk kawasan rawan longsor.

Tabel 4. 10 Nilai Bobot Tiap Kelas Jenis Sedimen

Kelas Sedimen	Sedimen	Bobot
I	<i>Cobble</i>	0,4
II	<i>Gravel</i>	0,8
III	<i>Sand</i>	1,2
IV	<i>Silt & Clay</i>	1,6

Selanjutnya nilai pembobotan dari masing-masing parameter yang digunakan ditampalkan menggunakan metode *intersect*. Dari proses tersebut didapatkan total nilai dari pembobotan tiap parameter. Total nilai tersebut selanjutnya diklasifikasikan untuk mendapatkan tipe kerentanan longsor bawah laut. Interval nilai kerentanan dihitung menggunakan persamaan 2.8, dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Klasifikasi Nilai Kerentanan Longsor Bawah Laut

Kerentanan	Nilai
Rendah	0,00 – 1,75
Sedang	1,75 – 2,50
Tinggi	2,50 – 3,25
Sangat Tinggi	3,25 – 4,00

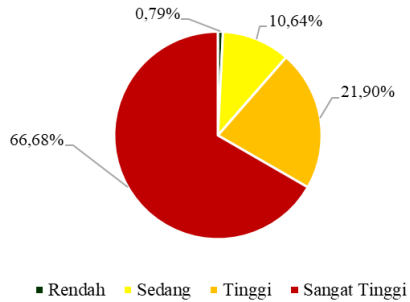
Setelah dilakukan pengelompokan dari nilai kerentanan dilakukan perhitungan luas area dari masing-masing jenis kerentanan. Selanjutnya dari hasil luasang tersebut dapat dihitung nilai persentase dari masing-masing kerentanan berdasarkan hasil luasannya yang ditunjukkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Luas Kerentanan

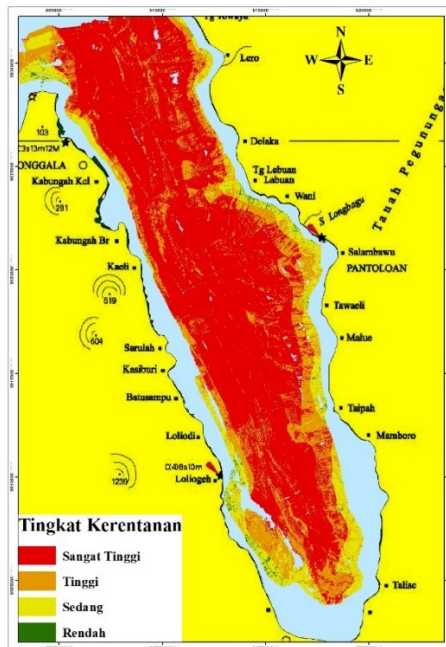
Kerentanan	Luas (Ha)	Persentase
Rendah	140,283	0,79%
Sedang	1890,408	10,64%
Tinggi	3892,257	21,90%
Sangat Tinggi	11850,877	66,68%

Dari hasil perhitungan persentase (Gambar 4.16) menunjukkan bahwa pada area penelitian di Teluk Palu memiliki tingkat kerentanan yang sangat tinggi dengan persentase sebesar 66,68%. Persentase setiap kelas kerentanan dapat dilihat pada Gambar 4.16 yang disajikan dalam bentuk diagram lingkaran.

Persentase Kerentanan Longsor Bawah Laut



Gambar 4. 16 Persentase Kerentanan Longsor Hasil *plotting* persebaran kerentanan longsor bawah laut yang ada di Teluk Palu dapat dilihat pada Gambar 4.17



Gambar 4. 17 Kerentanan Longsor Bawah Laut

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Nilai *slope* (kelerengan) yang dihasilkan dari data batimetri Teluk Palu dibagi menjadi empat kelas yaitu landai (0% – 8%), curam (8% – 25%), sangat curam (25% – 40%), dan terjal (40% – 100%). Berdasarkan perhitungan persentase kelerengan, kelas yang mendominasi adalah kelerengan 40% - 100% yang dikategorikan sebagai kelas terjal. Kelas tersebut memiliki luas sebesar 11750,030 Ha atau 64,37%.
2. Persebaran jenis sedimen dasar perairan didapatkan dari data hambur balik (*backscatter*) yang diolah menjadi *mosaic*. *Mosaic* Teluk Palu digunakan untuk mengklasifikasikan sedimen menggunakan metode *angular response analysis* hingga menghasilkan jenis sedimen yang terdiri dari batu (*cobble*), kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), dan lempung (*clay*). Sebaran sedimen yang paling banyak adalah jenis pasir dengan persentase sebesar 59,52%. Selanjutnya dilakukan uji korelasi dengan ukuran butir sedimen, dimana hasil uji korelasi menunjukkan hubungan korelasi kuat yaitu bernilai 0,78.
3. Penentuan tingkat kerentanan longsor bawah laut di Teluk Palu menggunakan parameter kelerengan dan jenis sedimen dasar perairan. Tingkat kerentanan dibagi menjadi empat kelas yaitu sangat tinggi (*very high*), tinggi (*high*), sedang (*moderate*), dan rendah (*low*). Berdasarkan analisis kerentanan longsor bawah laut, menunjukkan bahwa area penelitian didominasi oleh kerentanan longsor sangat tinggi (*very high*) dengan persentase sebesar 66,68%.

