



## TUGAS AKHIR (MO 141326)

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH JARAK ANTAR PIPA KONDISI  
MELETAK DAN *IN-TRENCH* TERHADAP *SCOURING* AKIBAT  
GELOMBANG IREGULER

LUKMAN ADITYA DWINANDA

NRP. 043114410000036

DOSEN PEMBIMBING :

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

Dr. Ir. Wahyudi., M. Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018



**FINAL PROJECT (MO 141326)**

**EXPERIMENTAL STUDY INFLUENCE OF GAP BETWEEN PIPE  
WITH LAID AND IN-TRENCH CONDITION ON SCOURING DUE  
TO IRREGULAR WAVES**

**LUKMAN ADITYA DWINANDA**

**NRP. 043114410000036**

**SUPERVISORS :**

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

**Dr. Ir. Wahyudi., M. Sc.**

**OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT**

**FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY**

**SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY**

**SURABAYA**

**2018**

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH JARAK ANTAR PIPA KONDISI  
MELETAK DAN *IN-TRENCH* TERHADAP *SCOURING* AKIBAT  
GELOMBANG IREGULER**

**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 :

**LUKMAN ADITYA DWINANDA**

**NRP 0431144000036**

Disetujui Oleh :

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

2. Dr. Ir. Wahyudi, M. Sc. (Pembimbing II)

3. Drs. Mahmud Mustain, M. Sc., Ph. D. (Penguji I)

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

Surabaya, Juli 2018

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH JARAK ANTAR PIPA KONDISI  
MELETAK DAN *IN-TRENCH* TERHADAP *SCOURING* AKIBAT  
GELOMBANG IREGULER**

**Nama** : Lukman Aditya Dwinanda  
**NRP** : 043114410000036  
**Jurusan** : Teknik Kelautan  
**Dosen Pembimbing** : Suntoyo, S.T., M. Eng., Ph. D.  
Dr. Ir. Wahyudi., M. Sc.

**ABSTRAK**

Jaringan pipa harus didesain agar kuat terhadap gaya-gaya yang bekerja padanya sesuai dengan umur operasional tertentu. Salah satu permasalahan yang ada pada pipa bawah laut yaitu *seabed* nya yang mudah tererosi. Erosi yang terjadi terus menerus pada pipa akan menciptakan gap antara pipa dan *seabed* yang disebut lubang *scour*. *Scouring* pada pipa bawah laut merupakan tahap awal yang akan berujung pada kegagalan struktur. Maka dari itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik *scouring* akibat variasi jarak gap struktur, variasi gelombang dan posisi peletakan pada pipa bawah laut. Pipa yang dimodelkan menggunakan bahan PVC dengan diameter 1,5 in dan panjang 25 cm. Pipa yang diuji sebanyak 2 buah dengan dimensi yang sama. Gap yang diuji bernilai 40 cm , 60 cm dan 80 cm. Tinggi gelombang di variasikan sebesar 7 cm dan 5 cm. Pipa tersebut akan diuji di *flume tank* dengan lokasi perairan gelombang ireguler. Posisi pipa terhadap *seabed* di variasikan meletak ( $e/D=0$ ) dan *in-trench* ( $e/D=-0.1$ ). Pasir yang digunakan dalam penelitian memiliki nilai *specific gravity* ( $GS$ ) = 2,685 dan  $d_{50} = 0,55$  mm. Satu variasi dilakukan selama 25 menit dengan pencacatan perubahan profil *scouring* dilakukan tiap 5 menit sekali. Untuk mengetahui profil 2D *scouring* diolah menggunakan Microsoft Excel yang diplot dari AutoCAD. Nilai laju propagasi *scouring* didapatkan dari perhitungan empiris. Kedalaman *scouring* ( $S_m/D$ ) yang terjadi pada dua pipa berjarak 40 cm dengan kondisi meletak dan *in-trench* berkisar antara 0 - 0,23 dengan lebar ( $W_m/D$ ) berkisar antara 0 – 1,88. Pada pipa berjarak 60 cm dengan



kondisi meletak maupun *in-trench* memiliki kedalaman ( $S_m/D$ ) lebih besar dari jarak 40 cm yaitu sebesar 0 – 0,25 dengan lebar ( $W_m/D$ ) antara 0 – 1,93. Pada pipa berjarak 80 cm dengan kondisi meletak dan *in-trench* memiliki kedalaman ( $S_m/D$ ) lebih besar dari sebelumnya yaitu antara 0 – 0,29 dengan lebar ( $W_m/D$ ) berkisar antara 0 – 2,13. Besar nilai laju propagasi *scouring* pada pipa gap 40 cm sebesar 0,00027 – 0,00117, untuk pipa gap 60 cm sebesar 0,00032 – 0,00165 dan untuk pipa gap 80 cm sebesar 0,00034 – 0,00161. Berdasarkan hasil tersebut, kedalaman dan lebar *scouring* pada pipa depan maupun belakang semakin besar seiring dengan bertambahnya jarak antar pipa. Untuk grafik hubungan dengan parameter-parameter tak berdimensi, seperti *wave steepness* ( $H/gT^2$ ), bilangan KC, dan *burial depth to diameter ratio* ( $e/D$ ) dapat ditarik kesimpulan bahwa tinggi gelombang dan bilangan KC berbanding lurus dengan besar kedalaman dan lebar *scouring* yang terbentuk. Apabila  $e/D \leq 0$ , semakin besar nilai  $e/D$ , maka kedalaman dan lebar *scouring* yang terbentuk juga semakin besar. Dan sebaliknya apabila  $e/D \geq 0$ , semakin besar nilai  $e/D$ , maka kedalaman dan lebar *scouring* yang terbentuk semakin kecil.

**Kata kunci** : *scouring*, gelombang ireguler, gap pada pipa, meletak, *in-trench*, studi eksperimen

**EXPERIMENTAL STUDY INFLUENCE OF GAP BETWEEN PIPE  
WITH LAID AND IN-TRENCH CONDITION ON SCOURING DUE TO  
IRREGULAR WAVES**

**Name** : Lukman Aditya Dwinanda  
**NRP** : 043114410000036  
**Departement** : Teknik Kelautan  
**Supervisors** : Suntoyo, S.T., M. Eng., Ph. D.  
Dr. Ir. Wahyudi., M. Sc.

**ABSTRACT**

The pipelines should be designed to hold the forces acting on them according to their operating lifespan. One of the problems that exist in the submarine pipe is its seabed is easily eroded. Continuous erosion on the pipe will create a gap between the pipe and the seabed called the scour hole. Scouring on submarine pipelines is an early stage that will lead to structural failure. Therefore, this study was conducted to determine the characteristic of scouring due to variation of gap distance structure, wave height variation and laying position on subsea pipeline. Pipe is modeled using PVC material with diameter 1,5 inch and length 25 cm. Pipe tested using 2 pieces with the same dimensions. The tested gap has value 40 cm, 60 cm and 80 cm. The wave height varies by 7 cm and 5 cm. The pipe will be tested on the flume tank with irregular wave. The position of the pipe on seabed is varied ( $e/D = 0$ ) and in-trench ( $e/D = -0,1$ ). The sand used in the experimental has specific gravity ( $GS$ ) = 2,685 and  $d_{50} = 0,55$  mm. One variation is done for 25 minutes with scouring profile is noted every 5 minutes, to know the 2D scouring profile which that will be processed using Microsoft Excel which is plotted from AutoCAD. The value of the scouring propagation rate is obtained from the empirical calculations. The scouring depth ( $S_m/D$ ) occurring in two pipes is 40 cm with laid and in-trench conditions ranging from 0 to 0,23 with width ( $W_m/D$ ) ranging from 0 to 1,88. At 60 cm pipe with laying and in-trench conditions have depth ( $S_m/D$ ) greater than 40 cm gaps of 0 – 0,25 with width ( $W_m/D$ ) between 0 – 1,93. In the 80 cm pipe

with laying and in-trench conditions has a depth ( $S_m/D$ ) greater than before that is between 0 – 0,29 with width ( $W_m/D$ ) ranging from 0 – 2,13. The value of the scouring propagation rate on the 40 cm gap pipe is 0,00027 – 0,00117, for the 60 cm gap pipe at 0,00032 – 0,00165 and for the 80 cm gap pipe by 0,00034 – 0,00161. Based on these results, the depth and width of the scouring on the front and back pipes increases with the distance between the pipes. To graph relationships with non-dimensional parameters, such as wave steepness ( $H/gT^2$ ), KC number, and burial depth to diameter ratio ( $e/D$ ), it can be concluded that wave height and KC numbers are directly proportional to the depth and width of scouring which is formed. If  $e/D \leq 0$ , the greater the value of  $e/D$ , then the depth and width of scouring are also larger. And if  $e/D \geq 0$ , the bigger value of  $e/D$ , then the depth and width of scouring that formed smaller.

**Keywords : scouring, irregular waves, gap on pipe, laid, in-trench,**

**Exxperimental study**

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah, segala puji sukur bagi Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah memberikan karunia kesehatan dan kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul “**Studi Eksperimen Pengaruh Jarak Antar Pipa Kondisi Meletak dan *In-Trench* Terhadap *Scouring* Akibat Gelombang Ireguler**”.

Tugas akhir ini merupakan syarat untuk mencapai gelar sarjana Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Tugas Akhir ini membahas tentang masalah *scouring* akibat pengaruh gelombang ireguler dan posisi peletakan pipa.

Penulis sadar bahwa dalam pengerjaan dan penulisan tugas akhir ini memiliki kekurangan dan masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat membutuhkan kritik dan saran yang sangat membangun. Agar kedepannya tugas akhir ini dapat dikembangkan lebih baik lagi oleh peneliti selanjutnya.

Wassalamualaikum Wr. Wb

## UCAPAN TERIMA KASIH

Sehubungan dengan terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini, penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan serta bimbingan. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada beberapa pihak yang berperan penting yaitu :

1. Allah Subhanahu Wa Ta'alla atas nikmat karunia dan berkah nya, yang dengan kehendak-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan lancar.
2. Bapak Totok Adariantono dan Ibu Ratna Yuniarti selaku orang tua dari penulis, yang telah mengantarkan penulis ke pintu perkuliahan. Serta mengorbankan segala waktu, tenaga dan pikiran untuk memotivasi penulis agar semangat belajar.
3. Bapak Suntoyo S.T., M. Eng., Ph.D selaku dosen pembimbing 1 yang selalu memberikan masukan dan arahan dalam pengerjaan tugas akhir ini dengan penuh kesabaran, sampai penulis mampu menyelesaikan tugas akhir.
4. Bapak Dr. Ir. Wahyudi., M.Sc. selaku dosen pembimbing II yang selama masa pengerjaan tugas akhir ini selalu memberi masukan agar hasil tugas akhir ini lebih baik.
5. Bapak Drs.. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D., selaku kepala Laboratorium *Flume Tank* yang telah mengizinkan penulis melakukan eksperimen menggunakan kolam *flume*.
6. Bapak Arif selaku teknisi dan operator Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut yang telah membantu kelancara eksperimen yang dilakukan penulis.
7. Dwi Fakhri Chusaini, Bima Setyo Prabowo, Dicky Damara selaku tim eksperimen *scouring* yang memberikan dorongan agar penulis selalu semangat untuk menyelesaikan tugas akhir.
8. Teman-teman “Maelstrom” angkatan 2014, yang menjadi teman masa-masa perkuliahan.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	i
<b>COVER PAGE</b>	ii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	iii
<b>ABSTRAK</b>	iv
<b>ABSTRACT</b>	vi
<b>KATA PENGANTAR</b>	viii
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b>	ix
<b>DAFTAR ISI</b>	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	xii
<b>DAFTAR TABEL</b>	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI</b>	6
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.2 Dasar Teori	9
2.2.1 Pengertian <i>Scouring</i>	9
2.2.2 <i>Onset of Piping and Scouring</i>	10
2.2.3 Aliran Melalui Saluran Terbuka ( <i>Open Channel Flow</i> )	11
2.2.4 Gelombang Ireguler	13
2.2.5 Kedalaman <i>Scouring</i> gelombang <i>irregular</i>	15
2.2.6 Lebar <i>Scouring</i>	16
2.2.7 Laju Propagasi <i>Scouring</i>	17
2.2.8 Pengaruh Posisi Pipa	18
2.2.9 Studi Model	19
2.2.8 Parameter Tak Berdimensi	21



<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>22</b>
3.1 Diagram Alir ( <i>Flow Chart</i> )	22
3.2 Penjelasan Diagram Alir	23
<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN</b>	<b>30</b>
4.1 Analisa Data	30
4.1.1 Data Tanah	30
4.1.2 Data Gelombang	32
4.2 Hasil Pengukuran Kedalaman dan Lebar <i>Scouring</i>	36
4.2.1 Hasil Eksperimen <i>Scouring</i> untuk Dua Pipa yang Berjarak 40 cm	37
4.2.2 Hasil Eksperimen <i>Scouring</i> untuk Dua Pipa yang Berjarak 60 cm	48
4.2.3 Hasil Eksperimen <i>Scouring</i> untuk Dua Pipa yang Berjarak 80 cm	60
4.2.4 Perbandingan Lebar dan Kedalaman <i>Scouring</i>	72
4.3 Hasil Perhitungan Laju Propagasi <i>Scouring</i>	75
4.4 Validasi Hasil Eksperimen dengan Rumus Empiris	76
4.5 Analisa Hubungan <i>Scouring</i> dengan Parameter Tak Berdimensi	78
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>85</b>
5.1 Kesimpulan	85
5.2 Saran	86
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>87</b>
<b>LAMPIRAN A</b>	<b>90</b>
<b>HASIL PENGOLAHAN GELOMBANG DENGAN WAVAN</b>	<b>90</b>
<b>LAMPIRAN B</b>	<b>114</b>
<b>FOTO HASIL PENGAMATAN <i>SCOURING</i> TIAP 5 MENIT</b>	<b>114</b>
<b>LAMPIRAN C</b>	<b>138</b>
<b>DATA HUBUNGAN <i>SCOURING</i> DENGAN PARAMETER TAK BERDIMENSI</b>	<b>138</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Siklus pembengkokan pada pipa akibat <i>scouring</i> . Terbenamnya bagian ujung pipa (A-A) dan <i>backfilling</i> pada lubang <i>scour</i> (B-B). (Sumer and Fredsoe, 2002)	7
Gambar 2.2. <i>Vortex</i> di Sekitar Pipa Terbenam Karena Pengaruh Arus (Sumer and Fredsoe, 2002)	11
Gambar 2.3 Skema Klasifikasi Aliran Air Pada Saluran Terbuka (Chow, 1996)	12
Gambar 2.4 Gelombang ireguler terhadap(a) waktu dan (b) tempat (Bhattacharyya, 1972)	14
Gambar 2.5 Pengaruh Lebar Gerusan Terhadap Nilai KC (Sumer and Fredsoe, 2002)	16
Gambar 2.6 Profil 2D Lubang <i>Scour</i> (Zhao, 2015)	18
Gambar 3.2 Sketsa Pengujian	27
Gambar 3.3 Ilustrasi penempatan posisi <i>gap</i> antar pipa untuk tampak samping	28
Gambar 4.1 Grafik analisa hasil pengujian pembagian butir tanah	32
Gambar 4.2 Input Kalibrasi Wave Probe pada Wave Tide Meter Software	33
Gambar 4.3 Pencatatan Gelombang	34
Gambar 4.4 Hasil perhitungan WAVAN	35
Gambar 4.5 Kondisi $t = 0$ menit eksperimen <i>scouring</i> pada dua pipa berjarak 40 cm kondisi meletak dengan $H_{avg} = 4,76$ cm dan $T_{avg} = 0,97$ s.	37
Gambar 4.6 Kondisi $t = 15$ menit eksperimen <i>scouring</i> pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) yang berjarak 40 cm kondisi meletak dengan $H_{avg} = 4,76$ cm dan $T_{avg} = 0,97$ s	38
Gambar 4.7 Kondisi $t = 25$ menit eksperimen <i>scouring</i> pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) yang berjarak 40 cm kondisi meletak dengan $H_{avg} = 4,76$ cm dan $T_{avg} = 0,97$ s	38
Gambar 4.8 Profil Laju Propagasi Pipa Kondisi Meletak <i>gap</i> 40 cm Hi 5 cm (a) Pipa Belakang (b) Pipa Depan (c) Pipa Depan dan Belakang	40
Gambar 4.9 Kondisi $t = 0$ menit eksperimen <i>scouring</i> pada dua pipa berjarak 40 cm kondisi <i>in-trench</i> dengan $H_{avg} = 5,08$ cm dan $T_{avg} = 0,96$ s	40
Gambar 4.10 Kondisi $t = 15$ menit eksperimen <i>scouring</i> pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) yang berjarak 40 cm kondisi <i>in-trench</i> dengan $H_{avg} = 5,08$ cm dan $T_{avg} = 0,96$ s	41
Gambar 4.11 Kondisi $t = 25$ menit eksperimen <i>scouring</i> pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) yang berjarak 40 cm kondisi <i>in-trench</i> dengan $H_{avg} = 5,08$ cm dan $T_{avg} = 0,96$ s	41
Gambar 4.12 Profil Laju Propagasi Pipa Kondisi <i>In-Trench</i> <i>gap</i> 40 cm Hi 5 cm (a) Pipa Belakang (b) Pipa Depan (c) Pipa Depan dan Belakang	42

- Gambar 4.13 Kondisi  $t = 0$  menit eksperimen *scouring* pada dua pipa berjarak 40 cm kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 8,15$  cm dan  $T_{avg} = 1,03$  s \_\_\_\_\_ 43
- Gambar 4.14 Kondisi  $t = 15$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) yang berjarak 40 cm kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 8,15$  cm dan  $T_{avg} = 1,03$  s \_\_\_\_\_ 43
- Gambar 4.15 Kondisi  $t = 25$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) yang berjarak 40 cm kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 8,15$  cm dan  $T_{avg} = 1,03$  s \_\_\_\_\_ 44
- Gambar 4.16 Profil Laju Propagasi Pipa Kondisi Meletak gap 40 cm  $H_i$  7 cm (a) Pipa Belakang (b) Pipa Depan (c) Pipa Depan dan Belakang \_\_\_\_\_ 45
- Gambar 4.17 Kondisi  $t = 0$  menit eksperimen *scouring* pada dua pipa berjarak 40 cm kondisi *in-trench* dengan  $H_{avg} = 7,29$  cm dan  $T_{avg} = 0,99$  s \_\_\_\_\_ 46
- Gambar 4.18 Kondisi  $t = 15$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) yang berjarak 40 cm kondisi *in-trench* dengan  $H_{avg} = 7,29$  cm dan  $T_{avg} = 0,99$  s \_\_\_\_\_ 46
- Gambar 4.19 Kondisi  $t = 25$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) yang berjarak 40 cm kondisi *in-trench* dengan  $H_{avg} = 7,29$  cm dan  $T_{avg} = 0,99$  s \_\_\_\_\_ 47
- Gambar 4.20 Profil Laju Propagasi Pipa Kondisi *In-Trench* gap 40 cm  $H_i$  7 cm (a) Pipa Belakang (b) Pipa Depan (c) Pipa Depan dan Belakang \_\_\_\_\_ 48
- Gambar 4.21 Kondisi  $t = 0$  menit eksperimen *scouring* pada dua pipa berjarak 60 cm kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 6,06$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s \_\_\_\_\_ 49
- Gambar 4.22 Kondisi  $t = 15$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) berjarak 60 cm kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 6,06$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s \_\_\_\_\_ 49
- Gambar 4.23 Kondisi  $t = 25$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) berjarak 60 cm kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 6,06$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s \_\_\_\_\_ 50
- Gambar 4.24 Profil Laju Propagasi Pipa Kondisi Meletak gap 60 cm  $H_i$  5 cm (a) Pipa Belakang (b) Pipa Depan (c) Pipa Depan dan Belakang \_\_\_\_\_ 51
- Gambar 4.25 Kondisi  $t = 0$  menit eksperimen *scouring* pada dua pipa berjarak 60 cm kondisi *in-trench* 4 mm dengan  $H_{avg} = 5,14$  cm dan  $T_{avg} = 0,94$  s \_\_\_\_\_ 52
- Gambar 4.26 Kondisi  $t = 15$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) berjarak 60 cm kondisi *in-trench* dengan  $H_{avg} = 5,14$  cm dan  $T_{avg} = 0,94$  s \_\_\_\_\_ 52
- Gambar 4.27 Kondisi  $t = 25$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) berjarak 60 cm kondisi *in-trench* dengan  $H_{avg} = 5,14$  cm dan  $T_{avg} = 0,94$  s \_\_\_\_\_ 53

Gambar 4.28 Profil Laju Propagasi Pipa Kondisi <i>In-Trench</i> gap 60 cm Hi 5 cm (a) Pipa Belakang (b) Pipa Depan (c) Pipa Depan dan Belakang _____	54
Gambar 4.29 Kondisi $t = 0$ menit eksperimen <i>scouring</i> pada dua pipa berjarak 60 cm kondisi meletak dengan $H_{avg} = 8,10$ cm dan $T_{avg} = 1$ s _____	55
Gambar 4.30 Kondisi $t = 15$ menit eksperimen <i>scouring</i> pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) berjarak 60 cm kondisi meletak dengan $H_{avg} = 8,10$ cm dan $T_{avg} = 1$ s _____	55
Gambar 4.31 Kondisi $t = 25$ menit eksperimen <i>scouring</i> pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) berjarak 60 cm kondisi meletak dengan $H_{avg} = 8,10$ cm dan $T_{avg} = 1$ s _____	56
Gambar 4.32 Profil Laju Propagasi Pipa Kondisi Meletak gap 60 cm Hi 7 cm (a) Pipa Belakang (b) Pipa Depan (c) Pipa Depan dan Belakang _____	57
Gambar 4.33 Kondisi $t = 0$ menit eksperimen <i>scouring</i> pada dua pipa berjarak 60 cm kondisi <i>in-trench</i> 4 mm dengan $H_{avg} = 8,23$ cm dan $T_{avg} = 1$ s. _____	58
Gambar 4.34 Kondisi $t = 15$ menit eksperimen <i>scouring</i> pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) berjarak 60 cm kondisi <i>in-trench</i> dengan $H_{avg} = 8,23$ cm dan $T_{avg} = 1$ s _____	58
Gambar 4.35 Kondisi $t = 25$ menit eksperimen <i>scouring</i> pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) berjarak 60 cm kondisi <i>in-trench</i> dengan $H_{avg} = 8,23$ cm dan $T_{avg} = 1$ s. _____	59
Gambar 4.36 Profil Laju Propagasi Pipa Kondisi <i>In-Trench</i> gap 60 cm Hi 7 cm (a) Pipa Belakang (b) Pipa Depan (c) Pipa Depan dan Belakang _____	60
Gambar 4.37 Kondisi $t = 0$ menit eksperimen <i>scouring</i> pada dua pipa berjarak 80 cm kondisi meletak, dengan $H_{avg} = 5,29$ cm dan $T_{avg} = 0,97$ s _____	61
Gambar 4.38 Kondisi $t = 15$ menit eksperimen <i>scouring</i> pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) berjarak 80 cm kondisi meletak, dengan $H_{avg} = 5,29$ cm dan $T_{avg} = 0,97$ s _____	61
Gambar 4.39 Kondisi $t = 25$ menit eksperimen <i>scouring</i> pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) berjarak 80 cm kondisi meletak, dengan $H_{avg} = 5,29$ cm dan $T_{avg} = 0,97$ s _____	62
Gambar 4.39 Profil Laju Propagasi Pipa Kondisi Meletak gap 80 cm Hi 5 cm (a) Pipa Belakang (b) Pipa Depan (c) Pipa Depan dan Belakang _____	63
Gambar 4.40 Kondisi $t = 0$ menit eksperimen <i>scouring</i> pada dua pipa berjarak 80 cm kondisi <i>in-trench</i> 4 mm dengan $H_{avg} = 5,15$ cm dan $T_{avg} = 0,97$ s _____	64
Gambar 4.41 Kondisi $t = 15$ menit eksperimen <i>scouring</i> pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) berjarak 80 cm kondisi <i>in-trench</i> 4 mm dengan $H_{avg} = 5,15$ cm dan $T_{avg} = 0,97$ s _____	64

- Gambar 4.42 Kondisi  $t = 25$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) berjarak 80 cm kondisi *in-trench* 4 mm, dengan  $H_{avg} = 5,15$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s \_\_\_\_\_ 65
- Gambar 4.44 Kondisi  $t = 0$  menit eksperimen *scouring* pada dua pipa berjarak 80 cm kondisi meletak, dengan  $H_{avg} = 8$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s \_\_\_\_\_ 67
- Gambar 4.45 Kondisi  $t = 15$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) berjarak 80 cm kondisi meletak, dengan  $H_{avg} = 8$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s \_\_\_\_\_ 67
- Gambar 4.46 Kondisi  $t = 25$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) berjarak 80 cm kondisi meletak, dengan  $H_{avg} = 8$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s \_\_\_\_\_ 68
- Gambar 4.47 Profil Laju Propagasi Pipa Kondisi Meletak gap 80 cm  $H_i$  7 cm (a) Pipa Belakang (b) Pipa Depan (c) Pipa Depan dan Belakang \_\_\_\_\_ 69
- Gambar 4.48 Kondisi  $t = 0$  menit eksperimen *scouring* pada dua pipa berjarak 80 cm kondisi *in-trench* 4 mm dengan  $H_{avg} = 8,16$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s \_\_\_\_\_ 70
- Gambar 4.49 Kondisi  $t = 15$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) berjarak 80 cm kondisi *in-trench* 4 mm dengan  $H_{avg} = 8,16$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s \_\_\_\_\_ 70
- Gambar 4.50 Profil Laju Propagasi Pipa Kondisi *In-Trench* gap 80 cm  $H_i$  5 cm (a) Pipa Belakang (b) Pipa Depan (c) Pipa Depan dan Belakang \_\_\_\_\_ 71
- Gambar 4.51 Grafik Hubungan antara jarak antar pipa (gap) dengan (a) kedalaman *scouring* (b) lebar *scouring* \_\_\_\_\_ 74
- Gambar 4.52 Grafik Hubungan *Wave Stepness Parameter* ( $H/gT^2$ ) dengan *non dimensional scour depth* ( $S_m/D$ ) (a) saat  $e/D = -0$  (b) saat  $e/D = -0.1$  \_\_ 79
- Gambar 4.53 Grafik Hubungan *Wave Stepness Parameter* ( $H/gT^2$ ) dengan *non dimensional scour width* ( $W_m/D$ ) (a) saat  $e/D = -0$  (b) saat  $e/D = -0.1$  \_ 80
- Gambar 4.54 Grafik Hubungan *Keulegan-Carpenter* (KC) dengan *non dimensional scour depth* ( $S_m/D$ ) (a) saat  $e/D = -0$  (b) saat  $e/D = -0.1$  \_\_\_\_\_ 81
- Gambar 4.56 Grafik Hubungan *Keulegan-Carpenter* (KC) dengan *non dimensional scour widht* ( $W_m/D$ ) (a) saat  $e/D = -0$  (b) saat  $e/D = -0.1$  \_\_\_\_\_ 82
- Gambar 4.57 Grafik Hubungan *burial depth-ratio parameter* ( $e/D$ ) dengan *non dimensional scour depth* ( $S_m/D$ ) (a) saat  $H_i = 5$  cm (b) saat  $H_i = 7$  cm \_ 83
- Gambar 4.58 Grafik Hubungan *burial depth-ratio parameter* ( $e/D$ ) dengan *non dimensional scour widht* ( $W_m/D$ ) (a) saat  $H_{avg} = 5$  cm (b) saat  $H_{avg} = 8$  cm \_\_\_\_\_ 84

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Klasifikasi Eksperimen _____	28
Tabel 4.1 Hasil uji <i>specific gravity</i> _____	31
Tabel 4.2 Hasil analisa pengujian pembagian butir tanah _____	31
Tabel 4.3 Hasil Kalibrasi _____	33
Tabel 4.4 Hasil pengolahan data gelombang menggunakan WAVAN _____	36
Tabel 4.5 Grafik Perbandingan Kedalaman dan Lebar <i>Scouring</i> dengan $H_{avg} = 5\text{cm}$	72
Tabel 4.6 Grafik Perbandingan Kedalaman dan Lebar <i>Scouring</i> dengan $H_{avg} = 8\text{cm}$	73
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Laju Propagasi <i>Scouring</i> _____	75
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan <i>Wave Number</i> di Semua Variasi _____	76
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Bilangan KC di Semua Variasi _____	77
Tabel 4.10 Validasi Kedalaman <i>Scouring</i> Hasil Eksperimen dengan Rumus Empiris	78
Tabel 4.11 Validasi Lebar <i>Scouring</i> Hasil Eksperimen dengan Rumus Empiris _____	78



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Meningkatnya ketergantungan manusia terhadap produk-produk migas menuntut sektor industri minyak dan gas bumi untuk mengembangkan fasilitas pemrosesan migas yang lebih efisien. Penggunaan pipa bawah laut dijadikan alternatif transportasi fluida yang efisien untuk mendistribusikan hasil produksi *crude oil* maupun gas. Pipa bawah laut menjadi hal yang penting dalam proses produksi minyak dan gas bumi, sehingga dalam pemasangan maupun perawatannya harus direncanakan dengan baik. Mahalnya konstruksi pipa bawah laut menjadi hal yang diperhitungkan. Oleh karena itu, konstruksi pipa bawah laut harus didesain dan dianalisis dengan baik agar konstruksi tersebut dapat diinstal dan beroperasi dengan baik sesuai dengan tujuannya.

