



TUGAS AKHIR - MO 141326

**STUDI EKSPERIMEN *SCOURING* PADA AKIBAT
GELOMBANG REGULER DAN ARUS DENGAN KONDISI
MELETAK DAN *IN-TRENCH***

BIMA SETYO PRABOWO

NRP. 04311440000139

DOSEN PEMBIMBING :

Suntoyo, S.T., M. Eng., Ph. D.

Drs. Mahmud Mustain, M.Sc., Ph. D.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018



FINAL PROJECT - MO 141326

**EXPERIMENTAL STUDY OF SCOURING ON
SEABED AND IN-TRENCH PIPELINE UNDER
REGULAR WAVE AND CURRENT**

BIMA SETYO PRABOWO

NRP. 04311440000139

SUPERVISOR :

Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D.

Drs. Mahmud Mustain, M.Sc., Ph. D.

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018

**STUDI EKSPERIMEN SCOURING PADA PIPA AKIBAT GELOMBANG REGULER
DAN ARUS PADA KONDISI MELETAK DAN IN - TRENCH**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada
Program S-1 Departemen Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

BIMA SETYO PRABOWO

NRP. 04311440000139

Disetujui Oleh :

1. Suntoyo, ST., M.Eng., Ph.D (Pembimbing I)

2. Drs. Mahmud Mustain, M.Sc, Ph. D (Pembimbing II)

3. Dr. Ir. Wahyudi, M.Sc. (Penguji I)

4. Prof. Ir. Mukhtasor, M. Eng, Ph. D. (Penguji II)

Surabaya, 23 Juli 2018

Halaman ini sengaja dikosongkan

STUDI EKSPERIMEN *SCOURING* PADA PIPA MELETAK DAN *IN – TRENCH* AKIBAT PENGARUH GELOMBANG REGULER DAN ARUS

Nama Penulis : Bima Setyo Prabowo
NRP : 0431144000139
Departemen : Teknik Kelautan
Dosen Pembimbing : Suntoyo, ST., M.Eng., Ph.D
Drs. Mahmud Mustain M.Sc, Ph.D

ABSTRAK

Penggunaan pipa bawah laut sebagai media transportasi migas dari platform menuju daratan sering menemui beberapa masalah. *Scouring* merupakan salah satu masalah yang dialami oleh jaringan pipa bawah laut yang disebabkan oleh perubahan pola gelombang aliran dan arus yang mengakibatkan terjadinya penggerusan tanah. Proses terjadinya *scouring* sangat penting dalam hal stabilitas pipa karena *scouring* dapat mengakibatkan adanya *self-burial* dan timbulnya bentangan bebas (*free span*). Pengerjaan tugas akhir ini akan dilakukan di *flume tank* Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut Departemen Teknik Kelautan – FTK ITS. Model pipa yang digunakan dalam eksperimen ini yaitu pipa berbahan *polyvinyl chloride* (PVC) dengan diameter 1,5 inch, dengan ukuran diameter tanah d_{50} yaitu 0,56m dan sudut aliran air terhadap pipa tegak lurus ($\alpha = 90^0$). Terdapat tiga variasi peletakan pipa pada eksperimen ini. Hasil analisa berupa objek 2D yang digambarkan lebih jelas melalui *software* AutoCAD. Dari eksperimen *scouring* pada sekitar pipa akibat gelombang reguler dan arus dapat disimpulkan bahwa kedalaman dan lebar *scouring* yang terbesar terjadi pada kondisi pipa meletak dengan tinggi gelombang 13cm dan kecepatan arus 13cm/s dengan kedalaman = 0,965cm dan lebar = 3,89cm. Semakin dalam pipa dibenamkan semakin kecil kedalaman dan lebar *scouring* yang terjadi. Sementara, Semakin besar nilai gelombang dan arus maka semakin besar kedalaman dan lebar *scouring* yang terjadi.

Kata kunci : eksperimen, gelombang reguler, pipa bawah laut,meletak,*in trench, scouring*

EXPERIMENTAL STUDY OF SCOURING ON SEABED AND IN - TRENCH PIPES UNDER REGULAR WAVE AND CURRENT

Name : Bima Setyo Prabowo
NRP : 0431144000139
Department : Ocean Engineering
Supervisor : Suntoyo, ST., M.Eng., Ph.D
Drs. Mahmud Mustain M.Sc, Ph.D

ABSTRACT

The use of submarine pipelines as a medium of oil and gas transportation from the platform to the mainland often encounters several problems. Scouring is one of the problems experienced by subsea pipelines caused by changes in flow and current wave patterns that result in soil erosion. The process of scouring is very important in terms of pipe stability because scouring can cause self-burial and free span. This final project will be carried out in the flume tank of the Laboratory of Energy and Marine Environment Department of Ocean Engineering - FTK ITS. The pipe model used in this experiment is a polyvinyl chloride (PVC) pipe with a diameter of 1.5 inch, with a soil diameter of d_{50} of 0.56m and a water flow angle to a perpendicular pipe ($\alpha = 90^0$). There are three variations of pipe laying in this experiment. The analysis results in the form of 2D objects that are described more clearly through AutoCAD software. From the scouring experiments around the pipe due to regular and current waves it can be concluded that the largest depth and width of scouring occur under pipe conditions with a wave height of 13cm and a current velocity of 13cm / s with depth = 0.965cm and width = 3.89cm. The deeper the pipe is buried the smaller the depth and width of the scouring that occurs. Meanwhile, the greater the value of wave and current the greater the depth and width of the scouring occurs.

Keyword : experiments, regular waves, subsea pipes, laying, in trench, scouring

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Tugas Akhir ini berjudul **“Studi Eksperimen *Scouring* pada Pipa Akibat Gelombang Reguler dan Arus pada Kondisi Meletak dan *In - Trench*”**.

Tugas Akhir ini disusun oleh penulis untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana teknik pada program studi S-1 di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tugas Akhir ini mengenai eksperimen guna mencari kedalaman, lebar dan laju propagasi *scouring* berdasarkan variasi yang telah ditentukan.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan ini. Saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan oleh penulis. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, 25 Juli 2018

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis juga tidak lupa menyampaikan terimakasih kepada semua pihak yang membantu dalam penyelesaian penyusunan laporan Tugas Akhir ini. Terimakasih sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada :

1. Kedua orang tua saya dan kedua kakak saya yang selalu mendukung baik secara moril maupun finansial.
2. Bapak Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing 1 dan dosen wali saya yang telah bersedia membimbing penulis dan memberikan pengetahuan yang lebih.
3. Bapak Drs.Mahmud Mustain, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing 2 dan Kepala Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut yang telah membimbing dan memberikan arahan untuk menyempurnakan Tugas Akhir ini.
4. Bapak M. Mochtar Arif selaku teknisi Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut yang telah membantu pelaksanaan eksperimen.
5. Keluarga Maelstrom P – 54 L – 32 Teknik Kelautan 2014 yang sudah membantu dalam menjalani hari berat dan hari bahagia selama berada di Teknik Kelautan.
6. Tim eksperimen *scouring* joss, Fachri, Dicky, dan Didit, yang telah bersama – sama menjalani hari – hari penuh basah di *Flume Tank*.
7. Teman – teman Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut yang telah membantu selama eksperimen berlangsung
8. Teman – teman Kontrakan “K4” yang sudah menemani penulis selama setahun penuh banjir di Sukolilo Park Regency.
9. Teman – teman “Kumpulan Puisi” yang sudah sabar menghadapi kelakuan saya selama berada di Teknik Kelautan
10. Kartika Firdausi dan Renda Shafira Gatti yang sudah membantu penulis dalam membenahi Tugas Akhir sebagai editor.

11. Teman – teman kontrakan “KSB” yang sudah mau menampung saya selama dua tahun terakhir yang penuh suka duka.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
COVER	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
UCAPAN TERIMAKASIH	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	7
2.2.1 Teori Gelombang Reguler.....	7
2.2.2 Arus	9
2.2.3 Scouring	9
2.2.4 Keulegan carpenter number	12
2.2.5 Kedalaman Scouring	13
2.2.6 Lebar Scouring	15
2.2.7 Laju Propagasi Scouring	15
2.2.8 Pemodelan Fisik	16

2.2.9	Pengujian Specific Gravity Tanah.....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		19
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	19
3.2	Prosedur Penelitian.....	20
3.2.1	Studi Literatur dan Pengumpulan Data.....	20
3.2.2	Menentukan Rancangan Eksperimen dan Peralatan Eksperimen....	20
3.2.3	Pengujian Tanah.....	23
3.2.4	Kalibrasi alat uji.....	23
3.2.5	Pengujian <i>scouring</i>	24
3.2.6	Analisa data dan Pembahasan.....	25
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....		26
4.1	Data Tanah.....	26
4.2	Data Gelombang.....	30
4.3	Hasil Eksperimen.....	32
4.3.1	Hasil Eksperimen Scouring Pada Pipa Kondisi Meletak.....	33
4.3.2	Pengujian Pada Pipa Kondisi <i>In – Trench</i> Kedalaman 0,2cm.....	39
4.3.3	Pengujian Pada Kondisi <i>In – Trench</i> 0.4cm.....	46
4.4	Analisa Kedalaman dan Lebar <i>Scouring</i>	52
4.5	Analisa Parameter Tak Berdimensi.....	54
4.6	Laju Propagasi <i>Scouring</i>	60
4.7	Perbandingan <i>Scouring</i> dengan Kecepatan Arus Berbeda.....	60
4.8	Perbandingan dengan Eksperimen Sebelumnya.....	62
4.8.1	Pada Kondisi Pipa Meletak.....	62
4.8.2	Pada Kondisi <i>In – Trench</i>	65
BAB V PENUTUP.....		68
5.1	Kesimpulan.....	68
5.2	Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA.....		69
LAMPIRAN A Hasil Foto <i>Scouring</i> Kondisi Maksimum.....		1
LAMPIRAN B Grafik Laju Propagasi <i>Scouring</i>.....		7
LAMPIRAN C Tabel Perhitungan Rumus Empiris.....		9

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Produksi Migas Indonesia	1
Gambar 2.1 Sistem Transportasi Migas Lepas Pantai	5
Gambar 2.2 Definisi istilah gelombang dasar, sinusoidal, progresif	8
Gambar 2.3 Arus Laut.....	9
Gambar 2.4 (Bijker, 1986) Scouring yang disebabkan oleh gelombang	11
Gambar 2.5 (Bijker, 1986) Scouring yang disebabkan oleh arus	11
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	19
Gambar 3.2 Sketsa Pengujian Tampak Samping	24
Gambar 3.3 Sketsa Pengujian Tampak Atas	25
Gambar 4.1 Hasil Pengujian Tanah	27
Gambar 4.2 Hasil Pengujian Tanah	28
Gambar 4.3 Hasil Pengujian Tanah	28
Gambar 4.4 Grafik Diameter Sampel d50	29
Gambar 4.5 Software Water Tide Meter.....	30
Gambar 4.6 Kalibrasi Water Tide Meter dengan Wave Probe	31
Gambar 4.7 Software Wavan $H_i = 11$, $T_i = 1$, Probe 1.....	31
Gambar 4.8 Software Wavan $H_i = 11$, $T_i = 1$, Probe 3.....	32
Gambar 4.9 Kondisi saat $t = 25$ menit, $H = 13\text{cm}$, $v = 13\text{cm/s}$	33
Gambar 4.10 Profil 2D Scouring $H = 13\text{cm}$ $v = 13\text{cm/s}$	34
Gambar 4.11 Kondisi pipa saat $t = 25$ menit, $H = 11\text{cm}$, $v = 10\text{cm/s}$	35
Gambar 4.12 Profil 2D Scouring $H = 13\text{cm}$ $v = 10\text{cm/s}$	35
Gambar 4.13 Kondisi pipa saat $t = 25$ menit, $H = 11\text{cm}$, $v = 13\text{cm/s}$	36
Gambar 4.14 Profil 2D Scouring Kondisi $H = 11\text{cm}$ $v = 13\text{cm/s}$	37
Gambar 4.15 Kondisi saat pipa $t = 25$ menit, $H = 11\text{cm}$, $v = 10\text{cm/s}$	38
Gambar 4.16 Profil 2D Scouring Kondisi $H = 11\text{cm}$ $v = 10\text{cm/s}$	38
Gambar 4.17 Kondisi pipa $t = 25$ menit, $H = 13\text{cm}$, $v = 13\text{cm/s}$ (in – trench).....	40
Gambar 4.18 Profil 2D Scouring In – Trench $0,2\text{cm}$ $H = 13\text{cm}$ $v = 13\text{cm/s}$	40
Gambar 4.19 Kondisi pipa saat $t = 25$ menit, $H = 13\text{cm}$, $v = 10\text{cm/s}$ (in – trench)	41
Gambar 4.20 Profil 2D Scouring In – Trench $0,2\text{cm}$ $H = 13\text{cm}$ $v = 10\text{cm/s}$	42
Gambar 4.21 Kondisi Pipa saat $t = 25$, $H = 11\text{cm}$, $v = 13\text{cm/s}$ (in – trench).....	43

Gambar 4.22 Profil 2D Scouring In – Trench 0,2cm H = 11cm v = 13cm/s	43
Gambar 4.23 Kondisi pipa saat t = 25 menit, H = 11cm, v= 10cm/s (in – trench)	45
Gambar 4.24 Profil 2D Scouring In – Trench 0,2cm H = 11cm v = 10cm/s	45
Gambar 4.25 Kondisi pipa saat t = 25 menit, H = 13cm, v= 13cm/s (in – trench)	47
Gambar 4.26 Profil 2D Scouring In – Trench 0,4cm H = 13cm v = 13cm/s	47
Gambar 4.27 Kondisi pipa saat t = 25 menit, H = 13cm, v= 10cm/s (in – trench)	48
Gambar 4.28 Profil 2D Scouring In – Trench 0,4cm H = 13cm v = 10cm/s	49
Gambar 4.29 Kondisi pipa saat t = 25 menit, H = 11cm, v= 13cm/s (in – trench)	50
Gambar 4.30 Profil 2D Scouring In – Trench 0,4cm H = 11cm v = 10cm/s	50
Gambar 4.31 Kondisi pipa saat t = 25 menit, H = 11cm, v= 10cm/s (in – trench)	51
Gambar 4.32 Profil 2D Scouring In – Trench 0,4cm H = 11cm v = 10cm/s	52
Gambar 4.33 Grafik hubungan ketinggian relatif gelombang (H/gT^2) dengan bilangan tak berdimensi kedalaman scouring (S/D)	55
Gambar 4.34 Grafik hubungan ketinggian relative gelombang (H/gT^2) dengan bilangan tak berdimensi lebar scouring (w/D)	55
Gambar 4.35 Grafik hubungan ketinggian relative gelombang (H/gT^2) dengan bilangan tak berdimensi lebar scouring (w/D)	56
Gambar 4. 36 Grafik hubungan KC dengan bilangan tak berdimensi lebar.....	57
Gambar 4.37 Grafik hubungan burial depth-diameter ratio (e/D) dengan bilangan tak berdimensi kedalaman scouring (S/D)	57
Gambar 4.38 Grafik hubungan antara burial depth-diameter ratio (e/D) dengan bilangan tak berdimensi lebar scouring (w/D)	58
Gambar 4.39 Grafik hubungan shield parameter (Θ) dengan bilangan tak berdimensi kedalaman scouring (S/D)	59
Gambar 4.40 Grafik hubungan shield parameter (Θ) dengan bilangan tak berdimensi lebar scouring (w/D)	59

Gambar 4.41 Perbandingan Laju Propagasi Scouring $H = 13\text{cm}$ dengan Perbedaan Kecepatan Arus Pada Kondisi Maksimum.....	61
Gambar 4.42 Perbandingan Laju Propagasi Scouring $H = 11\text{cm}$ dengan Perbedaan Kecepatan Arus Pada Kondisi Maksimum.....	61
Gambar 4.43 Perbandingan Laju Scouring dengan $H = 13\text{cm}$ $t = 5\text{menit}$ antara Rahayu (2017) (Biru) dan Penelitian Sekarang (Merah).....	62
Gambar 4.44 Grafik Perbandingan Laju Scouring dengan $H = 13\text{cm}$ $t = 15\text{menit}$ antara Rahayu (2017) (Biru) dan Penelitian Sekarang (Merah).....	63
Gambar 4.45 Grafik Perbandingan Laju Scouring dengan $H = 13\text{cm}$ $t = 5\text{menit}$ antara Rahayu (2017) (Biru) dan Penelitian Sekarang (Merah).....	64
Gambar 4.46 Grafik Perbandingan Laju Scouring dengan $H = 13\text{cm}$ $t = 5\text{menit}$ dan in – trench antara Rahayu (2017) (Biru) dan Penelitian Sekarang (Merah).....	65
Gambar 4.47 Grafik Perbandingan Laju Scouring dengan $H = 13\text{cm}$ $t = 15\text{menit}$ dan in – trench antara Rahayu (2017) (Biru) dan Penelitian Sekarang (Merah) ...	66
Gambar 4.48 Grafik Perbandingan Laju Scouring dengan $H = 13\text{cm}$ $t = 25\text{menit}$ dan in – trench antara Rahayu (2017) (Biru) dan Penelitian Sekarang (Merah) ...	66

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Pengujian Scouring.....	20
Tabel 4.1 Hasil Pengujian $H = 13\text{cm}$ $v = 13\text{cm/s}$	33
Tabel 4.2 Hasil Pengujian $H = 13\text{cm}$ $v = 10\text{cm/s}$	34
Tabel 4.3 Hasil Pengujian $H = 11\text{cm}$ $v = 13\text{cm/s}$	36
Tabel 4.4 Hasil Pengujian $H = 11\text{cm}$ $v = 10\text{cm/s}$	37
Tabel 4.5 Hasil Pengujian in – trench $0,2\text{cm}$ $H = 13\text{cm}$ $v = 13\text{cm/s}$	39
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Kondisi In – Trench $0,2\text{cm}$ $H = 13\text{cm}$ $v = 10\text{cm/s}$	41
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Kondisi <i>In – Trench</i> $0,2\text{cm}$ $H = 11\text{cm}$ $v = 13\text{cm/s}$	42
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Kondisi In – Trench $0,2\text{cm}$ $H = 11\text{cm}$ $v = 10\text{cm/s}$	44
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Kondisi In – Trench $0,4\text{cm}$ $H = 13\text{cm}$ $v = 13\text{cm/s}$	46
Tabel 4.10 Hasil Pengujian Kondisi In – Trench $0,4\text{cm}$ $H = 13\text{cm}$ $v = 10\text{cm/s}$	48
Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Kondisi In – Trench $0,2\text{cm}$ $H = 11\text{cm}$ $v = 13\text{cm/s}$	49
Tabel 4.12 Hasil Pengujian Kondisi In – Trench $0,4\text{cm}$ $H = 11\text{cm}$ $v = 10\text{cm/s}$	51
Tabel 4.13 Perhitungan Lebar dan Kedalaman Scouring.....	53
Tabel 4.14 Perbandingan Perhitungan Empiris dan Eksperimen.....	54
Tabel 4.15 Perhitungan Empiris Laju Propagasi Scouring	60
Tabel 4.16 Perbandingan kedalaman scouring pada kondisi $H = 13\text{cm}$	64
Tabel 4.17 Perbandingan kedalaman scouring pada kondisi $H = 13\text{cm}$ dan in – trench $0,2\text{cm}$	67

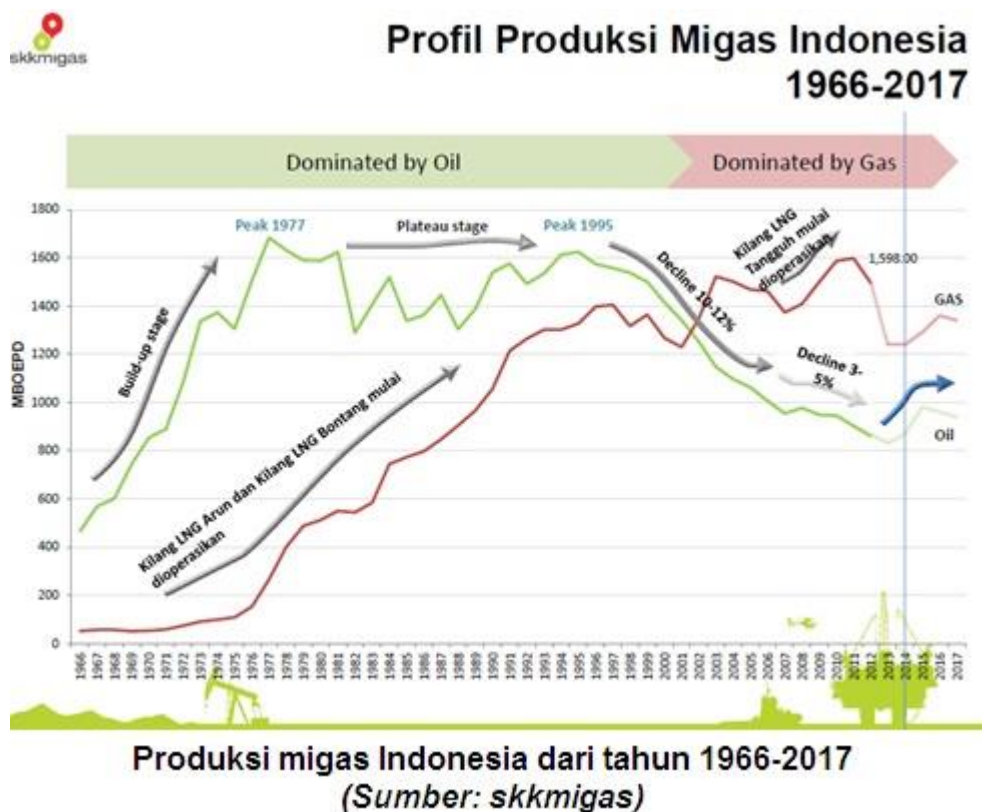
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada suatu negara berkembang terjadi perkembangan industri yang sangat pesat. Dalam mendukung perkembangan industri maka dibutuhkan pula sumber daya yang mendukung perkembangan industri tersebut. Salah satu sumber daya energi yang dibutuhkan oleh negara berkembang seperti Indonesia yaitu energi migas. Meski beberapa tahun terakhir produksi migas Indonesia menurun seperti yang dilansir oleh website milik SKK Migas melalui Gambar 1.1. Dapat dilihat bahwa produksi migas terus menurun semenjak tahun 2002. Namun migas masih menjadi salah satu sektor industri yang menjadi andalan negara berkembang seperti Indonesia.



Gambar 1.1 Produksi Migas Indonesia

SKK Migas Website, 2017

Indonesia sebagai negara yang memiliki sumber daya alam yang melimpah dan memiliki wilayah laut yang luas membutuhkan media transportasi migas dari platform lepas pantai menuju pantai untuk mengolah migas tersebut. Salah satu alternatif yang digunakan adalah jalur pipa bawah laut. Terdapat beberapa masalah yang terjadi pada penggunaan pipa bawah laut yaitu gelombang dan arus yang terjadi di laut, adanya jalur kabel telekomunikasi bawah laut, dan keadaan morfologi dasar laut yang tidak rata. Dengan sistem kerja yang terus menerus menuntut keadaan pipa bawah laut selalu dalam kondisi yang stabil dan bekerja baik.

Salah satu faktor yang nantinya dapat mengganggu kinerja jaringan pipa bawah laut yaitu terjadinya *scouring* (penggerusan) pada daerah sekitar peletakan jalur pipa bawah laut.

Scouring merupakan hal yang terjadi pada struktur bawah laut yang disebabkan oleh perubahan pola gelombang aliran dan arus yang mengakibatkan terjadinya penggerusan tanah. Secara umum *scouring* disebabkan oleh kondisi arus, struktur, dan material yang berada di dasar laut (Yussof, 2013). Proses terjadinya *scouring* sangat penting dalam hal stabilitas pipa karena *scouring* dapat mengakibatkan adanya self-burial. Self – burial ini nantinya dapat membuat terjadinya buckling pada pipa.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana hasil lebar dan kedalaman *scouring* akibat gelombang reguler dan arus pada pipa meletak dan *in - trench*?
2. Bagaimana laju propagasi *scouring* terhadap pipa akibat gelombang reguler dan arus pada pipa meletak dan *in - trench*?
3. Bagaimanakah hubungan kedalaman dan lebar *scouring* terhadap pipa kondisi meletak dan *in-trench* akibat gelombang reguler dan arus dengan variasi tinggi gelombang dan kedalaman air?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian tugas akhir ini :

1. Mengetahui kedalaman dan lebar scouring akibat gelombang reguler dan arus
2. Mengetahui laju propagasi scouring terhadap pipa akibat gelombang reguler dan arus?
3. Mengetahui hubungan kedalaman dan lebar *scouring* terhadap pipa kondisi meletak dan *in-trench* akibat gelombang reguler dan arus dengan variasi tinggi gelombang dan kedalaman air

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari pengujian tugas akhir ini yaitu untuk mengetahui *scouring* yang terjadi akibat faktor tinggi gelombang, kondisi pipa terhadap dasar, dan kedalaman air. Hasil eksperimen dapat menjadi pertimbangan untuk validasi percobaan numerik yang telah ada atau yang akan dibuat sesuai dengan permasalahan yang ada.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diberikan dalam tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Analisa scouring yang dilakukan merupakan analisa dua dimensi.
2. Gelombang yang digunakan yaitu gelombang reguler.
3. Kondisi pipa terletak diatas dasar laut dan terbenam dalam dasar laut.
4. Tidak ada pelindung pipa.
5. Kemiringan seabed diabaikan.
6. Sudut aliran air terhadap pipa tegak lurus ($\alpha = 90^\circ$).
7. Ukuran diameter tanah d50.
8. Ukuran diameter pipa 1,5 in.
9. Berat jenis dan tebal pipa sebenarnya diabaikan.
10. Model uji pipa berbahan PVC.
11. Variasi pada eksperimen yaitu e/D dan tinggi gelombang.
12. Nilai $e/D \leq 0$.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I Pendahuluan

Berisi tentang gambaran mengenai pelaksanaan penelitian yang meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan yang menjawab rumusan masalah, manfaat dan batasan masalah yang akan ditinjau dalam penelitian.

BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Berisi tentang teori-teori maupun rumus yang menunjang pengerjaan penelitian. Penjelasan tersebut berasal dari buku, jurnal, tugas akhir terdahulu, dan lain sebagainya.

BAB III Metodologi Penelitian

Berisi mengenai langkah-langkah yang akan dilakukan selama proses penelitian. Secara teknis mulai dari awal pengerjaan hingga akhir.