5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya, antara lain sebagai berikut:

1. Memperbanyak parameter yang dijadikan masukkan untuk penentuan kerentanan longsor bawah laut seperti gelombang, getaran gempa, dan sebagainya.
2. Memperbanyak data sedimen sampel yang digunakan untuk validasi dan uji korelasi sehingga dapat lebih detail mewakili jenis tipe sedimen dasar perairan di lokasi penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Alden, Andrew. 2017. *Sand, Silt, and Clay Soil Classification Diagram*. Diakses Oktober 14, 2018. <https://www.thoughtco.com/>.
- BMKG. 2018. *Gempabumi Tektonik $M=7.7$ Kabupaten Donggala, Sulawesi Tengah pada hari Jumat, 28 September 2018, Berpotensi Tsunami*. www.bmkg.go.id.
- Dufek, T. 2012. *Backscatter Analysis of Multibeam Sonar Data in the Area of the Valvadia Fracture Zone using Geocoder in CARIS HIPS & SIPS and IVS 3D Fledermus*. Master Thesis, University Hamburg.
- Dwiaji, Dimas Rizqi. 2018. *Penentuan Habitat Ikan Demersal Berdasarkan Rentang Kedalaman dan Jenis Sedimen Menggunakan Data Multibeam Echosounder*. Skripsi, Surabaya: Departemen Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Energi dan Sumber Daya Mineral. 2005. *Pengenalan Gerakan Tanah*. https://www.esdm.go.id/assets/media/content/Pengenalan_Gerakan_Tanah.pdf.
- Evan, N.C. 1995. *Stability of Submarine Slopes*. Hong Kong: Hong Kong Government.
- Fahrulian. 2012. *Deteksi Keberadaan Gunung Bawah Laut (Seamount) dan Dimensinya Menggunakan Echosounder Multibeam di Perairan Bengkulu*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Garrison, L. E, dan D. A Sangrey. 1997. *Submarine Landslide*. USGS Yearbook.
- Haniotis, Stelio, Pierre Cervenka, Carlos Negreira, dan Jacques Marchal. 2015. "Seafloor Segmentation Using Angular Backscatter Responses Obtained at Sea With a Forward-looking Sonar System." *Applied Acoustics* 306-319.
- Haryono, dan Narni. 2004. "Karakteristik Pasang Surut Laut di Pulau Jawa." *Forum Teknik* (Jurusan Teknik Geodesi,

- Fakultas Teknik, UGM.).
- Huges Clake, J E, B Danforth, dan P Valentine. 1997. "Areal Seabed Classification Using Backscatter Angular Response at 95 KHz High Frequency Acoustics in Shallow Water."
- Hydrographer of the Navy. 1964. *Harmonic Tidal Analysis for Short Period Observations*. Taunton: Admiralty of Hydrographic Surveying.
- Hydrographic Services. 1969. *Tides and Tidal Streams*. Taunton: Admiralty of Hydrographic.
- International Hydrographic Organization. 2008. *Standards for Hydrographic Surveys*. 5th edition. Monaco: International Hydrographic Bureau.
- Jaya, I.G. Mindra. 2010. *Modul Praktikum Analisis Regresi Statistika*. Bandung: Universitas Padjadjaran.
- Khoiri, Mohamad, Lalu Muhamad Jaelani, dan Amien Widodo. 2018. "Landslides Hazard Mapping Using Remote Sensing Data in Ponorogo Regency, East Java." *Internet Journal of Society for Social Management Systems*.
- Kongsberg. 2017. *Kongsberg EM302 Product Spesification*. Kongsberg Maritime.
- Larasati, Zahra Rahma, Teguh Hariyanto, dan Akbar Kurniawan. 2017. "Pemetaan Daerah Risiko Banjir Lahan Berbasis SIG Untuk Menunjang Kegiatan Mitigasi Bencana (Studi Kasus: Gunung Semeru, Kab. Lumajang)." *Jurnal Teknik ITS*.
- LIPI. 2018. *Ini yang Perlu Diketahui tentang Gempa dan Tsunami di Indonesia*. <http://lipi.go.id/berita/ini-yang-perlu-diketahui-tentang-gempa-dan-tsunami-di-indonesia/21325>.
- Lurton, Xavier, Geoffroy Lamarche, Craig Brown, Vanessa Lucieer, Glen Rice, Alexandre Schimel, dan Tom Weber. 2015. "Backscatter mesurments by seafloor-mapping sonar Guidelines and Recommendations." *Studies in Computational Intelligence* 200.