Pipa ditempatkan pada perairan yang lebih dalam seiring dengan jauhnya jarak pipa terbentang. Adanya pipa di dasar laut menyebabkan pola aliran fluida terganggu dan kecepatan fluida berubah. Kegagalan pipa biasanya terjadi pada kondisi badai, dimana gelombang laut yang tinggi akan meningkatkan kecepatan arus. Karena gaya drag dan gaya inersia semakin besar, maka akan terjadi *scouring* yang bisa menyebabkan pipa mengalami kegagalan (Westerhorstmann, 1998).

Pokok bahasan kali ini, akan membahas tentang *scouring* pada pipa, khususnya pada tanah yang berpasir. Perkiraan laju *scouring* diperlukan dalam mendesain jaringan pipa dan untuk melindungi pipa dari *scouring*. Proses *scouring* pada pipa yang tergeletak di *seabed* sangat rumit karena proses yang terjadi melibatkan tiga aksi dari gelombang/arus, *seabed* dan pipa (Kiziloz et al, 2014).

*Scouring* terjadi dalam tiga tahapan: awal terjadinya gerusan dimulai dengan aliran rembesan (*seepage flow*) pada pasir di bawah pipa. Pada tahap selanjutnya dinamakan dengan *tunnel erosion*. Selama tahap ini, sejumlah air akan melewati *gap* dengan kecepatan aliran yang akan menyebabkan terjadinya gaya geser yang besar pada *seabed* yang melewati pipa. Semakin meningkatnya gaya geser pada

*seabed* akan meningkat juga kapasitas transport sedimen, pada tahap ini dinamakan *lee-wake erosion* (Sumer dan Fredsoe, 2002).

Penggerusan pada *seabed* dimana pipa tergeletak dapat menyebabkan terjadinya *free span* (bentang bebas). Dengan adanya *free span* ini, maka pipa akan memiliki bentangan bebas (*gap*) terhadap *seabed* dari *bottom of pipe* (BOP). Gaya hidrodinamika yang melewati atau menumbuk daerah *free span* pipa dapat menyebabkan pipa bervibrasi akibat fenomena *Vortex Induced Vibration* (VIV) (Mousselli, 1988). Vibrasi pada pipa menjadi masalah yang paling ditakuti bagi operator jaringan pipa karena berisiko tinggi menyebabkan kegagalan pada sistem jaringan pipa. Kegagalan yang terjadi disebabkan oleh vibrasi yang menyebabkan pipa mengalami kelelahan atau *fatigue*.

Studi tentang *scouring* menjadi sangat penting di bidang *engineering* dan *scientific*, oleh karena itu banyak riset yang membahas tentang *scouring*. Beberapa eksperimen tentang *scouring* pada *submarine pipeline* sebelumnya juga pernah dilakukan di *flume tank* Jurusan Teknik Kelautan ITS, salah satunya oleh (Novia, 2016) yang melakukan eksperimen *scouring* pada pipa akibat gelombang reguler dengan variasi kondisi pipa meletak dan *in-trench*. Dari eksperimen tersebut, didapatkan kesimpulan bahwa semakin tinggi gelombang, maka semakin besar kedalaman dan lebar *scouring* yang terjadi. Ramadhan (2016) melakukan eksperimen yang serupa dengan perbedaan gelombang yang digunakan yaitu gelombang ireguler. Kesimpulan yang didapat juga sama, yaitu semakin tinggi gelombang, maka semakin besar kedalaman dan lebar *scouring* yang terjadi. Wirayuhanto (2017) juga melakukan eksperimen tentang karakteristik *scouring* di sekitar *artificial reef* bentuk heksagonal. Dari eksperimen ini diketahui nilai kedalaman *scouring* maksimum dan juga pengaruh *gap* penempatan struktur terhadap karakteristik *scouring*. Penelitian yang lain pernah dilakukan oleh Suntoyo dkk. (2016) yang mengembangkan model tegangan geser dasar, yaitu laju sedimen dasar dan aplikasinya ke perubahan morfologi. Penelitiannya menunjukkan hasil yang lebih akurat dibandingkan dengan data pengukuran di *flume tank* Jurusan Teknik Kelautan ITS.

Dari permasalahan tersebut, Tugas Akhir ini akan membahas tentang studi eksperimen pengaruh jarak pipa kondisi meletak dan *in-trench* terhadap *scouring*

akibat gelombang ireguler. Obyek yang akan diuji menggunakan pipa berbahan PVC dengan diameter 1,5 inch. Pipa tersebut akan ditinjau pada lokasi dengan perairan gelombang ireguler. Eksperimen ini akan dilakukan di *flume tank* Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut Jurusan Teknik Kelautan ITS.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh jarak antar pipa terhadap hasil kedalaman dan lebar *scouring* akibat gelombang ireguler pada dua pipa dengan kondisi meletak maupun *in-trench*
2. Bagaimana laju propagasi *scouring* akibat gelombang ireguler pada dua pipa dengan kondisi meletak maupun *in-trench*?
3. Bagaimana hubungan kedalaman dan lebar *scouring* terhadap jarak antar dua pipa dengan parameter-parameter tak berdimensi, yaitu *wave steepness* ( $H/gT^2$ ), *KC number*, *burial depth to diameter ratio* ( $e/D$ ), dan *shield parameter* ( $\theta$ )

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian dalam tugas akhir ini adalah:

1. Mendapatkan pengaruh jarak antar pipa pada kedalaman dan lebar *scouring* akibat gelombang ireguler pada dua pipa dengan kondisi meletak maupun *in-trench*.
2. Mengetahui laju propagasi *scouring* akibat gelombang ireguler pada dua pipa dengan kondisi meletak maupun *in-trench*.
3. Mengetahui hubungan antara kedalaman dan lebar *scouring* terhadap jarak antar dua pipa dengan parameter tak berdimensi, yaitu *wave steepness* ( $H/gT^2$ ), *KC number*, *burial depth to diameter ratio* ( $e/D$ ) dan *shield parameter* ( $\theta$ ).

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan dari pengujian tugas akhir ini antara lain adalah :

1. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan pendalaman pengetahuan bagi penulis mengenai *scouring* di sekitar struktur pipa.
2. Hasil dari penelitian diharapkan memberikan manfaat dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terutama pada bidang studi hidrolika yang berkaitan dengan konsep *scouring* pada struktur pipa.
3. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagian bahan referensi dan sumber informasi untuk melakukan penelitian lebih lanjut atau melakukan pengembangan dengan meneliti aspek yang berbeda.

#### 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah diberikan dalam studi eksperimen tugas akhir ini agar pembahasan tidak melebar dari topik yang dibahas. Berikut adalah batasan masalah pada penelitian tugas akhir ini :

1. Tidak ada pelindung pada pipa.
2. Kemiringan *seabed* diabaikan.
3. Gelombang yang dimodelkan adalah gelombang ireguler.
4. Tinggi gelombang dan periode gelombang ditentukan.
5. Kedalaman perairan disesuaikan dengan kapasitas laboratorium.
6. Analisa *scouring* yang dilakukan merupakan analisa dua dimensi.
7. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen.
8. Ukuran diameter pipa yang akan ditinjau adalah 16 inch.
9. Jenis, berat, dan tebal pipa pada eksperimen diabaikan.
10. Nilai  $e/D$  yang divariasikan lebih kecil atau sama dengan 0.

#### 1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dalam tugas akhir ini adalah:

##### BAB I. PENDAHULUAN

Pada bagian ini penulis menjelaskan mengenai latar belakang permasalahan dari penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai

dalam percobaan, manfaat penelitian kedepannya setelah percobaan ini berhasil dilakukan, batasan masalah yang menjadi pembatas dalam melakukan penelitian, dan sistematika penulisan tugas akhir.

## BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Pada bagian ini penulis menjelaskan beberapa teori dasar yang mendukung dengan percobaan penelitian pada tugas akhir ini.

## BAB III. METODOLOGI PENULISAN

Pada bagian ini penulis menggambarkan dan menjelaskan diagram alir (*flow chart*) langkah-langkah dalam melakukan penelitian tugas akhir ini yang tersusun secara sistematis.

## BAB IV. ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini menjelaskan hasil uji coba model fisik yang telah dilakukan di Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut pada kolam gelombang (*flume tank*) Jurusan Teknik Kelautan ITS.

## BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bagian ini penulis menarik kesimpulan berdasarkan tujuan yang hendak dicapai pada tugas akhir ini, serta memberikan saran pengembangan untuk penelitian selanjutnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Eksplorasi minyak dan gas lepas pantai mengalami perkembangan yang signifikan, baik dari jaraknya yang semakin jauh dari pantai (*shore*) atau lokasi tempat eksplorasi yang semakin dalam di laut. Dari lokasi eksplorasi ke daratan digunakan dua fasilitas untuk transportasi minyak dan gas, yaitu:

- Transportasi menggunakan kapal
- Transportasi menggunakan pipa

Pipa bawah laut merupakan suatu teknologi transportasi yang digunakan untuk mengangkut produk hidrokarbon seperti minyak mentah, gas alam bertekanan tinggi, dan kondensat yang relative rendah. Fluida yang dibawa pipa bawah laut dalam jumlah besar dan jarak yang jauh dilewatkan melalui jalur laut atau lepas pantai. Pipa bawah laut dapat bekerja 24 jam sehari, 265 hari dalam setahun selama umur pipa bisa mencapai 30 tahun atau bahkan lebih (Soegiono, 2007)

Industri minyak dan gas telah membuktikan bahwa penggunaan pipa bawah laut merupakan cara yang paling ekonomis untuk memindahkan fluida dalam skala besar. Hal tersebut dikarenakan operasi penyaluran fluida dengan pipa bawah laut bersifat kontinu dan handal. Namun, jika pipa bawah laut mengalami kegagalan akan menimbulkan kerugian ekonomi dan lingkungan yang sangat besar. Salah satu penyebab kegagalan tersebut adalah *scouring* akibat pengaruh dari kecepatan arus dan kecepatan orbital gelombang.

*Scouring* pada struktur lepas pantai yang berdiri tegak dapat mengakibatkan struktur tersebut mengalami *subsidence* sehingga *gap* antara dek dengan gelombang tertinggi yang didesain menjadi berkurang, sedangkan jika terjadi pada struktur yang terdapat pada permukaan dasar laut seperti jaringan pipa

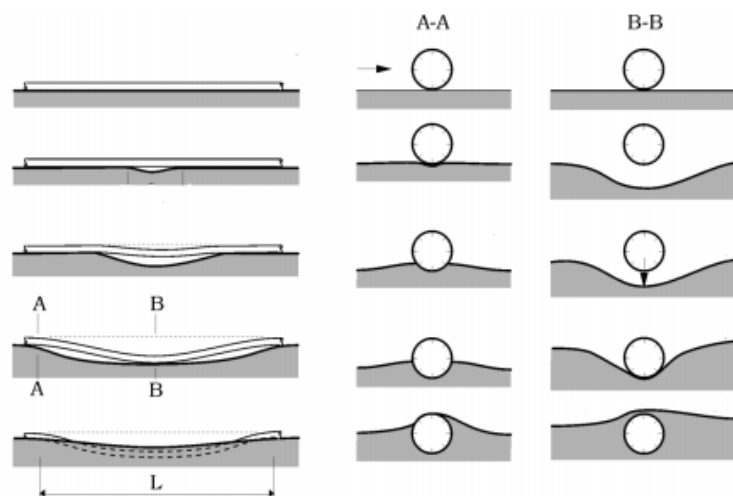


bawah laut dapat mengakibatkan *freespan*. *Freespan* dapat terjadi ketika kontak antara pipa dengan *seabed* hilang dan memiliki jarak pada permukaan *seabed* (Guo, 2005). *Free span* pada pipa dapat terjadi karena :

- Permukaan seabed yang tidak merata
- Perubahan kontur dasar laut akibat *scouring*
- Support buatan

*Freespan* ini nantinya akan mengakibatkan defleksi pada jaringan pipa, sehingga rentan mengalami kelelahan dan kepecahan. Selain itu akibat dari *freespan* ialah pipa akan mengalami tambahan beban yaitu beban hidrodinamis ke arah bawah dan setiap benda termasuk jaringan pipa memiliki gaya pengembali, kejadian ini akan terus menerus dan mengakibatkan *vortex* yang tidak baik untuk jaringan pipa tersebut

Lubang *scour* disekitar pipa jika dibiarkan terus menerus dapat menyebabkan *backfilling* pada pipa. Alasan terjadinya *backfilling* karena pipa akan masuk kedalam lubang *scour*, dikarenakan *gap* dibawah pipa sudah tidak ada. Pola aliran yang melewati pipa akan berubah karena fluida harus melewati bagian atas pipa, dan dari sini lah *backfilling* terjadi (Gambar. 2.1). Fenomena ini telah di observasi oleh Sumer dan Fredsoe (2002) melalui sebuah eksperimen.



Gambar 2.1. Siklus pembengkokan pada pipa akibat *scouring*. Terbenamnya bagian ujung pipa (A-A) dan *backfilling* pada lubang *scour* (B-B). (Sumer and Fredsoe, 2002)

Dikarenakan *scouring* pada pipa merupakan masalah yang serius, maka penelitian tentang fenomena ini telah banyak dibahas. Ramadhan (2016) melakukan penelitian tentang karakteristik *scouring* pada pipa bawah laut pada kondisi meletak dan *in-trench*. Hasil dari penelitian yang dilakukannya menghasilkan kedalaman, lebar dan laju propagasi *scouring* di masing masing kondisi peletakan.

Widiatma (2015) membuat jurnal terkait stabilitas pipa bawah laut terhadap *scouring*. Dalam jurnalnya di analisa tentang pengaruh *scouring* dan *free span* yang terjadi dengan 3 lokasi yang dianalisa, *deep water*, *intermediate water* dan *shallow water*. Kesimpulan Zona *shallow water* memiliki nilai kedalaman dan lebar *scouring* paling besar. Sedang zona *deep water* memiliki panjang *free span* maksimum paling tinggi. Hal ini karena dipengaruhi oleh kecepatan efektif yang berbeda-beda pada tiap lokasi.

Nugroho (2011) menganalisa tentang pengaruh *scouring* terhadap variasi sifat tanah. Jenis struktur yang dilakukan penelitian adalah *offshore pipeline* milik Kodeco Energy Co Ltd jalur Poleng-Gresik. Dari analisa yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin kecil diameter butiran tanah, maka semakin mudah terjadi *scouring*.

Westerhorstmann (1998) pernah melakukan eksperimental tentang *scouring* untuk membuktikan adanya hubungan antara *pipe spacing* terhadap penggerusan pipa bawah laut di laboratorium. Percobaan tersebut menggunakan satu atau lebih pipa yang dipasang pada posisi tertentu dan mempunyai jarak di antaranya. Hasil menunjukkan bahwa adanya hubungan antara jarak kedua pipa dengan kedalaman *scouring* yang dihasilkan. Dua pipa dengan kondisi jarak yang kecil akan menyebabkan *scouring* yang lebih sedikit, begitu pula sebaliknya.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Pengertian *Scouring*

Menurut (Kinsman, 1965) dalam (Budiarti, 2012), *Scouring* merupakan fenomena pergerakan dari butiran sedimen yang ada di dasar laut yang disebabkan oleh arus, gelombang atau kombinasi keduanya, dimana prosesnya sama dengan erosi. Peristiwa tersebut dapat terjadi pada material tanah, lumpur maupun endapan, namun dapat juga terjadi pada dasar laut berbatu/berkarang dengan kondisi tertentu.

*Scouring* akan menyebabkan penurunan kapasitas tahanan pasif tanah terhadap gaya lateral dan momen. Gerusan yang terjadi dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. Gerusan Global, yaitu tipe gerusan yang terjadi pada keseluruhan lokasi struktur.
2. Gerusan Lokal, yaitu tipe gerusan yang pada umumnya terjadi di sekitar atau elemen struktur. Ada dua macam tipe gerusan lokal yang umum diketahui, yaitu:

- a. *Clear Water Scouring*

Terjadi jika tegangan geser yang terjadi lebih besar daripada tegangan geser kritis. Pergerakan sedimen hanya terjadi pada sekitar struktur. Ada dua macam :

- Untuk  $\left(\frac{U}{U_{cr}}\right) \leq 0,5$

Gerusan lokal tidak terjadi dan proses transportasi sedimen tidak terjadi.

- Untuk  $0,5 \leq \left(\frac{U}{U_{cr}}\right) \leq 1,0$

Gerusan lokal terjadi menerus dan proses transportasi sedimen tidak terjadi.

- b. *Live Bed Scouring*

Jenis *scouring* ini terjadi pada kondisi dimana material atau sedimen yang berada di dasar laut ikut tersangkut oleh aliran air.

Pada kondisi ini berlaku jika  $\left(\frac{U}{U_{cr}}\right) > 1,0$

Dimana  $U$  : kecepatan aliran rata-rata (m/detik)

$U_{cr}$  : kecepatan aliran kritis (m/detik)

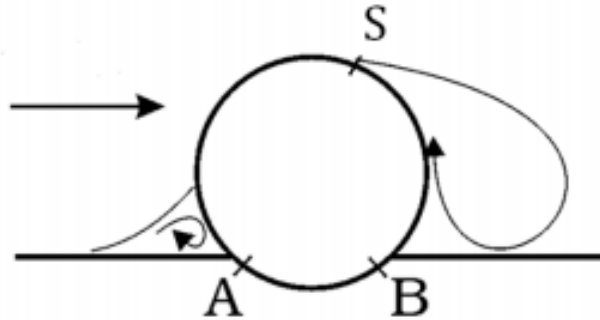
Dengan mengacu pada kondisi batas di atas, dapat disimpulkan bahwa kecepatan aliran berbanding terbalik dengan kedalaman gerusan yang terjadi. Semakin tinggi kecepatan aliran, kedalaman gerusan akan semakin rendah

### 2.2.2 Onset of Piping and Scouring

Mekanisme untuk menentukan karakter *scour* dibawah pipa dibagi macam, yaitu secara 2D atau 3D. Dalam kasus 2D, aliran tetap (*steady flow*) menabrak pipa secara tegak lurus, dan dengan asumsi di sepanjang pipa memiliki kondisi yang sama. Umumnya, pipa diasumsikan memiliki penampang melintang diameter  $D$ , dan sedimen pada *seabed* diasumsikan bersifat non kohesif.

Ketika pipa ditempatkan di atas *seabed*, pada umumnya akan ada *local erosion* di bawah pipa yang disebabkan oleh penghambatan aliran di sekitar pipa, yang menyebabkan peningkatan kapasitas transportasi sedimen di bawah pipa. Scouring hanya menciptakan *gap* yang kecil, umumnya kurang dari setengah dari diameter pipa.

Ketika pipa diletakkan terbenam dengan jarak ( $e$ ) dari permukaan dasar laut, piping dapat terjadi dari aliran rembesan (*seepage flow*) pada seabed bawah pipa. Aliran rembesan (*seepage flow*) terbentuk karena perbedaan tekanan antara tekanan pada *upstream* (titik A gambar 2.2) dan tekanan yang lebih rendah pada *downstream* (titik B gambar 2.2). Proses *piping* dimulai ketika sedimen menumpuk pada bagian *downstream*, kemudian sedimen yang menumpuk akan tergerus oleh campuran air dan pasir. Pada kondisi aliran tetap (*steady flow*), tekanan pada *downstream* dipengaruhi oleh tekanan pada titik S (gambar 2.2) karena kecilnya kecepatan aliran yang terjadi di *downstream* dibandingkan dengan aliran di luar (*outer flow*).



Gambar 2.2. *Vortex* di Sekitar Pipa Terbenam Karena Pengaruh Arus (Sumer and Fredsoe, 2002)

Kegagalan *piping* dibawah pipa terjadi ketika *gradient hydraulic* ( $i$ ) dalam sediment melebihi *gradient floatation* ( $i_f$ ), dengan rumus :

$$i_f = (1 - n)(s - 1) \quad (2.1)$$

Di sisi kanan dari pers. (2.1) menggambarkan berat terendam (*submerged weight*) volume dari campuran air dan sediment,  $n$  = porositas dan  $s$  = massa jenis relatif sediment di dalam fluida.

### 2.2.3 Aliran Melalui Saluran Terbuka (*Open Channel Flow*)

Aliran air dapat terjadi pada saluran tertutup (pipa atau *pipe flow*) maupun pada saluran terbuka. Pada saluran terbuka, aliran air akan memiliki suatu permukaan bebas yang berkaitan langsung dengan parameter – parameter aliran, seperti : aliran, kekentalan, *gradient* dan geometri saluran.