BAB IV Analisa Hasil

Berisi tentang analisa dari seluruh hasil penelitian yang telah dilakukan menggunakan rumus empiris yang telah di tulis pada dasar teori maupun referensi lainnya.

BAB V Kesimpulan dan Saran

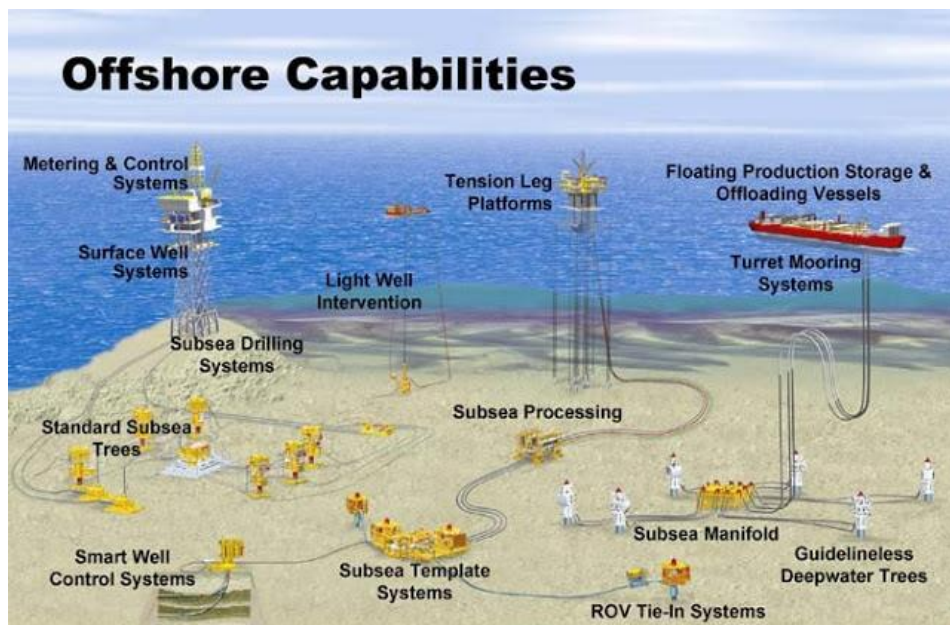
Hasil yang telah dihitung akan dapat disimpulkan dan diberi saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam perkembangan tentang kebutuhan Sumber Daya Alam fosil, ketersediaan minyak atau gas tidak hanya berada di daratan, yang dapat dengan “mudah” kita pindahkan, oleh karena itu dibutuhkannya suatu sistem untuk mentransportasikan reservoir itu ke daratan menggunakan Subsea Pipeline, atau bisa juga untuk memindahkan reservoir yang berada di daratan menuju daratan lagi akan tetapi melalui laut dalam jalurnya. Ilustrasi mengenai sistem transportasi migas bawah laut bisa dilihat melalui Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Sistem Transportasi Migas Lepas Pantai

Oil and Gas Path Website , 2009

Di Indonesia sudah banyak wilayah yang memiliki infrastruktur migas bawah laut seperti anjungan migas lepas pantai dan jalur pipa penyalur minyak dan gas bumi meliputi perairan sekitar pantai utara Jawa, perairan utara Madura dan Selat Madura, perairan sebelah timur Kalimantan Timur, perairan Kepulauan Riau, dan perairan sekitar Pulau Natuna. (Suntoyo, 2016).

Jaringan pipa bawah laut harus didesain sedemikian rupa agar dapat menahan beban lingkungan sekitar. Salah satu permasalahan yang terjadi pada jaringan pipa bawah laut yaitu scour (penggerusan). *Scouring* nantinya dapat menimbulkan *free span* di daerah sekitar pipa dan nantinya akan menyebabkan kegagalan pada pipa bawah laut karena adanya defleksi atau tekanan berlebih ke arah *seabed* pada kedua ujung bentangan (Cheng, 2013) . Kedalaman dan lebar gerusan yang terjadi di sekitar pipa dapat diperhitungkan melalui studi eksperimental di laboratorium.

Yussof (2013) melakukan analisa terhadap mekanisme terjadinya scouring pada pipeline akibat adanya aliran arus *steady*. Dengan kesimpulan bahwa pipa yang terletak akan mencapai equilibrium state (titik keseimbangan) ketika dimensi *scouring* berada pada posisi stagnan setelah waktu yang cukup panjang.

Beberapa penelitian *scouring* terhadap pipa bawah laut juga pernah dilakukan oleh mahasiswa Departemen Teknik Kelautan – FTK ITS. Nugraha (2012) menganalisa pengaruh scouring pada pipa bawah laut(studi kasus pipa gas transmisi SSJW jalur pipa gas Labuhan Maringgai-Muara Bekasi). Dengan kesimpulan bahwa semakin besar kedalaman *scouring* maka span gap ratio juga akan bertambah yang akan berpengaruh pada nilai koefisien added mass (Ca).

Budiarti (2016) melakukan penelitian mengenai pemodelan numerik 2D *scouring* pipa bawah laut dengan variasi jarak clearance terhadap dasar laut. Dengan kesimpulan bahwa semakin dalam suatu perairan maka kedalaman dan lebar *scouring* yang dihasilkan semakin kecil dan sebaliknya.

Rahayu (2017) melakukan studi eksperimen untuk mengetahui kedalaman dan lebar *scouring* pada pipa meletak dan *in – trench* akibat gelombang reguler. Dengan kesimpulan bahwa semakin dalam pipa dibanamkan maka semakin kecil kedalaman dan lebar scouring yang terjadi. Selain itu semakin tinggi gelombang maka semakin besar kedalaman dan lebar scouring yang terjadi.

Ramadhan (2017) melakukan studi eksperimental untuk mengetahui kedalaman dan lebar *scouring* pada pipa meletak dan *in – trench* akibat gelombang ireguler. Dengan kesimpulan bahwa semakin besar butiran sedimen yang ada di

sekitar struktur pipa, maka semakin kasar permukaannya, sehingga kedalaman dan lebar scouring yang terbentuk semakin kecil.

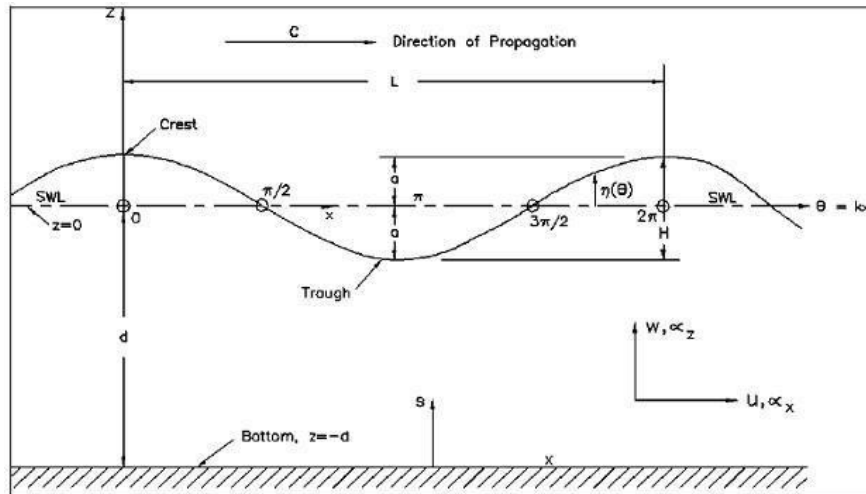
Xu (2008) melakukan analisa terhadap bentuk perubahan seabed di daerah sekitar pipa bawah laut akibat terkena gelombang reguler. Dengan melakukan pengamatan terhadap empat jenis gelombang berbeda, dimana pada fase I tidak terjadi *scouring*, fase II terjadi *scouring* tanpa adanya butiran pasir, fase ke III adanya butiran pasir berukuran kecil, dan yang ke IV terjadi *scouring* dengan adanya butiran pasir berukuran besar.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Teori Gelombang Reguler

Gelombang merupakan aliran fluida dinamis yang mempunyai pola tersendiri dan dapat diformulasikan secara matematis. Untuk penyederhanaan perumusan matematis gelombang, yang dalam kondisi riilnya sangat kompleks, maka telah ditetapkan asumsi-asumsi. Perumusan yang paling sederhana yaitu dalam bentuk osilasi sinusoidal, seperti yang diperkenalkan oleh Airy (1845). Teori ini berasumsikan tinggi gelombang relatif kecil dibanding dengan panjangnya. Ketinggian gelombang tetap dan memiliki periode tunggal sehingga gelombang ini juga mempunyai spektrum tunggal.

Bentuk orbit partikel di perairan dangkal dan menengah berbentuk elips, sedangkan di perairan dalam berupa lingkaran. Gelombang linier mempunyai karakteristik kecuraman yang kecil, sedangkan gelombang- gelombang non linier mempunyai kecuraman lebih besar.



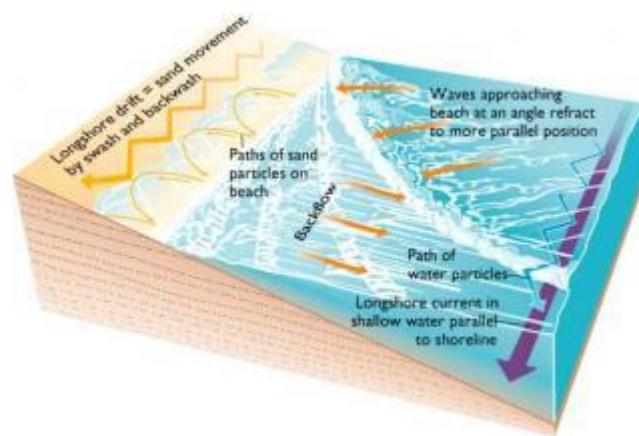
Gambar 2.2 Definisi istilah gelombang dasar, sinusoidal, progresif
(Coastal Engineering Manual part II Chapter 1) water wave
mechanics

Gambar 2.2 menjelaskan notasi – notasi yang berkaitan dengan teori gelombang reguler , untuk detail gambar tersebut :

- A : Amplitudo gelombang, $\frac{1}{2}$ jarak tegak dari puncak ke puncak atau lembah ke lembah
- H : Tinggi gelombang, jarak tegak dari puncak ke puncak atau lembah ke lembah
- L : Panjang gelombang , jarak mendatar dari puncak ke puncak atau lembah ke lembah
- T : Periode gelombang, waktu yang ditempuh dari puncak ke puncak atau lembah ke lembah
- C : Kecepatan gelombang (L/T)
- d : Kedalaman air
- ω : Frekuensi (rad) ($2\pi/T$)
- k : Angka gelombang ($2\pi/L$)

2.2.2 Arus

Arus laut adalah gerakan massa air laut yang berpindah dari satu tempat ke tempat lain. Arus di permukaan laut terutama disebabkan oleh tiupan angin, sedang arus di kedalaman laut disebabkan oleh perbedaan densitas massa air laut. Selain itu, arus di permukaan laut dapat juga disebabkan oleh gerakan pasang surut air laut atau gelombang. Arus laut dapat terjadi di samudera luas yang bergerak melintasi samudera (*ocean currents*), maupun terjadi di perairan pesisir (*coastal currents*). Untuk penjelasan lebih jelasnya dapat dilihat melalui Gambar 2.3



Gambar 2.3 Arus Laut

El, 2011 Arus Laut Global

2.2.3 Scouring

Scouring adalah fenomena penggerusan tanah pada dasar laut yang disebabkan oleh perubahan aliran air laut. Berubahnya pola aliran dapat menyebabkan kontraksi aliran, pembentukan *vortex*, turbulensi, gelombang pecah dan perbedaan tekanan menyebabkan adanya material yang terbawa oleh arus. Peristiwa ini banyak terjadi pada material tanah lumpur atau endapan, tetapi juga dapat terjadi pada keadaan berbatu atau berkarang dengan kondisi tertentu (Ikhwani, 2010).

Gerusan dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu:

1. Gerusan umum (*general scour*)

Gerusan yang mengakibatkan dasar laut semakin dalam akibat interaksi antara aliran air dengan dasar laut. Hal ini menyebabkan sedimen terangkut.

2. Gerusan lokal (*local scour*)

Gerusan yang terjadi pada suatu daerah pada dasar akibat peningkatan energi dan turbulensi aliran karena gangguan struktur. Terdapat dua jenis gerusan lokal yaitu:

- *Clear Water Scour*

Clear-water scouring yaitu kondisi dimana sedimen tidak terangkut akibat aliran air. Aliran memiliki tegangan gesek lebih kecil dari tegangan kritisnya ($\theta < \theta_{cr}$).

- *Live Bed Scour*

Live-bed scouring yaitu kondisi dimana sedimen ikut terangkut oleh aliran air. Aliran memiliki tegangan gesek lebih besar dari tegangan kritisnya ($\theta > \theta_{cr}$) dimana θ adalah *Shield Parameter Number*. Menurut buku *Coastal Engineering* (Sumer et.al, 2001) berikut rumus yang digunakan :

$$\theta = \frac{U_{fm}^2}{g(s-1)d_{50}} \quad (2.1)$$

Dengan,

$$S = \frac{\rho_s}{\rho} \quad (2.2)$$

$$U_{fm} = \sqrt{\frac{\tau_{\infty}}{\rho}} \quad (2.3)$$

Keterangan :

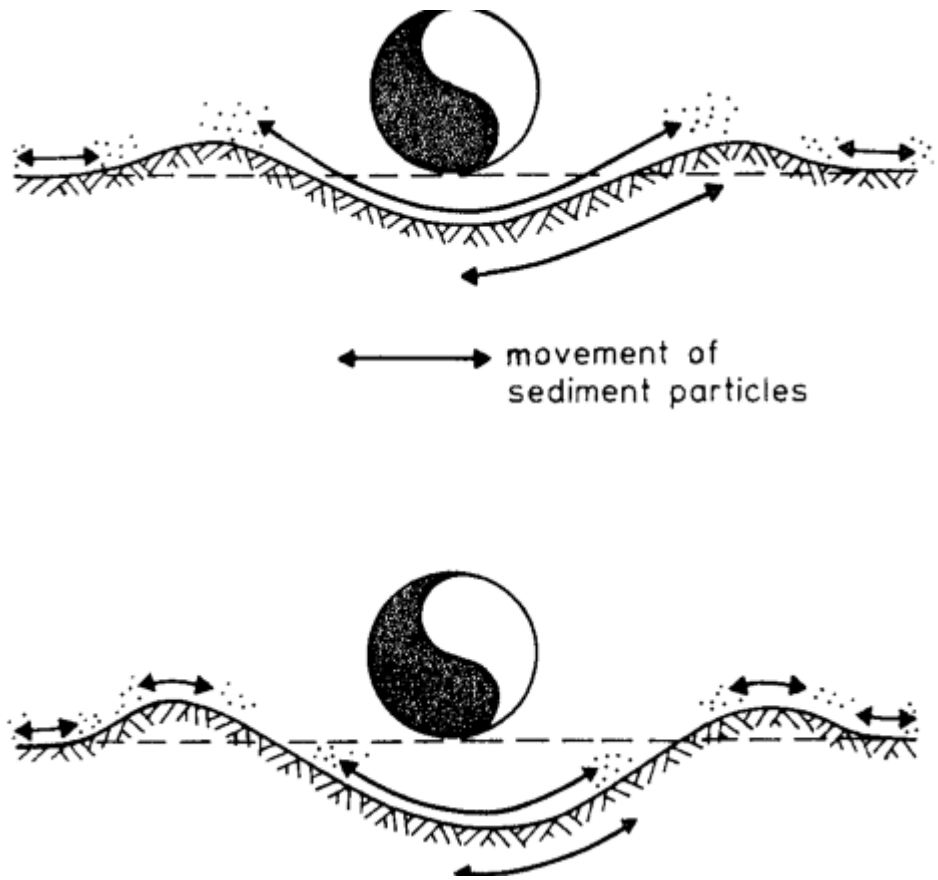
U_{fm} = undisturbed bed shear velocity (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

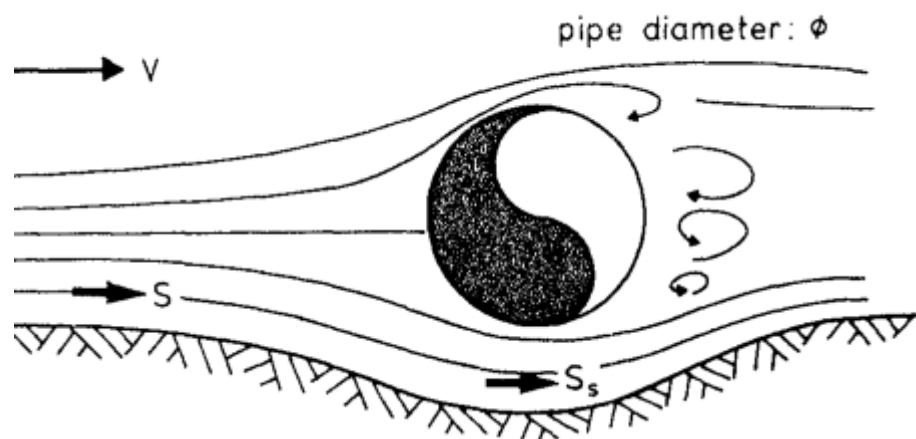
s = specific gravity sedimen dasar

d_{50} = ukuran butiran sedimen lolos ayakan 50% (m)

τ_{∞} = tegangan dasar untuk aliran undisturbed (N/m^2)



Gambar 2.4 (Bijker, 1986) Scouring yang disebabkan oleh gelombang



Gambar 2.5 (Bijker, 1986) Scouring yang disebabkan oleh arus

Teori yang dikemukakan oleh Bijker (1986) dapat dilihat berdasarkan Gambar 2.4 dan Gambar 2.5 mengenai *scouring* yang terjadi baik disebabkan oleh arus maupun oleh gelombang.

2.2.4 Keulegan carpenter number

Merupakan bilangan non – dimensional yang menghubungkan gaya drag dengan gaya inersia pada aliran yang berosilasi :

$$KC = \frac{TU_m}{D} \quad (2.4)$$

Keterangan :

U_m = Kecepatan orbital maksimum pada kondisi undisturbed di dasar (m/s)

T = periode osilasi (s)

D = skala panjang objek (diameter luar pipa) (m)

Untuk memperoleh nilai U_m kita dapat mencari melalui persamaan:

$$U_m = \sqrt{2} U_{rms} \quad (2.5)$$

Dengan,

$$U_{rms} = \omega_p \cdot A_{rms} \quad (2.6)$$

$$A_{rms} = \frac{H_{rms}}{2\sinh k_p d} \quad (2.7)$$

Dengan,

ω_p = frekuensi pada puncak spektrum

A_{rms} = orbital amplitude rms

H_{rms} = tinggi gelombang rms

K_p = wave number

d = kedalaman perairan (m)

2.2.5 Kedalaman *Scouring*

2.2.5.1 Kedalaman *Scouring* pada Gelombang Reguler

Sumer dan Fredsoe (1990) menunjukkan adanya keterkaitan antara kedalaman relatif scouring (S/D), dengan Keulegan Carpenter Number (KC). Kedalaman scouring akan meningkat seiring dengan bertambahnya nilai KC. Dapat dilihat melalui persamaan berikut :

$$\frac{S_d}{D} = 0,1 \sqrt{KC} \quad (2.8)$$

Dengan,

S_d = Kedalaman *Scouring*

D = Diameter Pipa

KC = *Keulegan Carpenter Number*

2.2.5.2 Kedalaman *Scouring* pada kombinasi arus dan gelombang

Sumer dan Fredsoe (1990) melakukan sebuah penelitian yang menjelaskan bahwa nilai KC dan nilai perbandingan kecepatan arus dan gelombang mempengaruhi besar kecilnya kedalaman scouring

$$\frac{U_c}{U_m + U_c} U_c \quad (2.9)$$

Dengan,

U_c = *Undisturbed Current Velocity* (m/s)

U_m = Kecepatan orbital maksimum pada kondisi *undisturbed* di dasar (m/s)

Sehingga nantinya didapatkan persamaan untuk mendapatkan kedalaman scouring

$$\frac{S}{D} = \frac{S_{cur}}{D} F \quad (2.10)$$

S_{cur} = kedalaman *scouring* akibat arus

F = Fungsi dari KC

Untuk mendapatkan nilai F terdapat batasan – batasan tertentu yaitu

Untuk $0 < U_c / (U_c + U_m) \leq 0.7$

Maka rumusnya,

$$F = \frac{5}{3} (KC)^a \exp (2.3b) \quad (2.11)$$

Sedangkan untuk $0.7 < U_c / (U_c + U_m) \leq 1$

$$F = 1 \quad (2.12)$$

Untuk mendapatkan nilai koefisien a dan b bisa didapatkan melalui rumus

Untuk $0 < U_c / (U_c + U_m) \leq 0.4$

$$a = 0.557 - 0.912 \left(\frac{U_c}{U_c + U_m} - 0.25 \right)^2 \quad (2.13)$$

$$b = -1.14 + 2.24 \left(\frac{U_c}{U_c + U_m} - 0.25 \right)^2 \quad (2.14)$$

Untuk $0.4 < U_c / (U_c + U_m) \leq 0.7$

$$a = -2.14 \left(\frac{U_c}{U_c + U_m} \right) + 1.46 \quad (2.15)$$

$$b = 3.3 \left(\frac{U_c}{U_c + U_m} \right) - 2.5 \quad (2.16)$$

2.2.5.3 Kedalaman *Scouring* Akibat Pengaruh Arus

Dalam penelitian milik Suntoyo (2016), mengutip dari Kjeldsen (1973) yang pertama kali menemukan formula empirik antara kedalaman *scouring* (S_d), diameter pipa (D), dan kecepatan arus efektif yang bekerja pada pipa (U). Hubungan yang didapatkan antara ketiga parameter tersebut dinotasikan sebagai berikut :

$$S_d = 0.972 \left(\frac{U^2}{2g} \right)^{0.2} D^{0.8} \quad (2.17)$$

Dengan,

S_d = Kedalaman *scouring* (m)

U = Kecepatan arus efektif yang bekerja (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

D = diameter pipa (m)

Formula tersebut kemudian disempurnakan lagi oleh Bijker dan Leeuwestein (1983). Persamaannya adalah :

$$S_d = 0.929 \left(\frac{U^2}{2g} \right)^{0.26} D^{0.78} (d_{50})^{-0.04} \quad (2.18)$$

d_{50} = diameter rata – rata butiran tanah

2.2.6 Lebar *Scouring*

Sumer dan Fredsoe (1990) telah melakukan penelitian mengenai perhitungan lebar *scouring* hingga didapatkan rumus :

$$\frac{W}{D} = 0.35 KC^{0.65} \quad (2.19)$$

Nilai W merupakan lebar *scouring* yang diukur dari diameter dalam pipa hingga kedalaman maksimum *scouring* di bawah pipa

2.2.7 Laju Propagasi *Scouring*

Dalam penelitian H.Mohr et al. (2016) mengutip dari Fredsoe (1992) bahwa laju propagasi *scouring* yang terjadi pada area dibawah pipa dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$S(t) = S_e \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{T}\right) \right) \quad (2.20)$$

S_e = Titik *equilibrium* kedalaman *scouring*

t = waktu terjadinya *scouring*

T = *Time scale scouring*

Fredsoe (1992) juga menjelaskan jika besarnya nilai T yang digunakan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$T = \frac{1}{50} \theta^{-\frac{5}{3}} \quad (2.21)$$

2.2.8 Pemodelan Fisik

Konsep dari permodelan fisik yaitu membuat kembali objek dari prototipe dengan bentuk yang lebih sederhana menggunakan skala. Eksperimen *scouring* kali ini menggunakan model pipa yang telah diperkecil ukurannya dan diletakkan di dasar sebuah tempat dengan pasir laut dan terdapat gelombang dan arus yang dibangkitkan melalui kondisi yang dapat dikendalikan besar kecilnya.

Pada studi eksperimen kali ini permodelan fisik mengacu pada konsep Froude Number. Teori keserupaan froude memiliki kriteria persamaan model sebagai berikut :

$$Fr = \frac{U_p^2}{g l_p} = \frac{U_m^2}{g l_m} \quad (2.22)$$

U_p = kecepatan fluida pada *prototype* (m/s)

U_m = kecepatan fluida yang dimodelkan (m/s)

l_p = panjang *prototype* (m)

l_m = panjang yang dimodelkan (m)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

Dalam metode froude panjang yang sebenarnya akan dikalikan dengan faktor skala (λ) hingga model yang akan diuji bisa menyesuaikan dengan tempat dilaksanakannya eksperimen

$$l_p = \lambda l_m \quad (2.23)$$

Sehingga untuk menentukan kecepatan model dapat digunakan rumus berikut

$$U_p = \sqrt{\lambda} u_m \quad (2.24)$$

Hal yang sama juga diterapkan pada model variabel yang lain, sehingga nantinya dapat diperoleh rumus untuk memodelkan gelombang melalui cara – cara berikut :

$$H_{pro} = \lambda H_{mod} \quad (2.25)$$

$$T_{pro} = \sqrt{\lambda} T_{mod} \quad (2.26)$$

Keterangan :

H_{pro} = Tinggi gelombang pada *prototype* (m)

λH_{mod} = Tinggi gelombang yang dimodelkan (m)

T_{pro} = Periode gelombang pada *prototype* (s)

$\sqrt{\lambda} T_{mod}$ = Periode gelombang yang dimodelkan (s)

Besarnya faktor skala yang digunakan harus sama dalam semua permodelan yang digunakan.