- Manik, H. M, M Furusawa, dan K Amakasu. 2006. *Measurement of sea bottom surface backscattering strength by quantitative echo sounder*. Japan: Department of Ocean Science Tokyo University of Marine Science and Technology.
- Manik, Henry M, Diandra Yulius, dan Udrek. 2015. "Development and Application of MB System Software for." *International Journal of Software Engineering and Its Applications*. SERSC. 143 - 160.
- Mike, K. 2008. *Estimation of The Ocean Sound Velocity Profile*.
- Monroe, J. S, dan R Wicander. 1997. "Exploring Geology and Evolution." (Belmont West Publishing Company) II.
- Muntohar, Agus Setyo. 2008. *Tanah Longsor: Analisis-Prediksi-Mitigasi*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Pratomo, Agus Joko. 2008. "Analisis Kerentanan Banjir Di Daerah Aliran Sungai Sengkarang Kabupaten Pekalongan Provinsi Jawa Tengah Dengan Bantuan Sistem Informasi Geografis." (Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Sarwono, Jonathan. 2006. *Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Triatmodjo, B. 2009. *Perencanaan Pelabuhan*. Yogyakarta: Beta Offset Yogyakarta.
- Varnes, David J. 1958. "Landslide types and processes." 20-47. Highway Research Board Special Report.
- Walpole, Ronald E. 1992. *Pengantar Statistika*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Wentworth, C.K. 1922. "A Scale of Grade and Class Terms for Clastics Sediments ." *Journal of Geology* 377-393.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Sedimen Sampel 1 In-Situ

SAMPEL 1						
TIPE	RANGE			BERAT	MEAN RANGE	MEAN BERAT
KERIKIL	8	-	16		12	0,0000
	4	-	8	6,8323	6	0,0000
	2	-	4	2,512	3	0,1772
PASIR	1	-	2	3,71	1,5	0,1309
	0,5	-	1	8,174	0,75	0,1442
	0,25	-	0,5	12,4733	0,375	0,1100
	0,125	-	0,25	6,7444	0,1875	0,0297
	0,063	-	0,125	0,7159	0,094	0,0016
LANAU	0,004	-	0,063	1,0148	0,0335	0,0340
LEMPUNG	0,004			0,3475	0,004	0,0000
JUMLAH				42,5242		0,0628

Lampiran 2 Data Sedimen Sampel 2 In-Situ

SAMPEL 2						
TIPE	RANGE			BERAT	MEAN RANGE	MEAN BERAT
KERIKIL	8	-	16		12	0,0000
	4	-	8		6	0,0000
	2	-	4		3	0,0000
PASIR	1	-	2	4,1088	1,5	0,1956
	0,5	-	1	5,6474	0,75	0,1344
	0,25	-	0,5	11,2126	0,375	0,1335
	0,125	-	0,25	7,54	0,1875	0,0449
	0,063	-	0,125	0,9532	0,094	0,0028
LANAU	0,004	-	0,063	1,4631	0,0335	0,0490
LEMPUNG	0,004			0,5825	0,004	0,0000
JUMLAH				31,5076		0,0560

Lampiran 3 Data Sedimen Sampel 3 In-Situ

SAMPEL 3						
TIPE	RANGE			BERAT	MEAN RANGE	MEAN BERAT
KERIKIL	8	-	16		12	0,0000
	4	-	8		6	0,0000
	2	-	4	0,182	3	0,0130
PASIR	1	-	2	1,2213	1,5	0,0435
	0,5	-	1	3,9127	0,75	0,0696
	0,25	-	0,5	6,4635	0,375	0,0575
	0,125	-	0,25	5,7933	0,1875	0,0258
	0,063	-	0,125	3,1627	0,094	0,0071
LANAU	0,004	-	0,063	16,1709	0,0335	0,5417
LEMPUNG	0,004			5,2332	0,004	0,0000
JUMLAH				42,1396		0,0758

Lampiran 4 Data Sedimen Sampel 4 In-Situ

SAMPEL 4						
TIPE	RANGE			BERAT	MEAN RANGE	MEAN BERAT
KERIKIL	8	-	16		12	0,0000
	4	-	8		6	0,0000
	2	-	4	1,8287	3	0,1415
PASIR	1	-	2	4,5414	1,5	0,1757
	0,5	-	1	6,0195	0,75	0,1164
	0,25	-	0,5	6,8961	0,375	0,0667
	0,125	-	0,25	8,6678	0,1875	0,0419
	0,063	-	0,125	2,5703	0,094	0,0062
LANAU	0,004	-	0,063	5,5812	0,0335	0,1870
LEMPUNG	0,004			2,6751	0,004	0,0000
JUMLAH				38,7801		0,0735