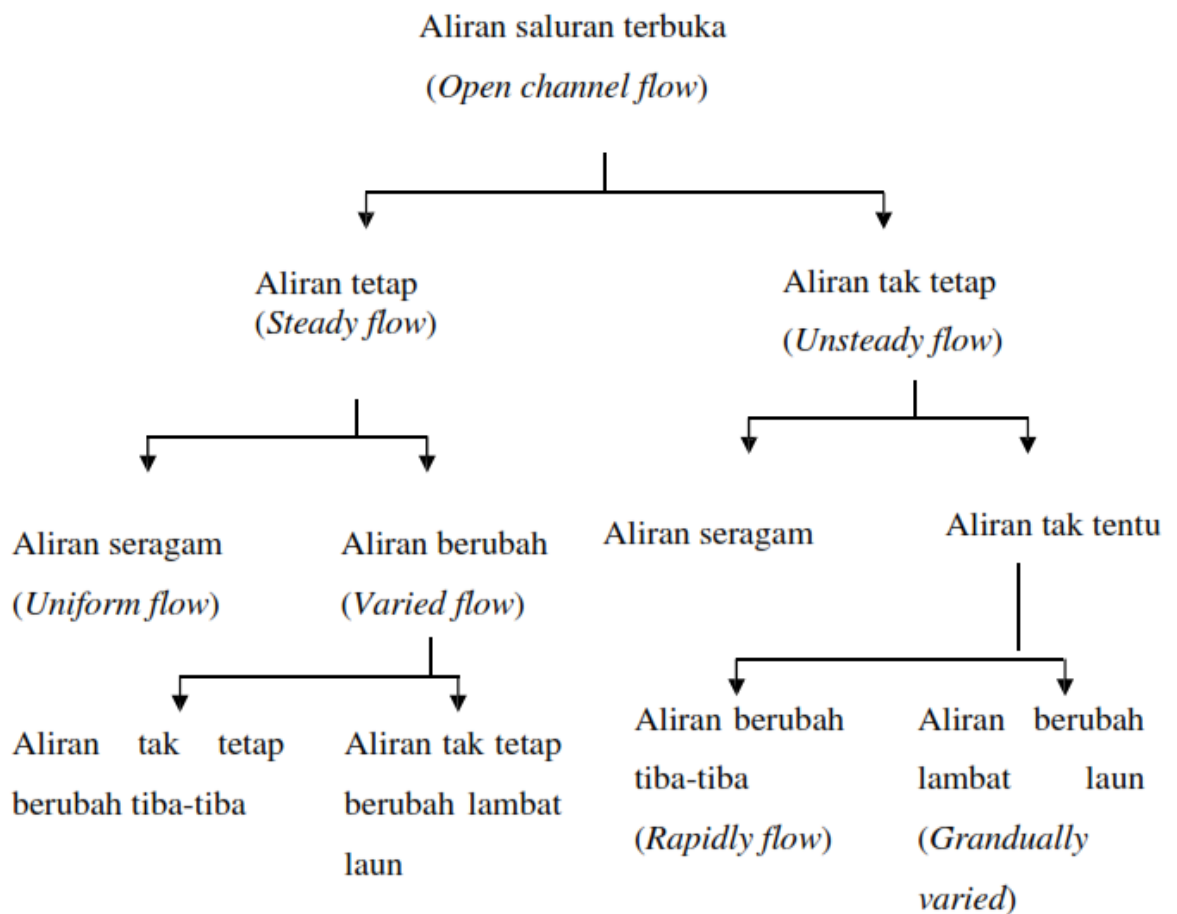
Pembagian aliran air menjadi aliran tetap dan aliran tak tetap menggunakan waktu sebagai kriteria. Aliran tunak adalah aliran yang memiliki kedalaman aliran yang dapat dianggap konstan atau tidak berubah selama suatu waktu selang waktu tertentu. Sedang, aliran tak tetap adalah aliran yang memiliki kedalaman aliran yang berubah sesuai dengan waktu. Persamaan yang menyatakan aliran tetap adalah

$$\frac{\partial h}{\partial t} = 0; \frac{\partial Q}{\partial t} = 0; \frac{\partial U}{\partial t} = 0 \quad (2.2)$$

Pembagian aliran air menjadi aliran seragam dan aliran berubah menggunakan ruang sebagai kriteria. Aliran seragam adalah aliran yang memiliki aliran yang dianggap konstan atau tidak berubah pada setiap penampang saluran. Sedang, aliran berubah adalah aliran yang memiliki kedalaman aliran yang berubah pada setiap penampang saluran. Persamaan matematis yang menyatakan aliran seragam adalah

$$\frac{\partial h}{\partial x} = 0; \frac{\partial Q}{\partial x} = 0; \frac{\partial U}{\partial x} = 0 \quad (2.3)$$

Klasifikasi aliran air pada saluran terbuka menurut Chow (1996) dapat digolongkan sebagai berikut :



Gambar 2.3 Skema Klasifikasi Aliran Air Pada Saluran Terbuka (Chow, 1996)

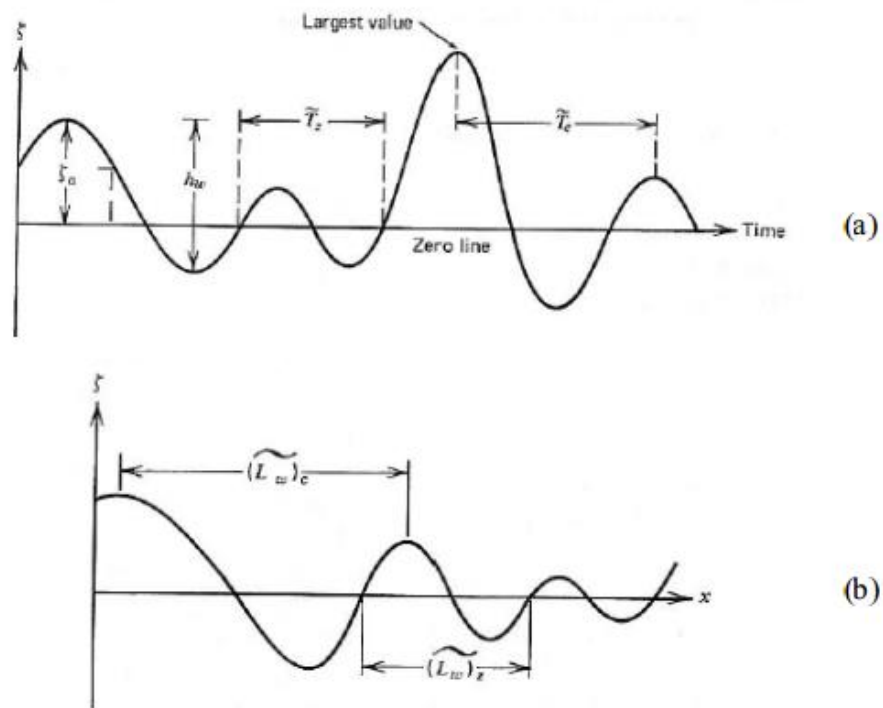


Analisis aliran melalui saluran terbuka adalah lebih sulit daripada aliran melalui pipa / saluran tertutup. Di dalam pipaampang lintang aliran adalah tetap yang tergantung pada dimensi pipa. Demikian juga kekasaran dinding pipa adalah seragam di sepanjang pipa. Pada saluran terbuka misalnya laut, variabel aliran sangat tidak teratur baik terhadap ruang maupun terhadap waktu. Variabel tersebut adalahampang lintang saluran, kekasaran, kemiringan dasar, belokan, debit aliran dan sebagainya. Ketidakteraturan tersebut mengakibatkan analisis aliran sangat sulit untuk diselesaikan secara analitis. Oleh karena itu analisis aliran melalui saluran terbuka adalah lebih empiris dibanding dengan aliran melalui pipa. Dalam kasus ini, bila mengacu pada geometri dan kondisi dasar saluran, maka aliran termasuk tetap-seragam (*steady-uniform flow*).

#### 2.2.4 Gelombang Ireguler

Menurut Bhattacharyya (1972), gelombang *irregular* ditandai sebagai berikut :

1. Permukaan gelombang merupakan permukaan yang tidak beraturan, sangat kompleks dan sulit untuk digambarkan secara matematis karena ketidaklinierannya, tiga dimensi dan mempunyai bentuk yang acak, dimana suatu deret gelombang mempunyai tinggi dan periode yang berbeda
2. Permukaan gelombang yang tidak beraturan selalu berubah dari waktu ke waktu dan bervariasi dari tempat ke tempat, tergantung dari kecepatan angin, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3 berikut ini :



Gambar 2.4 Gelombang ireguler terhadap(a) waktu dan (b) tempat  
(Bhattacharyya, 1972)

Dalam perhitungan kedalaman dan lebar *scouring*, parameter yang dibutuhkan adalah frekuensi ( $\omega$ ) dan *wave number* ( $k$ ) untuk menghitung *orbital velocity*. Berikut adalah rumus perhitungan  $\omega$  dan  $k$ .

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2.4)$$

Atau juga dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$\omega^2 = gk \tanh(kh) \quad (2.5)$$

Namun, untuk menghitung  $U_m$ , frekuensi yang dipakai adalah frekuensi pada puncak spektrum JONSWAP,  $\omega_p$  (*spectral peak frequency*) dengan rumus yang hampir sama seperti Persamaan 2.4 dan 2.5, sebagai berikut.

$$\omega_p = \frac{2\pi}{T_p} \quad (2.6)$$

$$\omega_p^2 = gk_p \tanh(k_p h) \quad (2.7)$$

k dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$k_p = \frac{2\pi}{\lambda_p} \quad (2.8)$$

Dengan,

$\omega$  = frekuensi (Hz)

$\omega_p$  = frekuensi pada puncak spektrum (Hz)

$h$  = kedalaman perairan (m)

$k_p$  = *wave number* ( $m^{-1}$ )

$\lambda_p$  = panjang gelombang (m)

#### 2.2.5 Kedalaman *Scouring* gelombang *irregular*

Formula untuk menghitung kedalaman *scouring* pada pipa bawah laut memiliki variasi dimana perhitungannya mengacu pada penyebab terjadinya *scouring*. Namun, pada kasus ini *scouring* terjadi karena gelombang *irregular*. Sumer dan Fredsoe (1996) telah melakukan percobaan mengenai pengaruh ireguler terhadap *scouring*. Pengukuran dilakukan di perairan *North Sea* dengan kondisi badai yang digunakan sebagai pengontrol spectrum untuk menghasilkan pembangkit gelombang atau biasa dikenal dengan spectrum JONSWAP.

$$\frac{S}{D} = 0.1\sqrt{KC} = 0.1\sqrt{\frac{U_m T_p}{D}} \quad (2.9)$$

Dimana  $T_p$  adalah periode puncak dan  $U_m$  didefinisikan sebagai

$$U_m = \sqrt{2\sigma_u} \quad (2.10)$$

Dimana  $U_m$  adalah kecepatan orbital partikel, dan  $\sigma_u$  adalah standar deviasi dari kecepatan orbital  $U$  pada *seabed*.

Nilai  $A$  (*orbital amplitude*), dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$(2.11)$$

$$A_{rms} = \frac{H_{rms}}{2 \sinh k_p d}$$

Dengan,

$A_{rms}$  = orbital amplitude rms (m)

$H_{rms}$  = tinggi gelombang rms (m)

$k_p$  = wave number ( $m^{-1}$ )

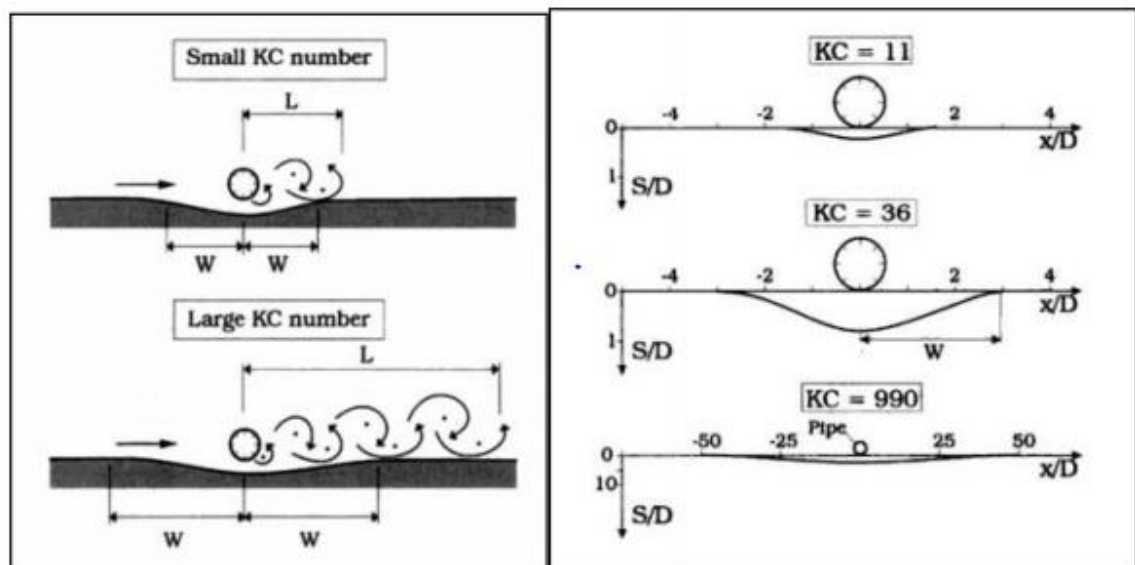
$d$  = kedalaman perairan (m)

Dalam Eternad-Shaidi et al. (2010) dijelaskan mengenai prediksi kedalaman *scouring* maksimum dalam fungsi *gap* (E). Eksperimen yang dilakukan melibatkan 3 buah model pipa pada kondisi *live bed*. Eksperimen ini membuktikan bahwa *scouring* juga tergantung dari nilai  $e/D$  (*burial depth-diameter ratio*). Persamaan yang dihasilkan antara lain.

$$\frac{s}{D} = 0.024 KC^{0.763} \exp(-0.631 \frac{e}{D}) \quad \text{for } \frac{e}{D} > 0.145 \quad (2.12)$$

$$\frac{s}{D} = 0.105 KC^{0.503} \exp(-0.284 \frac{e}{D}) \quad \text{for } \frac{e}{D} \leq 0.145 \quad (2.13)$$

### 2.2.6 Lebar Scouring



Gambar 2.5 Pengaruh Lebar Gerusan Terhadap Nilai KC (Sumer and Fredsoe, 2002)

Selain kedalaman gerusan, Sumer & Fredsoe (2002) melakukan penelitian untuk mencari lebar gerusan yang terjadi dengan menganalisa tiga kondisi *equilibrium scour* untuk beberapa nilai bilangan *Keulegan-Carpenter*.

Dapat dilihat bahwa lebar gerusan dipengaruhi oleh nilai KC, dimana persamaannya adalah sebagai berikut :

$$\frac{W}{D} = 0.35 KC^{0.65} \quad (2.14)$$

Dimana:

W = Lebar gerusan yang dihitung dari pusat pipa hingga akhir lubang gerusan

D = Diameter pipa

KC = Bilangan *Keulegan-Carpenter*

### 2.2.7 Laju Propagasi *Scouring*

Dalam penelitiannya, Cheng *et al.* (2009) telah berhasil menemukan formula untuk perhitungan laju propagasi *scouring* sepanjang pipa untuk satu pipa. Dalam kasus dua pipa masih belum ada jurnal yang membahas persamaan laju propagasi *scouring* pada dua pipa secara langsung. Berikut adalah formula tersebut.

$$V_h = K_w \left( 1 - \frac{e}{D} (1 + \sin \alpha) \right) \frac{\sqrt{g(s-1)d_{50}^3}}{D \tan \phi} \theta_w^{5/3} \sqrt{KC} \quad (2.15)$$

Dengan,

$K_w$  = konstanta, 11,3 (*wave only*)

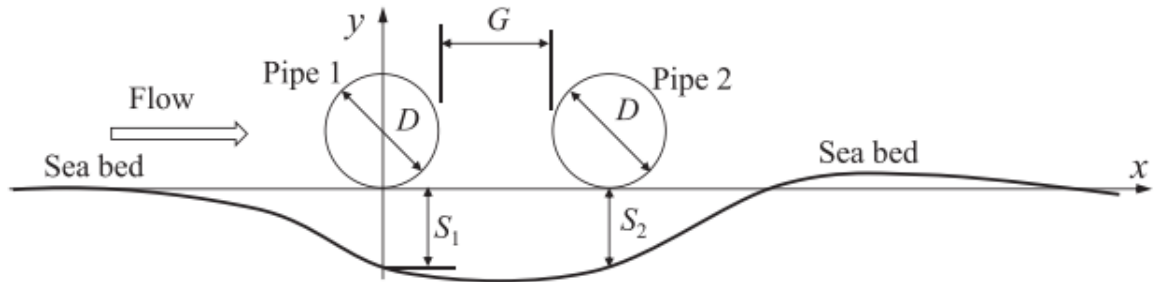
$\alpha$  = sudut datang gelombang

$T_p$  = periode pada puncak spektrum (s)

$\phi$  = sudut *slope*

$\theta_w$  = *shield parameter (wave only)*

Dari persamaan tersebut akan diperoleh profil kedalaman dan lebar *scour* pada jarak horizontal sepanjang  $x$  (gambar 2.6)



Gambar 2.6 Profil 2D Lubang *Scour* (Zhao, 2015)

### 2.2.8 Pengaruh Posisi Pipa

Dalam instalasinya, pipa ada yang diposisikan meletak pada *seabed*, ada juga yang dikubur (*in-trench*). Sumer dan Fredsøe (1990) melakukan eksperimen tentang pengaruh *gap clearance*,  $e$  (m) antara pipa dengan *seabed* terhadap *scouring* dengan menggunakan gelombang. Pengujian ini hampir sama dengan yang dilakukan Hansen *et al.* (1986), hanya saja menggunakan arus tetap. Pada pengujian tersebut, posisi pipa juga ada yang terkubur sebagian (nilai  $e$  negatif). Penelitian ini menghasilkan sebuah rumus empiris yang digunakan untuk kondisi tertentu sebagai berikut.

- Untuk  $-0,25 \leq e/D \leq 1,2$

$$\frac{S_m}{D} = 0,625 \exp\left(-0,6 \frac{e}{D}\right) \quad (2.16)$$

- Untuk  $0 \leq e/D \leq 2$

$$\frac{S_m}{D} = 0,1 \sqrt{KC} \exp\left(-0,6 \frac{e}{D}\right) \quad (2.17)$$

Persamaan 2.17 digunakan untuk perhitungan kedalaman *scouring* pada yang terjadi akibat *steady currents*, sedangkan persamaan 2.18 untuk yang terjadi akibat pengaruh gelombang. Berdasarkan PM 68 Tahun 2011 Pasal 25

Ayat 2b, alur pelayaran dengan kedalaman laut kurang dari 20 meter, kabel laut dan pipa bawah laut harus dipendam 4 meter dibawah permukaan dasar (*natural seabed*). Sedangkan Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi Nomor 300.K/38/[M.PE/1997](#) tentang Keselamatan Kerja Pipa Penyalur Minyak Dan Gas Bumi Pasal 13 mengatakan Pipa Penyalur yang digelar di laut wajib memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- a. Dalam hal kedalaman dasar laut kurang dari 13 meter maka pipa harus ditanam sekurang-kurangnya 2 (dua) meter di bawah dasar laut (*seabed*), serta dilengkapi dengan sistem pemberat agar pipa tidak tergeser atau
- b. Dalam hal kedalaman dasar laut 13 meter atau lebih maka pipa dapat diletakkan di dasar laut, serta dilengkapi dengan sistem pemberat agar pipa tidak tergeser atau berpindah.

#### 2.2.9 Studi Model

Studi model sering kali digunakan untuk mendukung perencanaan bangunan air. Ada dua tipe model yaitu model matematik dan model fisik. Kedua tipe model tersebut digunakan untuk tipe permasalahan yang berbeda, namun bias juga digunakan bersamaan untuk suatu masalah yang sama. Menurut Triatmodjo (1996), model fisik dapat diklasifikasikan menjadi dua tipe yaitu model tak distorsi dan model distorsi. Pada model tak distorsi bentuk geometri antara model dan prototip adalah sama tetapi berbeda ukuran dengan suatu perbandingan ukuran atau skala tertentu, sedangkan pada model distorsi bentuk geometri antar model dan prototip tidak sama.

Hubungan antara model dan prototip dipengaruhi oleh hukum-hukum sifat sebangun hidraulik. Sifat sebangun ini terbagi atas sebangun geometrik, sebangun kinematik, dan sebangun dinamik.

##### 1. Sebangun Geometrik

Sebangun geometrik dipenuhi apabila model dan prototip mempunyai bentuk yang sama tetapi berbeda ukuran, hal ini berarti bahwa perbandingan semua

ukuran panjang yang bersangkutan termasuk kekasaran antara model dan prototip adalah sama, (Triadmojo, 1996).

$$n_L = \frac{\text{ukuran di prototip}}{\text{ukuran di model}} = \frac{L_p}{L_m} \quad (2.18)$$

Semua ukuran yang ada pada model dan prototip harus mempunyai skala yang sama :

$$\text{Skala Panjang} \quad : \quad \frac{(L_1)_p}{(L_1)_m} = \frac{(L_2)_p}{(L_2)_m} = n_L \quad (2.19)$$

$$\text{Skala Luas} \quad : \quad \frac{(A_1)_p}{(A_1)_m} = \frac{(L_1^2)_p}{(L_1^2)_m} = n_L^2 \quad (2.20)$$

$$\text{Skala Volume} \quad : \quad \frac{(V_1)_p}{(V_1)_m} = \frac{(L_1^3)_p}{(L_1^3)_m} = n_L^3 \quad (2.21)$$

Sebangun geometrik sempurna sulit untuk dicapai. Sebagai contohnya mengenai kekasaran permukaan model yang lebih licin dari prototip mungkin tidak hasil dari skala model namun hanya dibuat permukaan yang lebih licin daripada prototip.

## 2. Sebangun Kinematik

Sebangun kinematik terjadi antara prototip dan model jika prototip dan model sebangun geometrik dan perbandingan kecepatan dan percepatan di dua titik yang bersangkutan pada prototip dan model untuk seluruh pengadilan adalah sama, (Triatmodjo, 1996).

$$\frac{(V_1)_p}{(V_1)_m} = \frac{(V_2)_p}{(V_2)_m} = n_v \quad (2.22)$$

Dan,

$$\frac{(a_1)_p}{(a_1)_m} = \frac{(a_2)_p}{(a_2)_m} = n_a \quad (2.23)$$



Besaran kinematik seperti kecepatan, percepatan, debit aliran dan sebagainya dapat diberikan dalam bentuk skala panjang dan skala waktu.

$$\text{Skala Kecepatan} \quad : \quad n_v = \frac{v_p}{v_m} = \frac{L_p/T_p}{L_m/T_m} = \frac{n_L}{n_T} \quad (2.24)$$

$$\text{Skala Percepatan} \quad : \quad n_a = \frac{a_p}{a_m} = \frac{L_p/T_p^2}{L_m/T_m^2} = \frac{n_L}{n_T^2} \quad (2.25)$$

$$\text{Skala Debit} \quad : \quad n_Q = \frac{Q_p}{Q_m} = \frac{L_p^3/T_p}{L_m^3/T_m} = \frac{n_L^3}{n_T} \quad (2.26)$$

### 3. Sebangun Dinamik

Jika prototip dan model sebangun geometrik dan kinematik, dan gaya-gaya yang bersangkutan pada model dan prototip untuk seluruh pengaliran mempunyai perbandingan yang sama dan bekerja pada arah yang sama, maka dikatakan sebagai sebangun dinamik.

$$\frac{(F_1)_p}{(F_1)_m} = \frac{(F_2)_p}{(F_2)_m} = n_F \quad (2.27)$$

#### 2.2.8 Parameter Tak Berdimensi

Terdapat lima parameter tak berdimensi yang digunakan untuk analisa *scouring* pada eksperimen ini, yaitu bilangan Keulegan Carpenter (KC), *wave steepness parameter*, *burial depth-diameter ratio* ( $e/D$ ), dan *shield parameter* ( $\theta$ ). Bilangan Keulegan Carpenter juga disebut angka periode, ialah suatu bilangan non dimensional yang mendeskripsikan hubungan antara gaya drag dengan gaya inertia yang menggerakkan objek dalam aliran fluida (Fredsoe, 2002).

*Wave steepness parameter* merupakan parameter non dimensional untuk mengetahui pengaruh gelombang terhadap *scouring* dengan rumus sebagai berikut.

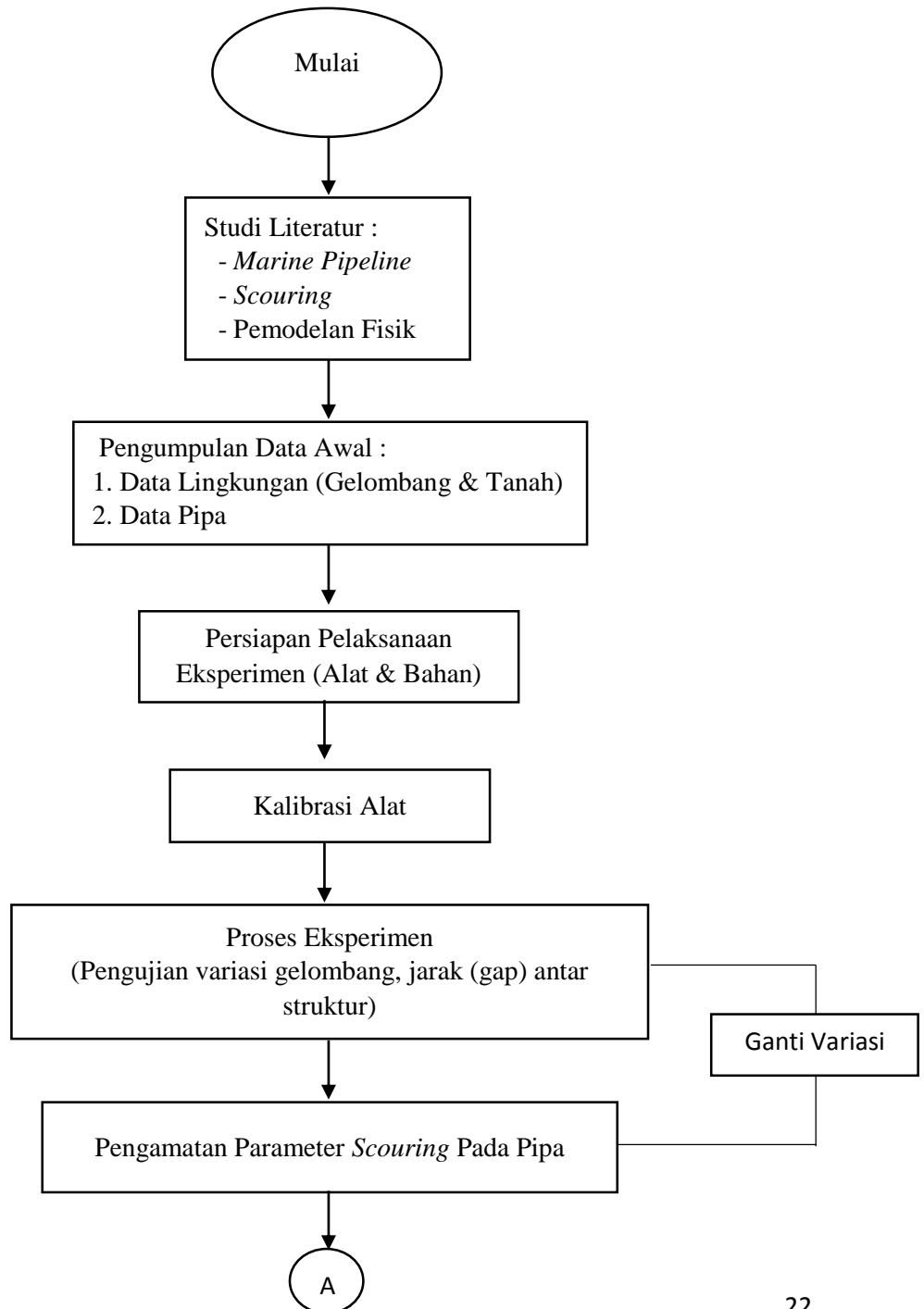
$$\text{Wave steepness parameter} = \frac{H}{g T^2} \quad (2.28)$$

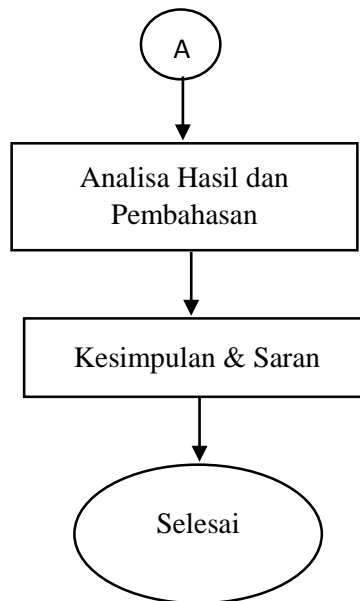
## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir (*Flow Chart*)

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen. Metode eksperimen adalah suatu penelitian yang berusaha untuk mencari pengaruh variabel tertentu terhadap variabel yang lain dalam kondisi yang di kontrol. Dalam penelitian ini, penulis menggambarkan langkah-langkah pelaksanaan tugas akhir ini dalam *flow chart* seperti di bawah ini:





Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penulisan

### 3.2 Penjelasan Diagram Alir

Berdasarkan diagram alir di atas, dapat dijelaskan langkah-langkah dalam penelitian pada tugas akhir di bawah ini:

#### 1. Studi Literatur

Pada tahap ini penulis melakukan pencarian sumber informasi dan referensi. Hal ini dilakukan sebagai bahan pendukung pada tugas akhir ini. Adapun sumber referensi dan informasi yang penulis dapatkan dari berbagai jurnal nasional maupun internasional, buku dan berbagai referensi dari internet. Penelitian dilakukan dengan melakukan pengujian model fisik pada flume tank di Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut Jurusan Teknik Kelautan ITS.