2.2.9 Pengujian *Specific Gravity* Tanah

Berat jenis (*spescific gravity*) tanah (G_s) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) pada temperatur tertentu (Prasetyo, dkk.2013). Empat komponen yang ada dalam pengujian *specific gravity* tanah yaitu,

W_1 = berat piknometer

W_2 = berat piknometer dan tanah kering

W_3 = berat piknometer, tanah, dan air

W_4 = berat piknometer dan air

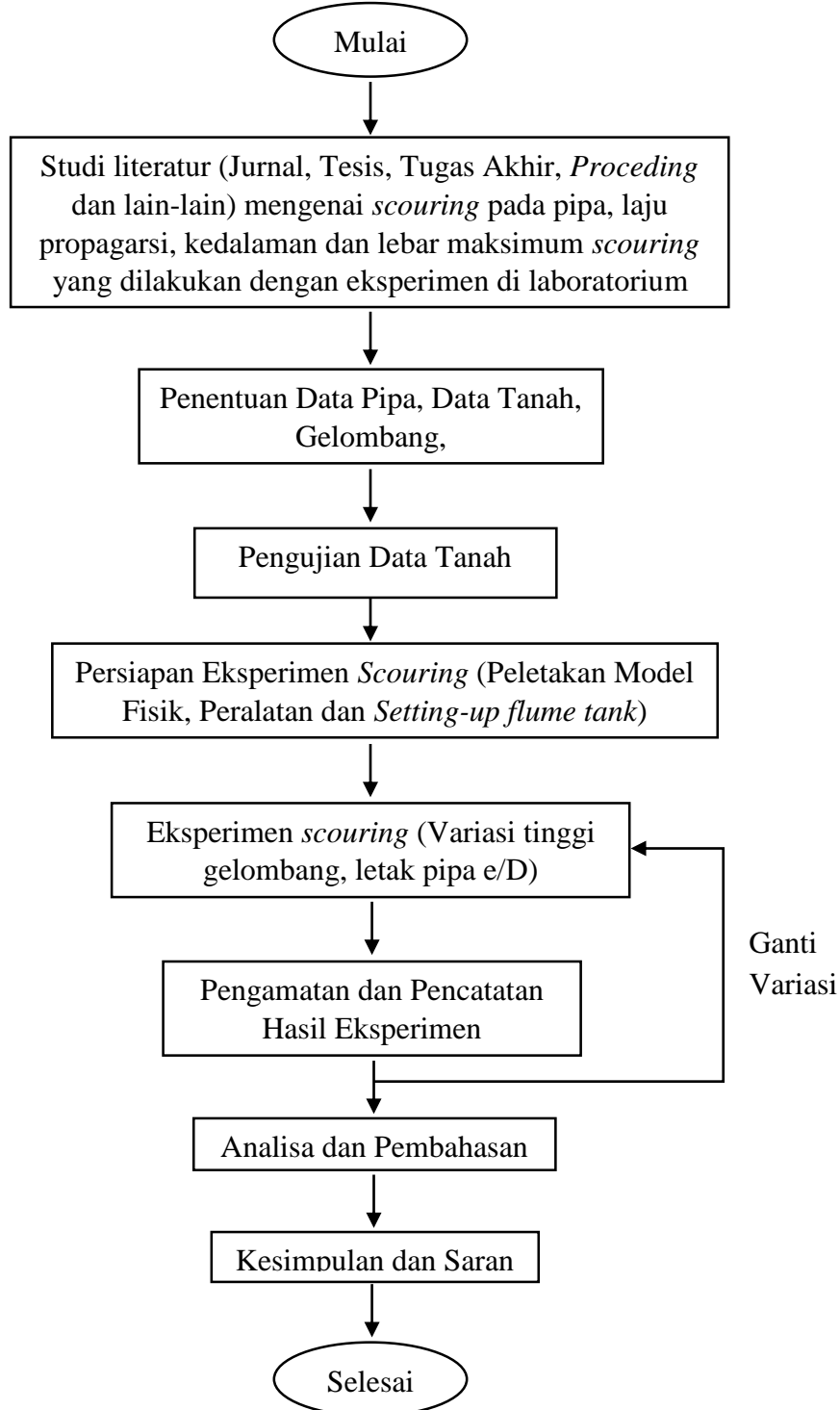
$$G_s = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \quad (2.27)$$

$$G_s \text{ (at } 27^\circ\text{C)} = G_s \text{ (at } T \text{ } 1^\circ\text{C)} \times A$$

Dengan nilai $A = 0.9986$

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

Alur pengerjaan Tugas Akhir dapat dilihat melalui Gambar 3.1 mengenai diagram alir.

3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Sebelum melakukan studi eksperimen ini, terlebih dahulu dilakukan studi literatur. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui dasar teori dan penelitian yang terdahulu untuk nantinya dalam hal pencarian solusi dari permasalahan yang ada. Sumber literatur didapatkan dari jurnal, buku, Tugas Akhir yang telah dilakukan, dan lain sebagainya. Penelitian dilakukan dengan eksperimen model fisik dua dimensi.

3.2.2 Menentukan Rancangan Eksperimen dan Peralatan Eksperimen

Rancangan eksperimen berisi variabel – variabel yang akan digunakan selama proses pengujian dilakukan seperti tinggi gelombang yang digunakan, periode, jenis gelombang yang digunakan, dan lain sebagainya. Model pengujian pipa yang digunakan yaitu pipa berbahan PVC dengan diameter 1,5 inch dan panjangnya 25cm. Gelombang yang digunakan adalah gelombang reguler seperti studi eksperimen yang dilakukan Rahayu,2016 namun kali ini diberi variabel arus. Sementara untuk pasir yang digunakan yaitu pasir pantai. Kondisi pipa yaitu meletak dan *in – trench*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat melalui Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data Pengujian Scouring

Eksperimen Ke	Periode Gelombang (Ti)	Tinggi Gelombang (Hi)	Kecepatan Arus (RPM)	Kondisi Peletakan
1	1	13	325	Meletak
2	1	13	435	Meletak
3	1	11	325	Meletak
4	1	11	435	Meletak
5	1	13	325	In Trench 1mm
6	1	13	435	In Trench 1mm
7	1	11	325	In Trench 1mm
8	1	11	435	In Trench 1mm
9	1	13	325	In Trench 4mm
10	1	13	435	In Trench 4mm
11	1	11	325	In Trench 4mm
12	1	11	435	In Trench 4mm

a. Peralatan Eksperimen *Scouring*

Peralatan yang digunakan dalam eksperimen ini adalah:

1. Flume tank

Flume tank pada Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut Departemen Teknik Kelautan FTK ITS berukuran 20 m x 2,3 m x 2,5 m (panjang, lebar, tinggi). Pembangkit angin dengan sistem blower kecepatan maksimum 10 m/s. Pembangkit arus dengan sistem impeller dengan kecepatan 2,5 hingga 10 cm/s. Pembangkit gelombang sistem plunyer dengan karakteristik gelombang reguler dan irreguler maksimum 30 cm, periode 0,5 - 3,0 detik, dan kedalaman air maksimum 80 cm. Dalam eksperimen ini dibutuhkan lebar flume tank 25 cm dan pembangkit gelombang reguler. Kedalaman air pada model uji 50 cm

2. *Wave Probe*

Wave probe merupakan alat perekam tinggi gelombang dimana elektroda yang tercelup air sesuai fluktuasi permukaan air. Dalam penelitian ini *wave probe* yang digunakan berjumlah dua buah yang diletakkan sebelum dan sesudah model uji.

3. Kamera perekam

Setiap proses eksperimen akan direkam menggunakan kamera. Fungsinya yaitu untuk mengetahui pergerakan scouring secara visual dan disesuaikan dengan waktu yang terekam. Dengan begitu akan didapat waktu penjalaran scouring.

4. Penggaris

Setelah running selesai selalu dilakukan pengukuran kedalaman dan lebar scouring untuk mengetahui perubahan yang terjadi.

b. Peralatan Uji Tanah

Pengujian tanah dibedakan menjadi dua yaitu uji untuk mengetahui nilai *specific gravity tanah* dan untuk mengetahui ukuran d_{50} yang akan digunakan dalam perhitungan empiris. Pengujian dilakukan dengan dua sampel tanah dengan jenis yang sama. Peralatan yang digunakan dalam proses pengujian tanah untuk mencari *specific gravity* adalah :

1. Neraca
2. Cawan (No. 144 dan No. 48)
3. Oven
4. Piknometer 250 ml (No.23 dan No. 62)
5. Termometer

Peralatan uji ayakan untuk mendapatkan ukuran d_{50} tanah adalah :

1. Ayakan berbagai ukuran lubang dengan nomor ayakan 4 yang menunjukkan ukuran diameter besar hingga ayakan nomor 200 ukuran diameter paling kecil.
2. Neraca
3. Lengser sebagai tempat sampel tanah
4. Sikat pembersih ayakan
5. Sekop untuk memasukkan sampel tanah ke plastik

6. Plastik

3.2.3 Pengujian Tanah

Pengujian Tanah dibagi menjadi dua yaitu uji specific gravity dan uji ayakan.

a. Uji *Specific Gravity*

Cawan kosong sebelum di tambahkan sampel tanah, terlebih dahulu ditimbang menggunakan neraca untuk mengetahui berat bersih tanah. Sampel tanah dikeringkan dalam oven selama 24 jam lalu dianginkan. Cuci piknometer dan keringkan. Timbang berat piknometer kosong catat sebagai W_1 . Timbang berat piknometer yang berisi air dan catat sebagai W_4 . Tambahkan sampel tanah kedalam piknometer yang kosong hingga mencapai $1/3$ volume lalu timbang kembali dan catat sebagai W_2 . Tambahkan aquades kedalam piknometer sehingga isi piknometer menjadi $2/3$ bagian dan catat sebagai W_3 .

Vakum agar gelembung udara yang masih tertinggal pada tanah. Setelah diangkat, rendam pada air dan ukur suhu.

b. Uji Ayakan

Sampel tanah dikeringkan pada oven. Pengayakan sampel tanah dimulai dengan ayakan yang berdiameter besar hingga ke kecil. Sampel yang tidak lolos tiap ayakan dicatat sesuai nomor ayakan.

3.2.4 Kalibrasi alat uji

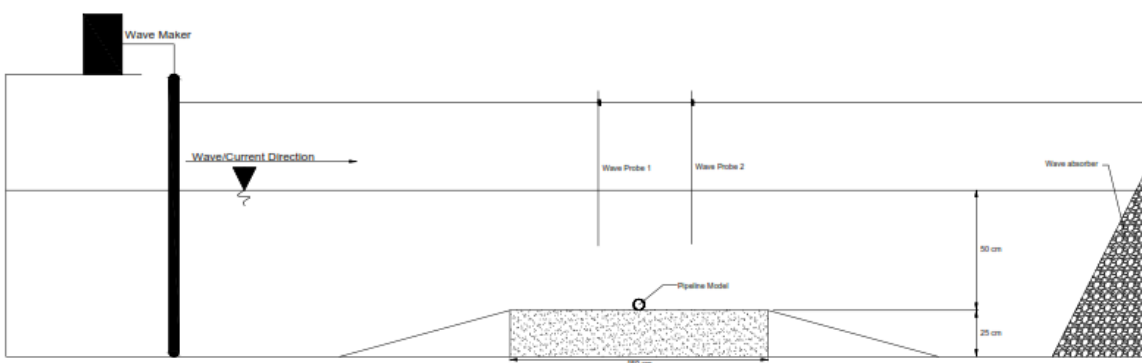
Kalibrasi dilakukan pada *wave probe*. Fungsi kalibrasi pada wave probe yaitu mencari hubungan antara perubahan elektrode wave probe yang tercelup dalam air dengan perubahan voltase yang tercatat dalam perekam. Pencatatan awal posisi *wave probe* dianggap menjadi titik nol dan dilanjutkan dengan merekam penurunan dan kenaikan wave probe setiap 5 cm sebanyak tiga kali. Hasil kalibrasi

akan disesuaikan dengan hasil rekaman gelombang saat proses pengujian untuk mendapatkan tinggi gelombang sebenarnya.

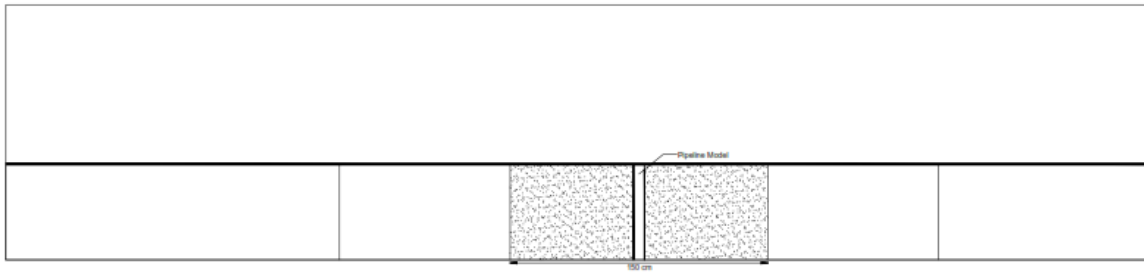
3.2.5 Pengujian *scouring*

Eksperimen dilakukan di flume tank Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut Departemen Teknik Kelautan dengan tiga variasi tinggi gelombang, sedangkan untuk periode gelombang sama. Kondisi pipa meletak pada dasar dan *in-trench*. *Wave probe* dipasang sesudah dan sebelum pipa. Sebelumnya dilakukan pengujian awal untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan agar terjadi *scouring*, yang nantinya akan dijadikan acuan waktu eksperimen. Tiap pengujian akan dilakukan selama 40 menit hingga tidak terjadi penambahan kedalaman *scouring* (kondisi maksimum). Pencatatan data untuk nilai kedalaman dan lebar *scouring* akan dilakukan setiap interval 5 menit dengan menggunakan penggaris. Dan di setiap 5 menit, mesin berhenti selama 1 menit kemudian dinyalakan kembali.

Eksperimen *scouring* akan diuji seperti pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3. untuk kondisi pengujian dari tampak samping flume tank dan tampak atas flume tank.



Gambar 3.2 Sketsa Pengujian Tampak Samping



Gambar 3.3 Sketsa Pengujian Tampak Atas

3.2.6 Analisa data dan Pembahasan

Hasil pengujian pada flume tank divalidasi menggunakan perhitungan empiris dengan cara membandingkan kriteria yang terdapat pada pengujian dengan rumus empiris yang digunakan. Bila terdapat kesamaan antara kriteria pengujian dan rumus empiris, maka pengujian dianggap mempunyai validitas tinggi. Pencatatan nilai kedalaman scouring maksimum dan lebar scouring ditampilkan dengan menggunakan parameter non dimensional. Untuk laju propagasi di tampilkan dengan grafik perubahan kedalaman scouring tiap interval waktu 5 menit selama 40 menit.

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Dalam studi eksperimen ini seperti yang sudah dijelaskan di bab sebelumnya yaitu ada tiga variable bebas yang digunakan yang disertai dengan kecepatan arus di setiap variabelnya. Tiga variable tersebut yaitu tinggi gelombang (H_i), kedalaman in – trench atau posisi meletak (e/D), dan kecepatan arus. Terdapat 12 pengujian yang akan dilakukan pada eksperimen ini. Terlebih dahulu dilakukan pengujian terhadap pasir yang akan digunakan. Setelah pasir/tanah sudah diuji, eksperimen *scouring* dapat dilakukan. *Output* dari eksperimen ini adalah memperoleh data kedalaman, lebar *scouring* dan laju propagasi yang terjadi pada sekitar pipa. Untuk keperluan analisa, juga diperoleh data pencatatan gelombang yang merupakan hasil konversi dari pencatatan perubahan elevasi muka air oleh *wave probe*.

4.1 Data Tanah

Pengujian tanah yang dilakukan yaitu pengujian *specific gravity* dan juga pengujian ayakan. Hal ini ditujukan untuk mendapatkan nilai G_s dan d_{50} . Berikut merupakan hasil pengujian :

PENGUJIAN BERAT VOLUME & SPESIFIK GRAVITY

(ASTM D2216-80 & D854-90 ; SNI 03 1965-1990 & 03-1964-1990)

PEMOHON : Sdr. BIMA
 PEKERJAAN : PENELITIAN TUGAS AKHIR.
 LOKASI :

Di Uji Tgl : 02 April 2018
 Laborant : Endro Cs.

Quary Material	MATERIAL PASIR PANTAI							
Diskripsi tanah	Pasir warna putih kecoklatan							
	1	2	Rata-rata					
Nomor Cawan	213	144						
Berat cawan kosong	gr 43,75	50,12						
Berat cawan + tanah basah	gr 66,34	73,25						
Berat cawan + tanah kering	gr 65,02	72,26						
Berat cawan peloberan	gr 97,03	97,03						
Berat cawan Peloberan + Hg (air raksa)	gr 328,32	328,32						
Berat Hg. (Air Raksa)	gr 231,29	231,29						
Berat tanah basah	gr 22,59	23,13						
Volume tanah	cc 17,01	17,01						
Berat air	gr 1,32	0,99						
Berat tanah kering	gr 21,27	22,14						

Gambar 4.1 Hasil Pengujian Tanah

Dari Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa pengujian dilakukan melalui dua piknometer (cawan) yang berbeda ukuran, sehingga hasil yang didapat juga berbeda pada setiap beratnya. Pengukuran dimulai dari kondisi berat kosong pada setiap cawan pengujian dan berat pasir. Berat material yang diuji kondisinya harus sama baik sebelum maupun sesudah diuji.

Nomor Piknometer		23	12						
Berat piknometer kosong									
Berat piknometer + air suling	gr	336,21	352,39						
Berat pikno. + air + tanah kering	gr	349,48	366,23						
Volume of solid	V_s cc	8,02	8,32						
Volume of void	V_v cc	8,99	8,69						
Berat volume tanah (Density)	γ_t gr/cc	1,328	1,360	1,344					
Berat volume kering	γ_d gr/cc	1,251	1,302	1,276					
Kadar Air	W_c %	6,21	4,47	5,34					
Derajat Kejuhanan	S_r %	14,68	11,39	13,04					
Porositas	n %	52,87	51,10	51,98					
Angka Pori	e	1,122	1,045	1,083					
Temperatur ($^{\circ}$ C)	T $^{\circ}$ C	28	28	28					
Corection factor	α	0,9980	0,9980	0,998					
Spesifik Gravity	G_s	2,653	2,662	2,658					

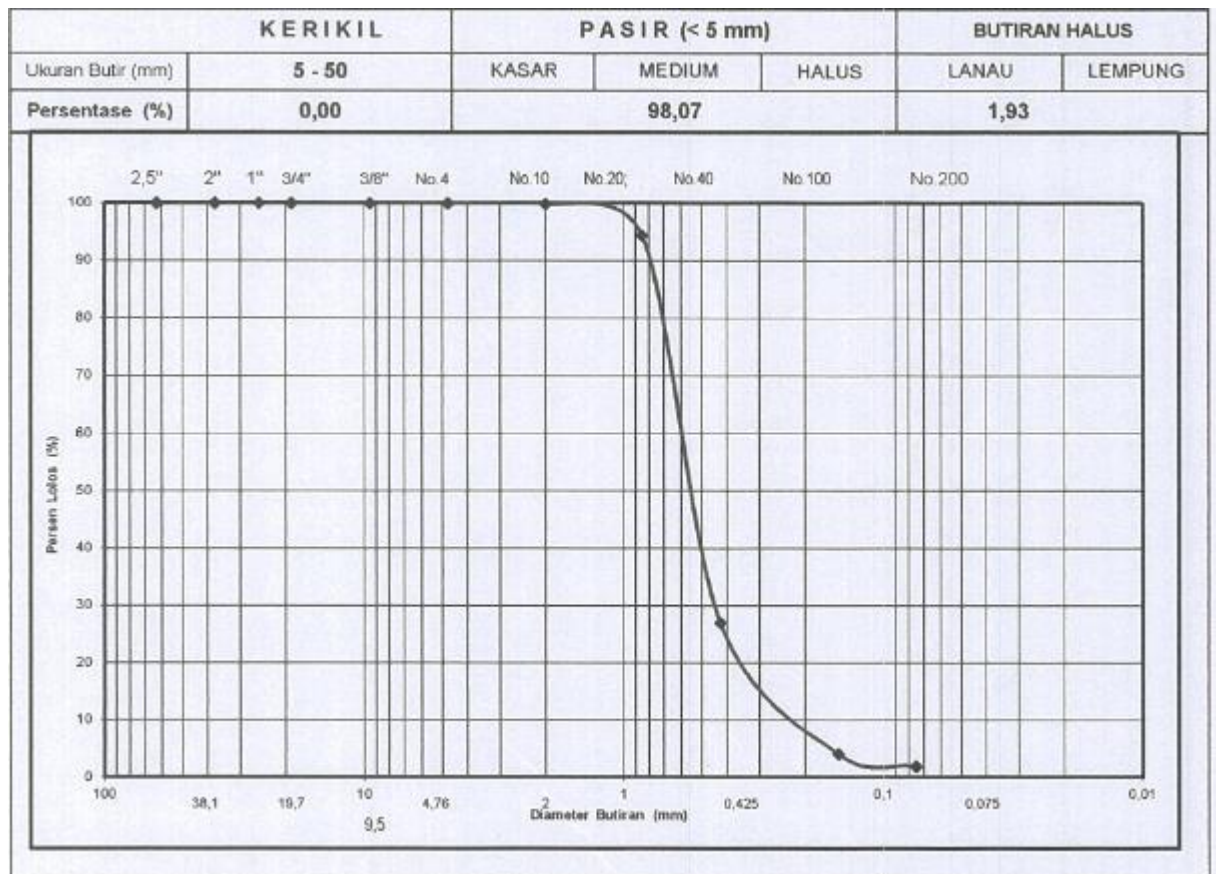
Gambar 4.2 Hasil Pengujian Tanah

Dari Gambar 4.2 tersebut dapat diperoleh besarnya nilai G_s yaitu 2,658 yang didapat dari karakteristik material seperti *volume* material, porositas, dan angka kejuhanan yang didapat melalui proses di dalam *oven*.

ANALISA PEMBAGIAN BUTIR					
(ASTM D 2940-90 ; AASHTO T- 87- 90 ; SNI. 03-6388-2000)					
Pemohon :	Sdr. BIMA			Tanggal Uji :	02 April 2018
Pekerja :	PENELITIAN TUGAS AKHIR.			Diuji Oleh :	Endro Cs.
Lokasi :				Diperiksa :	Ir. Gani MT
Quarry Material :	MATERIAL PASIR PANTAI			Sample No. :	
Jenis Material :	PASIR WARNA PUTIH KECOKLATAN				
A. Tabel Analisa Pembagian Butir (Gradasi):					
Berat tanah kering		= 500 gr			
Berat mangkok		= 26,95 gr			
Sieve	Berat Tertahan	% Tertahan		% Lolos	
#	\varnothing (mm)	(gr)			
2.5"	63				100
1 1/2"	37,5				100,00
1"	25,4				100,00
3/4"	19,1				100,00
3/8"	9,5				100,00
4	4,76				100,00
10	2,00	27,45	0,5	0,10	99,90
20	0,85	54,44	27,5	5,50	94,40
40	0,425	363,96	337,0	67,40	27,00
100	0,149	141,57	114,6	22,92	4,08
200	0,075	37,66	10,7	2,14	1,93
Pan		35,15	8,2	1,64	
			498,5	99,71	
B. Komposisi Butiran					
1. Kerikil	(%) =	0,00			
2. Pasir	(%) =	98,07			
3. Butiran halus (lanau-lempung)	(%) =	1,93			
4. D. 60		0,60			
5. D. 30		0,45			
6. D. 10		0,23			
7. Coeff. Uniformity (C_u) = D_{60}/D_{10}		2,61			
8. Coeff. Gradation (C_c) = $D_{30}^2/D_{60} \times D_{10}$		1,4674			

Gambar 4.3 Hasil Pengujian Tanah

Setelah diketahui data sampel tanah dari Gambar 4.3 dan analisa pembagian butir atau gradasi tanah dengan menggunakan ayakan dimulai dari ukuran terkecil sehingga menunjukkan bahwa material yang digunakan adalah pasir pantai dengan kategori *medium sand* maka dilanjutkan dengan mencari nilai d_{50} melalui grafik analisa pembagian butir tanah seperti pada Gambar 4.4.

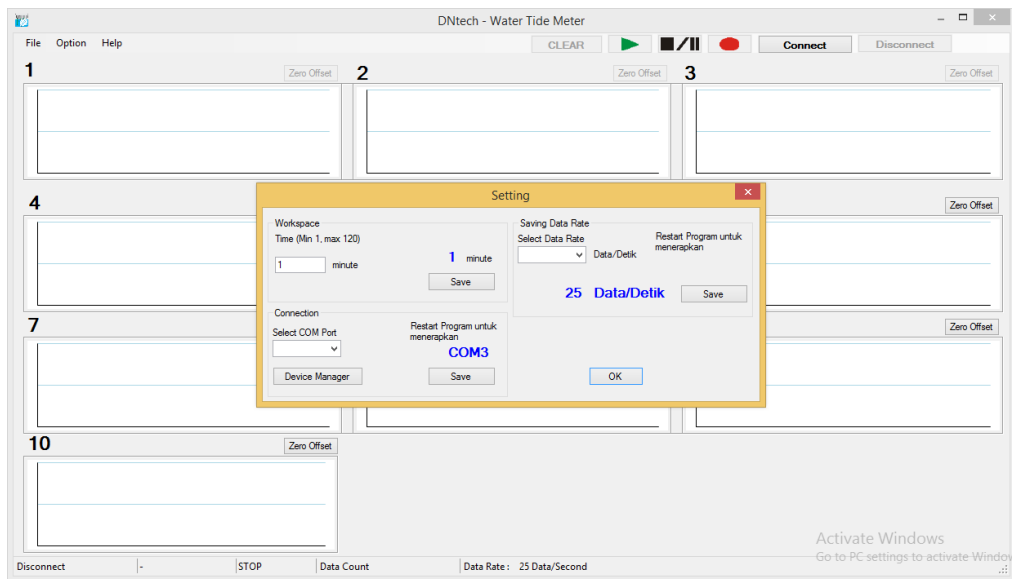


Gambar 4.4 Grafik Diameter Sampel d_{50}

Seperti yang diketahui , d_{50} merupakan ukuran butiran tanah yang lolos ayakan 50%. Dari grafik pada Gambar 4.4, dapat diketahui nilai dari d_{50} dengan cara menarik garis horisontal pada angka 50 sebelah kiri hingga berpotongan dengan gradik tersebut. Kemudian tarik garis vertikal ke bawah hingga mendapatkan nilai dari diameter butiran (mm) yang merupakan nilai dari d_{50} . Nilai d_{50} yang didapatkan yaitu sebesar 0,525mm maka pasir yang digunakan merupakan pasir golongan *medium sand* (Braja M. Das. 2013).