Lampiran 5 Data Sedimen Sampel 5 In-Situ

SAMPEL 5						
TIPE	RANGE			BERAT	MEAN RANGE	MEAN BERAT
KERIKIL	8	-	16		12	0,0000
	4	-	8	0,6392	6	0,0000
	2	-	4	1,6455	3	0,1230
PASIR	1	-	2	3,3541	1,5	0,1254
	0,5	-	1	5,6875	0,75	0,1063
	0,25	-	0,5	7,1913	0,375	0,0672
	0,125	-	0,25	8,443	0,1875	0,0395
	0,063	-	0,125	2,1617	0,094	0,0051
LANAU	0,004	-	0,063	6,8692	0,0335	0,2301
LEMPUNG	0,004			4,1349	0,004	0,0000
JUMLAH				40,1264		0,0697

Lampiran 6 Perhitungan Ketelitian

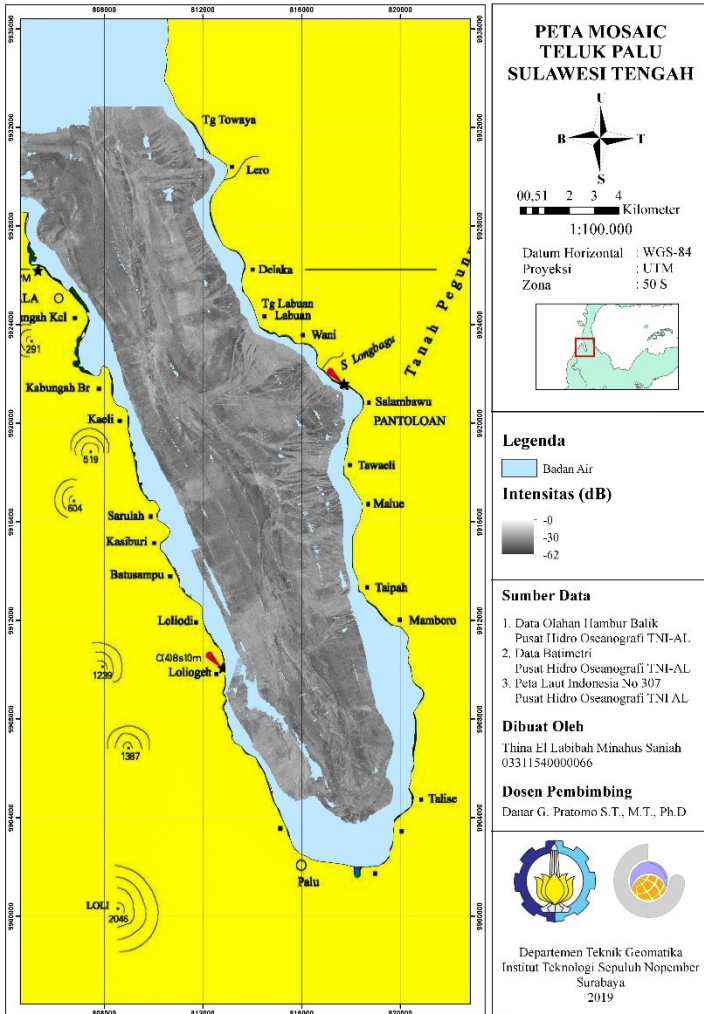
<i>No</i>	<i>Koordinat (m)</i>		<i>Kedalaman (m)</i>				
	<i>East</i>	<i>North</i>	<i>Long</i>	<i>Cross</i>	<i>Rata-Rata</i>	<i>Selisih</i>	<i>Toleransi</i>
1	813276	9924206	186,34	186,49	186,42	0,15	4,40
2	813270	9924207	186,49	186,03	186,26	0,45	4,40
3	813263	9924207	185,15	185,07	185,11	0,09	4,37
4	813244	9924199	186,85	186,71	186,78	0,14	4,41
5	813235	9924198	187,69	187,58	187,64	0,11	4,43
6	813226	9924196	187,96	188,06	188,01	0,10	4,44
7	813218	9924198	188,82	188,52	188,67	0,31	4,45
8	813211	9924198	188,86	188,63	188,74	0,23	4,45
9	813201	9924199	189,65	189,33	189,49	0,32	4,47
10	813198	9924194	188,89	188,59	188,74	0,30	4,45
11	813191	9924193	188,97	189,35	189,16	0,38	4,46
12	813187	9924195	189,48	189,71	189,60	0,23	4,47
13	813181	9924189	188,91	188,92	188,91	0,01	4,46
14	813178	9924186	188,56	188,64	188,60	0,08	4,45
15	813171	9924184	188,39	188,59	188,49	0,20	4,45
16	813166	9924186	188,96	189,25	189,10	0,29	4,46
17	813162	9924189	189,43	189,64	189,54	0,22	4,47
18	813156	9924190	189,71	189,82	189,76	0,11	4,48
19	813149	9924197	191,37	191,37	191,37	0,00	4,51
20	813144	9924195	191,53	191,21	191,37	0,32	4,51
21	813137	9924190	190,68	190,53	190,61	0,15	4,50
22	813130	9924190	191,15	191,22	191,19	0,06	4,51
23	813126	9924189	191,25	190,84	191,05	0,41	4,51
24	813121	9924195	192,66	192,56	192,61	0,10	4,54