#### 2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data-data yang dibutuhkan untuk keperluan penelitian dapat dicari melalui sumber referensi atau instansi terkait. Pada penelitian kali ini, dibutuhkan data dimensi pipa dan data lingkungan (gelombang dan tanah).

Untuk skala perbandingan eksperimen dengan di lapangan menggunakan skala 1:10. Jadi analisa dimensinya didapatkan :

- a. Pipa pada kondisi riil nya menggunakan pipa berdiameter 15 inch, jadi model pada eksperimennya di skala 1:10, didapatkan pipa untuk eksperimen berdiameter 1,5 inch.
- b. Tinggi gelombang rata-rata di laut dalam sebesar 0,5 m dan 0,7 m, jadi untuk skala 1:10 didapatkan tinggi gelombang pada eksperimen sebesar 5 cm dan 7 cm.
- c. Berdasarkan DNV RP F10 pergerakan lateral horizontal pipa adaah 10 x diameter pipa dengan catatan tidak ada aktivitas manusia. Ukuran pipa pada eksperimen sebesar 3,81 cm. Dari skala pipa 1: 10 didapatkan nilai 20 x diameter pipa skala yaitu 20 x 3,81 cm yaitu 76,2 cm yang dibulatkan menjadi 80 cm. Penelitian Shaohui dan Qinshang yang berjudul *Identifying Minimum Safe Distance Between Adjacent Parallel Pipelines* menyebutkan jarak minimal untuk dua pipa sejajar adalah 10 m. Jadi pada eksperimen kali ini menggunakan 40 cm, 60 cm dan 80 cm.
- d. Periode eksperimen menggunakan 1 s disesuaikan dengan kemampuan alat di *flume tank*. Untuk kondisi riil di lapangan menggunakan persamaan *froude number*  $\sqrt{\frac{1}{10}} \times$  periode eksperimen, jadi periode di lapangan sebesar 0,3 s.

### 3. Persiapan Pelaksanaan Eksperimen (Alat & Bahan)

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian adalah sebagai berikut :

#### 1. Pasir

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir. Pasir harus sudah disaring dan diayak, hal ini dimaksudkan agar material yang dipakai tidak mengandung banyak lumpur., karena material yang lolos ayakan 200 adalah clay, sehingga kondisi aliran mudah diamati.

#### 2. Air

Air yang digunakan adalah air yang tersedia di Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut Jurusan Teknik Kelautan ITS. Jenis aliran yang digunakan

pada penelitian ini adalah kondisi *live-bed scour* (dengan pergerakan sedimen dasar)

### 3. Pipa PVC

Pipa yang digunakan sebagai model miniatur adalah pipa berbahan PVC. Ukuran pipa yang dimodelkan berdiameter 1,5 inch dan panjang 25 cm. Pipa yang digunakan sebagai model dalam eksperimen adalah pipa PVC dengan skala geometri adalah 1:10. Namun, apabila ukuran diameter pipa yang sesungguhnya ditinjau adalah 16 inch, ukuran diameter pipa PVC sebesar 1,6 inch tidak ada di pasaran. Ukuran diameter pipa PVC yang mendekati di pasaran adalah 1,5 inch, sehingga faktor skala yang digunakan adalah sebesar **1,5/16**.

4. Peralatan untuk model fisik dan pengujian berada di Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut Jurusan Teknik Kelautan ITS. Secara spesifik dapat disampaikan nama dan fungsi dari masing-masing alat yang digunakan tersebut.

#### 1. *Flume Tank*

*Flume tank* yang digunakan adalah *Flume Tank* pada Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut Jurusan Teknik Kelautan. *Flume tank* ini berdimensi 20 m x 2,3 m x 2,5 m (panjang, lebar, tinggi) memiliki tiga jenis pembangkit yaitu pembangkit angin, pembangkit arus, dan pembangkit gelombang. Pembangkit angin dengan menggunakan sistem blower dengan kecepatan maksimum angin sebesar 10m/s. Pembangkit arus dengan sistem impeller dengan rentang kecepatan 2,5 hingga 10 cm/s. Pembangkit gelombang menggunakan sistem plunyer dengan karakteristik gelombang ireguler dan reguler dengan tinggi gelombang maksimum yang dapat dibangkitkan adalah 30 cm (gelombang reguler) dan 7 cm (gelombang ireguler). Untuk besar periode berkisar 0,5 – 3,0 detik, dan kedalaman air maksimum sebesar 80 cm. Kemiringan dasar saluran yang digunakan sebesar 0%, agar faktor ini tidak mempengaruhi profil *scouring* yang terjadi.

## 2. *Wave Probe*

*Wave probe* merupakan alat pengukur tinggi gelombang, apabila alat tersebut tercelup air maka elektroda tersebut mengukur konduktivitas air. Konduktivitas tersebut berubah secara proporsional sesuai dengan variasi perubahan elevasi muka air. Dalam penelitian ini *wave probe* yang digunakan berjumlah dua buah yang diletakkan di bagian depan dan belakang model pipa.

## 3. *Sediment Trap*

*Sediment trap* ini dibuat dari kain yang tidak dapat meloloskan sedimen dasar tetapi dapat tembus air. Alai ini dipasang pada bagian bak penampungan air di hilir saluran yang berfungsi menampung sedimen dasar (pasir) yang ikut terangkut oleh aliran.

## 4. Kamera perekam

Kamera perekam digunakan untuk mengambil video di setiap proses eksperimen. Dengan kamera ini, dapat diketahui berapa lama waktu yang dibutuhkan hingga mencapai kedalaman *scouring* maksimum.

## 4. Peralatan Untuk Uji Tanah

Uji tanah perlu dilakukan untuk menganalisa hasil *scouring*. Pada pengukuran tanah ini akan didapatkan 2 parameter penting yaitu *specific gravity* dan ukuran butiran  $d_{50}$ . Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Jurusan Teknik Sipil ITS. Tanah/pasir yang digunakan untuk eksperimen ini berjenis pasir pantai. Adapun beberapa peralatan yang digunakan untuk uji tanah adalah :

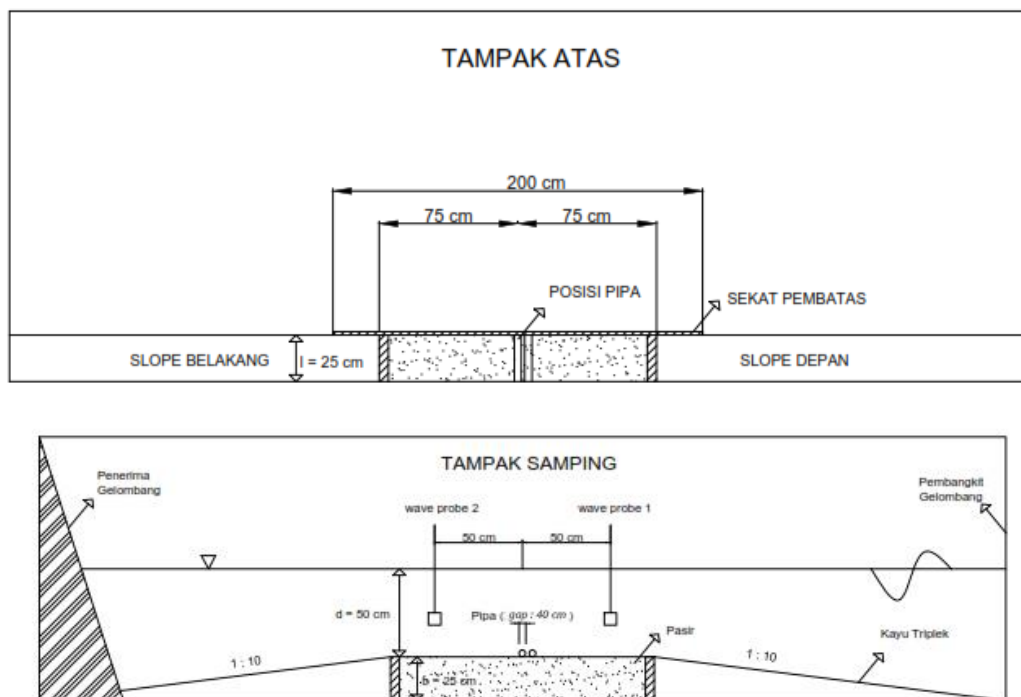
1. Neraca
2. Cawan
3. Piknometer
4. Termometer
5. Saringan
6. Kain lap

#### 4. Kalibrasi Alat

Hal ini perlu dilakukan agar data yang di peroleh akurat. Peralatan eksperimen yang dikalibrasi adalah *wave probe*, dengan cara mencelupkan *wave probe* ke dalam air. Output yang dihasilkan oleh *wave probe* berupa voltase yang akan dikonversi menjadi amplitudo gelombang. *Wave probe* berjumlah 2 buah yang diletakkan didepan dan dibelakang model struktur. Hasil kalibrasi akan disesuaikan dengan pencatatan rekaman oleh kamera, sehingga akan memperoleh tinggi gelombang yang sesungguhnya.

#### 5. Proses Eksperimen

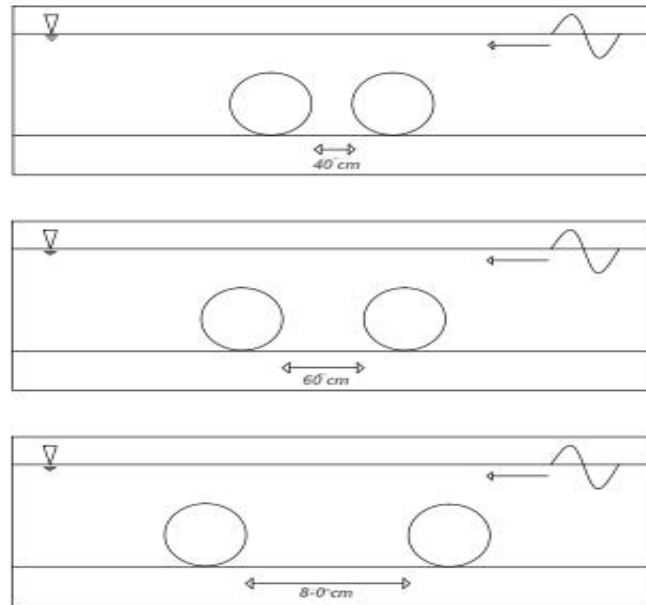
Eksperimen dilakukan di *flume tank* Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut Jurusan Teknik Kelautan ITS. Penempatan model pipa pada kolam uji seperti sketsa gambar dibawah ini.



Gambar 3.2 Sketsa Pengujian

Variasi pada tinggi gelombang disesuaikan dengan kemampuan dari *flume tank* untuk membangkitkan gelombang ireguler. Terdapat 12 variasi yang dilakukan pada eksperimen ini. Tinggi gelombang sebesar 5 cm dan 7 cm. Kondisi pipa terletak di permukaan dasar dan setengah terbenam dalam dasar.

Dari pernyataan tersebut diambil variasi gap sebesar 40 cm, 60 cm dan 80 cm. Ilustrasi posisi jarak antar pipa seperti gambar dibawah ini



Gambar 3.3 Ilustrasi penempatan posisi *gap* antar pipa untuk tampak samping

Tabel 3.1 Klasifikasi Eksperimen

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH JARAK ANTAR PIPA KONDISI MELETAK DAN IN-TRENCH TERHADAP SCOURING AKIBAT GELOMBANG IREGULER					
Percobaan ke	T (s)	d (cm)	H (cm)	Gap (cm)	Kondisi Peletakan
1	1	40	5	40	Meletak
2	1	40	5	60	Meletak
3	1	40	5	80	Meletak
4	1	40	5	40	In-Trench (e/D = -0.1)
5	1	40	5	60	In-Trench (e/D = -0.1)
6	1	40	5	80	In-Trench (e/D = -0.1)
7	1	40	7	40	Meletak
8	1	40	7	60	Meletak
9	1	40	7	80	Meletak
10	1	40	7	40	In-Trench (e/D = -0.1)
11	1	40	7	60	In-Trench (e/D = -0.1)
12	1	40	7	80	In-Trench (e/D = -0.1)



## 6. Pengamatan Proses *Scouring* Pada Pipa

Pengujian pada setiap variasi dilakukan selama 25 menit hingga terjadi *equilibrium state*, kondisi dimana tidak terjadi lagi penambahan kedalaman *scouring*. Pencatatan data dilakukan untuk nilai kedalaman *scouring* maksimum setiap interval 5 menit pada bagian depan dan belakang model pipa.

## 7. Analisa dan Pembahasan Hasil

Penelitian ini akan menghasilkan nilai kedalaman dan lebar *scouring*, yang merupakan dimensi dari *scouring* itu sendiri. Dari pencatatan data yang dilakukan akan diolah menggunakan *software* AutoCAD untuk menentukan profil *scouinrg* (2D) yang terjadi di sekitar pipa. Hasil dari pengujian pada *flume tank* akan 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.

## 8. Kesimpulan & Saran

Pada tahap ini dibuat suatu kesimpulan berdasarkan data yang telah dianalisis yang berhubungan dengan tujuan penelitian. Hasil akan disajikan dalam bentuk grafik dan hasil analisa numerik. Tahap ini juga berisi saran berdasarkan eksperimen dan analisa yang telah dilakukan sebelumnya

## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, ada tiga variabel bebas yang digunakan sebagai perbandingan untuk pengukuran kedalaman dan lebar *scouring* pada pipa, yaitu tinggi gelombang (*hi*), jarak antar pipa (*gap*) dan peletakan pipa (*e/D*). Tiga variabel diatas terbagi dalam 12 variasi, yaitu dua variasi tinggi gelombang, 2 variasi peletakan pipa dan 3 variasi jarak antar pipa. Sebelum pengujian *scouring* dimulai, pasir yang digunakan diuji terlebih dahulu. Setelah pasir/tanah sudah diuji, eksperimen *scouring* dilakukan. *Output* dari eksperimen ini adalah memperoleh data kedalaman, lebar *scouring* dan laju propagasi yang terjadi pada sekitar pipa.

#### 4.1 Analisa Data

##### 4.1.1 Data Tanah

Pasir yang digunakan pada eksperimen *scouring* ini adalah pasir yang lolos saringan ASTM no 10 dan tertahan pada pan dengan nilai *specific gravity* (SG) 2,658 serta kadar lanau-lempung sebesar 1,93% dan nilai  $d_{50}$  diperoleh dari pengujian analisa gradasi butiran. Dimana pasir sebagai material dasar diayak terlebih dahulu untuk mendapatkan ukuran butiran yang besarnya relatif merata. Hasil analisa *specific gravity* dapat dilihat di Tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil uji *specific gravity*

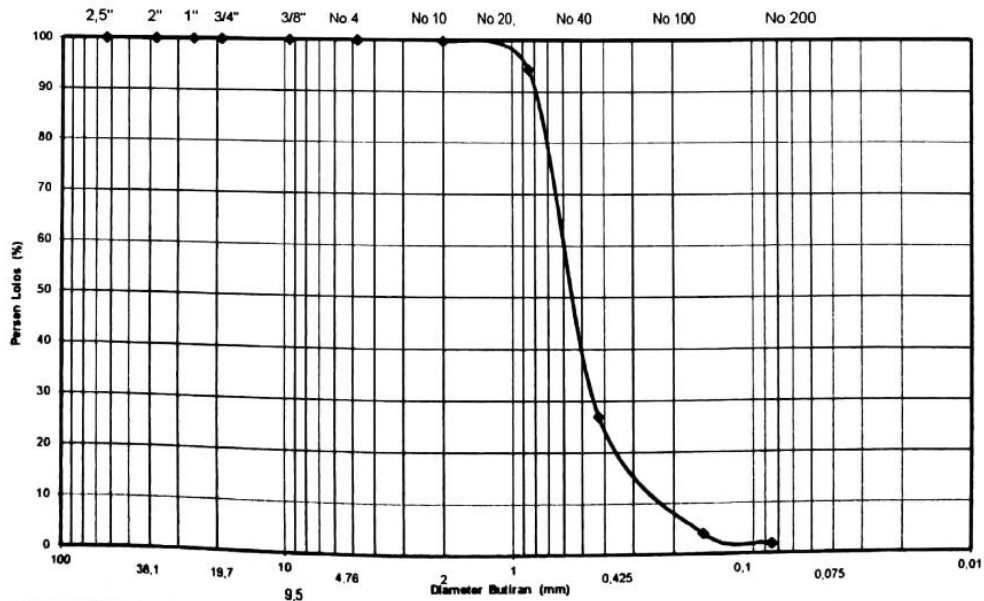
Nomor Cawan	213	144
Berat cawan kosong (gr)	43,75	50,12
Berat cawan + tanah basah (gr)	66,34	73,25
Berat cawan + tanah kering (gr)	65,02	72,26
Berat tanah basah	22,59	23,13
Volume tanah	17,01	17,01
Berat air	1,32	0,99
Berat tanah kering	21,27	22,14
Nomor Piknometer	23	12
Berat piknometer + air suling (gr)	336,21	352,39
Berat pikno + air + tanah kering	349,48	366,23
Temperatur (°C )	28	28
Specific Gravity	2,653	2,662

Dari data tabel tersebut, nilai dari GS untuk *sample* tanah diatas dapat diperoleh dari rata-rata hasil analisa GS antara piknometer 23 dengan piknometer 12 yaitu sebesar 2,658.

Tabel 4.2 Hasil analisa pengujian pembagian butir tanah

Berat tanah kering		=	500	gr	
Berat mangkok		=	26,95	gr	
sieve		Berat Tertahan		%	%
#	Ø (mm)	(gr)		Tertahan	Lolos
2 5"	63				100
1					
1/2"	37,5				100
1"	25,4				100
3/4"	19,1				100
3/8"	9,5				100
4	4,76				100
10	2	27,45	0,5	0,1	99,9
20	0,85	54,44	27,5	5,5	94,4
40	0,425	363,96	337	67,4	27
100	0,14	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	

Setelah semua tercatat dalam tabel tersebut, untuk mencari nilai dari  $d_{50}$ , didapatkan melalui grafik yang merupakan hasil pengolahan dari tabel 4.2 tersebut. Berikut adalah grafik analisa pembagian butir tanah.



Gambar 4.1 Grafik analisa hasil pengujian pembagian butir tanah

$D_{50}$  merupakan ukuran butiran tanah yang lolos ayakan 50%. Dari grafik diatas, dapat diketahui nilai  $d_{50}$  dengan cara menarik garis horisontal pada angka 50 sebelah kiri hingga berpotongan dengan grafik tersebut. Kemudian tarik garis vertikal ke bawah hingga mendapatkan nilai dari diameter butiran (mm) yang merupakan nilai dari  $d_{50}$ . Dari hasil pengujian tersebut, nilai dari  $d_{50}$  adalah 0,55mm yang termasuk dalam kategori *medium sand*.

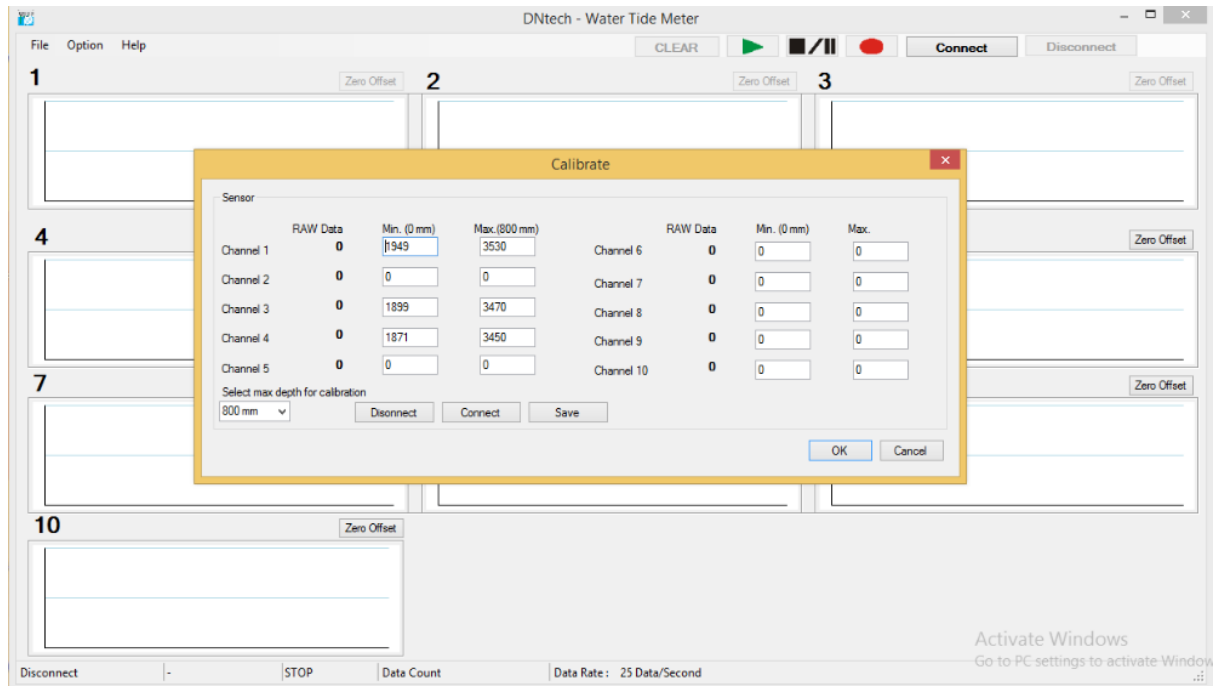
#### 4.1.2 Data Gelombang

Sebelum pengujian *scouring* dilaksanakan, dilakukan kalibrasi *wave probe* terlebih dahulu agar didapatkan nilai *zero offset* pada masing-masing *probe* saat kondisi air tenang. Setelah kalibrasi dilakukan didapatkan nilai berupa satuan *kapasitas* pada *probe* yang nantinya akan di *input* pada software bawaan dari *probe*. Seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Kalibrasi

Nilai Kapasitor	Probe 3	Probe 4
Minimum	1899	3470
Maximum	1871	3450

Hasil dari kalibrasi akan memunculkan nilai maksimum dan minimum untuk di input pada *software wave tide* meter seperti pada Gambar 4.2.

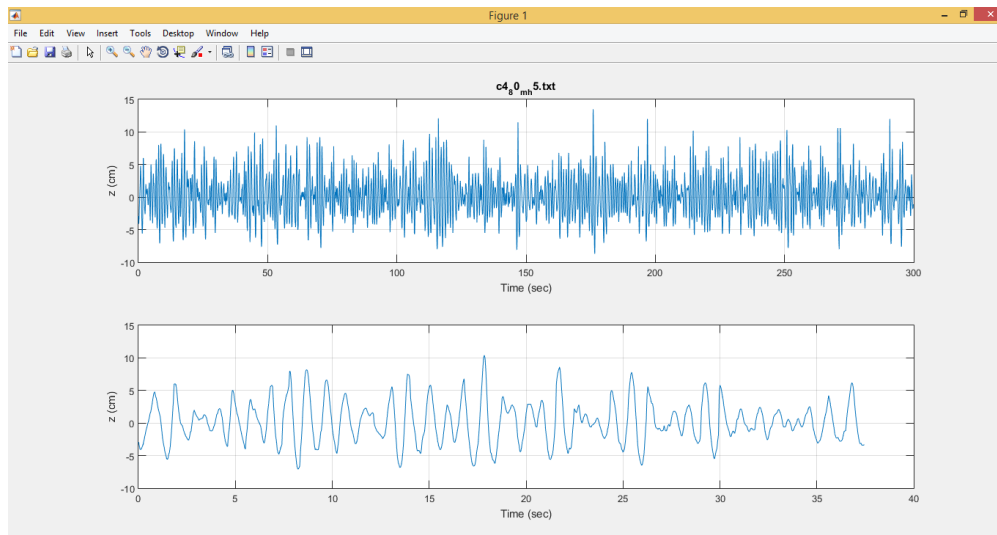


Gambar 4.2 Input Kalibrasi Wave Probe pada Wave Tide Meter Software

Setelah kalibrasi selesai, dilanjutkan dengan pengujian gelombang terlebih dahulu tanpa ada struktur. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah posisi *zero offset* sudah sesuai, dan melihat apakah *wave probe* melakukan pembacaan dengan tepat.