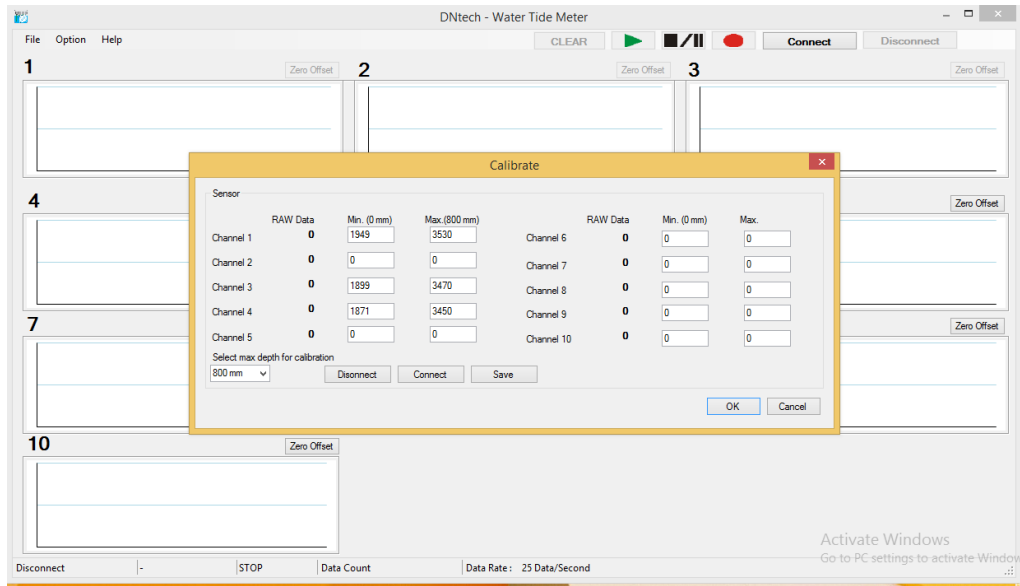
4.2 Data Gelombang

Data gelombang yang digunakan dalam eksperimen *scouring* ini yaitu hasil rekaman dari *wave probe* yang berupa *time history* selama lima menit pencatatan. Terdapat 25 pencatatan data dalam 1 detik. Pencatatan dapat dilihat melalui Gambar 4.5.



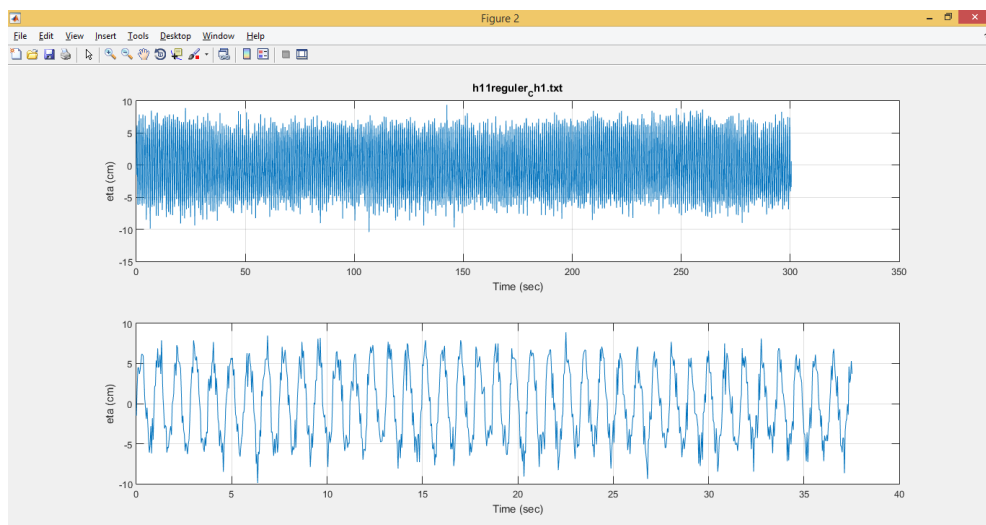
Gambar 4.5 Software Water Tide Meter

Sebelum digunakan, *wave probe* terlebih dahulu dikalibrasi untuk memastikan data yang tercatat *valid*. Validasi dilakukan dengan melakukan pengecekan pada setiap *channel* yang terdapat pada *software water tide meter* seperti pada Gambar 4.6 agar saat eksperimen didapatkan elevasi muka air tiap satuan waktu dengan hasil yang baik. Dalam eksperimen kali ini digunakan empat *wave probe* sebagai alat pencatat.

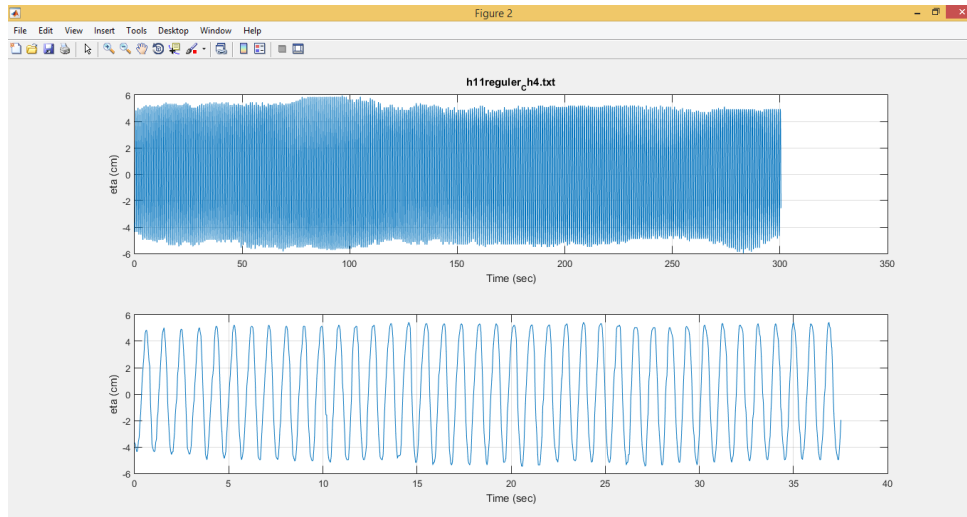


Gambar 4.6 Kalibrasi *Water Tide Meter* dengan *Wave Probe*

Setelah didapatkan data dari *wave probe* yang masih berupa elevasi tinggi muka air dalam satuan millimeter, data ini kemudian diolah melalui *software* MatLab dengan menggunakan perintah *coding wavan* untuk mendapatkan grafik perubahan tinggi muka air seperti yang dapat dilihat melalui Gambar 4.7 dan Gambar 4.8



Gambar 4.7 *Software Wavan* $H_i = 11$, $T_i = 1$, *Probe 1*



Gambar 4.8 Software Wavan $H_i = 11$, $T_i = 1$, Probe 3

4.3 Hasil Eksperimen

Pada eksperimen ini dilakukan 12 variasi pengujian. Dengan tiga variasi peletakan pipa, dalam keadaan meletak, *in – trench* 0,1mm dan *in – trench* 0,4mm. Dimana setiap variasi terdapat dua variasi kecepatan arus dan tinggi gelombang. Variasi eksperimen dilakukan dalam rentang waktu 25 menit. Mesin akan berhenti pada setiap 5 menit dengan pertimbangan kemampuan daya tahan mesin yang tidak memungkinkan untuk bekerja terus menerus selama 25 menit. Setiap kali mesin berhenti akan dilakukan pencatatan untuk kedalaman dan lebar *scouring* sebelum nantinya mencapai titik maksimum. Titik maksimum *scouring* bisa terjadi sebelum 25 menit, sehingga memungkinkan pencatatan berhenti sebelum 25 menit waktu berjalan. Pencatatan didukung oleh penggunaan kamera pocket dengan resolusi tinggi sehingga bisa mendapatkan hasil rekaman video dan foto yang cukup. Selanjutnya hasil tersebut akan diolah menggunakan AutoCAD dan Microsoft Excel.

Dalam pembahasan bab ini akan ditampilkan tiga foto hasil eksperimen *scouring* yaitu pada kondisi awal, kondisi perubahan pada menit ke 15, dan hasil akhir *scouring* ketika mencapai kedalaman dan lebar *scouring* maksimum, baik itu pada menit ke 30 maupun sebelum menit ke 25. Dari hasil foto itu kemudian akan diolah melalui AutoCAD untuk mengetahui profil *scouring* secara 2D

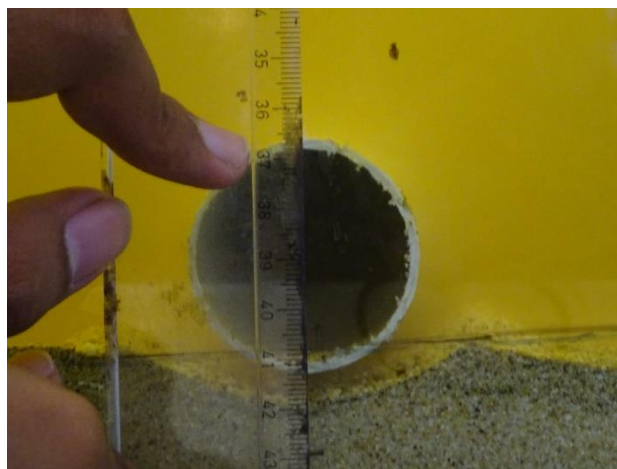
4.3.1 Hasil Eksperimen Scouring Pada Pipa Kondisi Meletak

Pengujian pertama dilakukan dengan tinggi gelombang (H_i) regular = 13cm, kecepatan arus (v) = 13 cm/s, dan periode gelombang (T_i) = 1s. Dengan menggunakan tinggi gelombang 13cm dapat dilihat bahwa pengaruh *scouring* yang terjadi cukup besar baik pada kedalaman dan lebarnya. Untuk perubahan kedalaman dan lebar *scouring* setiap 5, 15, hingga 25 menit dapat dilihat melalui Tabel 4.1.

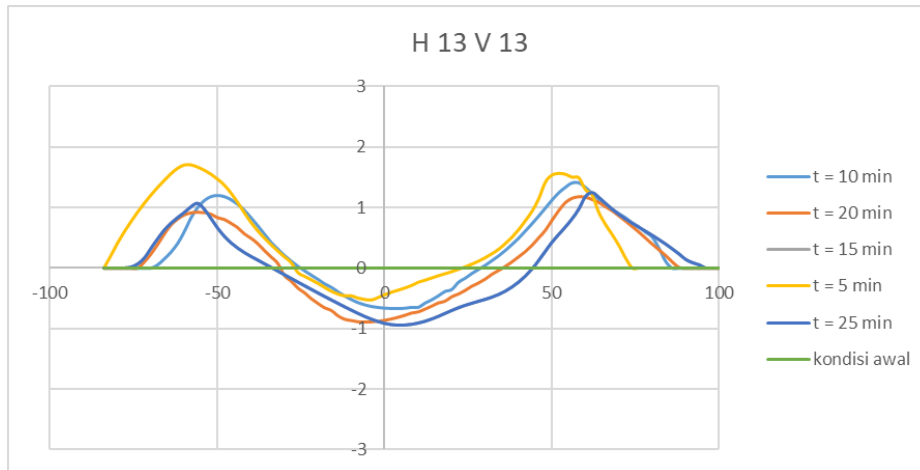
Tabel 4.1 Hasil Pengujian $H = 13\text{cm}$ $v = 13\text{cm/s}$

t (menit)	Kedalaman <i>scouring</i> (s) (mm)	Lebar <i>scouring</i> (w) (mm)
5	5,17	50,9
15	8,64	67,1
25	9,40	77,5

Berikut adalah gambaran *scouring* yang terjadi pada menit ke 25 pengujian. Hasil pengukuran menggunakan penggaris sebelum kemudian di plot ke AutoCad untuk hasil yang lebih mendetail, seperti yang terlihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Kondisi saat $t = 25$ menit, $H = 13\text{cm}$, $v = 13\text{cm/s}$



Gambar 4.10 Profil 2D Scouring $H = 13\text{cm}$ $v = 13\text{cm/s}$

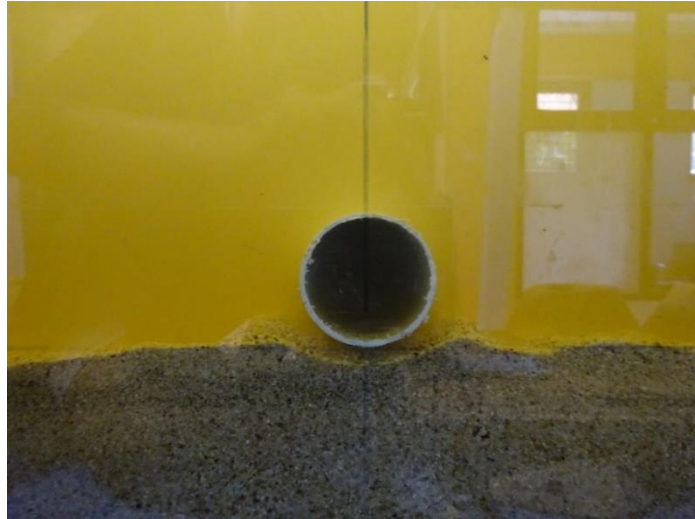
Gambar 4.10 merupakan grafik profil 2D *scouring* pada pengujian pertama dimana terlihat perubahan *scouring* untuk kedalaman dan lebar pada setiap 5 menit hingga mencapai titik maksimum pada menit ke – 25. Meskipun tidak terjadi perbedaan yang begitu besar antara kedalaman *scouring* pada menit ke – 20 dan 25.

Pengujian kedua dilakukan dengan menggunakan tinggi gelombang (H_i) 13 cm dan kecepatan arus = 10cm/s, dan periode gelombang (T_i) = 1s. Untuk perubahan kedalaman dan lebar *scouring* setiap 5, 15, hingga 25 menit dapat dilihat melalui Tabel 4.2.

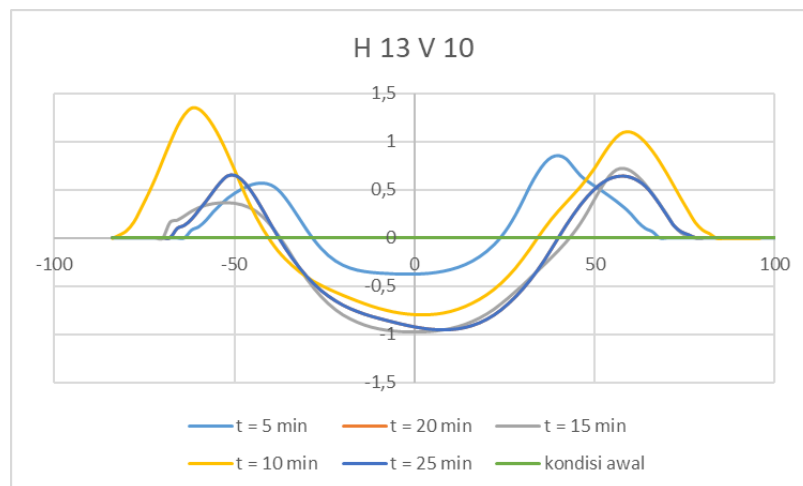
Tabel 4.2 Hasil Pengujian $H = 13\text{cm}$ $v = 10\text{cm/s}$

t (menit)	Kedalaman <i>scouring</i> (s) (mm)	Lebar <i>scouring</i> (w) (mm)
5	3,71	51,9
15	7,92	74,3
25	9,28	76,8

Perbedaan kecepatan arus dibanding pengujian pertama terlihat dimana kedalaman maksimum pada pengujian kali ini berbeda 0,12 mm. Bentuk *scouring* yang terjadi bisa dilihat melalui Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Kondisi pipa saat $t = 25$ menit, $H = 11$ cm, $v = 10$ cm/s



Gambar 4.12 Profil 2D Scouring $H = 13$ cm $v = 10$ cm/s

Dari grafik profil 2D *scouring* pada Gambar 4.12 dapat terlihat bahwa keadaan ketika pengujian memasuki menit ke 10 dan seterusnya kondisi kedalaman *scouring* meningkat cukup besar. Meskipun kedalaman

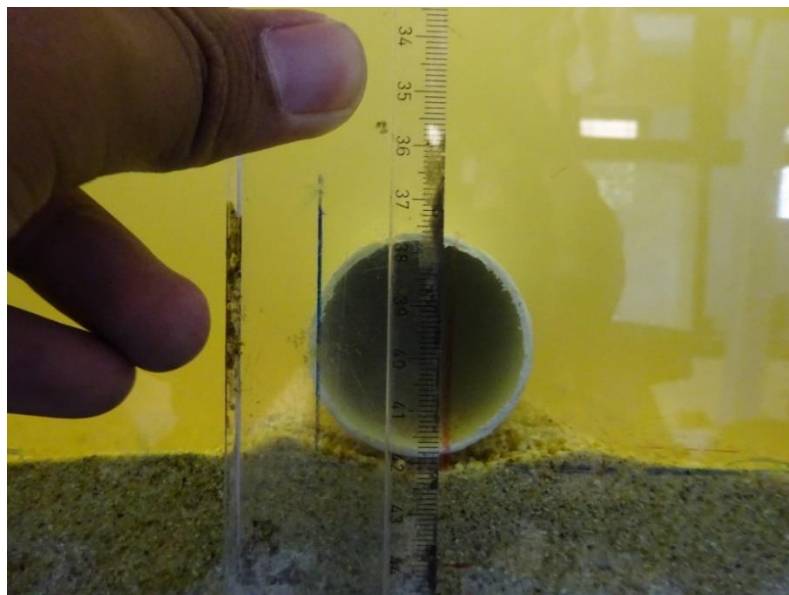
maksimum *scouring* yang terjadi tidak sebesar pengujian pertama dikarenakan perbedaan kecepatan arus yang digunakan.

Pada percobaan ketiga variasi yang digunakan yaitu tinggi gelombang (H_i) = 11cm, kecepatan arus = 13cm/s, dan periode gelombang (T_i) = 1s. Untuk perubahan kedalaman dan lebar *scouring* setiap 5, 15, hingga 25 menit dapat dilihat melalui Tabel 4.3.

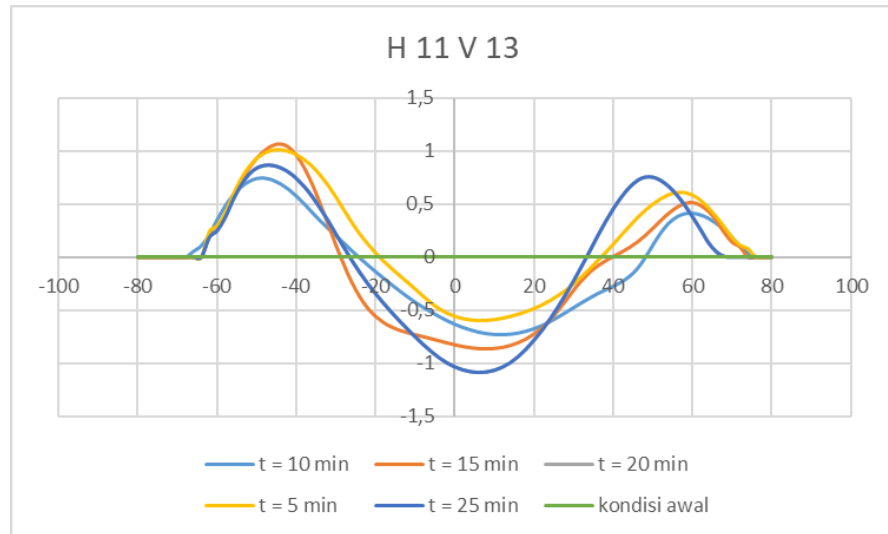
Tabel 4.3 Hasil Pengujian $H = 11\text{cm}$ $v = 13\text{cm/s}$

t (menit)	Kedalaman <i>scouring</i> (s) (mm)	Lebar <i>scouring</i> (w) (mm)
5	5,78	55,4
15	6,55	59,4
25	8,87	72,8

Pengujian yang menggunakan tinggi gelombang lebih kecil membuat kedalaman dan lebar *scouring* yang terjadi juga semakin kecil seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.3 diatas. Profil *scouring* yang terjadi dapat dilihat melalui Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Kondisi pipa saat $t = 25$ menit, $H = 11\text{cm}$, $v = 13\text{cm/s}$



Gambar 4.14 Profil 2D *Scouring* Kondisi H = 11cm v = 13cm/s

Grafik pada Gambar 4.14 menunjukkan profil 2D *scouring* yang terjadi ketika 25 menit pengujian. Perbedaan tinggi gelombang mempengaruhi perbedaan lebar dan kedalaman *scouring* yang terjadi ketika dibandingkan dengan dua pengujian sebelumnya.

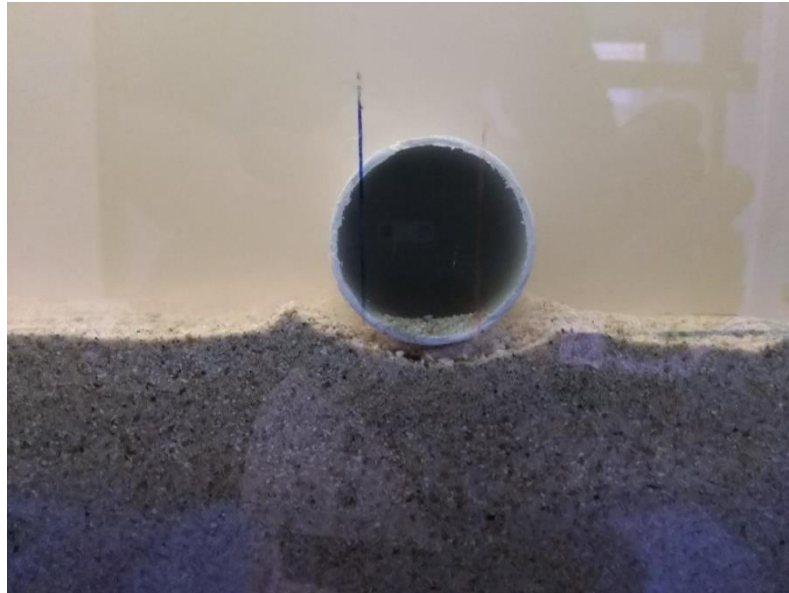
Percobaan keempat atau terakhir untuk kondisi meletak menggunakan tinggi gelombang 11cm dan kecepatan arus 10cm/s. Untuk perubahan kedalaman dan lebar *scouring* setiap 5, 15, hingga 25 menit dapat dilihat melalui Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian H = 11cm v = 10cm/s

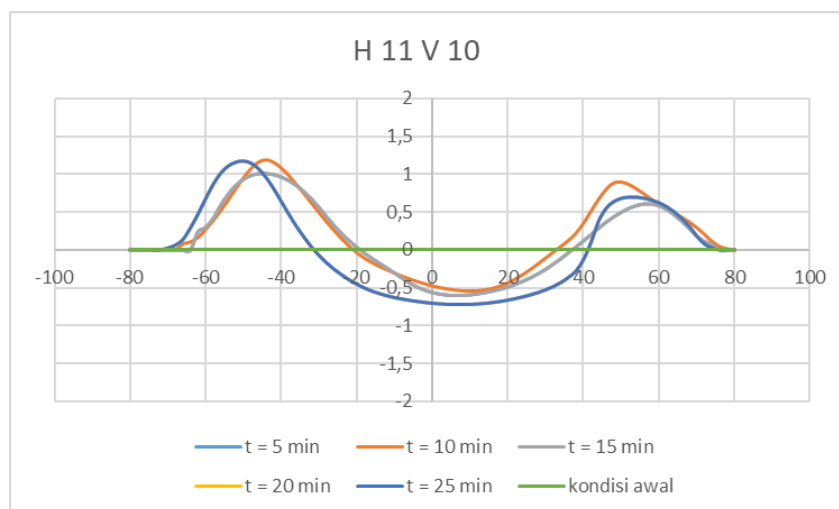
t (menit)	Kedalaman <i>scouring</i> (s) (mm)	Lebar <i>scouring</i> (w) (mm)
5	4,98	53,7
15	7,14	64,0
25	7,67	73,5

Kondisi pada pengujian keempat menghasilkan lebar *scouring* yang lebih besar dibanding pengujian ketiga dikarenakan kondisi peletakan pipa

terhadap *seabed* yang kurang diperhatikan. Untuk lebih jelas dapat dilihat melalui Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Kondisi saat pipa $t = 25$ menit, $H = 11$ cm, $v = 10$ cm/s



Gambar 4.16 Profil 2D *Scouring* Kondisi $H = 11$ cm $v = 10$ cm/s

Berdasarkan grafik laju propagasi pada Gambar 4.16 yang terjadi ketika menggunakan tinggi gelombang 11cm dan kecepatan arus 10cm/s

menunjukkan bahwa perbedaan kecepatan arus yang digunakan juga mempengaruhi kedalaman *scouring* yang terjadi. Besarnya kedalaman *scouring* yang terjadi yaitu 0,76cm.

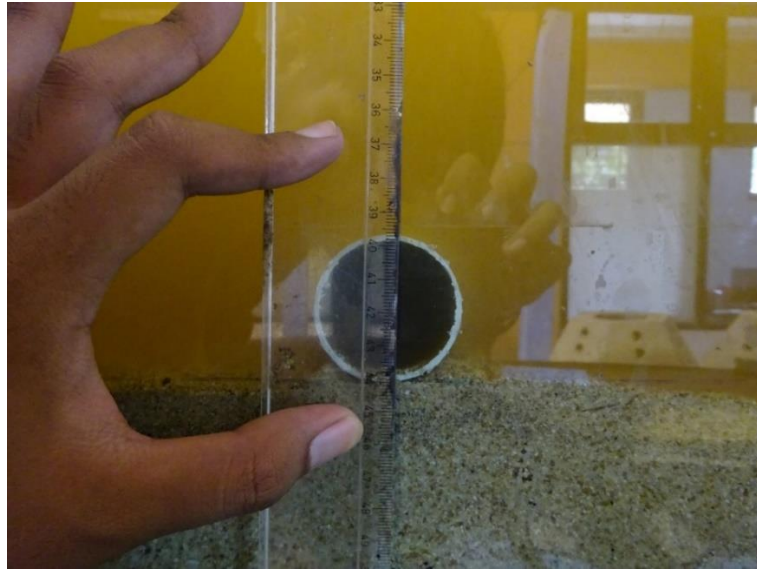
4.3.2 Pengujian Pada Pipa Kondisi *In – Trench* Kedalaman 0,2cm

Pada pengujian pertama kondisi *in – trench* dilakukan menggunakan tinggi gelombang (H_i) = 13cm dan kecepatan arus = 13cm/s, serta periode gelombang = 1s. Untuk perubahan kedalaman dan lebar *scouring* setiap 5, 15, hingga 25 menit dapat dilihat melalui Tabel 4.5.