<i>No</i>	<i>Koordinat (m)</i>		<i>Kedalaman (m)</i>				
	<i>East</i>	<i>North</i>	<i>Long</i>	<i>Cross</i>	<i>Rata-Rata</i>	<i>Selisih</i>	<i>Toleransi</i>
25	813117	9924186	191,31	191,03	191,17	0,28	4,51
26	813111	9924184	191,04	191,19	191,12	0,15	4,51
27	813103	9924182	191,21	191,02	191,12	0,19	4,51
28	813097	9924182	191,42	191,58	191,50	0,17	4,52
29	813089	9924183	192,24	192,11	192,17	0,13	4,53
30	813083	9924183	192,47	192,23	192,35	0,24	4,54
31	813076	9924175	190,84	190,55	190,69	0,30	4,50
32	813069	9924173	191,15	191,04	191,10	0,12	4,51
33	813052	9924165	190,07	190,11	190,09	0,04	4,48
34	813043	9924172	192,31	192,63	192,47	0,33	4,54
35	813037	9924167	188,65	188,65	188,65	0,00	4,45
36	813036	9924167	191,85	192,20	192,02	0,35	4,53
37	813029	9924163	191,52	191,30	191,41	0,22	4,51
38	813024	9924168	192,80	192,45	192,62	0,34	4,54
39	813015	9924167	192,75	192,47	192,61	0,28	4,54
40	813006	9924159	191,34	191,12	191,23	0,22	4,51
41	812999	9924171	193,85	193,64	193,74	0,21	4,57
42	812993	9924166	193,00	192,89	192,94	0,11	4,55
43	812988	9924159	192,17	192,28	192,23	0,11	4,53
44	812977	9924155	192,36	192,22	192,29	0,15	4,53
45	812969	9924157	193,43	193,26	193,34	0,16	4,56
46	812958	9924159	194,84	194,57	194,70	0,27	4,59
47	812948	9924164	196,60	196,48	196,54	0,12	4,63
48	812941	9924159	196,47	196,54	196,50	0,07	4,63
49	812939	9924150	194,77	194,62	194,69	0,15	4,59
50	812926	9924155	196,19	196,05	196,12	0,14	4,62

<i>No</i>	<i>Koordinat (m)</i>		<i>Kedalaman (m)</i>				
	<i>East</i>	<i>North</i>	<i>Long</i>	<i>Cross</i>	<i>Rata-Rata</i>	<i>Selisih</i>	<i>Toleransi</i>
51	812918	9924151	196,24	195,96	196,10	0,29	4,62
52	812914	9924146	195,6	195,61	195,60	0,01	4,61
53	812908	9924136	194,64	194,59	194,61	0,05	4,59
54	812901	9924157	197,80	197,78	197,79	0,02	4,66
55	812894	9924162	198,80	198,90	198,85	0,10	4,68
56	812888	9924155	197,63	197,54	197,59	0,09	4,65
57	812871	9924163	200,57	200,41	200,49	0,16	4,72
58	812860	9924157	200,12	200,48	200,30	0,36	4,71
59	812845	9924159	201,98	201,68	201,83	0,30	4,75
60	812837	9924165	203,47	203,32	203,40	0,15	4,78
61	812829	9924150	202,37	202,26	202,31	0,11	4,76
62	812822	9924155	203,57	203,86	203,72	0,30	4,79
63	812815	9924151	203,37	203,48	203,43	0,11	4,78
64	812809	9924156	204,56	204,35	204,46	0,21	4,81
65	812805	9924162	205,63	206,05	205,84	0,42	4,84
66	812799	9924156	206,55	206,40	206,47	0,16	4,85
67	812795	9924147	205,63	205,58	205,61	0,04	4,83
68	812788	9924161	207,60	207,34	207,47	0,26	4,88
69	812782	9924154	206,81	207,00	206,85	0,08	4,86
70	812776	9924143	206,61	206,66	206,63	0,05	4,86
71	812773	9924162	209,09	208,82	208,96	0,27	4,91
72	812769	9924154	208,52	208,52	208,52	0,00	4,90
73	812758	9924153	209,38	209,21	209,29	0,17	4,92
74	812751	9924149	209,62	209,59	209,61	0,03	4,92
75	812735	9924138	210,57	210,61	210,59	0,04	4,95
76	812728	9924145	212,28	212,04	212,16	0,24	4,98