Pada penelitian ini tinggi gelombang yang digunakan adalah tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ). Perhitungan  $H_s$  dapat dilakukan dengan cara manual yaitu dengan mengplotkan hasil pencatatan masing-masing *wave probe 3* (Eta 1) dan *wave probe 4* (Eta 2) ke dalam grafik untuk setiap kali *running* data. Dari grafik rekaman gelombang tersebut dapat dihitung tinggi gelombang secara manual dengan cara mencatat tinggi gelombang satu per satu, kemudian  $H_s$  dicari dengan mencari rata-rata  $1/3$  tinggi gelombang yang

tertinggi. Dengan pertimbangan data yang sangat banyak maka untuk mempermudah dan mempercepat perhitungan tinggi gelombang signifikan  $H_s$  dan periode rata-rata *Taverage* digunakan program WAVAN (*Wave Analisis*) versi 1.1 Copyright J.W. Kamphuis 2000. Hasil pencatatan gelombang seperti pada gambar 4.3



Gambar 4.3 Pencatatan Gelombang

Sedangkan perhitungan yang digunakan sebagai input dari program WAVAN adalah sebagai berikut

```
>> wavan

                                Program WAVAN

                                Wave Analysis

INPUT

enter input filename  c4_80_m_h5.txt
Enter Number of Columns in Input File:  1
Enter Sampling Time, Delt:  0.04
Enter No. of Points (Multiple of 8):    7496
Do you want plots? - Yes=1, No=0:  0
Remove Mean (1) or Trend (2)?:  2
Enter Desired Resolution, M:  10

Enter Number of Bins for Histogram:  5

Basic Output

Mean Water Level          =  0.1994 centimetres
Water Level Trend        =  0.00008 cm/s
Sigma                    =  3.154 centimetres
Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?:  3

Number of Waves          =  329
Average Wave Period      =  0.9114 seconds
Significant Wave Height  =  12.6149 centimetres
Maximum Wave Height     =  21.1500 centimetres
Average Wave Height     =  7.8161 centimetres
rms Wave Height         =  8.8819 centimetres
Average of Highest 1/10  =  15.6735 centimetres
Sigmaz                  =  2.4323 centimetres
```

Gambar 4.4 Hasil perhitungan WAVAN

Hasil pengolahan data dengan menggunakan WAVAN didapatkan nilai tinggi gelombang signifikan ( $h_s$ ), periode rata-rata ( $T_{avg}$ ) dan tinggi

gelombang rata-rata (Havg). Data hasil olahan WAVAN untuk eksperimen *scouring* dapat dilihat pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil pengolahan data gelombang menggunakan WAVAN

Percobaan ke-	Ch3 (Depan)				Ch4 (Belakang)				Jenis Peletakan	Jarak (cm)
	Hs (cm)	Havg (cm)	Tp (s)	Tavg (s)	Hs (cm)	Havg (cm)	Tp (s)	Tavg (s)		
1	8.47	4.76	1.04	0.97	12.65	7.96	0.97	0.95	Meletak	40
2	9.53	6.06	1.10	0.97	12.24	7.62	1.02	0.92	Meletak	60
3	8.73	5.29	1.05	0.97	12.91	7.82	0.99	0.91	Meletak	80
4	8.87	5.08	1.04	0.96	12.49	7.81	0.99	0.92	In-Trench (4mm)	40
5	8.64	5.14	1.02	0.94	12.47	8.04	0.97	0.95	In-Trench (4mm)	60
6	8.49	5.15	1.09	0.97	12.30	8.19	0.98	0.95	In-Trench (4mm)	80
7	12.32	8.15	1.10	1.03	15.48	10.24	1.07	1.00	Meletak	40
8	12.17	8.10	1.08	1.00	15.25	9.86	1.05	0.98	Meletak	60
9	12.07	8.00	1.07	1.00	15.31	9.82	1.10	0.99	Meletak	80
10	12.16	7.29	1.04	0.99	15.64	10.18	1.08	1.00	In-Trench (4mm)	40
11	12.55	8.23	1.08	1.00	15.52	10.31	1.10	0.98	In-Trench (4mm)	60
12	12.51	8.16	1.08	1.00	15.41	9.73	1.10	0.98	In-Trench (4mm)	80

Dari tabel diatas, dapat diketahui bahwa hasil *input* dengan *output* data gelombang ireguler tidak sama. Begitu juga data yang dihasilkan Ch3 dan Ch4, ada yang lebih besar dari input dan ada juga yang lebih kecil. Hal ini dikarenakan sifat gelombang ireguler yang polanya selalu berubah tiap waktu. Dari tabel diatas, data gelombang yang digunakan untuk analisis adalah data yang tercatat pada Ch3 atau *wave probe* yang terletak pada bagian depan. Hal ini dikarenakan data yang tercatat pada Ch3 merupakan data gelombang datang sebelum adanya pengaruh pipa.

#### 4.2 Hasil Pengukuran Kedalaman dan Lebar *Scouring*

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, terdapat total 12 variasi dalam eksperimen ini. Ada dua variasi peletakan ( $e/D$ ), tiga variasi jarak antar pipa (gap) dan dua variasi tinggi gelombang. Setiap variasi nya dilakukan selama 25 menit (5 menit x 5), dimana tiap menit mesin akan berhenti selama 2-3

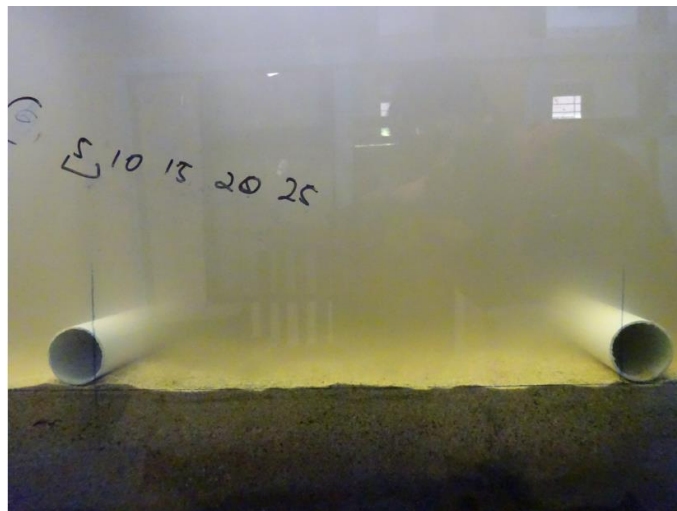


menit untuk dilakukan pencacatan data menggunakan bantuan kamera. Hasilnya berupa foto dan video yang akan diolah lebih lanjut menggunakan software AutoCAD dan Microsoft Excel.

Dalam bab ini akan ditampilkan tida foto eskperimen *scouring* yaitu pada saat  $t = 5$  menit, perubahan elevasi pada saat  $t = 15$  menit, dan kondisi akhir ( $t = 25$  menit). Untuk hasil yang lengkap dapat dilihat pada lampiran. Dari foto tersebut, kemudian diplot menggunakan software AutoCAD untuk mengetahui profil 2D dari hasil pengamatan, kemudian dilakukan *overlay* hingga terbentuk sketsa laju propagasi *scouring* pada pipa mulai dari  $t = 0$  menit hingga  $t = 25$  menit.

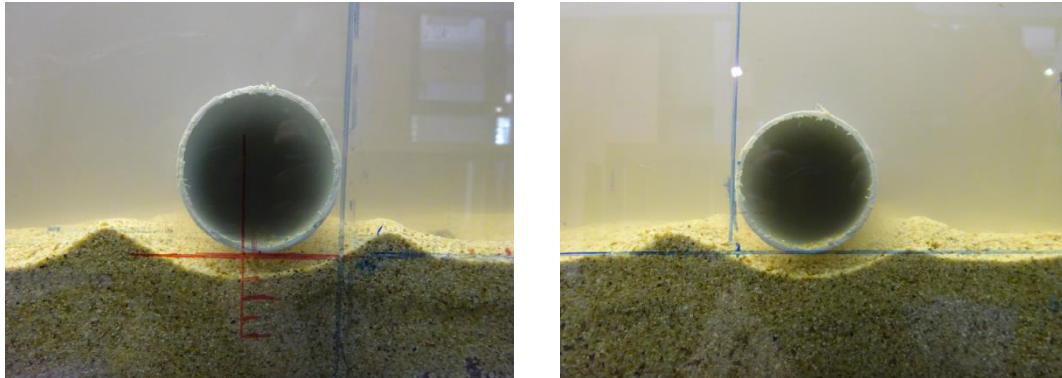
#### 4.2.1 Hasil Eksperimen *Scouring* untuk Dua Pipa yang Berjarak 40 cm

Pengujian pertama yang dilakukan untuk pipa dengan kondisi meletak ini adalah dengan  $H_i = 5\text{cm}$  dan  $T_i = 1$  detik yang menghasil  $H_{\text{avg}} = 4,76$  cm dan  $T_{\text{avg}} = 0,97$  s. Berikut adalah kondisi pipa saat  $t = 0$  menit



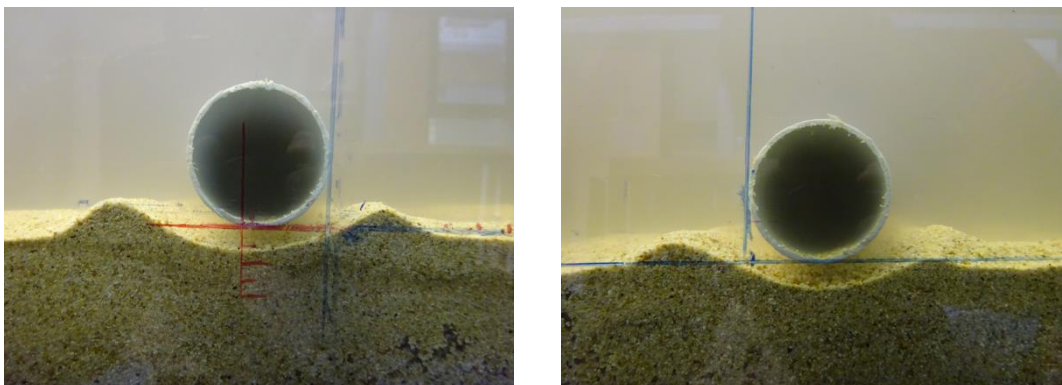
Gambar 4.5 Kondisi  $t = 0$  menit eksperimen *scouring* pada dua pipa berjarak 40 cm kondisi meletak dengan  $H_{\text{avg}} = 4,76$  cm dan  $T_{\text{avg}} = 0,97$  s.

Setelah eksperimen berjalan selama 15 menit kedalaman *scouring* yang terjadi pada pipa belakang sebesar 0,68 cm dengan lebar *scouring* sebesar 5,06 cm, sedangkan kedalaman *scouring* pada pipa depan sebesar 0,63 cm dan lebar *scouring* 5,78 cm



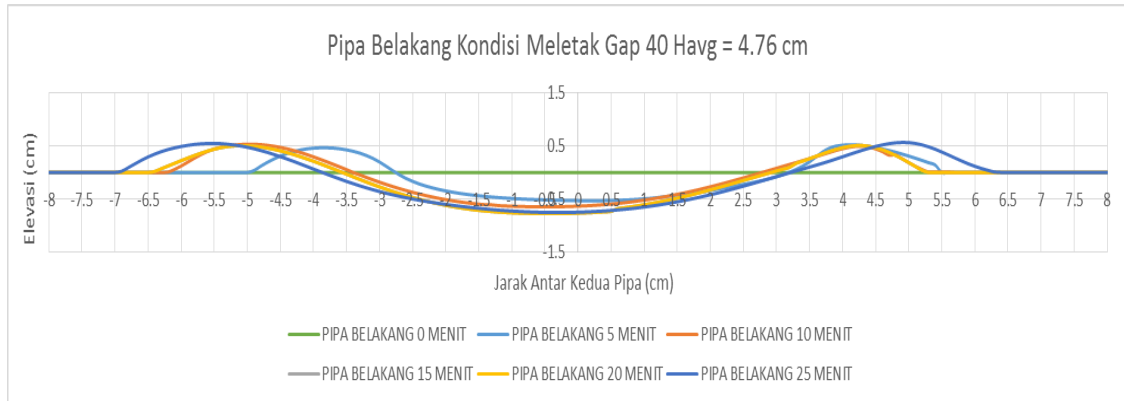
Gambar 4.6 Kondisi  $t = 15$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) yang berjarak 40 cm kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 4,76$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s

Setelah eksperimen selesai dilakukan selama 25 menit kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk pada pipa belakang mencapai 0,74 dengan lebar 5 cm dan pada pipa depan terbentuk kedalaman *scouring* sebesar 0,76 cm dan lebar *scouring* sebesar 6,08 cm.

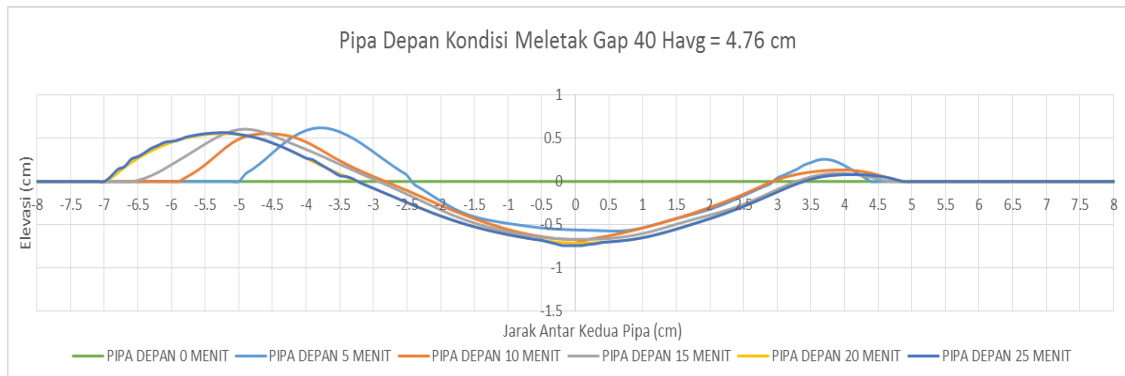


Gambar 4.7 Kondisi  $t = 25$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) yang berjarak 40 cm kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 4,76$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s

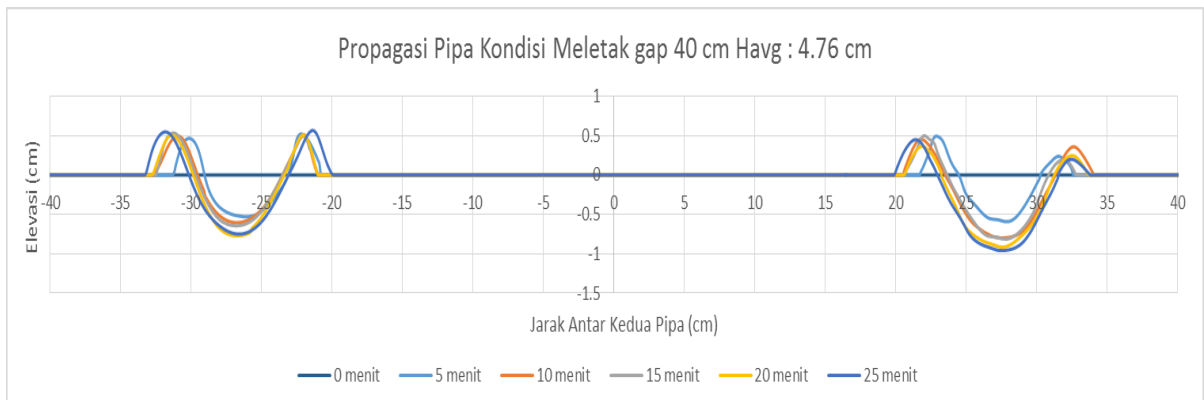
Setelah profil laju propagasi di plot kedalam Software AutoCad, selanjutnya dimasukkan kedalam Ms.Excel sesuai dengan koordinat yang telah didapatkan dari AutoCad. Berikut profil laju propagasi *scouring* pipa berjarak 40 cm kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 4,76$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s.



(a)



(b)

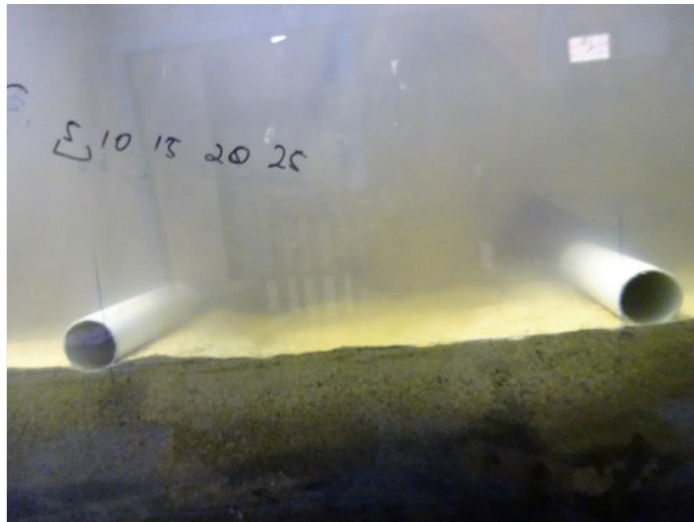


(c)

Gambar 4.8 Profil Laju Propagasi Pipa Kondisi Meletak gap 40 cm  $H_i$  5 cm (a) Pipa Belakang (b) Pipa Depan (c) Pipa Depan dan Belakang

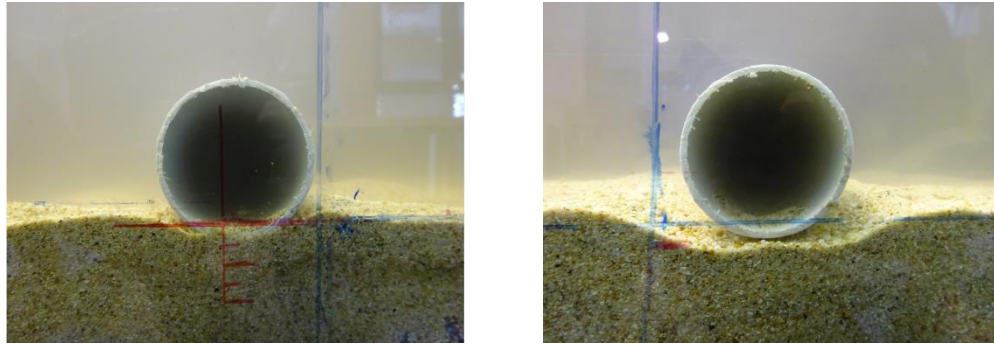
Posisi awal pipa diletakkan berada pada koordinat 0,0. Koordinat jarak negatif merupakan daerah belakang pipa koordinat jarak positif merupakan daerah depan pipa. *Scouring* mulai terjadi saat menit ke-5 dan terus berkembang sampai menit ke-25.

Pengujian kedua yang dilakukan untuk pipa dengan kondisi *in-trench* 4 mm ini adalah dengan  $H_i = 5$  cm dan  $T_i = 1$  detik yang menghasilkan  $H_{avg} = 5,08$  cm dan  $T_{avg} = 0,96$  s. Berikut adalah kondisi pipa saat  $t = 0$  menit.



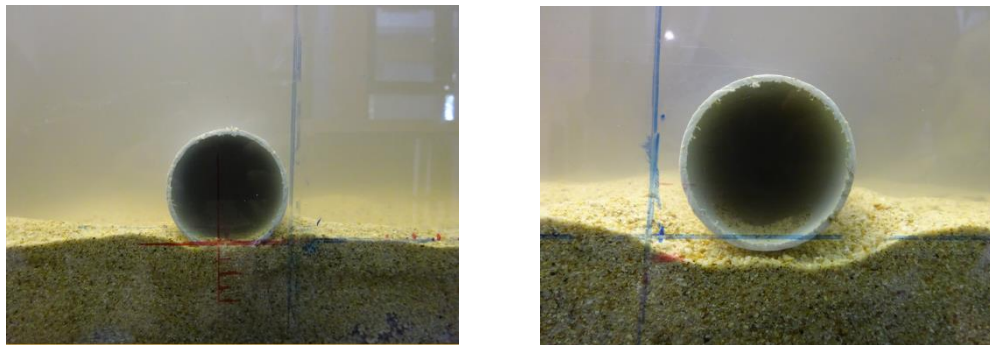
Gambar 4.9 Kondisi  $t = 0$  menit eksperimen *scouring* pada dua pipa berjarak 40 cm kondisi *in-trench* dengan  $H_{avg} = 5,08$  cm dan  $T_{avg} = 0,96$  s

Setelah eksperimen berjalan selama 15 menit kedalaman *scouring* yang terjadi pada pipa depan sebesar 0,26 cm dengan lebar *scouring* yaitu 4,35 cm, sedangkan pada pipa belakang tidak terjadi *scouring*



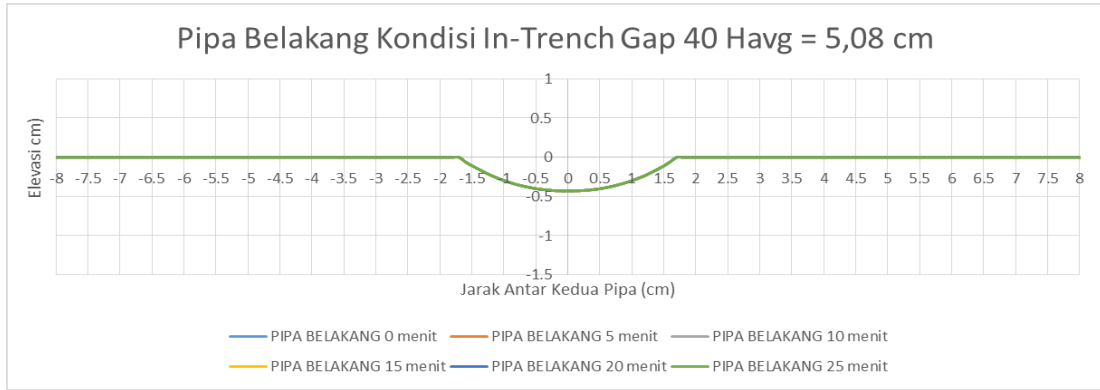
Gambar 4.10 Kondisi  $t = 15$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) yang berjarak 40 cm kondisi *in-trench* dengan  $H_{avg} = 5,08$  cm dan  $T_{avg} = 0,96$  s

Setelah eksperimen selesai dilakukan selama 25 menit kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk pada pipa depan mencapai 0,31 cm dengan lebar 5,44 cm, dan pada pipa belakang terbentuk kedalaman *scouring* sebesar 0 cm dan lebar *scouring* sebesar 0 cm.

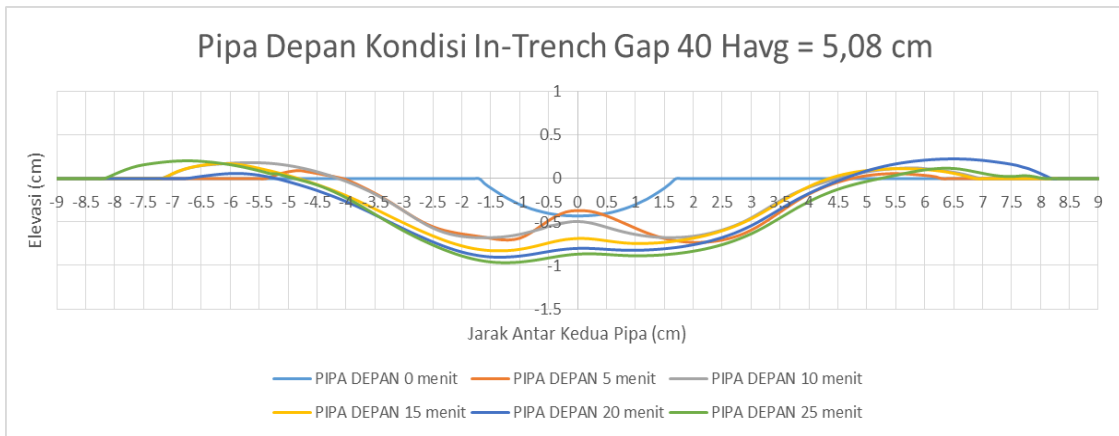


Gambar 4.11 Kondisi  $t = 25$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) yang berjarak 40 cm kondisi *in-trench* dengan  $H_{avg} = 5,08$  cm dan  $T_{avg} = 0,96$  s

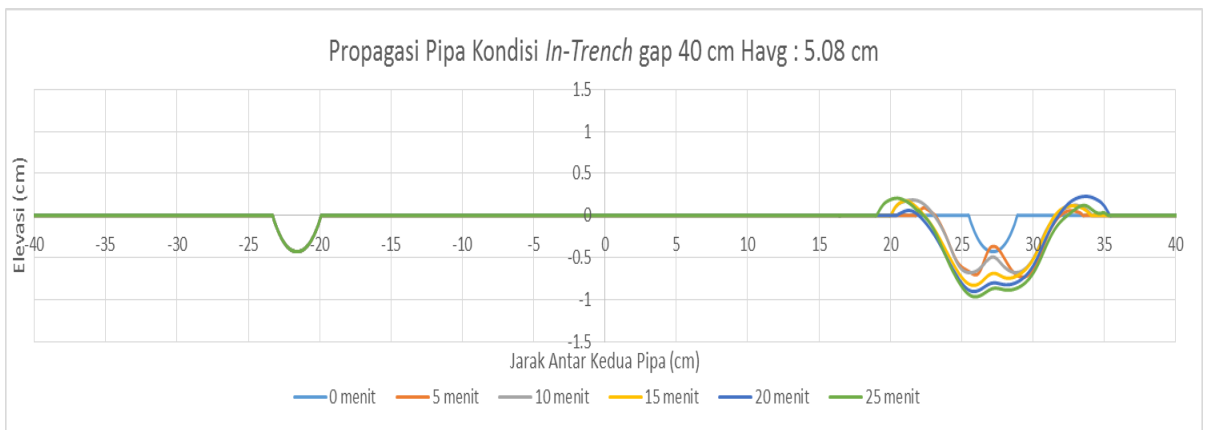
Setelah profil laju propagasi di plot kedalam Software AutoCad, selanjutnya dimasukkan kedalam Ms.Excel sesuai dengan koordinat yang telah didapatkan dari AutoCad. Berikut profil laju propagasi *scouring* pipa berjarak 40 cm kondisi *In-Trench* dengan  $H_{avg} = 5,08$  cm dan  $T_{avg} = 0,96$  s.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.12 Profil Laju Propagasi Pipa Kondisi *In-Trench* gap 40 cm Hi 5 cm (a) Pipa Belakang (b) Pipa Depan (c) Pipa Depan dan Belakang

Posisi awal pipa diletakkan berada pada koordinat 0,0. Koordinat jarak negatif merupakan daerah belakang pipa koordinat jarak positif merupakan daerah depan pipa. Cekungan pada profil 2D pada menit ke-0 dikarenakan



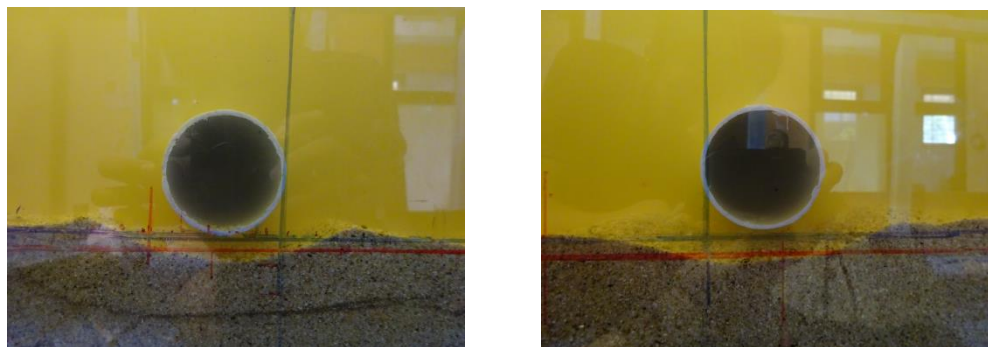
posisi awal pipa posisi *in-trench* 0,4 cm. *Scouring* tidak terjadi dari menit ke-5 sampai menit ke-25 untuk pipa belakang. Sedangkan untuk pipa depan *Scouring* terjadi saat menit ke-10 sampai menit ke-25.