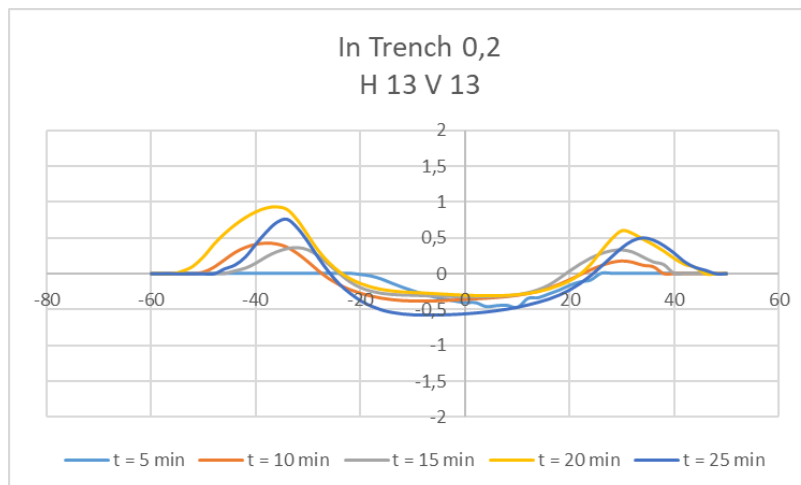
Tabel 4.5 Hasil Pengujian *in – trench* 0,2cm $H = 13$ cm $v = 13$ cm/s

t (menit)	Kedalaman <i>scouring</i> (s) (mm)	Lebar <i>scouring</i> (w) (mm)
5	0	39,8
15	2,65	43,2
25	2,68	45,3

Dengan menggunakan *trench* maka besar *scouring* yang terjadi dapat diredam. Sehingga ketika menggunakan tinggi gelombang yang besar sekalipun kedalaman *scouring* yang terjadi tidak sebesar ketika pada kondisi meletak. Profil *scouring* yang terjadi bisa dilihat melalui Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Kondisi pipa $t = 25$ menit, $H = 13\text{cm}$, $v = 13\text{cm/s}$ (*in – trench*)



Gambar 4.18 Profil 2D *Scouring In – Trench* 0,2cm $H = 13\text{cm}$ $v = 13\text{cm/s}$

Dari grafik perubahan profil 2D *scouring* di Gambar 4.18 pada pengujian kali ini dapat dilihat bahwa kedalaman *scouring* yang terjadi dalam kondisi *in – trench* lebih kecil dibanding kondisi meletak. Kedalaman maksimum yang dicapai pada kondisi ini 0,26cm.

Pada pengujian kedua dengan kedalaman *in – trench* = 0,2 cm dan tinggi gelombang (H_i) = 13 cm, kecepatan arus = 10cm/s, periode

gelombang (T_i) = 1s. Untuk perubahan kedalaman dan lebar *scouring* setiap 5, 15, hingga 25 menit dapat dilihat melalui Tabel 4.6.

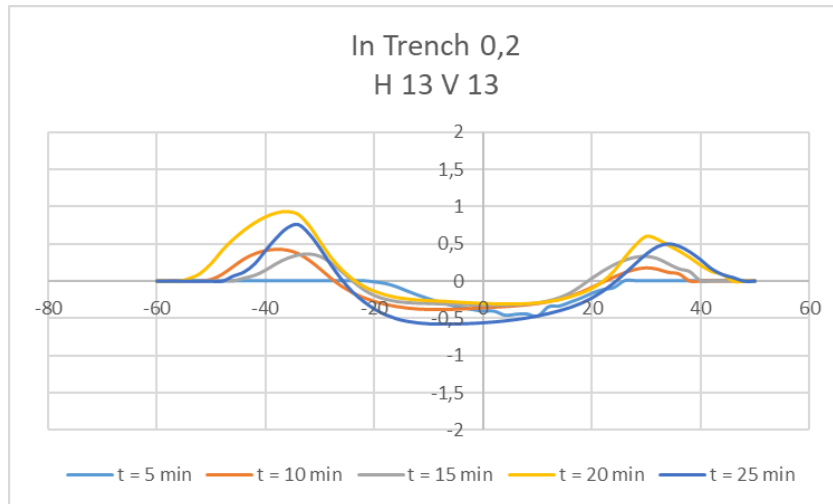
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Kondisi *In – Trench* 0,2cm H = 13cm v = 10cm/s

t (menit)	Kedalaman <i>scouring</i> (s) (mm)	Lebar <i>scouring</i> (w) (mm)
5	0	30,6
15	0,97	37,0
25	2,34	43,1

Yang perlu diketahui ketika pengujian menggunakan *in – trench* adalah ketika pengujian di 5 menit pertama belum terlihat kedalaman *scouring* yang terjadi. Hal ini dikarenakan laju aliran air di bawah pipa terhambat oleh adanya pasir di sekitar pipa. *Scouring* yang terjadi bisa dilihat melalui Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Kondisi pipa saat t = 25 menit, H = 13cm, v= 10cm/s (*in – trench*)



Gambar 4.20 Profil 2D *Scouring In – Trench* 0,2cm H = 13cm v = 10cm/s

Dari grafik pada Gambar 4.20 dapat dilihat bahwa *scouring* maksimum terjadi ketika pengujian memasuki menit ke – 20. Sehingga ketika pengujian berada di menit ke – 25 tidak terjadi perbedaan dengan menit ke 20 yaitu berada di 0,23cm untuk kedalamannya.

Pada pengujian ketiga kondisi in – trench dengan menggunakan tinggi gelombang 11cm dan kecepatan arus 13cm/s. Untuk perubahan kedalaman dan lebar *scouring* setiap 5, 15, hingga 25 menit dapat dilihat melalui Tabel 4.7.

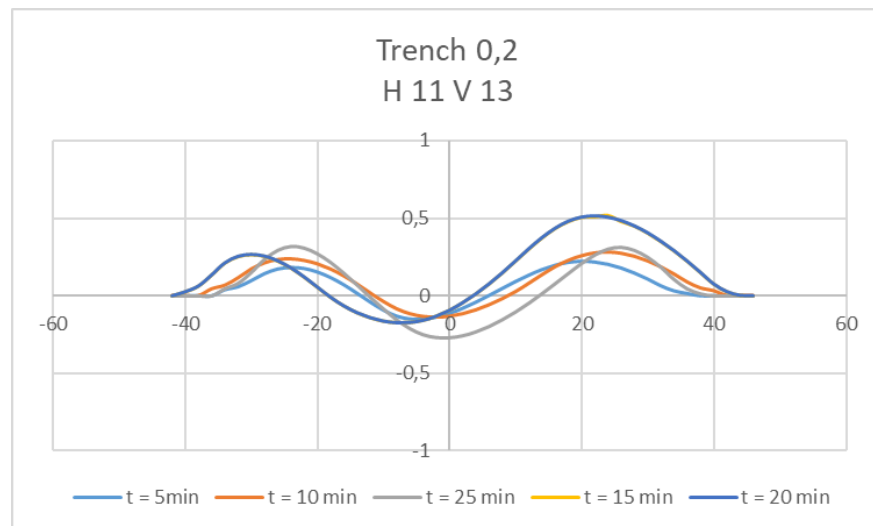
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Kondisi *In – Trench* 0,2cm H = 11cm v = 13cm/s

t (menit)	Kedalaman <i>scouring</i> (s) (mm)	Lebar <i>scouring</i> (w) (mm)
5	0	22,09
15	0,91	23,31
25	1,97	26,34

Pengujian ketiga dengan kondisi *trench* 2mm tidak menghasilkan perbedaan yang jauh dengan pengujian sebelumnya. Dimana kondisi kedalaman *scouring* yang terjadi kecil dan lebar *scouring* yang terjadi juga tidak lebih besar ketika menggunakan tinggi gelombang 13cm. Berikut gambaran *scouring* yang terjadi bisa dilihat pada Gambar 4.21.



Gambar 4.21 Kondisi Pipa saat $t = 25$, $H = 11\text{cm}$, $v = 13\text{cm/s}$ (*in – trench*)



Gambar 4.22 Profil 2D *Scouring In – Trench* 0,2cm $H = 11\text{cm}$ $v = 13\text{cm/s}$

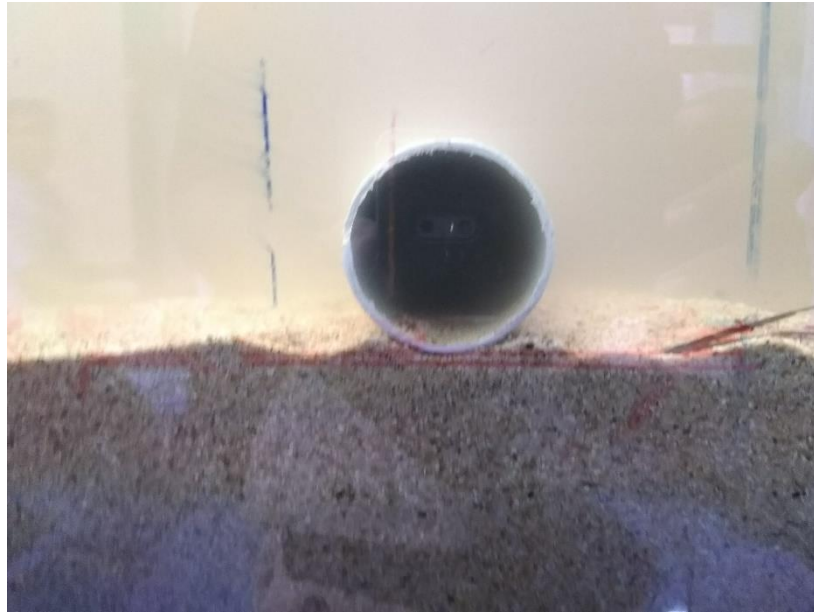
Dilihat dari grafik pada Gambar 4.22 pada kondisi *in – trench* 0,2 cm dan gelombang 11cm dan kecepatan arus 13cm/s. Kedalaman maksimum yang didapat yaitu 1,97mm dikarenakan posisi pipa yang terhalang oleh kondisi *trench* sehingga *scouring* yang terjadi kecil.

Pengujian keempat pada kondisi *in – trench* 0,2cm menggunakan tinggi gelombang 11cm dan kecepatan arus 10cm/s. Untuk perubahan kedalaman dan lebar *scouring* setiap 5, 15, hingga 25 menit dapat dilihat melalui Tabel 4.12.

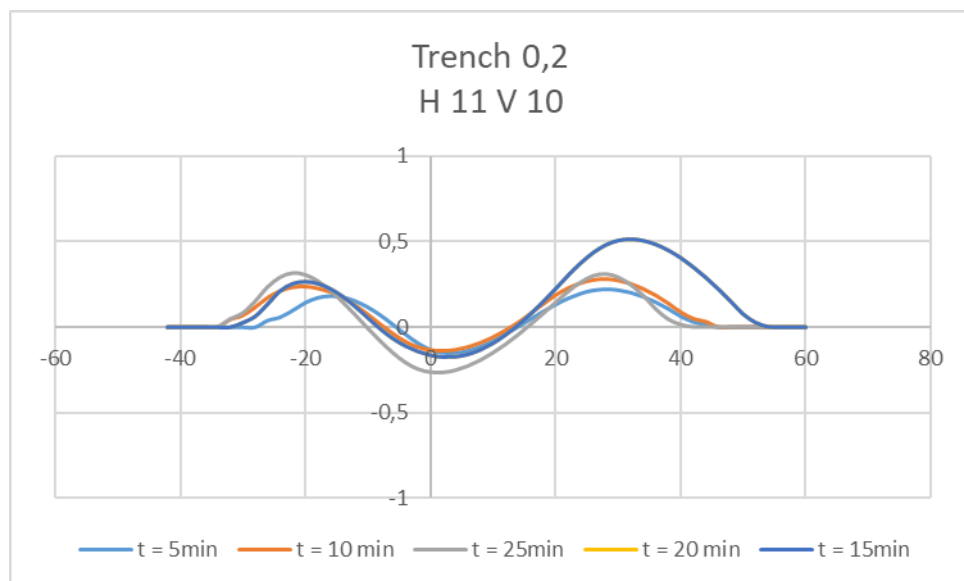
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Kondisi *In – Trench* 0,2cm H = 11cm v =10cm/s

t (menit)	Kedalaman <i>scouring</i> (s) (mm)	Lebar <i>scouring</i> (w) (mm)
5	0	20,6
15	0,838	21,7
25	1,7	25,7

Pada saat akhir pengujian di menit 25 diperoleh *scouring* dengan kedalaman 1,7mm dan lebar 2,57 cm. Profil *scouring* yang terjadi dapat dilihat melalui Gambar 4.23.



Gambar 4.23 Kondisi pipa saat $t = 25$ menit, $H = 11$ cm, $v = 10$ cm/s (*in – trench*)



Gambar 4.24 Profil 2D Scouring In – Trench 0,2cm $H = 11$ cm $v = 10$ cm/s

Dengan menggunakan kecepatan arus yang lebih rendah yaitu 10cm/s kedalaman *scouring* yang terjadi juga lebih kecil yaitu 1,7mm. Menunjukkan bahwa dengan kecepatan arus yang lebih rendah membuat

kedalaman dan lebar *scouring* yang terjadi juga lebih kecil seperti yang terlihat pada Gambar 4.24.

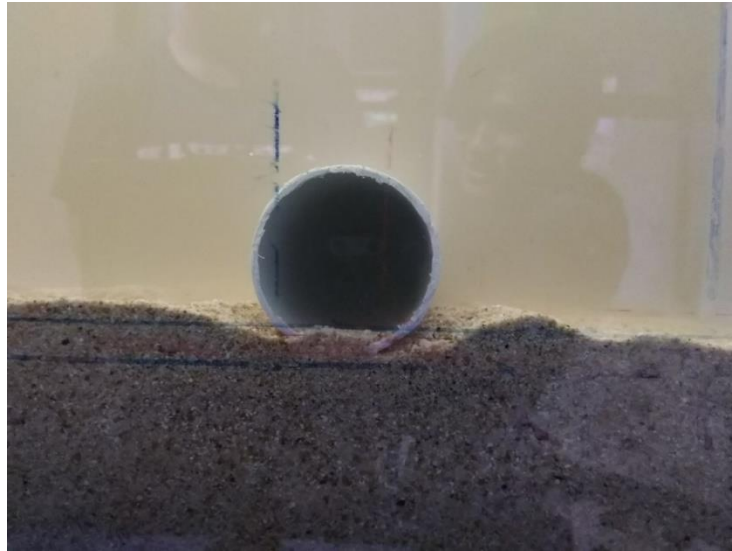
4.3.3 Pengujian Pada Kondisi *In – Trench* 0.4cm

Pengujian dengan variasi kedalaman trench kedua yaitu dengan kedalaman trench 4mm atau 0,4mm. Pengujian pertama dilakukan dengan tinggi gelombang 13cm dan kecepatan arus 13cm/s. Untuk perubahan kedalaman dan lebar *scouring* setiap 5, 15, hingga 25 menit dapat dilihat melalui Tabel 4.9.

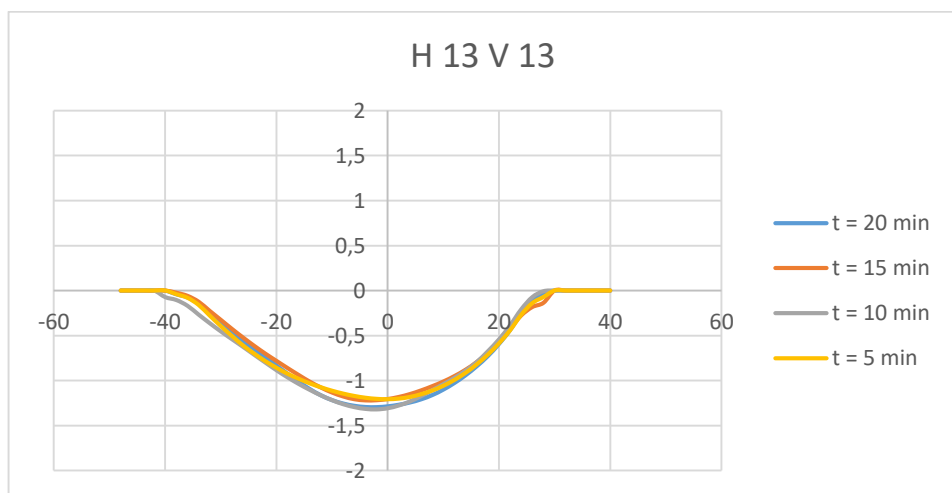
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Kondisi *In – Trench* 0,4cm H = 13cm v =13cm/s

t (menit)	Kedalaman <i>scouring</i> (s) (mm)	Lebar <i>scouring</i> (w) (mm)
5	0	6,72
15	0	8,83
25	0	13,4

Pengujian dengan *in – trench* yang lebih dalam meminimalisir terjadinya *scouring*. Ketika memasuki menit ke – 25 pengujian belum terjadi perubahan pada daerah di bawah pipa seperti yang terlihat pada Gambar 4.25.



Gambar 4.25 Kondisi pipa saat $t = 25$ menit, $H = 13\text{cm}$, $v = 13\text{cm/s}$ (*in – trench*)



Gambar 4.26 Profil 2D *Scouring In – Trench* 0,4cm $H = 13\text{cm}$ $v = 13\text{cm/s}$

Laju propagasi *scouring* ketika berada pada posisi *in – trench* sedalam 4mm tidak berbeda jauh dengan kondisi awalnya seperti yang terlihat pada Gambar 4.26. Hal ini disebabkan kondisi pasir yang menutupi pipa. Sehingga tidak terjadi perubahan kedalaman *scouring*.

Pengujian kedua dilakukan dengan tinggi gelombang 13cm dan kecepatan arus 10cm/s. Berikut gambaran *scouring* yang terjadi. Untuk perubahan kedalaman dan lebar *scouring* setiap 5, 15, hingga 25 menit dapat dilihat melalui Tabel 4.10.

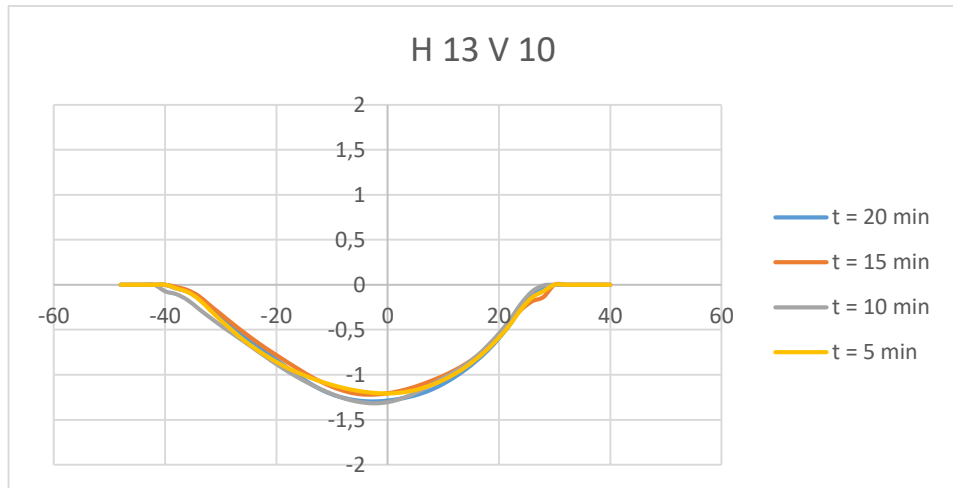
Tabel 4.10 Hasil Pengujian Kondisi *In – Trench* 0,4cm H = 13cm v =10cm/s

t (menit)	Kedalaman <i>scouring</i> (s) (mm)	Lebar <i>scouring</i> (w) (mm)
5	0	5,85
15	0	8,64
25	0	12,1

Sama seperti yang terjadi pada pengujian pertama ketika tidak ada perubahan kedalaman *scouring* yang terjadi hanya terjadi perubahan pada lebar *scouring*. Profil *scouring* yang terjadi dapat dilihat melalui Gambar 4.27.



Gambar 4.27 Kondisi pipa saat t = 25 menit, H = 13cm, v= 10cm/s (*in – trench*)



Gambar 4.28 Profil 2D Scouring *In – Trench* 0,4cm H = 13cm v = 10cm/s

Seperti yang terlihat pada Gambar 4.28, sama seperti pengujian sebelumnya, dengan menggunakan arus yang lebih kecil kedalaman *scouring* yang terjadi juga tidak berubah dari kondisi awal. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ketika pipa dibenamkan semakin dalam maka kemungkinan *scouring* yang terjadi juga semakin kecil.

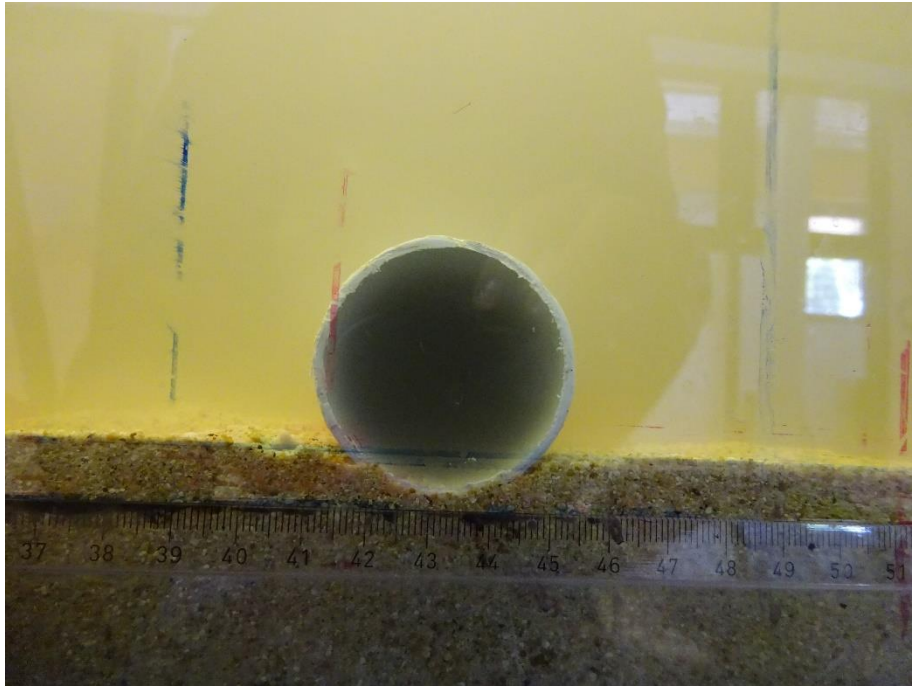
Pengujian ketiga dilakukan dengan tinggi gelombang 11cm dan kecepatan arus 13cm/s. Untuk perubahan kedalaman dan lebar *scouring* setiap 5, 15, hingga 25 menit dapat dilihat melalui Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Kondisi *In – Trench* 0,2cm H = 11cm v =13cm/s

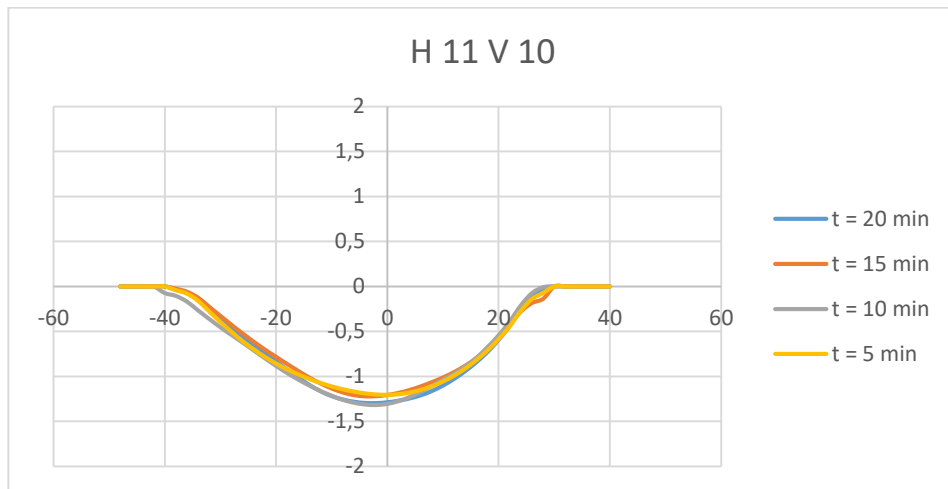
t (menit)	Kedalaman <i>scouring</i> (s) (mm)	Lebar <i>scouring</i> (w) (mm)
5	0	2,22
15	0	2,46
25	0	2,92

Gambaran *scouring* pada pengujian dengan kedalaman *in – trench* 4mm kurang lebih sama yaitu tidak terjadi perubahan pada kedalaman

scouring hanya terjadi perubahan pada lebar *scouring* yang terjadi. Profil *scouring* yang terjadi bisa dilihat melalui Gambar 4.29.



Gambar 4.29 Kondisi pipa saat $t = 25$ menit, $H = 11\text{cm}$, $v = 13\text{cm/s}$ (*in – trench*)



Gambar 4.30 Profil 2D *Scouring In – Trench* 0,4cm $H = 11\text{cm}$ $v = 10\text{cm/s}$

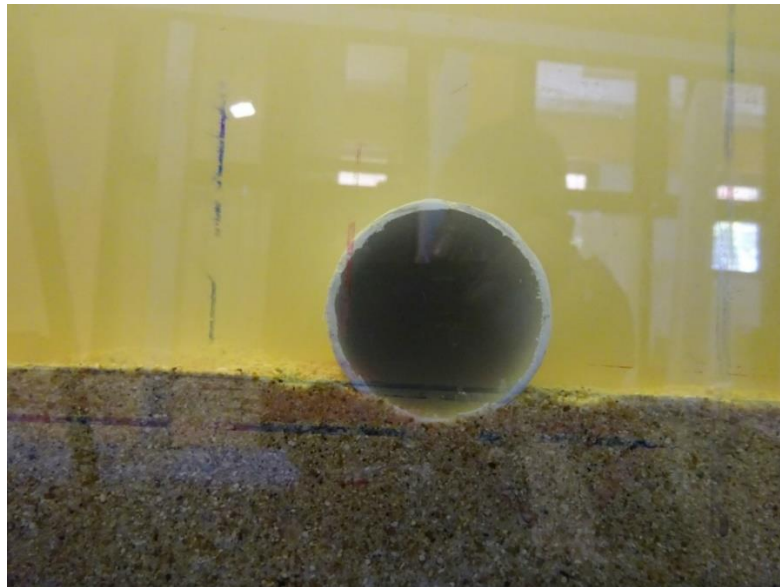
Berdasarkan Gambar 4.30 dapat dilihat bahwa pada setiap 5 menit tidak terjadi perubahan dalam perubahan kedalaman dan lebar *scouring* yang terjadi. Namun perubahan terjadi pada lebar *scouring* yang terjadi hingga mencapai titik maksimum pada menit ke – 25 pengujian.

Pengujian keempat menggunakan tinggi gelombang 11cm dan kecepatan arus 10cm/s. Untuk perubahan kedalaman dan lebar *scouring* setiap 5, 15, hingga 25 menit dapat dilihat melalui Tabel 4.12.