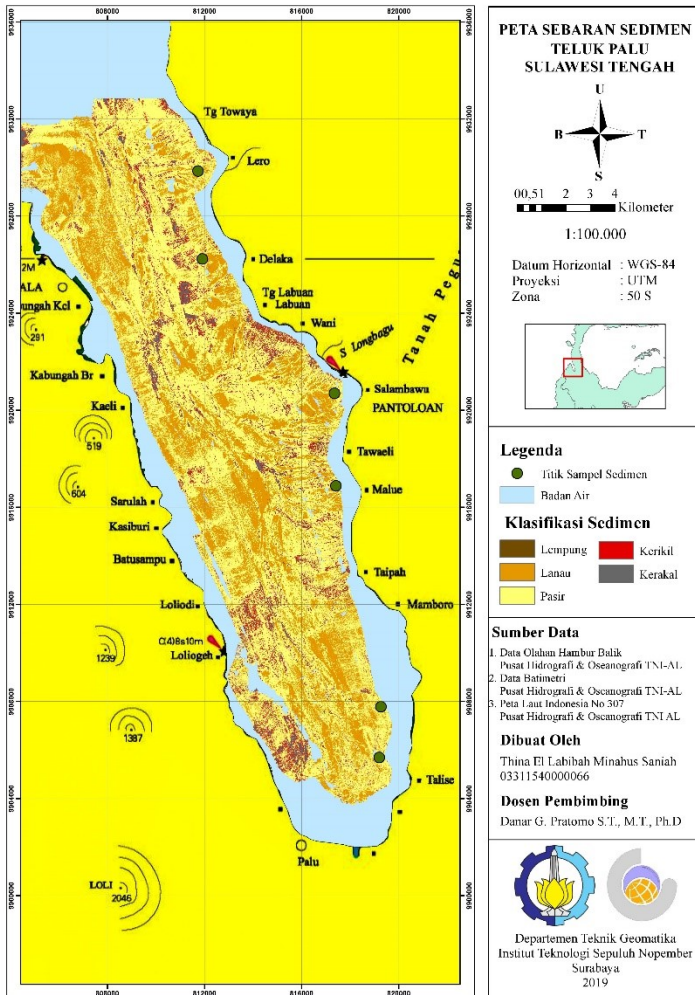
<i>No</i>	<i>Koordinat (m)</i>		<i>Kedalaman (m)</i>				
	<i>East</i>	<i>North</i>	<i>Long</i>	<i>Cross</i>	<i>Rata-Rata</i>	<i>Selisih</i>	<i>Toleransi</i>
77	812722	9924143	212,98	212,82	212,90	0,16	5,00
78	812712	9924142	214,20	214,25	214,23	0,05	5,03
79	812707	9924139	214,88	214,94	214,91	0,06	5,04
80	812702	9924145	216,07	216,05	216,06	0,02	5,07
81	812696	9924138	216,42	216,39	216,41	0,03	5,08
82	812685	9924144	219,51	219,56	219,54	0,05	5,15
83	812676	9924147	222,06	222,09	222,07	0,03	5,20
84	812668	9924142	225,99	226,38	226,19	0,39	5,30
85	812661	9924140	228,01	228,43	228,22	0,41	5,34
86	812654	9924133	229,04	229,01	229,03	0,03	5,36
87	812644	9924141	231,58	231,35	231,47	0,24	5,42
88	812635	9924131	231,12	231,26	231,19	0,14	5,41
89	812628	9924143	232,43	232,62	232,52	0,19	5,44
90	812623	9924133	232,15	232,06	232,11	0,09	5,43
91	812611	9924138	234,29	234,24	234,26	0,05	5,48
92	812604	9924136	236,24	236,38	236,31	0,14	5,53
93	812596	9924134	237,71	237,71	237,71	0,00	5,56
94	812583	9924135	240,48	240,51	240,49	0,03	5,62
95	812576	9924138	241,08	240,99	241,04	0,10	5,63
96	812571	9924132	243,00	243,10	243,05	0,10	5,68
97	812559	9924136	244,39	244,46	244,43	0,07	5,71
98	812552	9924137	246,10	246,40	246,25	0,30	5,75
99	812545	9924137	247,28	247,21	247,25	0,07	5,77
100	812541	9924132	248,47	248,49	248,48	0,02	5,80