Pengujian ketiga yang dilakukan untuk pipa dengan kondisi meletak ini adalah dengan  $H_i = 7$  cm dan  $T_i = 1$  detik yang menghasilkan  $H_{avg} = 8,15$  cm dan  $T_{avg} = 1,03$  s. Berikut adalah kondisi pipa saat  $t = 0$  menit



Gambar 4.13 Kondisi  $t = 0$  menit eksperimen *scouring* pada dua pipa berjarak 40 cm kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 8,15$  cm dan  $T_{avg} = 1,03$  s

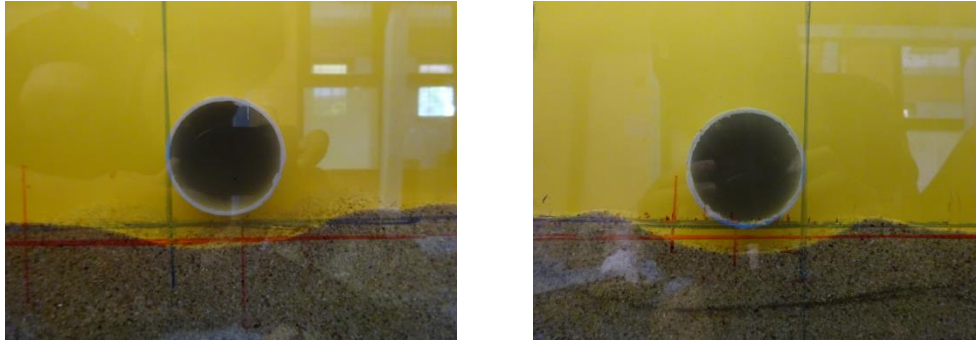
Setelah eksperimen berjalan selama 15 menit kedalaman *scouring* yang terjadi pada pipa depan sebesar 0,8 cm dengan lebar *scouring* yaitu 5,59 cm, sedangkan kedalaman *scouring* pada pipa belakang sebesar 0,79 cm dan lebar *scouring* 6,53 cm.



Gambar 4.14 Kondisi  $t = 15$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) yang berjarak 40 cm kondisi meletak dengan

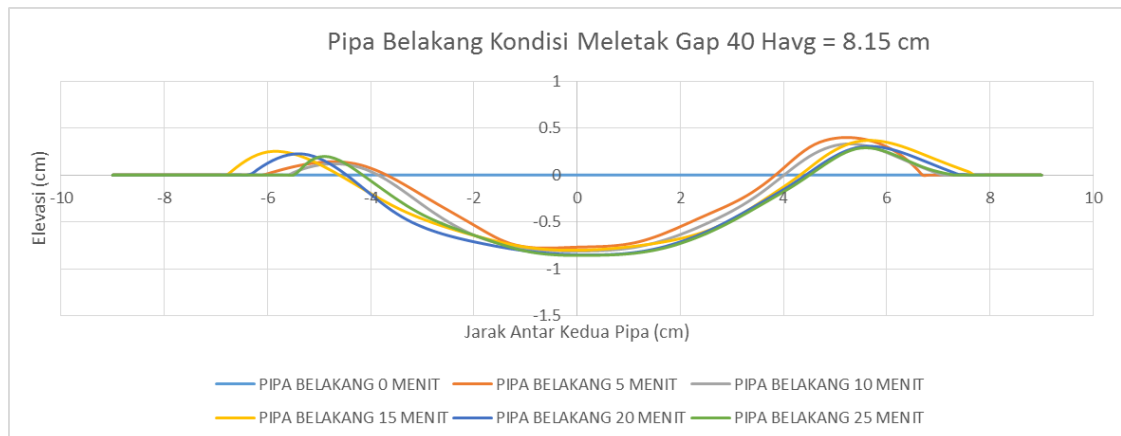
$$H_{avg} = 8,15 \text{ cm dan } T_{avg} = 1,03 \text{ s}$$

Setelah eksperimen selesai dilakukan selama 25 menit kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk pada pipa depan mencapai 0,86 cm dengan lebar 6,78 cm, dan pada pipa belakang terbentuk kedalaman *scouring* sebesar 0,87 cm dan lebar *scouring* sebesar 7,16 cm.



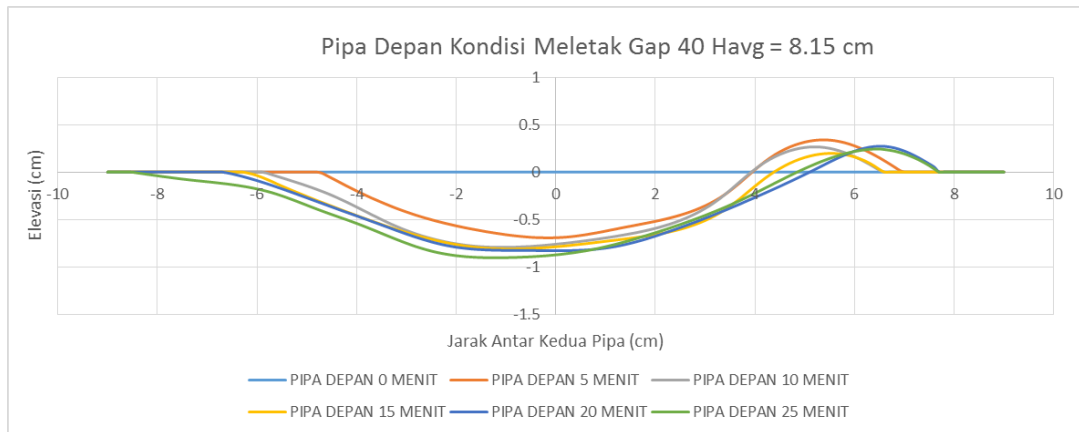
Gambar 4.15 Kondisi  $t = 25$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) yang berjarak 40 cm kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 8,15$  cm dan  $T_{avg} = 1,03$  s

Setelah profil laju propagasi di plot kedalam Software AutoCad, selanjutnya dimasukkan kedalam Ms.Excel sesuai dengan koordinat yang telah didapatkan dari AutoCad. Berikut profil laju propagasi *scouring* pipa berjarak 40 cm kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 8,15$  cm dan  $T_{avg} = 1,03$  s.

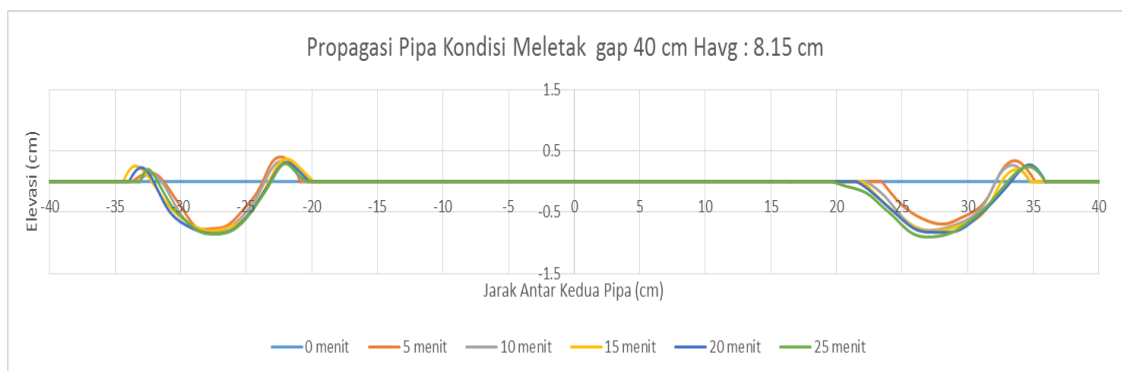


(a)





(b)



(c)

Gambar 4.16 Profil Laju Propagasi Pipa Kondisi Meletak gap 40 cm  $H_i = 7$  cm (a) Pipa Belakang (b) Pipa Depan (c) Pipa Depan dan Belakang

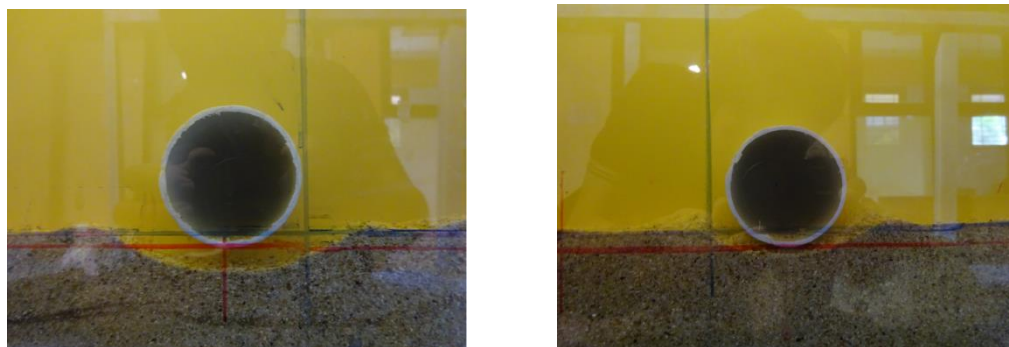
Posisi awal pipa diletakkan berada pada koordinat 0,0. Koordinat jarak negatif merupakan daerah belakang pipa koordinat jarak positif merupakan daerah depan pipa. *Scouring* mulai terjadi saat menit ke-5 dan terus berkembang sampai menit ke-25.

Pengujian keempat yang dilakukan untuk pipa berjarak 40 cm dengan kondisi *in-trench* 4 mm ini adalah dengan  $H_i = 7$  cm dan  $T_i = 1$  detik yang menghasilkan  $H_{avg} = 7,29$  cm dan  $T_{avg} = 0,99$  s. Berikut adalah kondisi pipa saat  $t = 0$  menit.



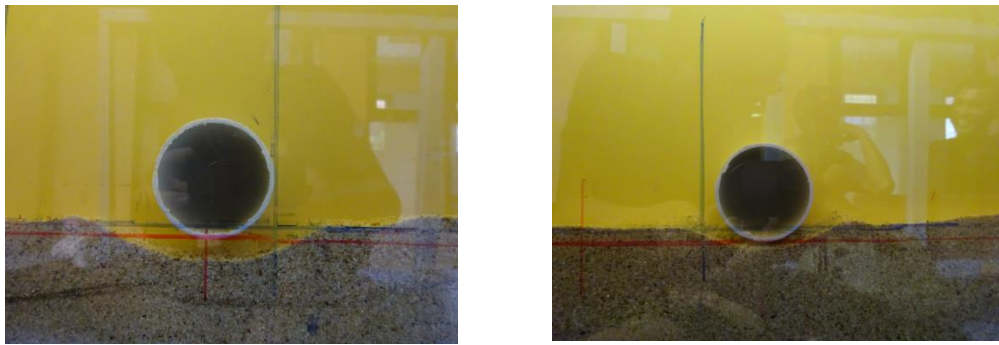
Gambar 4.17 Kondisi  $t = 0$  menit eksperimen *scouring* pada dua pipa berjarak 40 cm kondisi *in-trench* dengan  $H_{avg} = 7,29$  cm dan  $T_{avg} = 0,99$  s

Setelah eksperimen berjalan selama 15 menit kedalaman *scouring* yang terjadi pada pipa depan sebesar 0,26 cm dengan lebar *scouring* yaitu 5,09 cm, sedangkan pada pipa belakang memiliki kedalaman sebesar 0,53 cm dan lebar 6,56 cm.



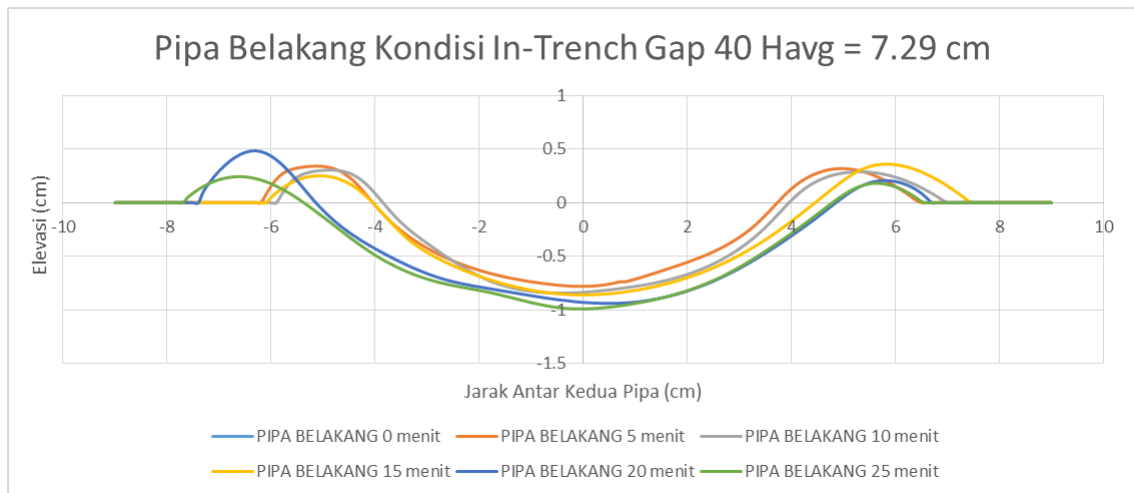
Gambar 4.18 Kondisi  $t = 15$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) yang berjarak 40 cm kondisi *in-trench* dengan  $H_{avg} = 7,29$  cm dan  $T_{avg} = 0,99$  s

Setelah eksperimen selesai dilakukan selama 25 menit kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk pada pipa depan mencapai 0,4 cm dengan lebar 5,57 cm, dan pada pipa belakang terbentuk kedalaman *scouring* sebesar 0,66 cm dan lebar *scouring* sebesar 6,83 cm.

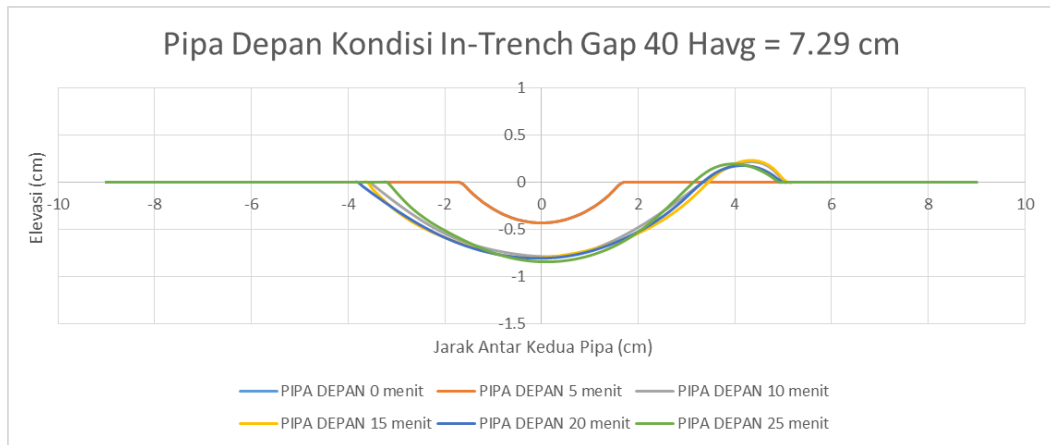


Gambar 4.19 Kondisi  $t = 25$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) yang berjarak 40 cm kondisi *in-trench* dengan  $H_{avg} = 7,29$  cm dan  $T_{avg} = 0,99$  s

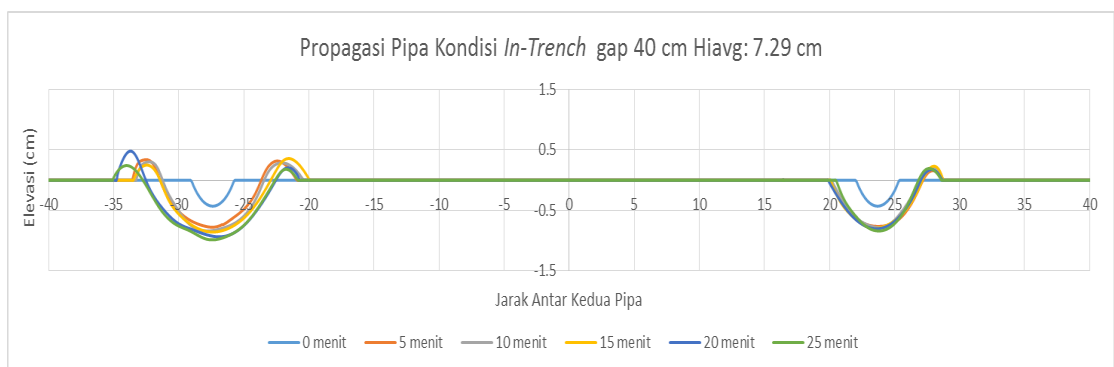
Setelah profil laju propagasi di plot kedalam Software AutoCad, selanjutnya dimasukkan kedalam Ms.Excel sesuai dengan koordinat yang telah didapatkan dari AutoCad. Berikut profil laju propagasi *scouring* pipa berjarak 40 cm kondisi *In-Trench* dengan  $H_{avg} = 7,29$  cm dan  $T_{avg} = 0,99$  s.



(a)



(b)



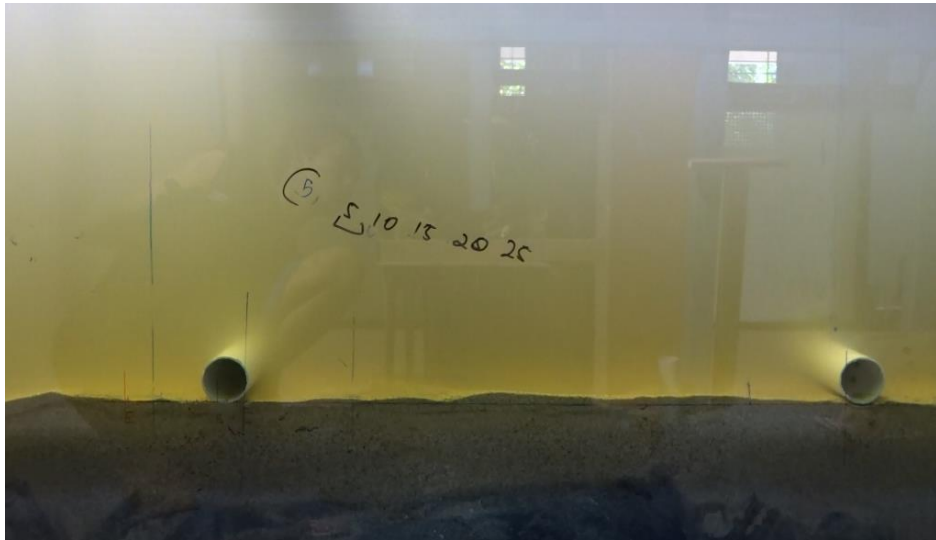
(c)

Gambar 4.20 Profil Laju Propagasi Pipa Kondisi *In-Trench* gap 40 cm  $H_i$  7 cm (a) Pipa Belakang (b) Pipa Depan (c) Pipa Depan dan Belakang

Posisi awal pipa diletakkan berada pada koordinat 0,0. Koordinat jarak negatif merupakan daerah belakang pipa koordinat jarak positif merupakan daerah depan pipa. Cekungan pada profil 2D pada menit ke-0 dikarenakan posisi awal pipa posisi *in-trench* 0,4 cm. *Scouring* terjadi dari menit ke-5 sampai menit ke-25 untuk pipa belakang maupun pipa depan.

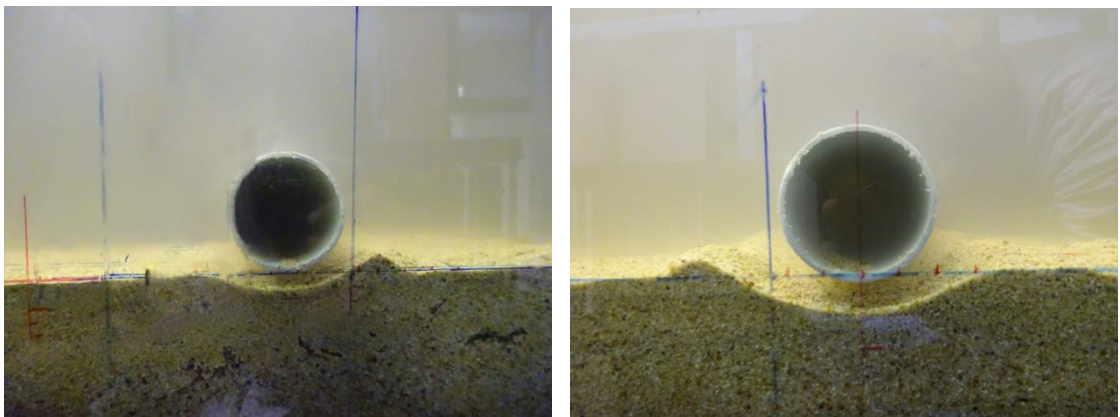
#### 4.2.2 Hasil Eksperimen *Scouring* untuk Dua Pipa yang Berjarak 60 cm

Pengujian pertama yang dilakukan untuk pipa dengan kondisi meletak ini adalah dengan  $H_i = 5$  cm dan  $T_i = 1$  detik yang menghasilkan  $H_{avg} = 6,06$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s. Berikut adalah kondisi pipa saat  $t = 0$  menit.



Gambar 4.21 Kondisi  $t = 0$  menit eksperimen *scouring* pada dua pipa berjarak 60 cm kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 6,06$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s

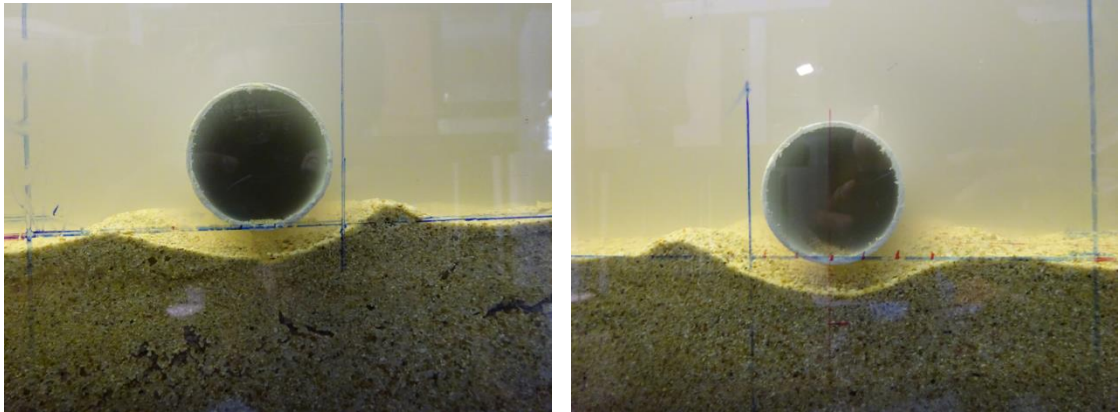
Setelah eksperimen berjalan selama 15 menit kedalaman *scouring* yang terjadi pada pipa depan sebesar 0,84 cm dengan lebar *scouring* yaitu 6,1 cm, sedangkan kedalaman *scouring* pada pipa belakang sebesar 0,68 cm dan lebar *scouring* 6,11 cm



Gambar 4.22 Kondisi  $t = 15$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) berjarak 60 cm kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 6,06$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s

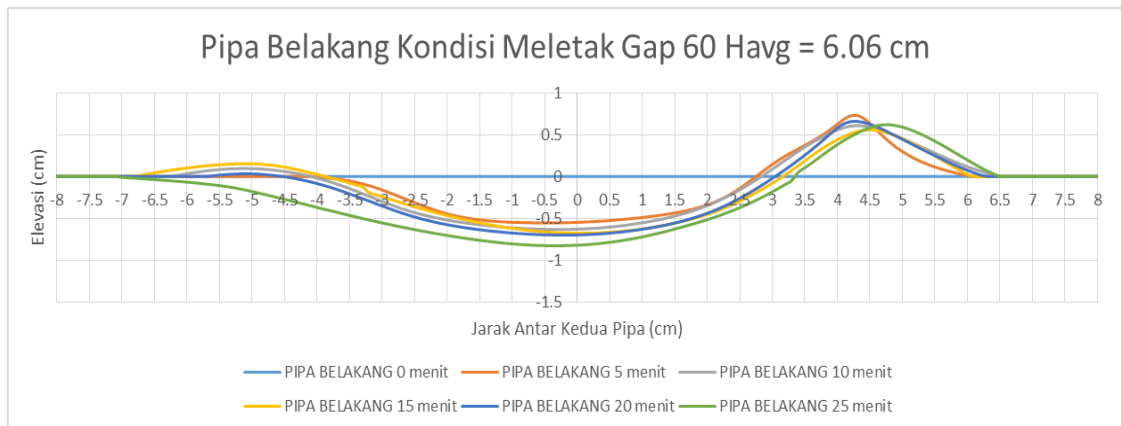
Setelah eksperimen selesai dilakukan selama 25 menit kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk pada pipa depan mencapai 0,9 cm dengan lebar

6,64 cm, dan pada pipa belakang terbentuk kedalaman *scouring* sebesar 0,82 cm dan lebar *scouring* sebesar 6,27 cm.