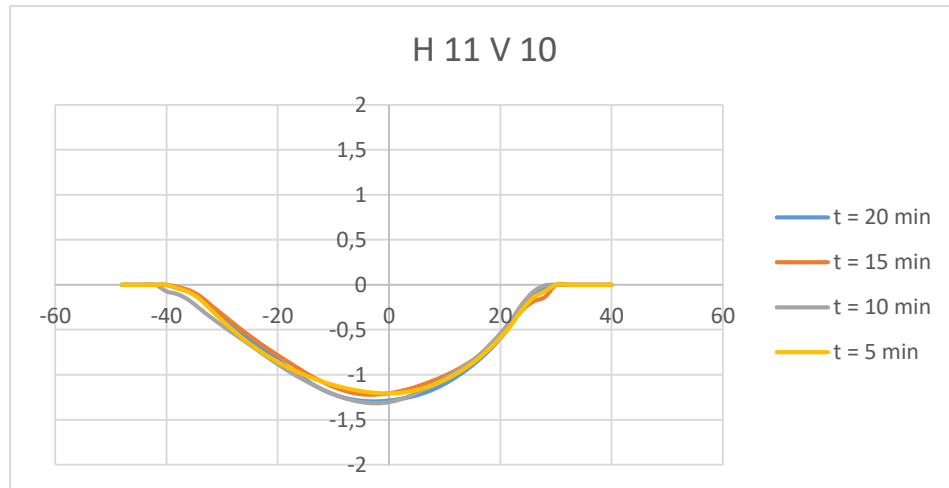
Tabel 4.12 Hasil Pengujian Kondisi In – Trench 0,4cm H = 11cm v =10cm/s

t (menit)	Kedalaman <i>scouring</i> (s) (mm)	Lebar <i>scouring</i> (w) (mm)
5	0	2,12
15	0	2,27
25	0	2,68

Pada saat memasuki menit ke 25 berikut gambaran kondisi pipa. Dapat dilihat profil *scouring* yang terjadi setelah memasuki titik maksimum *scouring* pada Gambar 4.31.



Gambar 4.31 Kondisi pipa saat t = 25 menit, H = 11cm, v= 10cm/s (*in – trench*)



Gambar 4.32 Profil 2D *Scouring In – Trench* 0,4cm H = 11cm v = 10cm/s

Dari Gambar 4.32 dapat dilihat bahwa tidak terjadi perubahan sejak awal pengujian hingga akhir pengujian. Hal ini disebabkan oleh kedalaman *in – trench* yang dalam sehingga dapat meminimalisir terjadinya *scouring*.

4.4 Analisa Kedalaman dan Lebar *Scouring*

Berdasarkan eksperimen yang sudah dilakukan, untuk mendapatkan besar nilai yang sudah *valid* kita harus mencari besar kedalaman dan lebar *scouring* melalui penggunaan rumus empiris. Rumus empiris yang digunakan menggunakan penghitungan panjang gelombang untuk mendapatkan nilai kecepatan arus dan nilai kecepatan orbital gelombang.

Tabel 4.13 Perhitungan Lebar dan Kedalaman *Scouring*

No	e/D	H (m)	T (s)	d (cm)	Um (cm/s)	KC	S/D	S (cm)	w (cm)
1	0	0,11	1	0,5	0,080	2,003	0,149	0,038	4,398
2	0	0,11	1	0,5	0,080	2,003	0,149	0,038	4,398
3	0	0,13	1	0,5	0,104	2,604	0,170	0,054	5,215
4	0	0,13	1	0,5	0,104	2,604	0,170	0,054	5,215
5	-0,05	0,11	1	0,5	0,080	2,003	0,142	0,040	4,398
6	-0,05	0,11	1	0,5	0,080	2,003	0,142	0,035	4,398
7	-0,05	0,13	1	0,5	0,104	2,604	0,162	0,049	5,215
8	-0,05	0,13	1	0,5	0,104	2,604	0,162	0,049	5,215
9	-0,1	0,11	1	0,5	0,080	2,003	0,135	0,031	4,398
10	-0,1	0,11	1	0,5	0,080	2,003	0,135	0,031	4,398
11	-0,1	0,13	1	0,5	0,104	2,604	0,154	0,044	5,215
12	-0,1	0,13	1	0,5	0,104	2,604	0,154	0,044	5,215

Dari Tabel 4.13 kita bisa melihat hasil perhitungan empiris yang telah dilakukan pada setiap pengujian yang dilakukan untuk nantinya dibandingkan dengan hasil eksperimen.

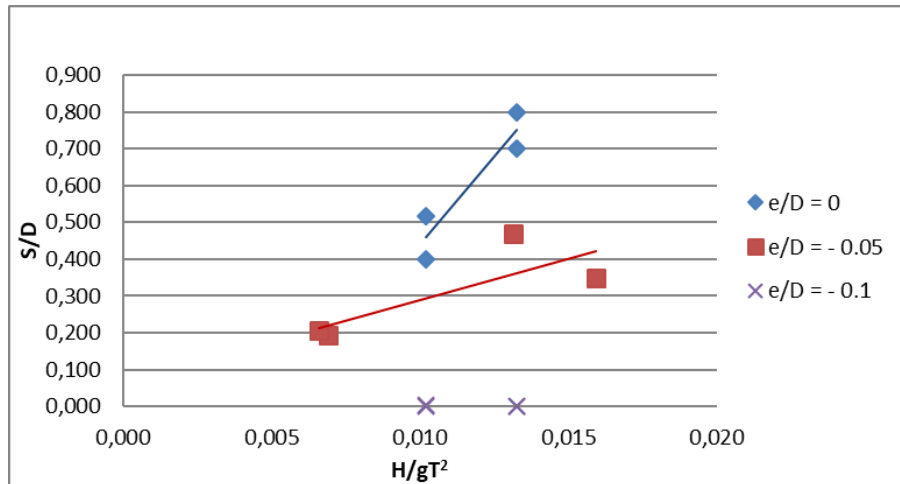
Tabel 4.14 Perbandingan Perhitungan Empiris dan Eksperimen

No	e/D	H (cm)	d (cm)	T (s)	Perhitungan Empiris		Eksperimen	
					S (cm)	w (cm)	S (cm)	w (cm)
1	0	11	50	1,0	0,110	4,679	0,887	7,280
2	0	11	50	1,0	0,083	4,679	0,767	7,350
3	0	13	50	1,0	0,133	5,215	0,940	7,750
4	0	13	50	1,0	0,102	5,215	0,928	7,680
5	-0,05	11	50	1,0	0,011	4,679	0,190	2,630
6	-0,05	11	50	1,0	0,008	4,679	0,170	2,570
7	-0,05	13	50	1,0	0,013	5,215	0,260	4,530
8	-0,05	13	50	1,0	0,010	5,215	0,230	4,310
9	-0,1	11	50	1,0	0,018	4,679	0,000	0,290
10	-0,1	11	50	1,0	0,014	4,679	0,000	0,260
11	-0,1	13	50	1,0	0,022	5,215	0,000	1,340
12	-0,1	13	50	1,0	0,017	5,215	0,000	1,210

Berdasarkan Tabel 4.14 dapat dilihat perbedaan antara perhitungan empiris dengan hasil eksperimen yang memiliki nilai perbedaan sebesar 70,42%.

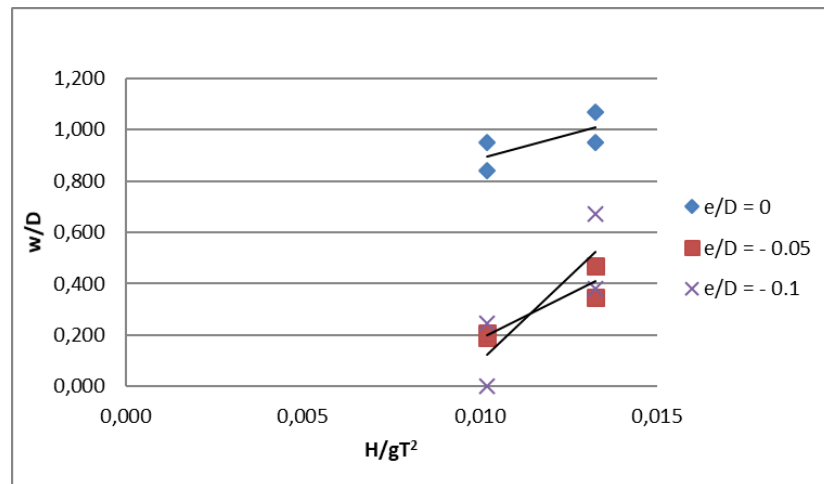
4.5 Analisa Parameter Tak Berdimensi

Agar dapat memperjelas hasil eksperimen dengan parameter – parameter tak berdimensi yang digunakan yaitu ketinggian relatif (H/gT^2), KC (Keulegan-Carpenter number), Shield Parameter (Θ) terhadap bilangan non dimensional kedalaman scouring (S/D) dan lebar scouring (w/D). S merupakan kedalaman scouring dan D merupakan diameter pipa.



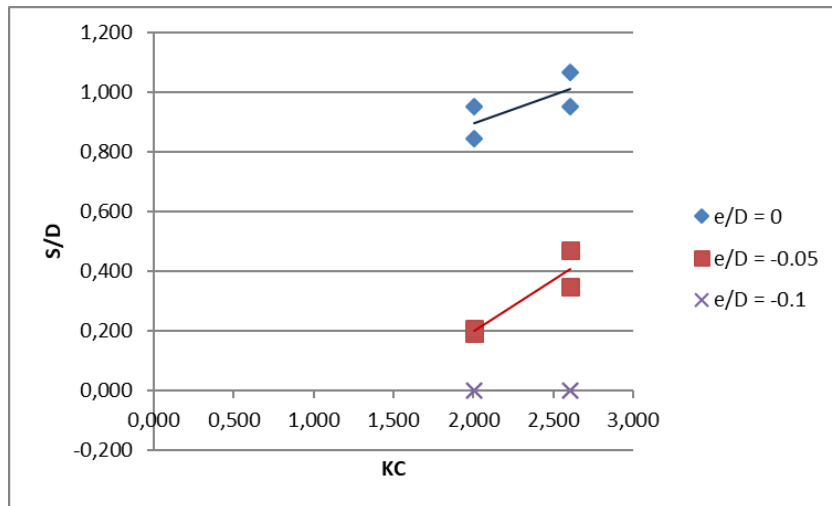
Gambar 4.33 Grafik hubungan ketinggian relatif gelombang (H/gT^2) dengan bilangan tak berdimensi kedalaman scouring (S/D)

Dari Gambar 4.33 dapat dilihat bahwa semakin tinggi gelombang maka semakin dalam pula *scouring* yang terjadi. Ketika menggunakan tinggi gelombang 13cm kedalaman *scouring* yang terjadi lebih dalam.



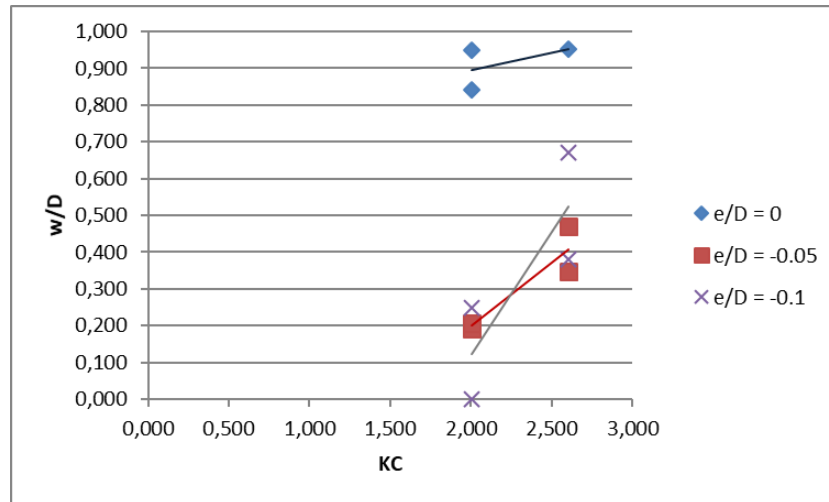
Gambar 4.34 Grafik hubungan ketinggian relative gelombang (H/gT^2) dengan bilangan tak berdimensi lebar scouring (w/D)

Berdasarkan kedua grafik pada Gambar 4.33 dan Gambar 4.34 dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi gelombang maka semakin besar nilai S/D dan w/D pada setiap kondisi pipa.



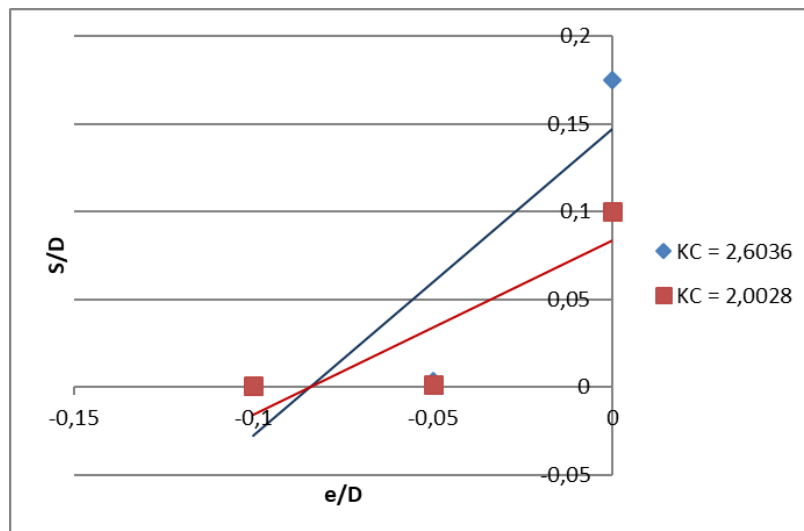
Gambar 4.35 Grafik hubungan ketinggian relative gelombang (H/gT^2) dengan bilangan tak berdimensi lebar scouring (w/D)

Dari Gambar 4.35 terlihat bahwa pada pipa kondisi meletak ($e/D = 0$) kedalaman *scouring* yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan kondisi *in – trench*. Sementara untuk pengaruh KC terhadap lebar *scouring* dapat dilihat melalui gambar di bawah.



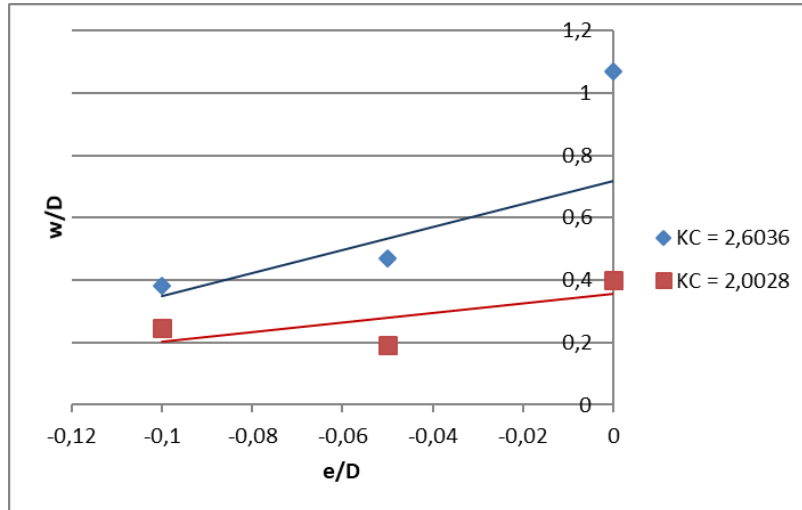
Gambar 4. 36 Grafik hubungan KC dengan bilangan tak berdimensi lebar

Pada kondisi meletak lebih memungkinkan terjadinya *scouring* dengan kedalaman dan lebar yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi *in – trench* dikarenakan tidak adanya penghalang aliran air di sekitar pipa seperti yang digambarkan pada Gambar 4.36. Oleh sebab itu, kondisi pipa dipendam dapat meminimalisir kegagalan pada pipa bawah laut.



Gambar 4.37 Grafik hubungan *burial depth-diameter ratio* (e/D) dengan bilangan tak berdimensi kedalaman *scouring* (S/D)

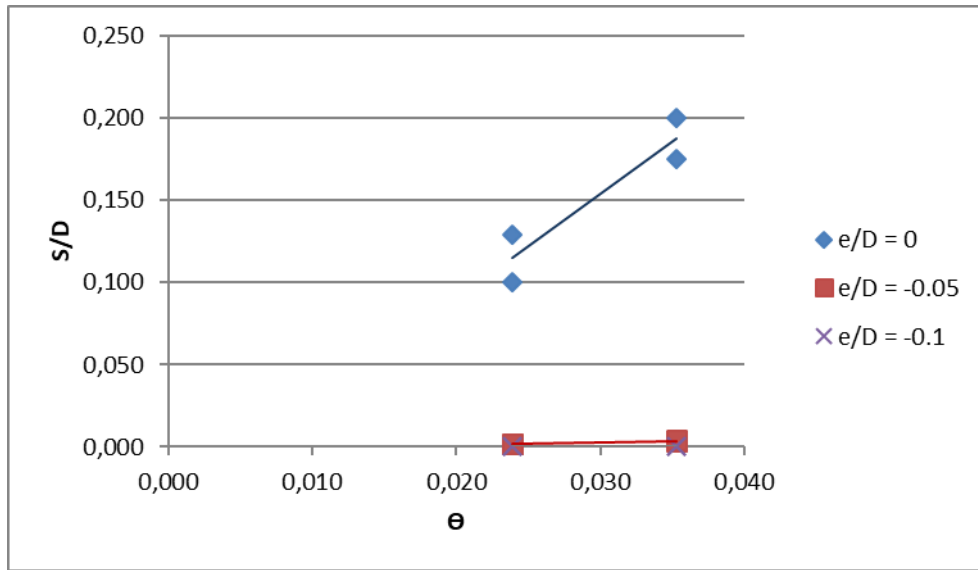
Gambar 4.37 menunjukkan bahwa semakin besar *ratio* diameter pipa yang terbenam di *seabed* semakin kecil pula kedalaman *scouring* yang terjadi. Dalam hal ini yaitu kondisi $e/D = 0$.



Gambar 4.38 Grafik hubungan antara *burial depth-diameter ratio* (e/D) dengan bilangan tak berdimensi lebar *scouring* (w/D)

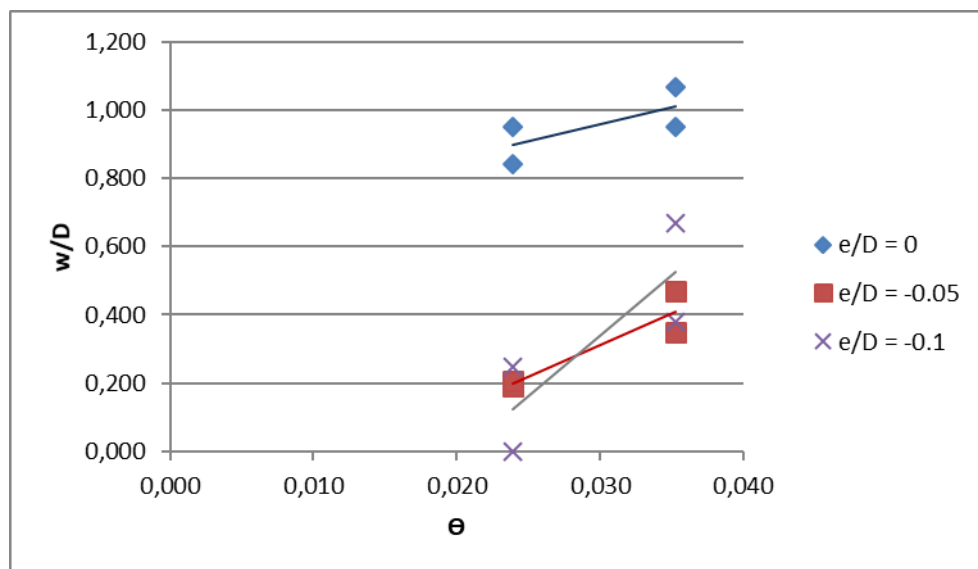
Dari Gambar 4.37 dan Gambar 4.38 dapat diketahui bahwa kedalaman dan lebar *scouring* terendah berada pada kondisi $e/D = -0.1$ dimana kondisi tersebut merupakan kedalaman maksimum variasi eksperimen. Semakin pipa terpendam berarti semakin kecil *scouring* yang terjadi.

Perbandingan selanjutnya yaitu pengaruh dari *shield parameter* (Θ) terhadap S/D dan w/D . *Shield parameter* adalah bilangan tak berdimensi yang digunakan untuk menghitung inisiasi gerak sedimen dalam aliran fluida.



Gambar 4.39 Grafik hubungan shield parameter (Θ) dengan bilangan tak berdimensi kedalaman scouring (S/D)

Dari gambar 4.39 menunjukkan semakin besar angka *shield parameter* maka semakin besar pula kedalaman *scouring* yang terjadi. Hal ini diperjelas melalui Gambar 4.40 untuk menjelaskan lebar *scouring* yang terjadi



Gambar 4.40 Grafik hubungan shield parameter (Θ) dengan bilangan tak berdimensi lebar *scouring* (w/D)

Berdasarkan Gambar 4.39 dan Gambar 4.40 menunjukkan bahwa semakin besar shield parameter (Θ) maka semakin besar kedalaman dan lebar scouring. Hal yang mempengaruhi perhitungan shield parameter (Θ) yaitu ukuran d_{50} tanah dan kecepatan orbital gelombang. Jika shield parameter (Θ) bernilai tinggi menunjukkan kecepatan orbital gelombang juga tinggi dan dapat menyebabkan terbentuknya scouring yang besar.

4.6 Laju Propagasi Scouring

Laju propagasi scouring merupakan proses terjadinya scouring dalam waktu tertentu. Laju propagasi akan ditampilkan untuk scouring terbesar untuk setiap kondisi peletakkan pipa terhadap seabed. Untuk variasi eksperimen seluruhnya dapat dilihat pada lampiran. Pencatatan data dilakukan dengan interval 5 menit selama 25 menit. Tabel 4.15 menunjukkan perhitungan secara empiris laju propagasi *scouring* yang terjadi hingga 25 menit pengujian atau titik maksimum *scouring*.

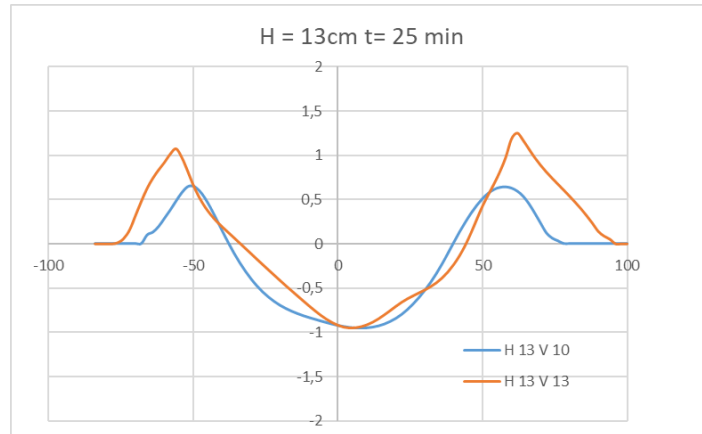
Tabel 4.15 Perhitungan Empiris Laju Propagasi Scouring

Empiris													
No	e/D	H	T	d (m)	T*	T(m)	S	T(m)	St (t=5 m)	St (t=10 m)	St (t=15 m)	St (t=20 m)	St (t=25 m)
1	0	0,11	1	0,5	7,9544	4,2254	0,03776	4,225402	0,02619328	0,034215241	0,036672052	0,037424476	0,0376549
2	0	0,11	1	0,5	7,9544	4,2254	0,03776	4,225402	0,02619328	0,034215241	0,036672052	0,037424476	0,0376549
3	0	0,13	1	0,5	5,2680	2,7984	0,05374	2,7983995	0,04473656	0,052230207	0,053485438	0,053695697	0,0537309
4	0	0,13	1	0,5	5,2680	2,7984	0,05374	2,7983995	0,04473656	0,052230207	0,053485438	0,053695697	0,0537309
5	-0,05	0,11	1	0,5	7,9544	4,2254	0,03928	4,225402	0,02724837	0,035593465	0,038149238	0,03893197	0,0391717
6	-0,05	0,11	1	0,5	7,9544	4,2254	0,03416	4,225402	0,02370066	0,030959231	0,033182245	0,033863066	0,0340716
7	-0,05	0,13	1	0,5	5,2680	2,7984	0,04862	2,7983995	0,04047931	0,047259846	0,048395626	0,048585876	0,0486177
8	-0,05	0,13	1	0,5	5,2680	2,7984	0,04862	2,7983995	0,04047931	0,047259846	0,048395626	0,048585876	0,0486177
9	-0,1	0,11	1	0,5	7,9544	4,2254	0,03091	4,225402	0,02144524	0,02801307	0,030024537	0,030640569	0,0308292
10	-0,1	0,11	1	0,5	7,9544	4,2254	0,03091	4,225402	0,02144524	0,02801307	0,030024537	0,030640569	0,0308292
11	-0,1	0,13	1	0,5	5,2680	2,7984	0,04400	2,7983995	0,0366272	0,042762477	0,043790173	0,043962319	0,0439912
12	-0,1	0,13	1	0,5	5,2680	2,7984	0,04400	2,7983995	0,0366272	0,042762477	0,043790173	0,043962319	0,0439912
13	-0,1	0,11	1	0,5	7,9544	4,2254	0,56540	4,225402	0,3922434	0,512372049	0,549162703	0,560430225	0,563881
14	-0,1	0,13	1	0,5	5,2680	2,7984	0,61497	2,7983995	0,51195672	0,597712593	0,612077223	0,614483386	0,6148864
15	-0,1	0,15	1	0,5	3,7013	1,9661	0,66086	1,9661269	0,60890453	0,656779393	0,660543534	0,660839488	0,6608628

4.7 Perbandingan Scouring dengan Kecepatan Arus Berbeda

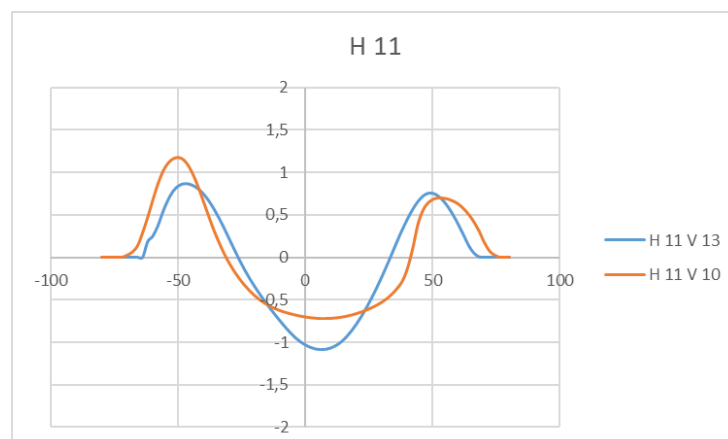
Pada pengujian kali ini digunakan dua variasi kecepatan arus yaitu 13cm/s dan 10cm/s. Hal ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh kecepatan arus terhadap terjadinya *scouring* pada daerah sekitar pipa. Hasil dari pengujian bisa dilihat

melalui grafik yang menunjukkan kondisi maksimum atau kondisi akhir dari pengujian di bawah ini.