Lampiran 7 Peta Mosaic Teluk Palu



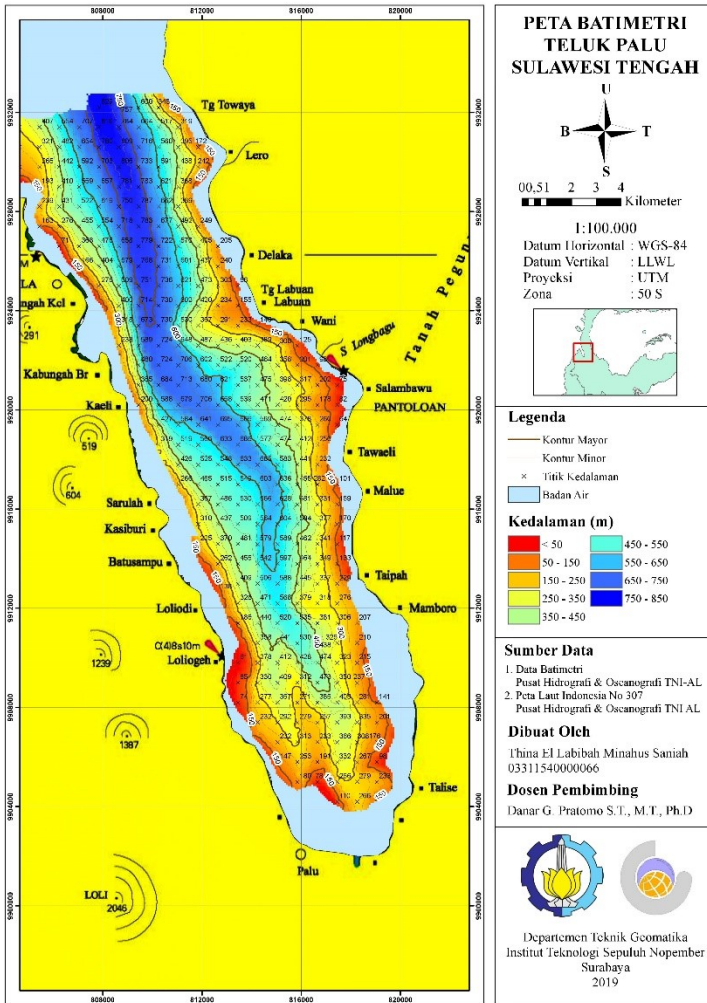
Peta sebenarnya dicetak dalam ukuran A3, jika kertas ukuran lain keterangan skala yang digunakan adalah skala batang.

Lampiran 8 Peta Sebaran Sedimen



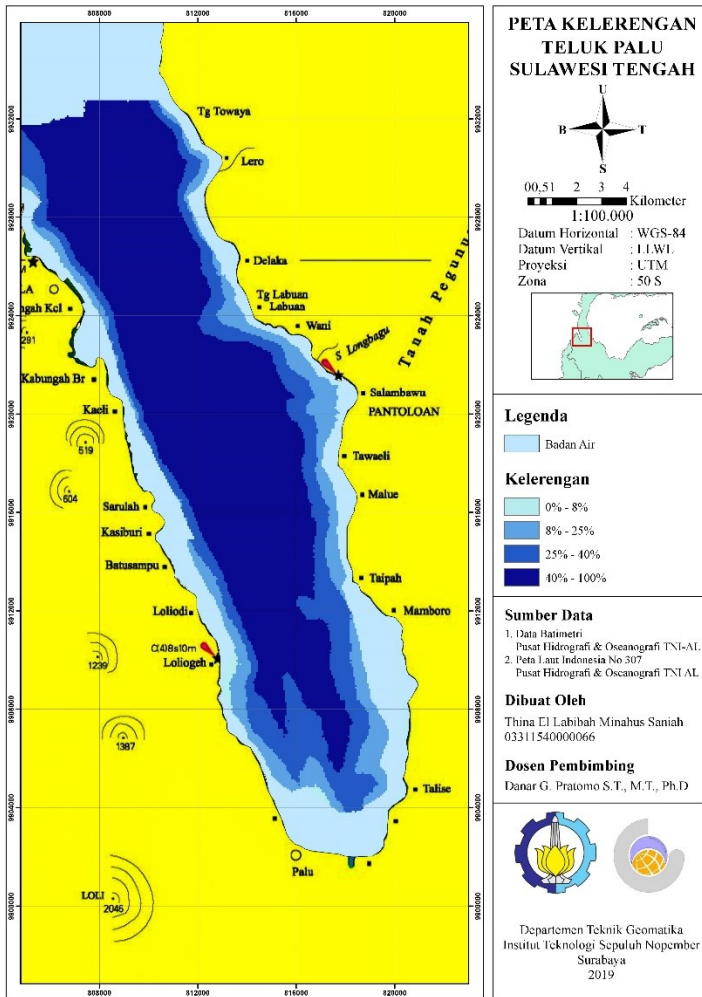
Peta sebenarnya dicetak dalam ukuran A3, jika kertas ukuran lain keterangan skala yang digunakan adalah skala batang.