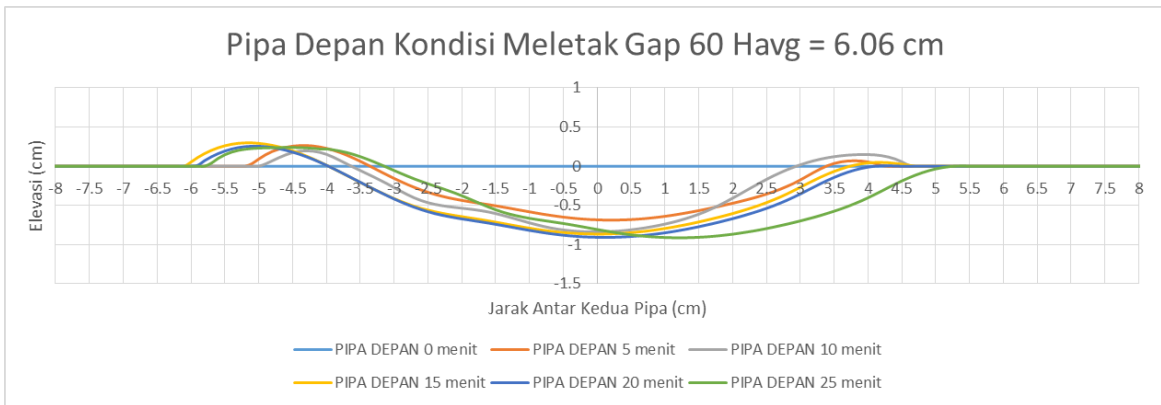


Gambar 4.23 Kondisi  $t = 25$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) berjarak 60 cm kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 6,06$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s

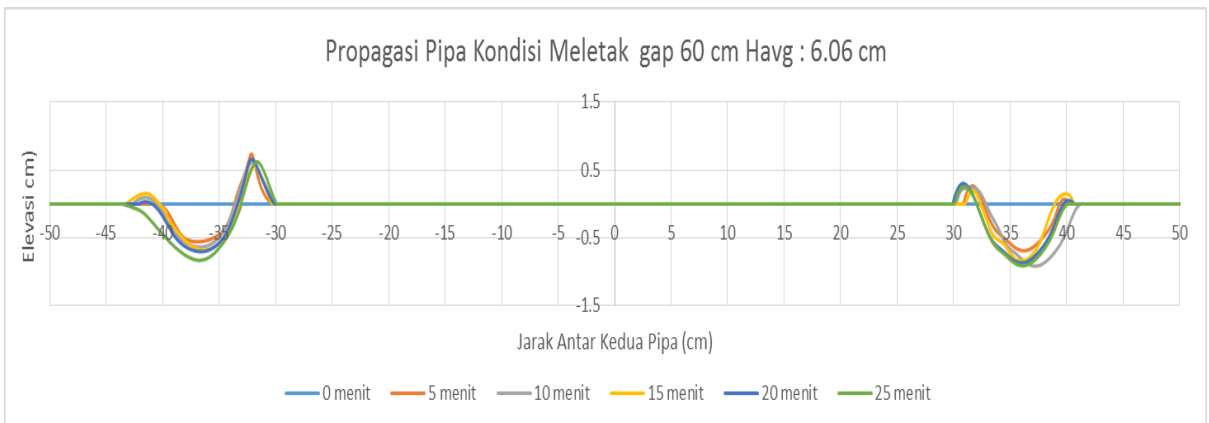
Setelah profil laju propagasi di plot kedalam Software AutoCad, selanjutnya dimasukkan kedalam Ms.Excel sesuai dengan koordinat yang telah didapatkan dari AutoCad. Berikut profil laju propagasi *scouring* pipa berjarak 60 cm kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 6,06$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.24 Profil Laju Propagasi Pipa Kondisi Meletak gap 60 cm  $H_i$  5 cm (a) Pipa Belakang (b) Pipa Depan (c) Pipa Depan dan Belakang

Posisi awal pipa diletakkan berada pada koordinat 0,0. Koordinat jarak negatif merupakan daerah belakang pipa koordinat jarak positif merupakan daerah depan pipa. *Scouring* mulai terjadi saat menit ke-5 dan terus berkembang sampai menit ke-25.

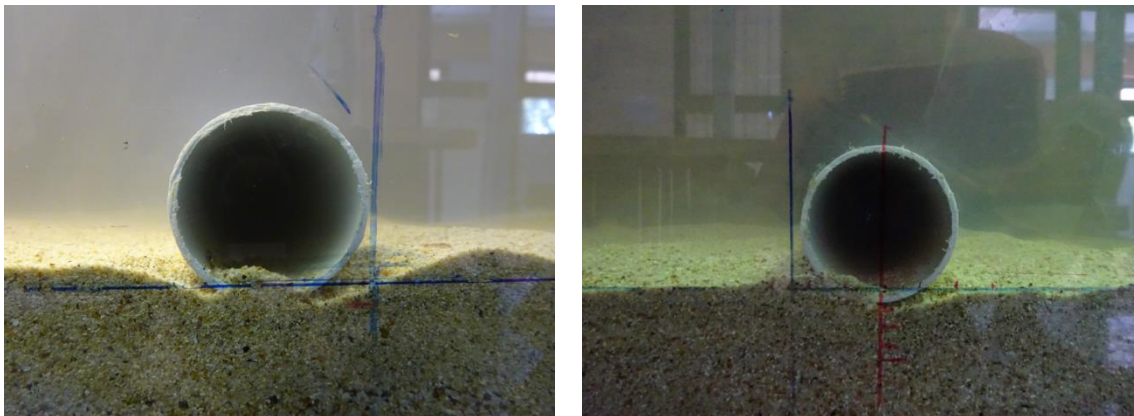
Pengujian kedua yang dilakukan untuk pipa dengan kondisi *in-trench* 4 mm ini adalah dengan  $H_i = 5$  cm dan  $T_i = 1$  detik yang menghasilkan  $H_{avg} = 5,14$  cm dan  $T_{avg} = 0,94$  s. Berikut adalah kondisi pipa saat  $t = 0$  menit.





Gambar 4.25 Kondisi  $t = 0$  menit eksperimen *scouring* pada dua pipa berjarak 60 cm kondisi *in-trench* 4 mm dengan  $H_{avg} = 5,14$  cm dan  $T_{avg} = 0,94$  s

Setelah eksperimen berjalan selama 15 menit kedalaman *scouring* yang terjadi pada pipa depan sebesar 0,56 cm dengan lebar *scouring* yaitu 4,95 cm, sedangkan kedalaman *scouring* pada pipa belakang sebesar 0 cm dan lebar *scouring* 0 cm.

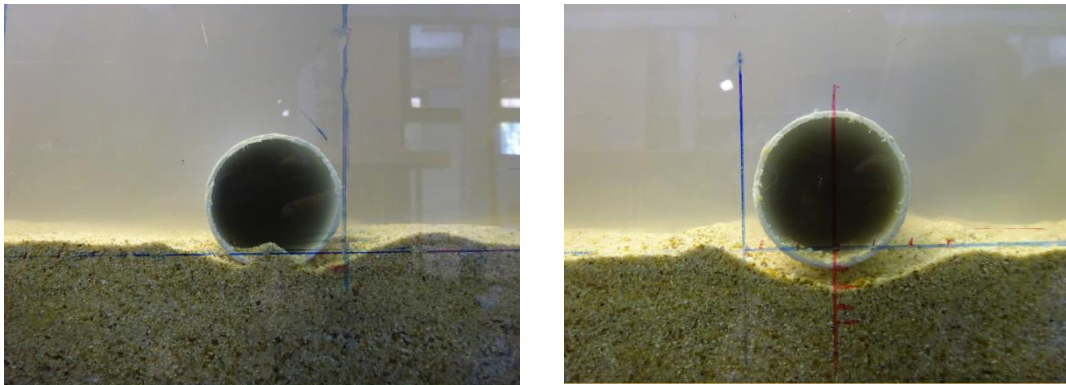


Gambar 4.26 Kondisi  $t = 15$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) berjarak 60 cm kondisi *in-trench* dengan  $H_{avg} = 5,14$  cm dan  $T_{avg} = 0,94$  s

Setelah eksperimen selesai dilakukan selama 25 menit kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk pada pipa depan mencapai 0,67 cm dengan lebar

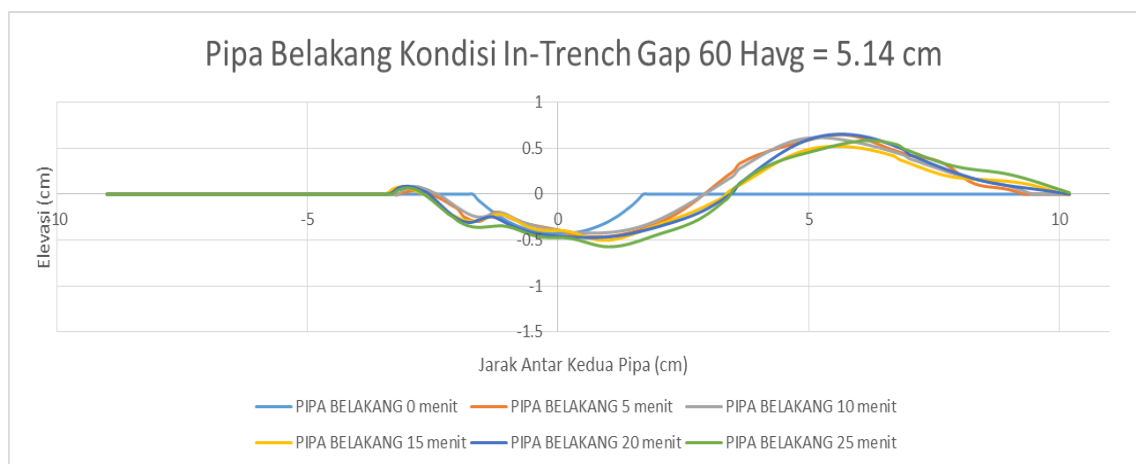


5,68 cm dan pada pipa belakang terbentuk kedalaman *scouring* sebesar 0 cm dan lebar *scouring* sebesar 0 cm.

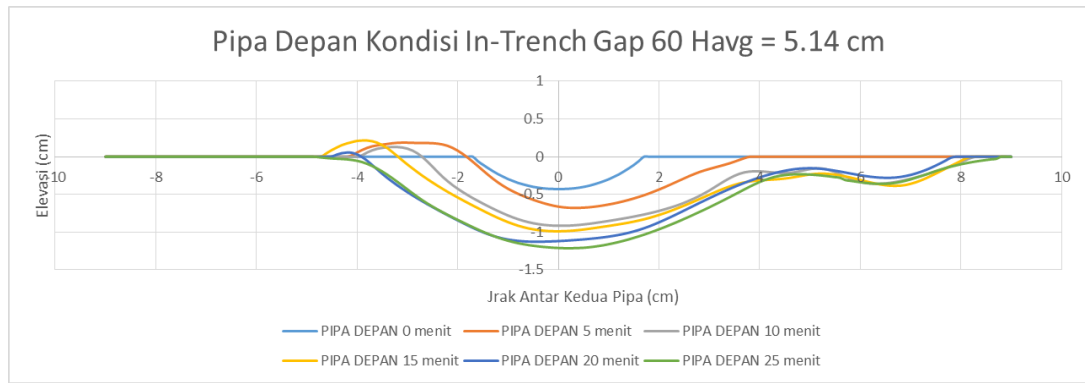


Gambar 4.27 Kondisi  $t = 25$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) berjarak 60 cm kondisi *in-trench* dengan  $H_{avg} = 5,14$  cm dan  $T_{avg} = 0,94$  s

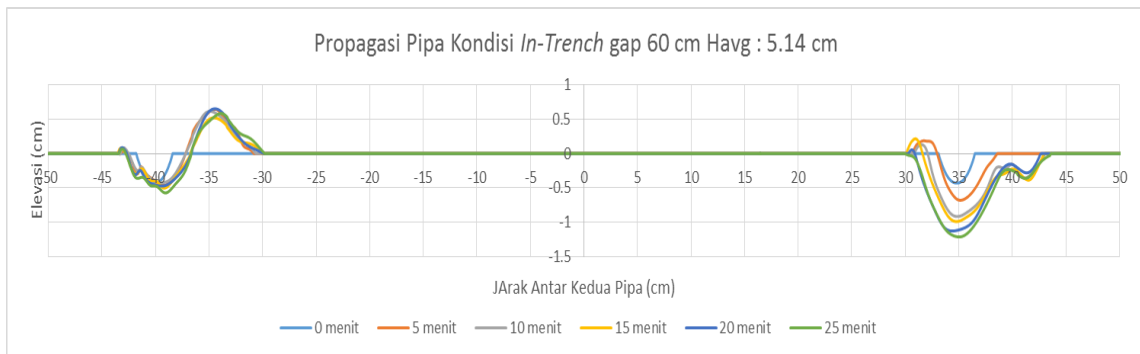
Setelah profil laju propagasi di plot kedalam Software AutoCad, selanjutnya dimasukkan kedalam Ms.Excel sesuai dengan koordinat yang telah didapatkan dari AutoCad. Berikut profil laju propagasi *scouring* pipa berjarak 60 cm kondisi *In-Trench* dengan  $H_{avg} = 5,14$  cm dan  $T_{avg} = 0,94$  s.



(a)



(b)

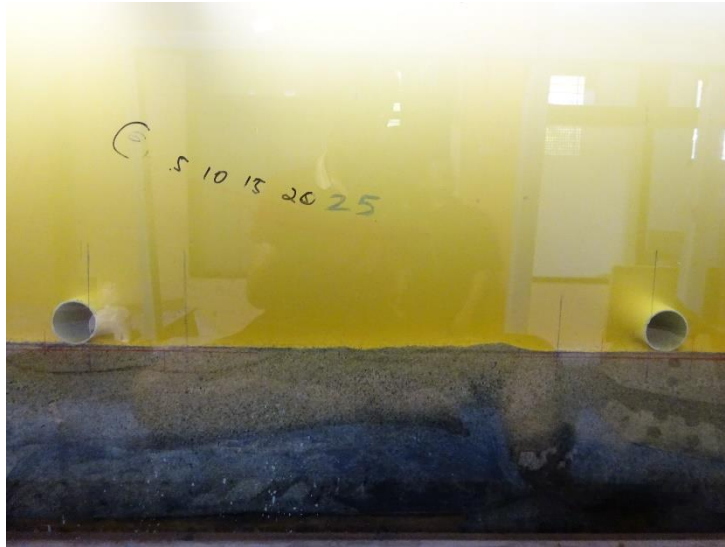


(c)

Gambar 4.28 Profil Laju Propagasi Pipa Kondisi *In-Trench* gap 60 cm  $H_i$  5 cm (a) Pipa Belakang (b) Pipa Depan (c) Pipa Depan dan Belakang

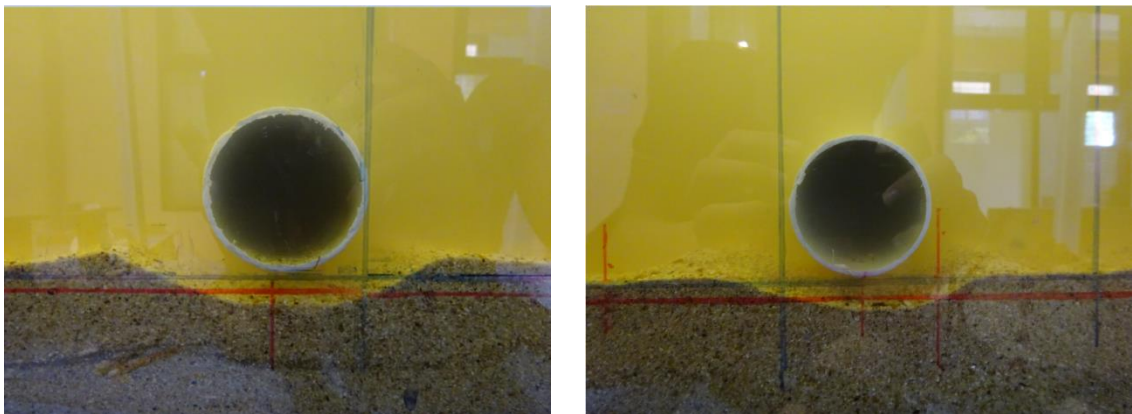
Posisi awal pipa diletakkan berada pada koordinat 0,0. Koordinat jarak negatif merupakan daerah belakang pipa koordinat jarak positif merupakan daerah depan pipa. Cekungan pada profil 2D pada menit ke-0 dikarenakan posisi awal pipa posisi *in-trench* 0,4 cm. *Scouring* terjadi dari menit ke-5 sampai menit ke-25 untuk pipa depan. Sedangkan pipa belakang tidak terbentuk *scouring* pada profil 2D dari kondisi awal sampai menit ke-25.

Pengujian ketiga yang dilakukan untuk pipa dengan kondisi meletak ini adalah dengan  $H_i = 7$  cm dan  $T_i = 1$  detik yang menghasilkan  $H_{avg} = 8,10$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s. Berikut adalah kondisi pipa saat  $t = 0$  menit.



Gambar 4.29 Kondisi  $t = 0$  menit eksperimen *scouring* pada dua pipa berjarak 60 cm kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 8,10$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s

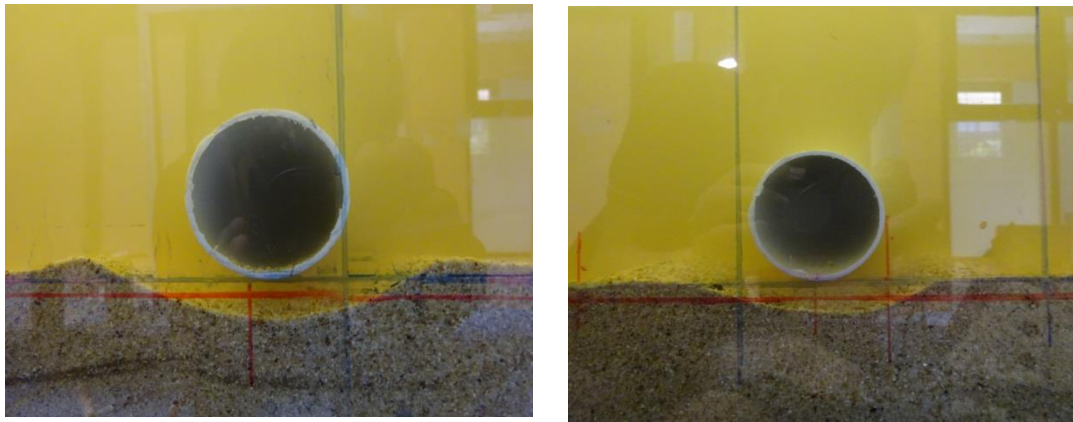
Setelah eksperimen berjalan selama 15 menit kedalaman *scouring* yang terjadi pada pipa depan sebesar 0,84 cm dengan lebar *scouring* yaitu 5,87 cm, sedangkan kedalaman *scouring* pada pipa belakang sebesar 0,91 cm dan lebar *scouring* 6,87 cm



Gambar 4.30 Kondisi  $t = 15$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) berjarak 60 cm kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 8,10$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s

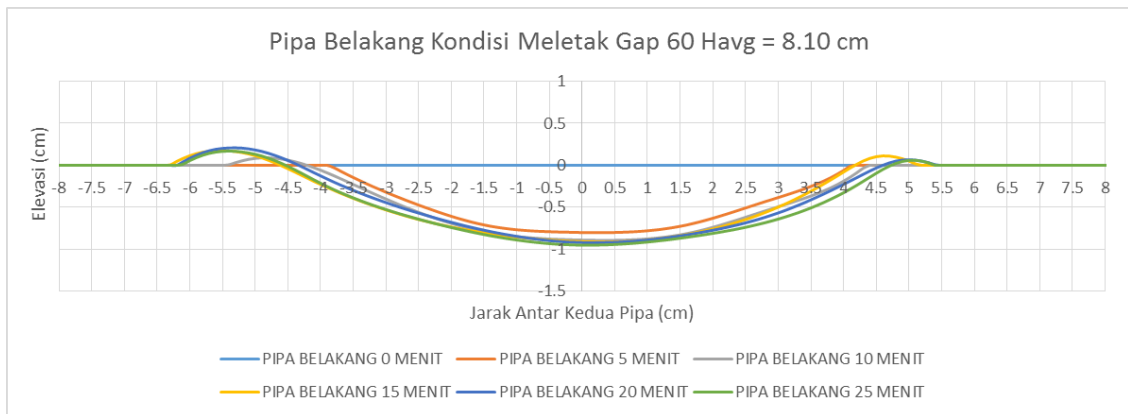
Setelah eksperimen selesai dilakukan selama 25 menit kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk pada pipa depan mencapai 0,91 cm dengan lebar

6,82 cm, dan pada pipa belakang terbentuk kedalaman *scouring* sebesar 0,95 cm dan lebar *scouring* sebesar 7,43 cm.

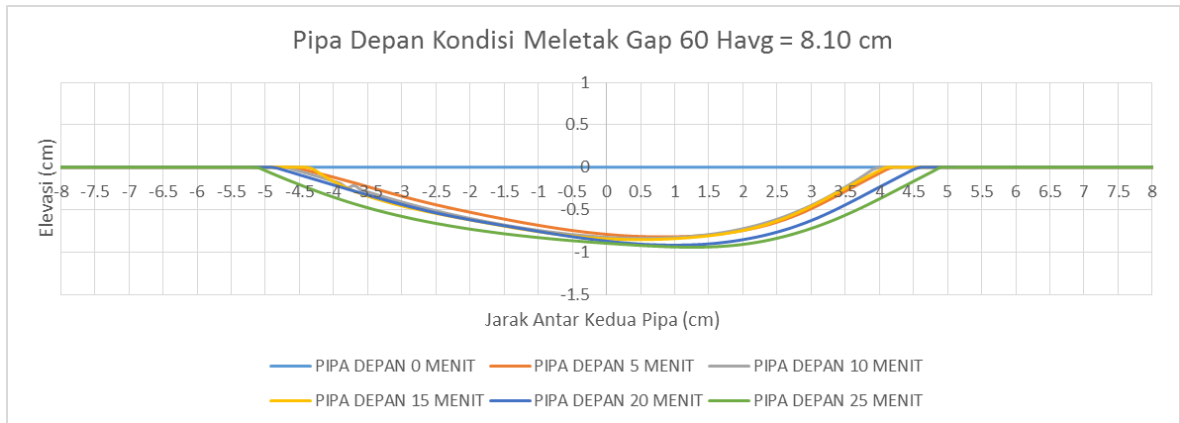


Gambar 4.31 Kondisi  $t = 25$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) berjarak 60 cm kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 8,10$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s

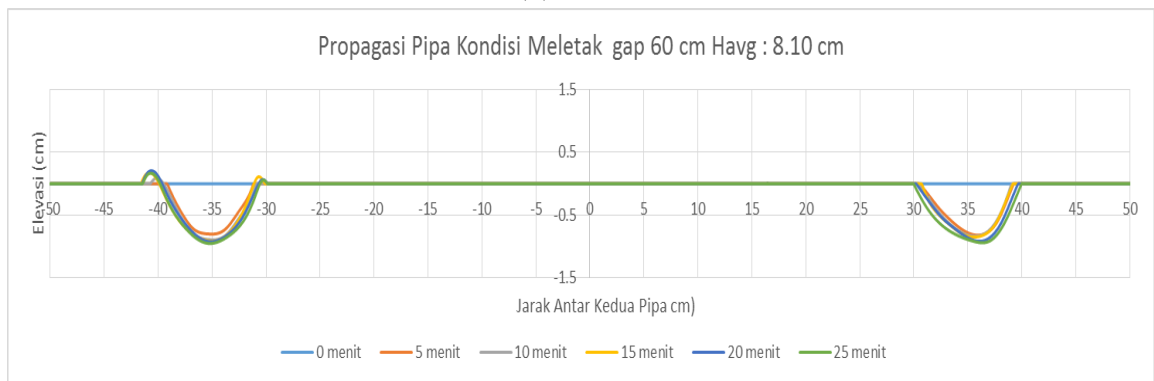
Setelah profil laju propagasi di plot kedalam Software AutoCad, selanjutnya dimasukkan kedalam Ms.Excel sesuai dengan koordinat yang telah didapatkan dari AutoCad. Berikut profil laju propagasi *scouring* pipa berjarak 60 cm kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 8,10$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.32 Profil Laju Propagasi Pipa Kondisi Meletak gap 60 cm  $H_i$  7 cm (a) Pipa Belakang (b) Pipa Depan (c) Pipa Depan dan Belakang

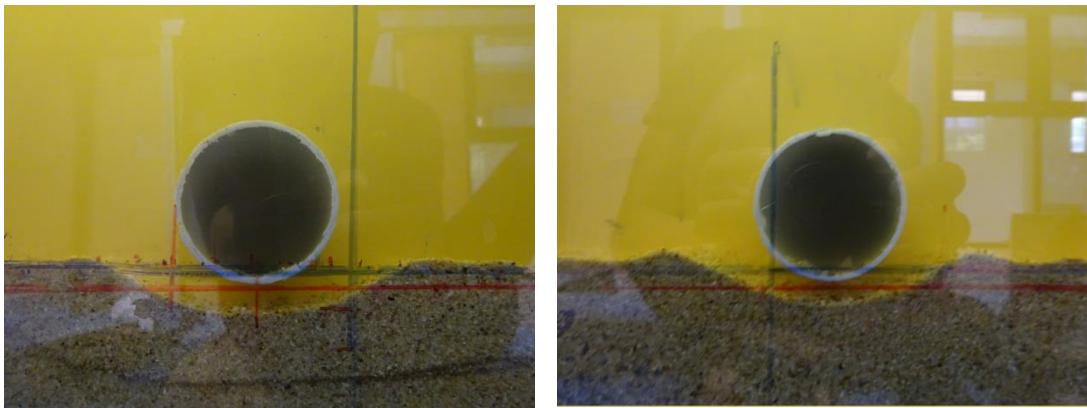
Posisi awal pipa diletakkan berada pada koordinat 0,0. Koordinat jarak negatif merupakan daerah belakang pipa koordinat jarak positif merupakan daerah depan pipa. *Scouring* mulai terjadi saat menit ke-5 dan terus berkembang sampai menit ke-25 untuk pipa depan maupun belakang.