Gambar 4.41 Perbandingan Laju Propagasi *Scouring* $H = 13\text{cm}$ dengan Perbedaan Kecepatan Arus Pada Kondisi Maksimum

Dari Gambar 4.41 menunjukkan perbedaan kedalaman dan lebar *scouring* yang terjadi lebih besar ketika menggunakan kecepatan arus 13cm/s dengan kedalaman 0,94cm dan lebar 7,7cm. Berbeda 0,01 ketika menggunakan kecepatan arus 10cm/s.



Gambar 4.42 Perbandingan Laju Propagasi *Scouring* $H = 11\text{cm}$ dengan Perbedaan Kecepatan Arus Pada Kondisi Maksimum

Berdasarkan Gambar 4.42 dapat dilihat pada pengujian dengan menggunakan tinggi gelombang 11cm kedalaman dan lebar *scouring* kesimpulan yang terjadi sama dengan ketika menggunakan tinggi gelombang 13cm yaitu lebih besar dengan menggunakan kecepatan arus 13cm/s. dengan menggunakan kecepatan arus 13cm/s kedalaman *scouring* yang terjadi yaitu 0,87cm, sedangkan dengan menggunakan kecepatan arus 10cm/s kedalaman *scouring* maksimum yaitu 0,78cm.

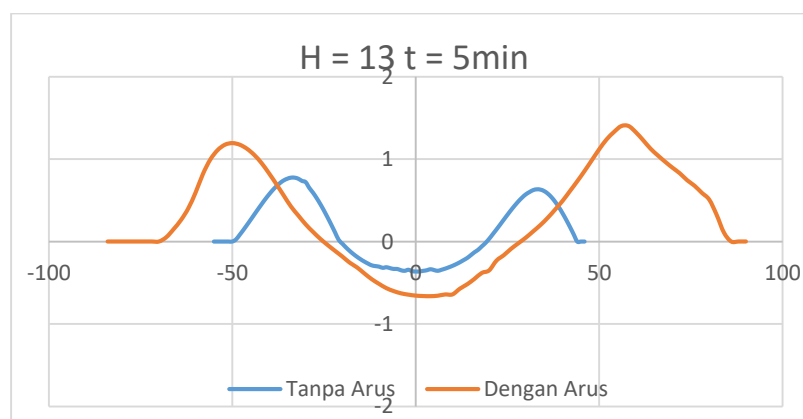
Dari kedua grafik diatas dapat dilihat bahwa ketika memasuki menit ke 25 eksperimen atau akhir pengujian kedalaman *scouring* yang terjadi lebih besar saat menggunakan kecepatan arus 13cm/s.

4.8 Perbandingan dengan Eksperimen Sebelumnya

Dalam penelitian ini, dibandingkan antara pengujian sebelumnya milik Rahayu (2017) mengenai dengan penambahan variasi kecepatan arus pada penelitian kali ini.

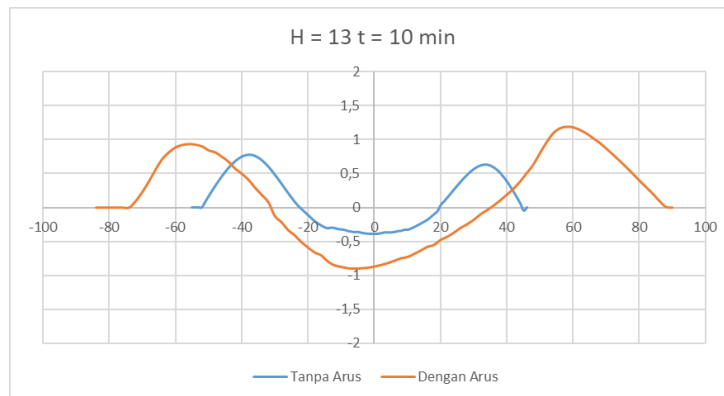
4.8.1 Pada Kondisi Pipa Meletak

Dengan menggunakan variasi pertama yaitu kondisi $e/D = 0$ (meletak) dan dengan tinggi gelombang 13cm. perbandingan dilakukan pada menit ke 5,15, dan kondisi maksimum atau 25 menit.



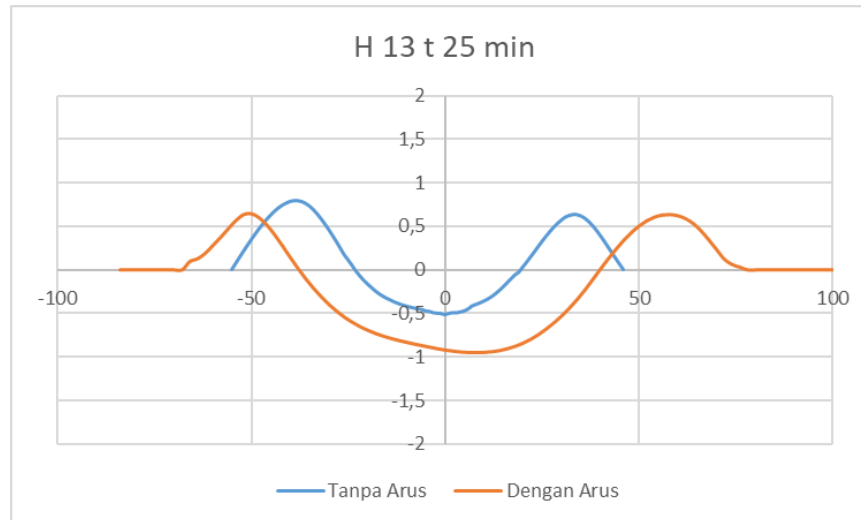
Gambar 4.43 Perbandingan Laju *Scouring* dengan $H = 13\text{cm}$ $t = 5\text{menit}$ antara Rahayu (2017) (Biru) dan Penelitian Sekarang (Merah)

Dari Gambar 4.43 dilihat bahwa ketika memasuki 5 menit pengujian kedalaman *scouring* yang dicapai pada penelitian sebelumnya yaitu pada 0,3cm. Sedangkan pada penelitian kali ini dengan menggunakan pengaruh kecepatan arus yaitu 0,5cm.



Gambar 4.44 Grafik Perbandingan Laju *Scouring* dengan $H = 13\text{cm}$ $t = 15\text{menit}$ antara Rahayu (2017) (Biru) dan Penelitian Sekarang (Merah)

Pada Gambar 4.44 dapat dilihat bahwa ketika memasuki 15 menit pengujian kedalaman *scouring* yang dicapai pada penelitian sebelumnya yaitu pada 0,4cm. Sedangkan pada penelitian kali ini dengan menggunakan pengaruh kecepatan arus yaitu 0,8cm.



Gambar 4.45 Grafik Perbandingan Laju Scouring dengan $H = 13\text{cm}$ $t = 5\text{menit}$ antara Rahayu (2017) (Biru) dan Penelitian Sekarang (Merah)

Dari Gambar 4.45 dapat dilihat bahwa ketika memasuki 25 menit pengujian kedalaman *scouring* yang dicapai pada penelitian sebelumnya yaitu pada 0,5cm. Sedangkan pada penelitian kali ini dengan menggunakan pengaruh kecepatan arus yaitu 0,9cm. Untuk melihat perbandingan yang lebih detail dapat dilihat melalui Tabel 4.16.

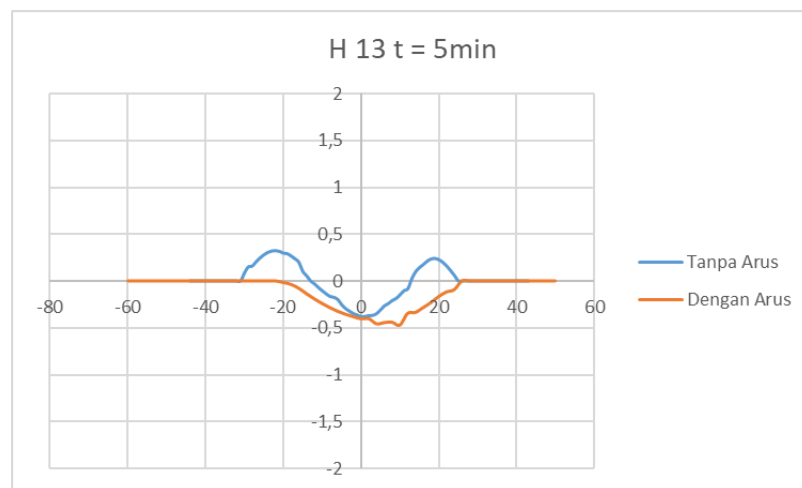
Tabel 4.16 Perbandingan kedalaman *scouring* pada kondisi $H = 13\text{cm}$

Kondisi Meletak dan Tinggi Gelombang 13		
Waktu (menit)	Dengan Arus (cm)	Tanpa Arus (cm)
5	0,517	0,3625
15	0,864	0,4184
25	0,94	0,5171

Pada penelitian sebelumnya dengan menggunakan tinggi gelombang 13cm, *scouring* maksimum yang terjadi yaitu sebesar 0,52cm dengan lebar 4,26cm. Sementara pada penelitian kali ini kedalaman *scouring* yang terjadi yaitu sebesar 0,97cm dan lebar 4,27cm.

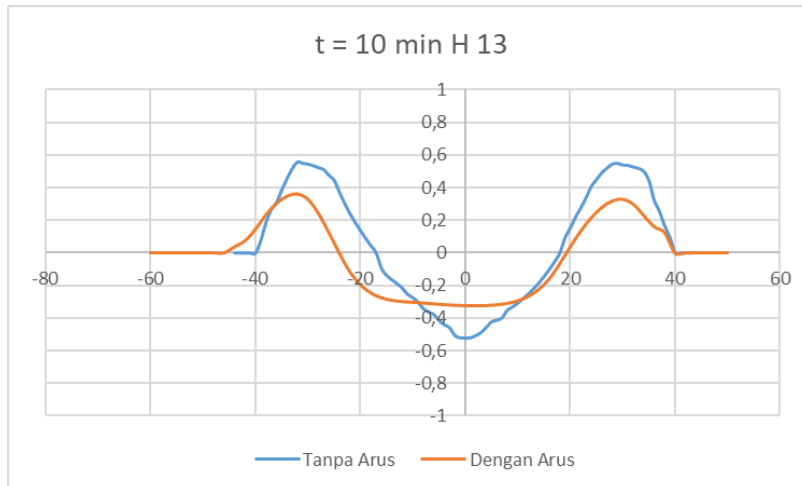
4.8.2 Pada Kondisi *In – Trench*

Dengan menggunakan variasi pertama yaitu kondisi $e/D = -0,05$ (*in-trench* 0,2cm) dan dengan tinggi gelombang 13cm. perbandingan dilakukan pada menit ke 5,15, dan kondisi maksimum atau 25 menit.



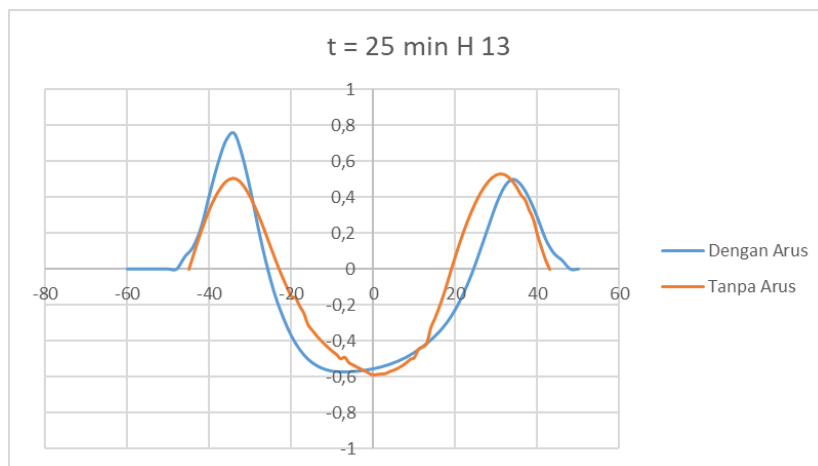
Gambar 4.46 Grafik Perbandingan Laju *Scouring* dengan $H = 13\text{cm}$ $t = 5$ menit dan *in – trench* antara Rahayu (2017) (Biru) dan Penelitian Sekarang (Merah)

Dari Gambar 4.58 dapat dilihat bahwa ketika memasuki 5 menit pengujian kedalaman *scouring* yang dicapai pada penelitian sebelumnya yaitu pada 0,18cm. Sedangkan pada penelitian kali ini dengan menggunakan pengaruh kecepatan arus yaitu 0cm.



Gambar 4.47 Grafik Perbandingan Laju *Scouring* dengan $H = 13\text{cm}$ $t = 15\text{menit}$ dan *in – trench* antara Rahayu (2017) (Biru) dan Penelitian Sekarang (Merah)

Dari Gambar 4.59 dapat dilihat bahwa ketika memasuki 15 menit pengujian kedalaman *scouring* yang dicapai pada penelitian sebelumnya yaitu pada 0,38cm. Sedangkan pada penelitian kali ini dengan menggunakan pengaruh kecepatan arus yaitu 0,28cm.



Gambar 4.48 Grafik Perbandingan Laju *Scouring* dengan $H = 13\text{cm}$ $t = 25\text{menit}$ dan *in – trench* antara Rahayu (2017) (Biru) dan Penelitian Sekarang (Merah)

Sesuai dengan Gambar 4.60 dapat dilihat bahwa ketika memasuki 5 menit pengujian kedalaman *scouring* yang dicapai pada penelitian sebelumnya yaitu pada 0,38cm. Sedangkan pada penelitian kali ini dengan menggunakan pengaruh kecepatan arus yaitu 0,46cm. Untuk melihat perbandingan yang lebih detail dapat dilihat melalui Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Perbandingan kedalaman *scouring* pada kondisi H = 13cm dan *in – trench* 0,2cm

Kondisi <i>In - Trench</i> 0,2cm dan Tinggi Gelombang 13		
Waktu (menit)	Dengan Arus (cm)	Tanpa Arus (cm)
5	0	0,18
15	0,265	0,38
25	0,468	0,3897

Untuk kondisi pipa *in – trench* 0,2cm kedalaman *scouring* yang terjadi pada penelitian sebelumnya dengan menggunakan tinggi gelombang 13cm yaitu sebesar 0,69cm dengan lebar 5,6cm. Sementara dengan menggunakan arus pada penelitian kali ini, kedalaman *scouring* yang terjadi yaitu sebesar 0,72cm dengan lebar 1,8cm.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari eksperimen *scouring* pada sekitar pipa akibat gelombang reguler dan arus dapat disimpulkan :

1. Kedalaman dan Lebar Scouring yang terbesar terjadi pada kondisi pipa meletak dengan tinggi gelombang 13cm dan kecepatan arus 13cm/s dengan kedalaman = 0,965cm dan lebar = 3,89cm
2. Semakin dalam pipa dibenamkan semakin kecil kedalaman dan lebar scouring yang terjadi
3. Semakin besar nilai gelombang dan arus maka semakin besar kedalaman dan lebar scouring yang terjadi
4. Dibandingkan penelitian sebelumnya yang tidak menggunakan arus, scouring pada eksperimen ini lebih cepat mencapai titik maksimum yaitu pada waktu 20 menit eksperimen. Lebih cepat 5 menit dari eksperimen sebelumnya

5.2 Saran

Dari eksperimen yang dilakukan, saran penulis untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Mengindari kesalahan yang terjadi pada proses peletakan pipa pada seabed yang nantinya dapat mempengaruhi kondisi scouring
2. Melakukan penelitian dengan menggunakan variasi ukuran diameter pipa
3. Memodelkan hasil penelitian dalam bentuk 3D Software agar lebih mendetail

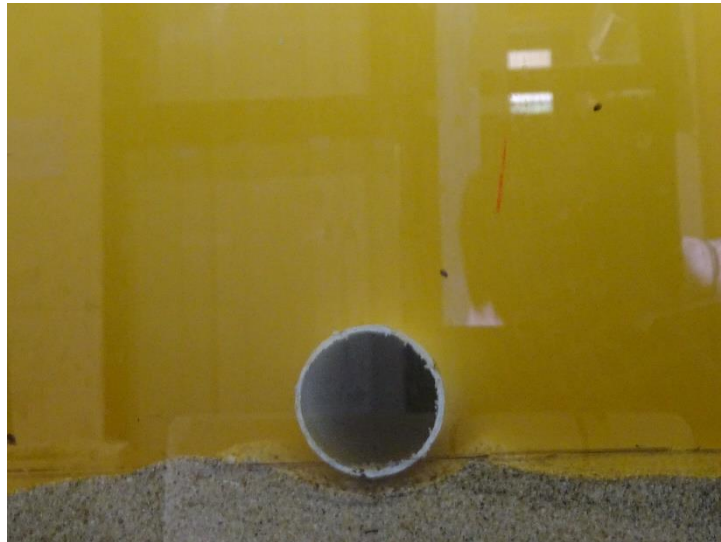
DAFTAR PUSTAKA

- Budiarti, L. 2016. *Pemodelan Numerik Profil 2D Scouring pada Pipa Bawah Laut dengan Variasi Jarak Clearance terhadap Dasar Laut*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS. Surabaya.
- Bijker, E.W. 1986. Scour Around Structure. *Proceedings of 20th Conference on Coastal Engineering*. ASCE Publisher.
- Cheng, L., Z. Zang, dan F. Li. 2014. 3D scour below pipelines under waves and combined waves and currents. *Coastal Engineering Journal* 83 : 137-149.
- Fredsøe, J. dan R. Deigaard. 1992. *Mechanics of Coastal Sediment Transport*. Singapura : World Scientific.
- Ikhwani, Hasan. 2010. *Estimasi Kedalaman Scouring Pada Jalur Pipa Bawah Laut di Perairan Tuban, Jawa Timur*. Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS. Surabaya
- Kjeldsen, S.P., O. Gjorsvik, K.G. Bringaker & J. Jacobsen. 1973. Local Scour Near Offshore Pipelines. *Second International Port and Ocean Engineering under Arctic Condition*, University of Iceland : 308-331.
- Mohr, H., S. Draper, L.Cheng, D.J.White. 2016. *Predicting The Rate of Scour Beneath Subsea Pipeline in Marine Sediments Under Steady Flow Conditions*. Australia : The University of Western Australia.
- Nugraha, M.C. 2012. *Analisa Pengaruh Scouring pada Pipa Bawah Laut (Studi Kasus Pipa Gas Transmisi SSWJ Jalur Pipa Gas Labuhan Maringgai – Muara Bekasi*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS. Surabaya.
- Nugroho, Adi. 2011. *Analisa Scouring Pipa Bawah Laut Kodeco Jalur Poleng- Gresik dengan Variasi Tipe Tanah*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS. Surabaya.

- Pebriantina, Minati. 2016. *Analisa Scouring Pipa Bawah Laut Kondisi In-Trench dan Pengembangan Perangkat Lunak untuk Pemodelan Matematis dengan Variasi Diameter Pipa*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS. Surabaya.
- Ramadhan, Dimas. 2017. *Studi Eksperimen Scouring Pada Pipa Akibat Gelombang Ireguler Dengan Kondisi Meletak dan In – Trench*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS. Surabaya.
- Rahayu, Novia Dwi. 2017. *Studi Eksperimen Scouring Pada Pipa Meletak dan In – Trench Akibat Gelombang Reguler*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS. Surabaya.
- Sumer, B.M. 2000. *Onset of Scour Pipelines and Self – Burial*. Denmark : Technical University of Denmark
- Sumer, B.M. dan J. Fredsøe. 2002. *The Mechanical of Scour in The Marine Environment*. Denmark : World Scientific.
- Suntoyo, Mahmud Musta'in, Hasan Ikhwani, Agro Wisudawan. 2016. *Aplikasi Pemodelan Turbulent Boundary Layer Untuk Pengembangan Model Scouring Pada Marine Pipeline di Perairan Indonesia dan Penanggulangannya*. Usulan PUPT ITS. Surabaya.
- Yussof, Mohd. Azlan Mohd, Hazi Md. Azamathulla, Zorkeflee Abu Hasan, Nor Azazi Zakaria, Mohd. Zulkifli Abdullah. 2013. *Effect Of Pipeline Orientation Mechanism In Undirectional Steady Flow*. Malaysia : Universiti Sains Malaysia
- Zhang, Qin, Scott Draper, Liang Cheng, Hongwei An. 2015. *Scour Below A Subsea Pipeline In Time Varying Flow Conditions*. China: Ocean University Of China.

LAMPIRAN A
Hasil Foto *Scouring* Kondisi Maksimum

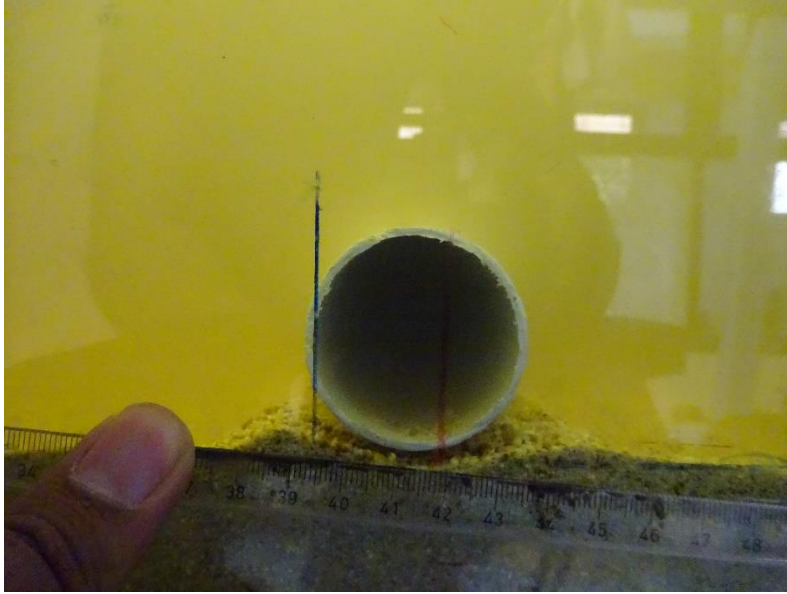
1. Kondisi Meletak



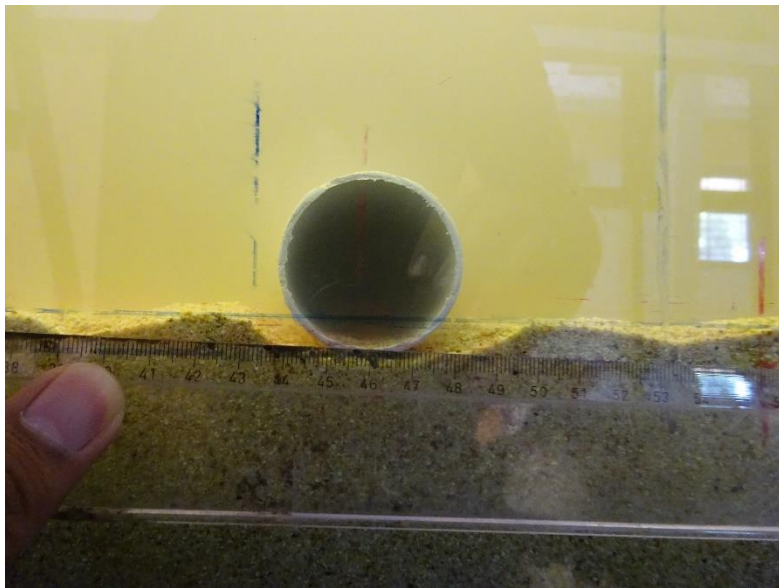
Gambar 1. Kondisi $H = 13$, $v = 13\text{cm/s}$, $e/D = 0$