Lampiran 9 Pata Batimetri Teluk Palu



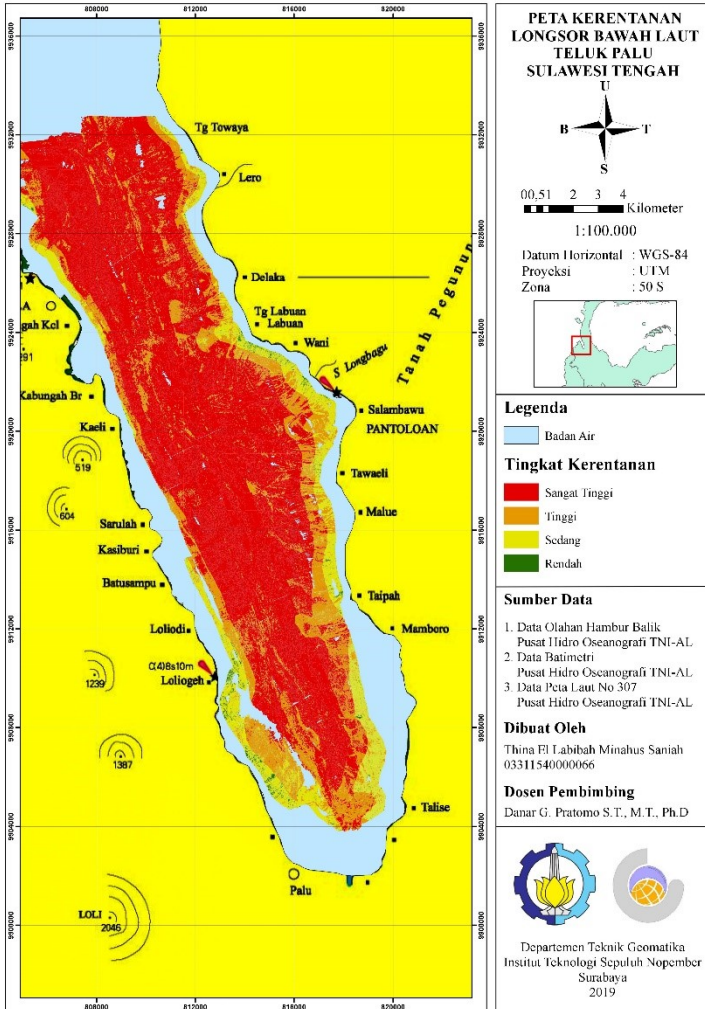
Peta sebenarnya dicetak dalam ukuran A3, jika kertas ukuran lain keterangan skala yang digunakan adalah skala batang.

Lampiran 10 Peta Kelerengan Teluk Palu



Peta sebenarnya dicetak dalam ukuran A3, jika kertas ukuran lain keterangan skala yang digunakan adalah skala batang.

Lampiran 11 Peta Kerentanan Longsor Bawah Laut



Peta sebenarnya dicetak dalam ukuran A3, jika kertas ukuran lain keterangan skala yang digunakan adalah skala batang.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Banyuwangi, 1 Mei 1996, merupakan anak dari Bapak Saifulloh Hubaidi dan Ibu Nurul Hidayati serta anak kedua dari lima bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Khodijah 18, MI Riyadlotul Islamiyah, MTs Miftahul Mubtadiin, dan SMA Negeri 1 Glenmore, Kabupaten Banyuwangi. Pada bangku SMA penulis aktif mengikuti kegiatan ekstrakurikuler pramuka dan english conversation. Setelah lulus SMA, melanjutkan studi di Departemen Teknik Geomatika ITS melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) pada tahun 2015. Penulis tergabung dalam angkatan G17 dan aktif dalam HIMAGE-ITS selama masa perkuliahan. Pada tahun 2016-2017, penulis menjadi staf Departemen Dayacipta Kreasi Mahasiswa HIMAGE-ITS dan staf ahli Departemen Sosial Masyarakat HIMAGE-ITS pada tahun 2017-2018. Selain itu, penulis juga aktif dalam berbagi kegiatan kampus, seperti kepanitiaan dan pelatihan. Kegiatan kepanitiaan yang pernah diikuti yaitu *Geolympic* dan *Geoicon* Teknik Geomatika 2016 dan mengikuti beberapa pelatihan, diantaranya LKMM Pra-TD, Karya Tulis Ilmiah, LKMW TD, jurnalistik, dan Pendamping Keilmiah. Penulis juga telah melaksanakan Kerja Praktik di Badan Informasi Geospasial (BIG) pada tahun 2018. Penulis berharap segala sesuatu yang ingin disampaikan, baik mengenai tugas akhir maupun saran dapat disampaikan kepada penulis melalui *e-mail* thinaelmas49@gmail.com.