Gambar 2. Kondisi $H = 13$, $v = 10\text{cm/s}$, $e/D = 0$

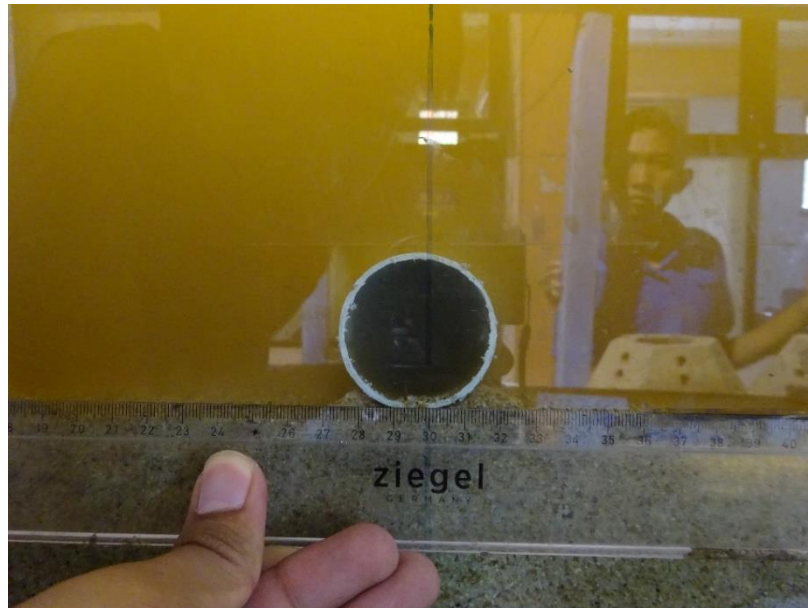


Gambar 3. Kondisi $H = 11$, $v = 13\text{cm/s}$, $e/D = 0$

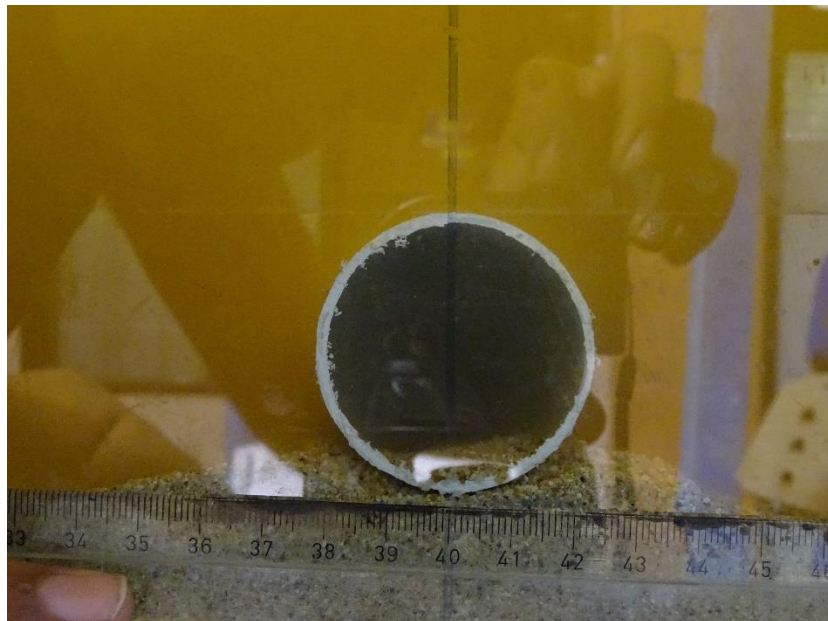


Gambar 4. Kondisi $H = 11$, $v = 10\text{cm/s}$, $e/D = 0$

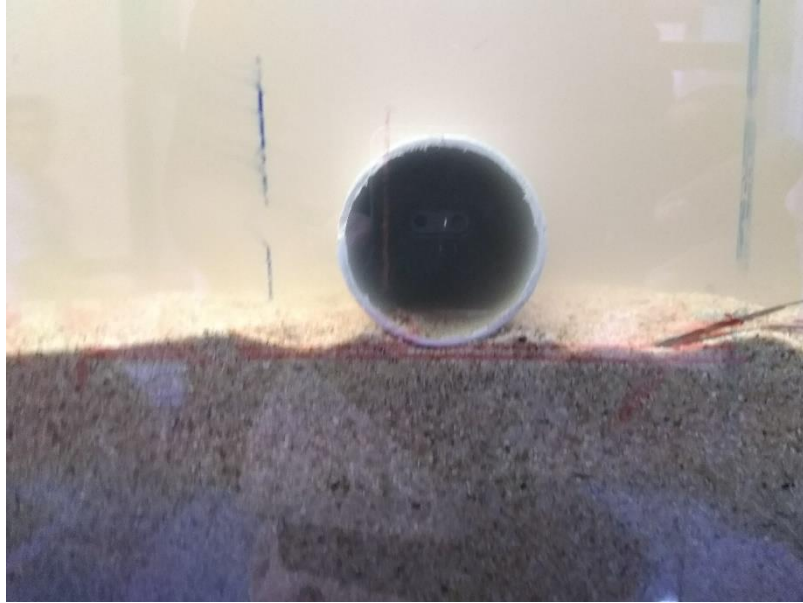
2. Kondisi *In – Trench* 0,02mm



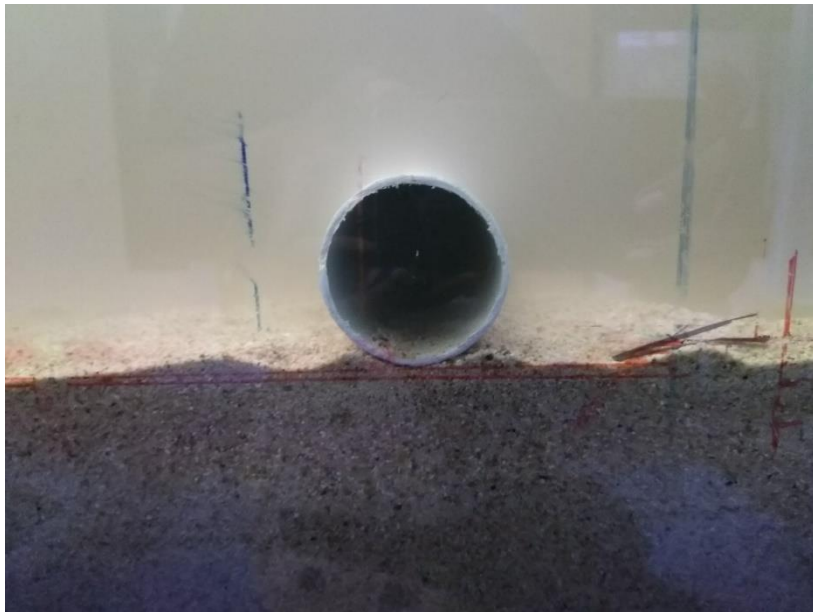
Gambar 5. Kondisi $H = 13$, $v = 13\text{cm/s}$, $e/D = -0,05$



Gambar 6. Kondisi $H = 13$, $v = 10\text{cm/s}$, $e/D = -0,05$

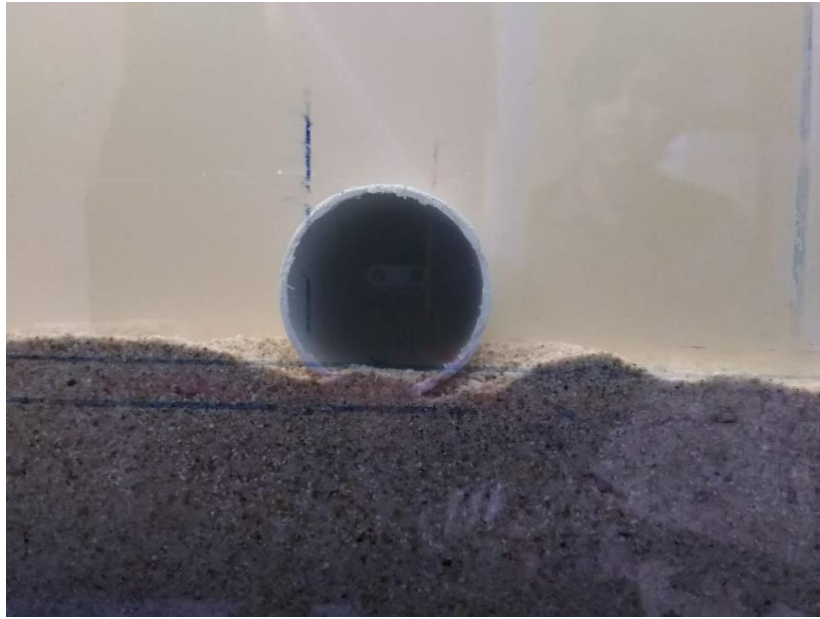


Gambar 7. Kondisi $H = 11$, $v = 13\text{cm/s}$, $e/D = -0,05$



Gambar 8. Kondisi $H = 11$, $v = 10\text{cm/s}$, $e/D = -0,05$

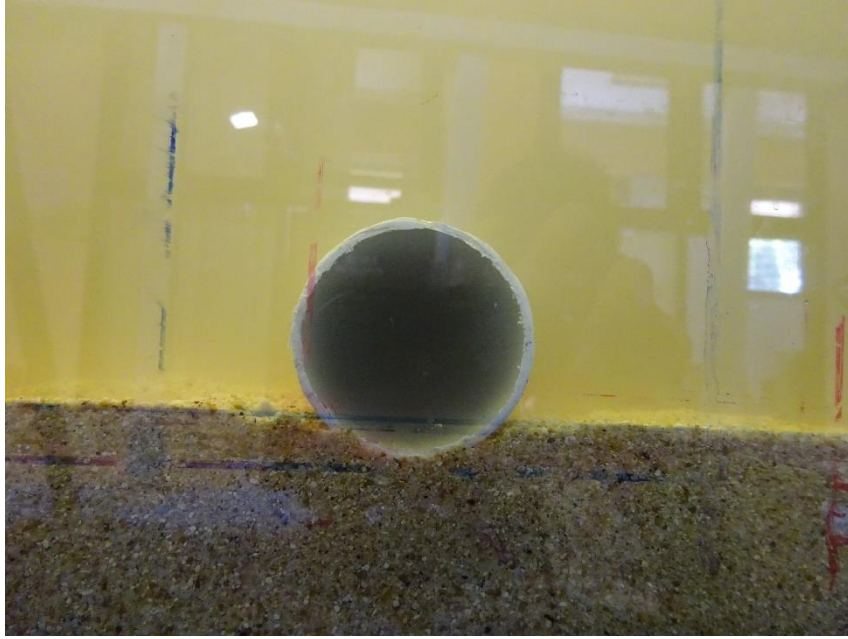
3. Kondisi *In – Trench* 0,4cm



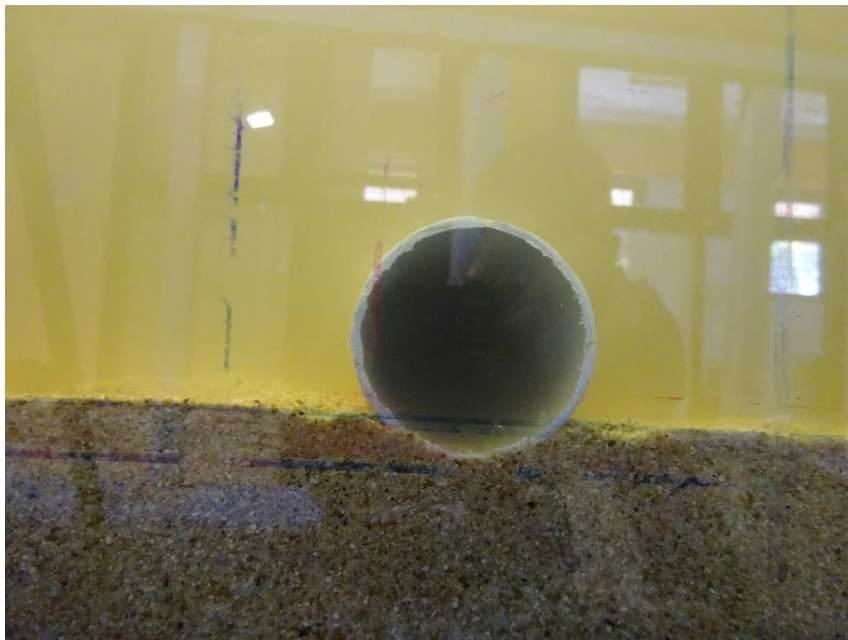
Gambar 9. Kondisi $H = 13$, $v = 13\text{cm/s}$, $e/D = -0,1$



Gambar 10. Kondisi $H = 13$, $v = 10\text{cm/s}$, $e/D = -0,1$

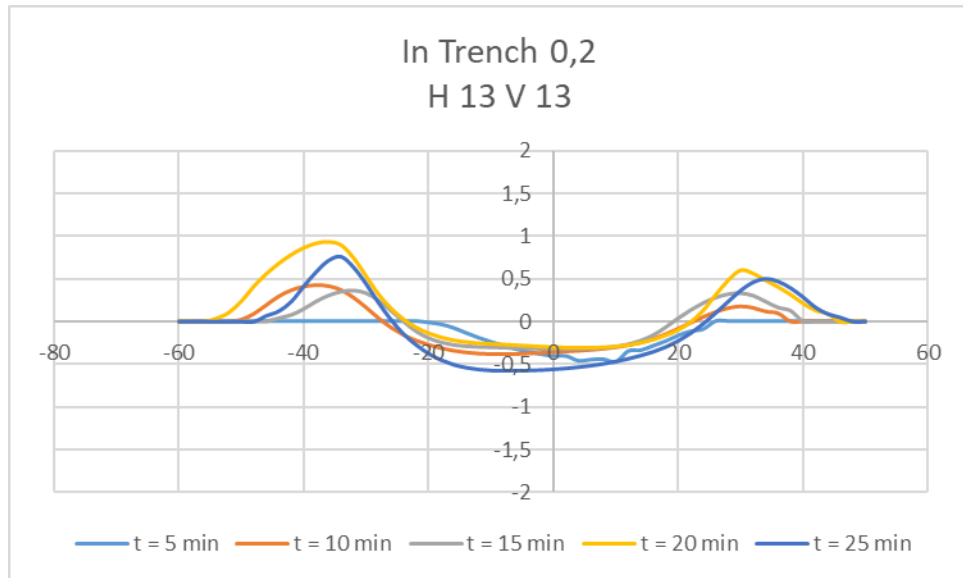


Gambar 11. Kondisi $H = 11$, $v = 13\text{cm/s}$, $e/D = -0,1$

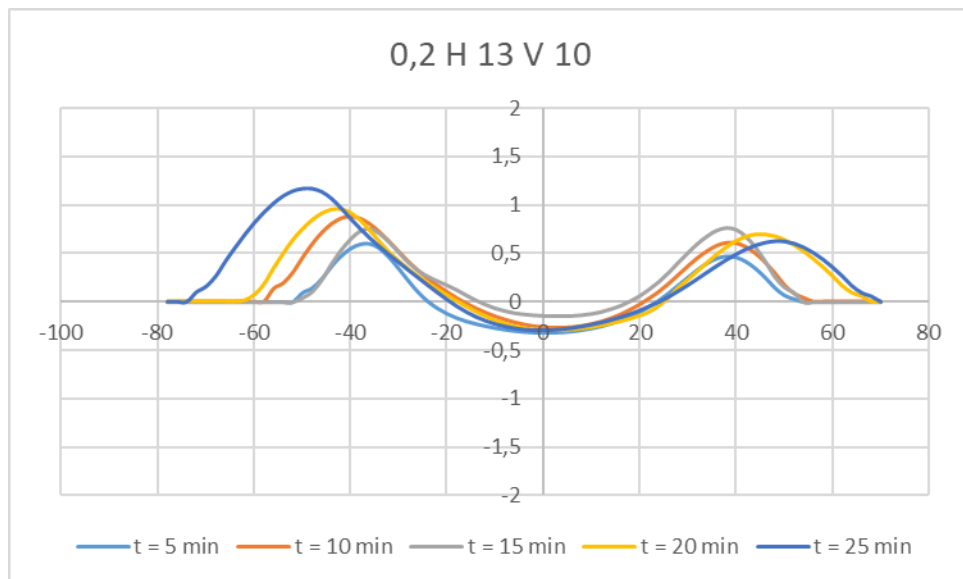


Gambar 12. Kondisi $H = 11$, $v = 10\text{cm/s}$, $e/D = -0,1$

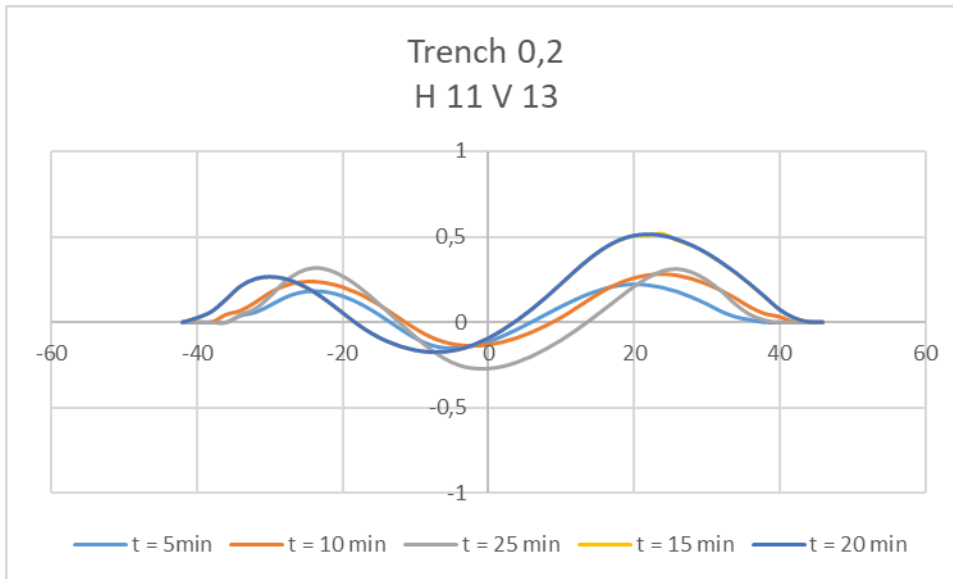
LAMPIRAN B
Grafik Laju Propagasi *Scouring*



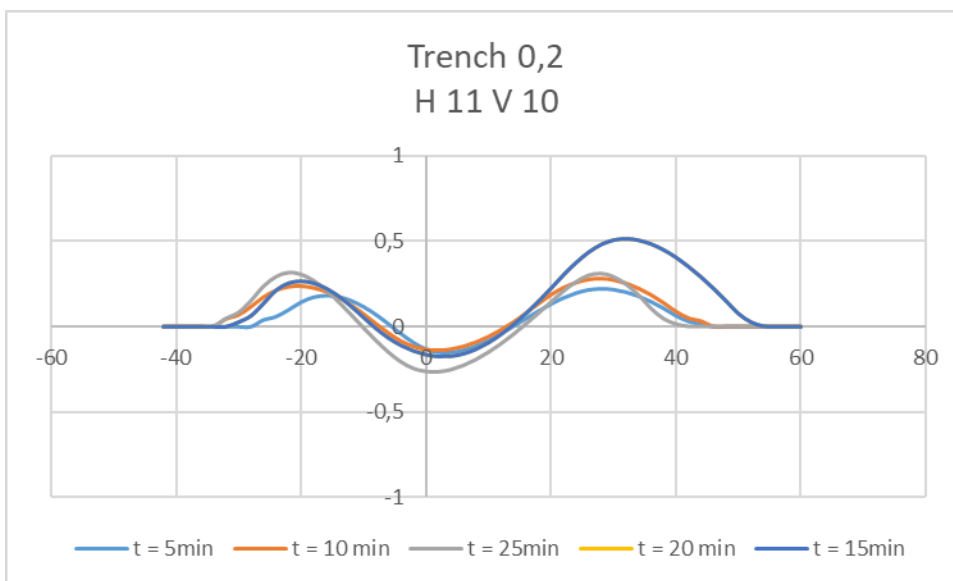
Gambar 1. Laju Propagasi Kondisi H = 13, v = 13, e/D = -0,05



Gambar 2. Laju Propagasi Kondisi H = 13, v = 11, e/D = -0,05



Gambar 3. Laju Propagasi Kondisi H = 11, v = 13, e/D = -0,05



Gambar 4. Laju Propagasi Kondisi H = 11, v = 10, e/D = -0,05

LAMPIRAN C
Tabel Perhitungan Rumus Empiris

Tabel 1. Perhitungan Nilai Empiris Kedalaman dan Lebar *Scouring*

No	e/D	H (m)	T (s)	d (cm)	Um (cm/s)	KC	S/D	S (cm)	w (cm)
1	0	0,11	1	0,5	0,088	2,203	0,156	0,038	4,679
2	0	0,11	1	0,5	0,088	2,203	0,156	0,038	4,679
3	0	0,13	1	0,5	0,104	2,604	0,170	0,054	5,215
4	0	0,13	1	0,5	0,104	2,604	0,170	0,054	5,215
5	-0,05	0,11	1	0,5	0,088	2,203	0,149	0,039	4,679
6	-0,05	0,11	1	0,5	0,088	2,203	0,149	0,034	4,679
7	-0,05	0,13	1	0,5	0,104	2,604	0,162	0,049	5,215
8	-0,05	0,13	1	0,5	0,104	2,604	0,162	0,049	5,215
9	-0,1	0,11	1	0,5	0,088	2,203	0,141	0,031	4,679
10	-0,1	0,11	1	0,5	0,088	2,203	0,141	0,031	4,679
11	-0,1	0,13	1	0,5	0,104	2,604	0,154	0,044	5,215
12	-0,1	0,13	1	0,5	0,104	2,604	0,154	0,044	5,215

Tabel 2. Perbandingan Perhitungan Empiris dan Hasil Eksperimen *Scouring*

No	e/D	H (cm)	d (cm)	T (s)	Perhitungan Empiris		Eksperimen	
					S (cm)	w (cm)	S (cm)	w (cm)
1	0	11	50	1,0	0,038	4,679	0,400	3,800
2	0	11	50	1,0	0,038	4,679	0,517	3,370
3	0	13	50	1,0	0,054	5,215	0,800	3,803
4	0	13	50	1,0	0,054	5,215	0,700	4,269
5	-0,05	11	50	1,0	0,039	4,679	0,007	0,770
6	-0,05	11	50	1,0	0,034	4,679	0,007	0,830
7	-0,05	13	50	1,0	0,049	5,215	0,013	1,880
8	-0,05	13	50	1,0	0,049	5,215	0,016	1,390
9	-0,1	11	50	1,0	0,031	4,679	0,002	0,990
10	-0,1	11	50	1,0	0,031	4,679	0,002	0,000
11	-0,1	13	50	1,0	0,044	5,215	0,000	0,000
12	-0,1	13	50	1,0	0,044	5,215	0,000	0,000

Tabel 3. Perhitungan Empiris Laju Propagasi *Scouring*

No	e/D	H	T	d (m)	T*	T(m)	S	T(m)	St (t=5 m)	St (t=10 m)	St (t=15 m)	St (t=20 m)	St (t=25 m)
1	0	0,11	1	0,5	7,9544	4,2254	0,03776	4,225402	0,02619328	0,034215241	0,036672052	0,037424476	0,0376549
2	0	0,11	1	0,5	7,9544	4,2254	0,03776	4,225402	0,02619328	0,034215241	0,036672052	0,037424476	0,0376549
3	0	0,13	1	0,5	5,2680	2,7984	0,05374	2,7983995	0,04473656	0,052230207	0,053485438	0,053695697	0,0537309
4	0	0,13	1	0,5	5,2680	2,7984	0,05374	2,7983995	0,04473656	0,052230207	0,053485438	0,053695697	0,0537309
5	-0,05	0,11	1	0,5	7,9544	4,2254	0,03928	4,225402	0,02724837	0,035593465	0,038149238	0,03893197	0,0391717
6	-0,05	0,11	1	0,5	7,9544	4,2254	0,03416	4,225402	0,02370066	0,030959231	0,033182245	0,033863066	0,0340716
7	-0,05	0,13	1	0,5	5,2680	2,7984	0,04862	2,7983995	0,04047931	0,047259846	0,048395626	0,048585876	0,0486177
8	-0,05	0,13	1	0,5	5,2680	2,7984	0,04862	2,7983995	0,04047931	0,047259846	0,048395626	0,048585876	0,0486177
9	-0,1	0,11	1	0,5	7,9544	4,2254	0,03091	4,225402	0,02144524	0,02801307	0,030024537	0,030640569	0,0308292
10	-0,1	0,11	1	0,5	7,9544	4,2254	0,03091	4,225402	0,02144524	0,02801307	0,030024537	0,030640569	0,0308292
11	-0,1	0,13	1	0,5	5,2680	2,7984	0,04400	2,7983995	0,0366272	0,042762477	0,043790173	0,043962319	0,0439912
12	-0,1	0,13	1	0,5	5,2680	2,7984	0,04400	2,7983995	0,0366272	0,042762477	0,043790173	0,043962319	0,0439912

Tabel 4. Perhitungan *Keulegan – Carpenter Number*

No	e/D	H	KC	S	S/D	w (cm)	w/D
1	0	0,1	2,203031	0,887	0,22175	7,28	1,82
2	0	0,1	2,203031	0,767	0,19175	7,35	1,8375
3	0	0,13	2,603582	0,94	0,235	7,75	1,9375
4	0	0,13	2,603582	0,928	0,232	7,68	1,92
5	-0,05	0,1	2,203031	0,19	0,0475	2,63	0,6575
6	-0,05	0,1	2,203031	0,17	0,0425	2,57	0,6425
7	-0,05	0,13	2,603582	0,26	0,065	4,53	1,1325
8	-0,05	0,13	2,603582	0,23	0,0575	4,31	1,0775
9	-0,1	0,1	2,203031	0	0	0,29	0,0725
10	-0,1	0,1	2,203031	0	0	0,26	0,065
11	-0,1	0,13	2,603582	0	0	1,34	0,335

Tabel 5. Perbandingan Tinggi Relatif Gelombang Terhadap Kedalaman dan Lebar *Scouring*

Perbandingan tinggi gelombang relatif					
No.	e/D	H	H/gt ²	S/D	w/D
1	0	0,1	0,010	0,887	1,820
2	0	0,1	0,010	0,767	1,838
3	0	0,13	0,013	0,940	1,938
4	0	0,13	0,013	0,928	1,920
5	-0,05	0,1	0,010	0,190	0,658
6	-0,05	0,1	0,010	0,170	0,643
7	-0,05	0,13	0,013	0,260	1,133
8	-0,05	0,13	0,013	0,230	1,078
9	-0,1	0,1	0,010	0,000	0,073
10	-0,1	0,1	0,010	0,000	0,065
11	-0,1	0,13	0,013	0,000	0,335
12	-0,1	0,13	0,013	0,000	0,303

Tabel 6. Perbandingan Nilai KC dengan Kedalaman dan Lebar *Scouring*

Perbandingan KC dengan S/D dan w/D					
No	e/D	H	KC	S/D	w/D
1	0	0,1	2,203	0,222	1,820
2	0	0,1	2,203	0,192	1,838
3	0	0,13	2,604	0,235	1,938
4	0	0,13	2,604	0,232	1,920
5	-0,05	0,1	2,203	0,048	0,658
6	-0,05	0,1	2,203	0,043	0,643
7	-0,05	0,13	2,604	0,065	1,133
8	-0,05	0,13	2,604	0,058	1,078
9	-0,1	0,1	2,203	0,000	0,073
10	-0,1	0,1	2,203	0,000	0,065
11	-0,1	0,13	2,604	0,000	0,335
12	-0,1	0,13	2,604	0,000	0,303

Tabel 7. Perbandingan Shield Parameter dengan Kedalaman dan Lebar
Scouring

Perban dengan Θ dengan S/D dan w/D						
No	e/D	H	d	Θ	S/D	w/D
1	0	11	50	0,028	0,222	1,820
2	0	11	50	0,028	0,192	1,838
3	0	13	50	0,035	0,235	1,938
4	0	13	50	0,035	0,232	1,920
5	-0,05	11	50	0,028	0,048	0,658
6	-0,05	11	50	0,028	0,043	0,643
7	-0,05	13	50	0,035	0,065	1,133
8	-0,05	13	50	0,035	0,058	1,078
9	-0,1	11	50	0,028	0,000	0,073
10	-0,1	11	50	0,028	0,000	0,065
11	-0,1	13	50	0,035	0,000	0,335
12	-0,1	13	50	0,035	0,000	0,303

BIODATA PENULIS



Bima Setyo Prabowo lahir di Muara Enim, Sumatera Selatan, 22 Januari 1997, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Setelah menempuh pendidikan formal di SD Kartika Jaya 1 – 10 Padang, SMP Negeri 2 Madiun, SMA Negeri 2 Madiun, penulis meneruskan pendidikan di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2014. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif di dua ormawa, yaitu Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknologi Kelautan dan Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan khususnya dalam bidang kewirausahaan. Di akhir studi, penulis mengambil tema *scouring* pada *pipeline* pada kondisi meletak dan *in – trench* dengan variasi tinggi gelombang dan kecepatan arus. Jika ada pertanyaan mengenai tugas akhir ini dapat menghubungi melalui email bimasetyo97@gmail.com