Pengujian keempat yang dilakukan untuk pipa dengan kondisi *in-trench* 4 mm ini adalah dengan  $H_i = 7$  cm dan  $T_i = 1$  detik yang menghasilkan  $H_{avg} = 8,23$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s. Berikut adalah kondisi pipa saat  $t = 0$  menit.



Gambar 4.33 Kondisi  $t = 0$  menit eksperimen *scouring* pada dua pipa berjarak 60 cm kondisi *in-trench* 4 mm dengan  $H_{avg} = 8,23$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s.

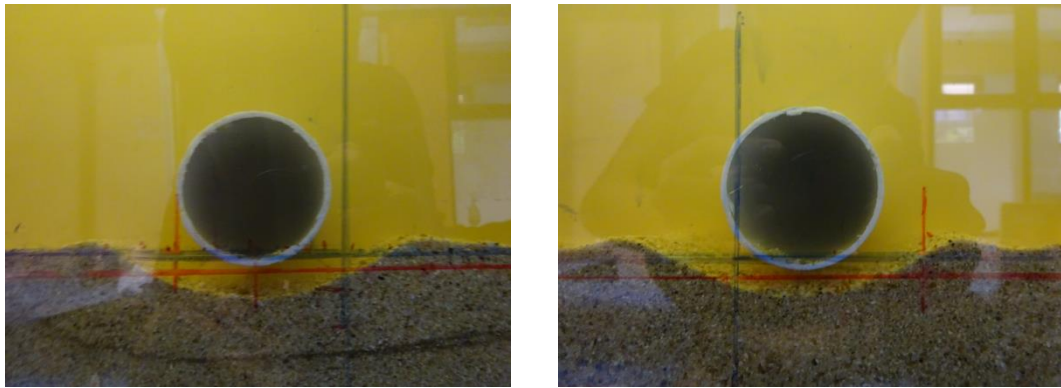
Setelah eksperimen berjalan selama 15 menit kedalaman *scouring* yang terjadi pada pipa depan sebesar 0,6 cm dengan lebar *scouring* yaitu 5,43 cm, sedangkan kedalaman *scouring* pada pipa belakang sebesar 0,72 cm dan lebar *scouring* 6,4 cm.



Gambar 4.34 Kondisi  $t = 15$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) berjarak 60 cm kondisi *in-trench* dengan  $H_{avg} = 8,23$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s.

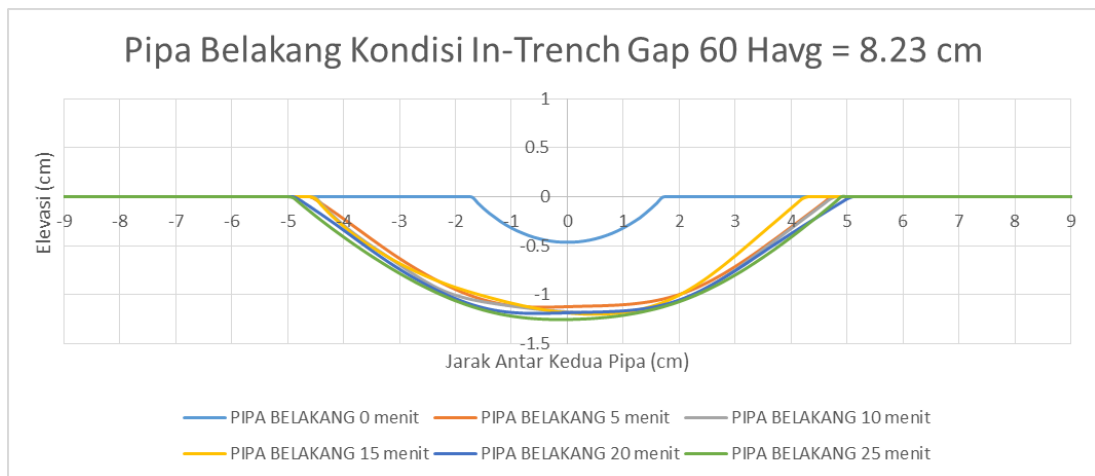
Setelah eksperimen selesai dilakukan selama 25 menit kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk pada pipa depan mencapai 0,75 cm dengan lebar 5,95 cm dan pada pipa belakang terbentuk kedalaman *scouring* sebesar 0,79 cm dan lebar *scouring* sebesar 7 cm.



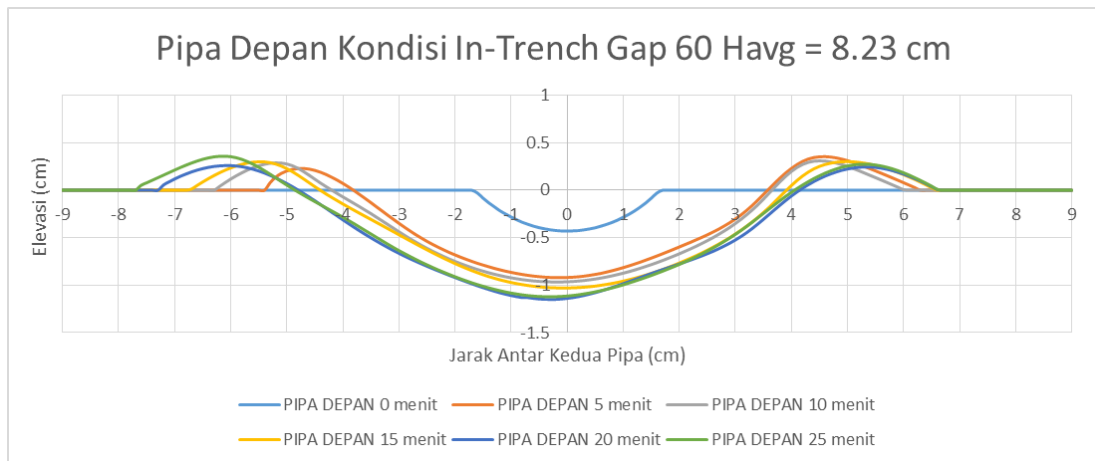


Gambar 4.35 Kondisi  $t = 25$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) berjarak 60 cm kondisi *in-trench* dengan  $H_{avg} = 8,23$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s.

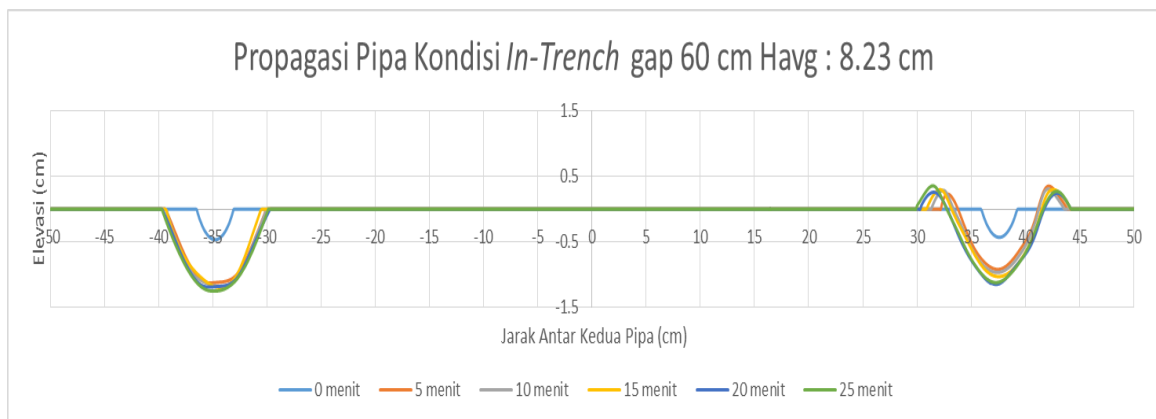
Setelah profil laju propagasi di plot kedalam Software AutoCad, selanjutnya dimasukkan kedalam Ms.Excel sesuai dengan koordinat yang telah didapatkan dari AutoCad. Berikut profil laju propagasi *scouring* pipa berjarak 60 cm kondisi *In-Trench* dengan  $H_{avg} = 8,23$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s..



(a)



(b)



(c)

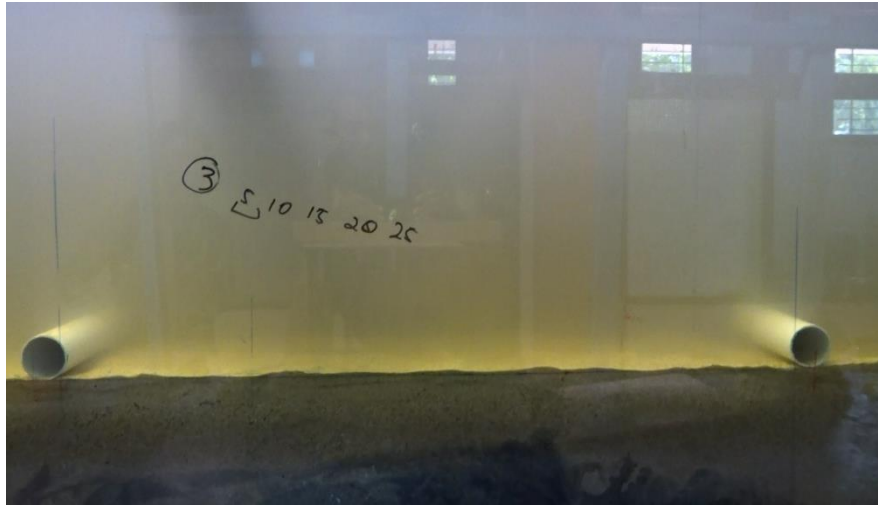
Gambar 4.36 Profil Laju Propagasi Pipa Kondisi *In-Trench* gap 60 cm  $H_i$  7 cm (a) Pipa Belakang (b) Pipa Depan (c) Pipa Depan dan Belakang

Posisi awal pipa diletakkan berada pada koordinat 0,0. Koordinat jarak negatif merupakan daerah belakang pipa koordinat jarak positif merupakan daerah depan pipa. Cekungan pada profil 2D pada menit ke-0 dikarenakan posisi awal pipa posisi *in-trench* 0,4 cm. *Scouring* terjadi dari menit ke-5 sampai menit ke-25 untuk pipa depan maupun belakang.

#### 4.2.3 Hasil Eksperimen *Scouring* untuk Dua Pipa yang Berjarak 80 cm

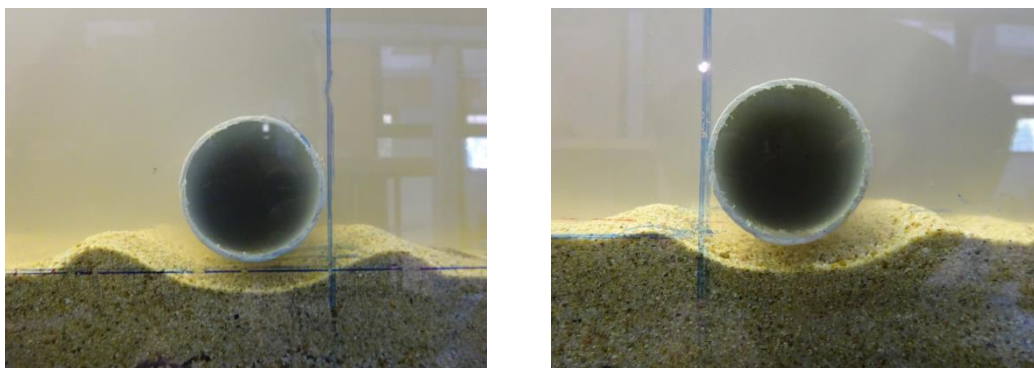
Pengujian pertama yang dilakukan untuk pipa dengan kondisi meletak ini adalah dengan  $H_i = 5$  cm dan  $T_i = 1$  detik yang menghasilkan  $H_{avg} = 5,29$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s. Berikut adalah kondisi pipa saat  $t = 0$  menit





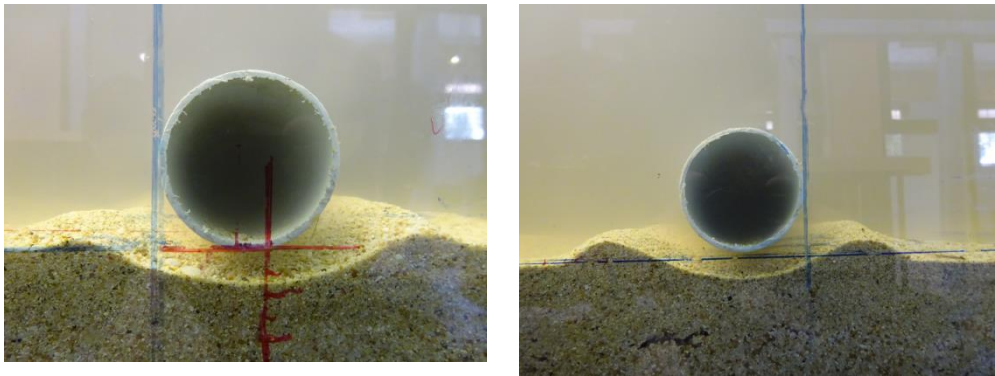
Gambar 4.37 Kondisi  $t = 0$  menit eksperimen *scouring* pada dua pipa berjarak 80 cm kondisi meletak, dengan  $H_{avg} = 5,29$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s

Setelah eksperimen berjalan selama 15 menit kedalaman *scouring* yang terjadi pada pipa belakang sebesar 0,87 cm dengan lebar *scouring* yaitu 6,12 cm, sedangkan kedalaman *scouring* pada pipa depan sebesar 0,8 cm dan lebar *scouring* 6,59 cm



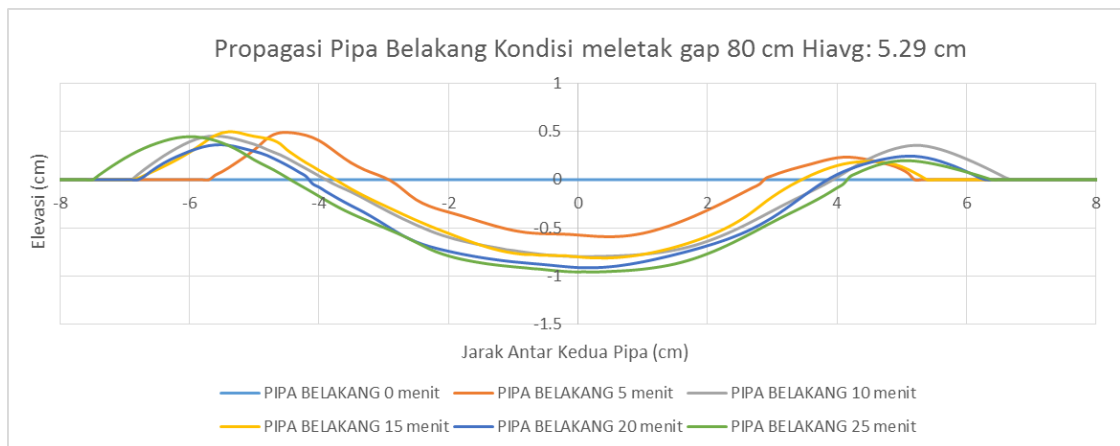
Gambar 4.38 Kondisi  $t = 15$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) berjarak 80 cm kondisi meletak, dengan  $H_{avg} = 5,29$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s

Setelah eksperimen selesai dilakukan selama 25 menit kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk pada pipa belakang mencapai 0,92 dengan lebar 6,67 dan pada pipa belakang terbentuk kedalaman *scouring* sebesar 0,96 dan lebar *scouring* sebesar 7,08 cm.

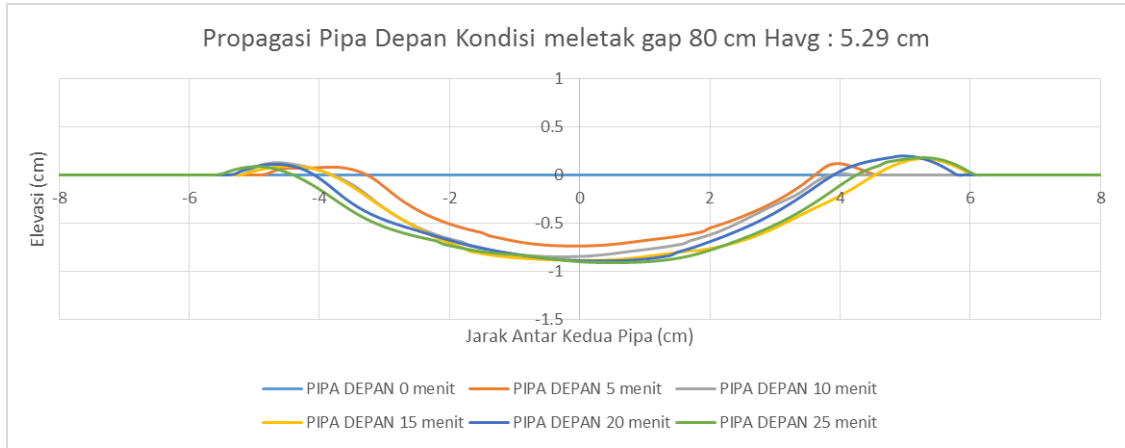


Gambar 4.39 Kondisi  $t = 25$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) berjarak 80 cm kondisi meletak, dengan  $H_{avg} = 5,29$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s

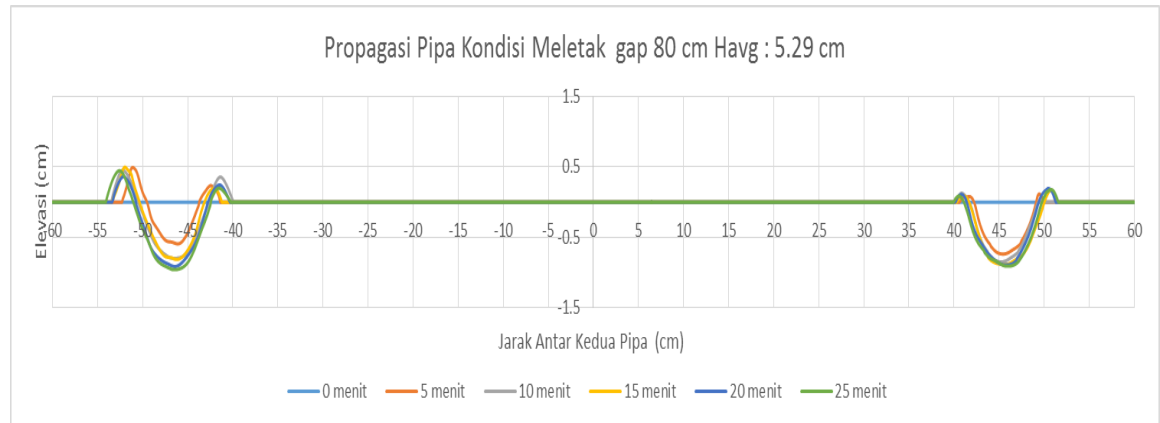
Setelah profil laju propagasi di plot kedalam Software AutoCad, selanjutnya dimasukkan kedalam Ms.Excel sesuai dengan koordinat yang telah didapatkan dari AutoCad. Berikut profil laju propagasi *scouring* pipa berjarak 80 cm kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 5,29$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s.



(a)



(b)

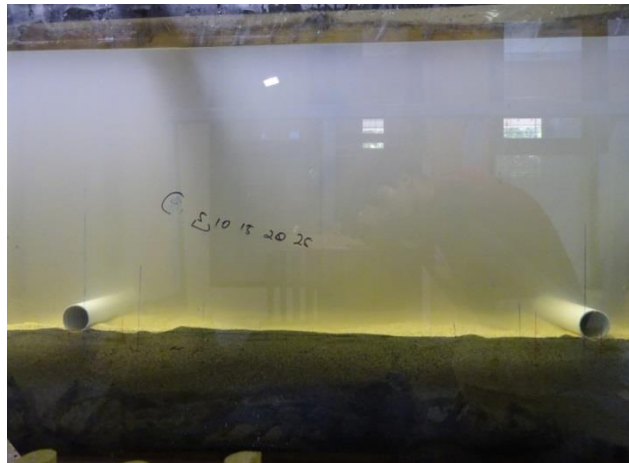


(c)

Gambar 4.39 Profil Laju Propagasi Pipa Kondisi Meletak gap 80 cm  $H_i$  5 cm (a) Pipa Belakang (b) Pipa Depan (c) Pipa Depan dan Belakang

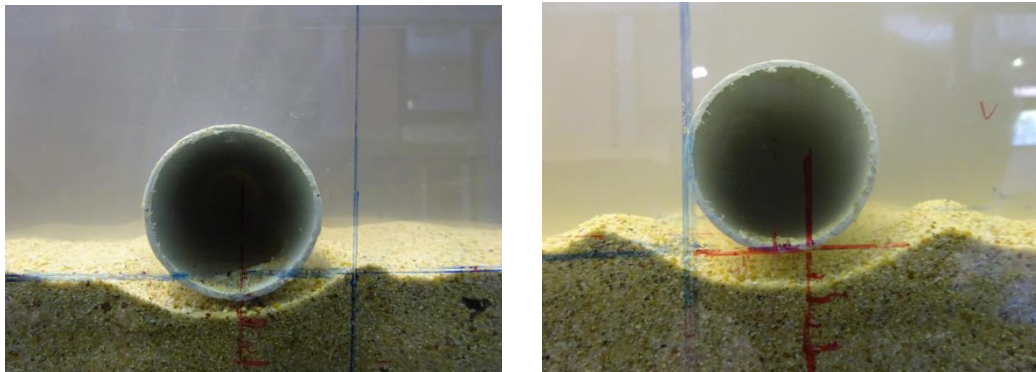
Posisi awal pipa diletakkan berada pada koordinat 0,0. Koordinat jarak negatif merupakan daerah belakang pipa koordinat jarak positif merupakan daerah depan pipa. *Scouring* mulai terjadi saat menit ke-5 dan terus berkembang sampai menit ke-25 untuk pipa depan maupun belakang.

Pengujian kedua yang dilakukan untuk pipa dengan kondisi *in-trench* 4 mm ini adalah dengan  $H_i = 5$  cm dan  $T_i = 1$  detik yang menghasilkan  $H_{avg} = 5,15$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s. Berikut adalah kondisi pipa saat  $t = 0$  menit.



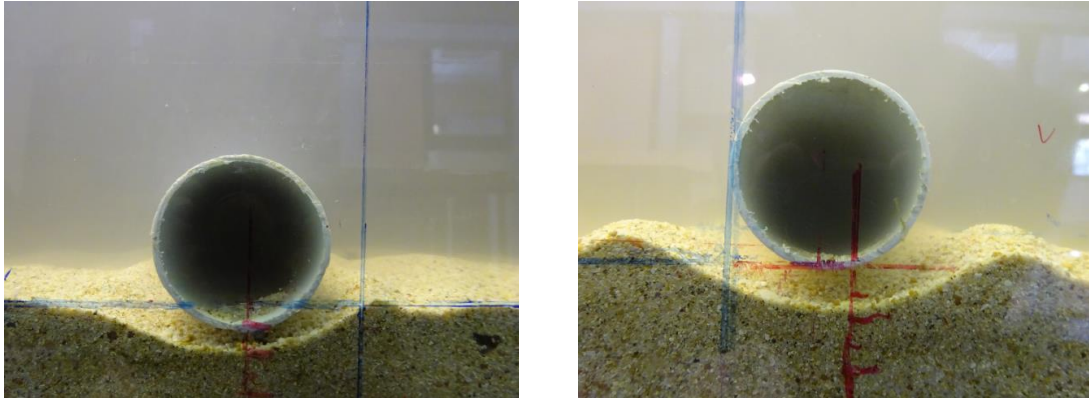
Gambar 4.40 Kondisi  $t = 0$  menit eksperimen *scouring* pada dua pipa berjarak 80 cm kondisi *in-trench* 4 mm dengan  $H_{avg} = 5,15$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s

Setelah eksperimen berjalan selama 15 menit kedalaman *scouring* yang terjadi pada pipa depan sebesar 0,69 cm dengan lebar *scouring* yaitu 6,52 cm, sedangkan kedalaman *scouring* pada pipa belakang sebesar 0,47 cm dan lebar 5,73 cm.



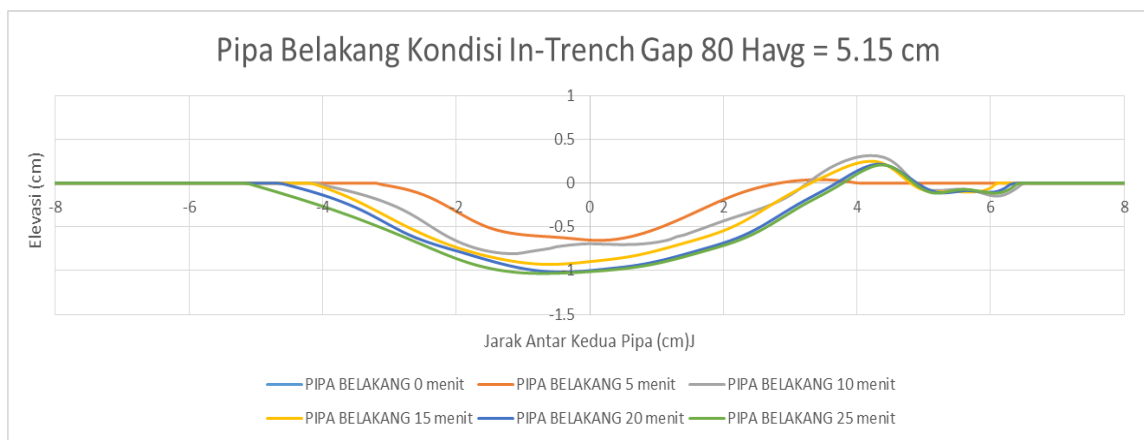
Gambar 4.41 Kondisi  $t = 15$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) berjarak 80 cm kondisi *in-trench* 4 mm dengan  $H_{avg} = 5,15$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s

Setelah eksperimen selesai dilakukan selama 25 menit kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk pada pipa depan mencapai 0,91 dengan lebar 6,68 dan pada kedalaman *scouring* pada pipa belakang sebesar 0,58 cm dan lebar 6,44 cm.

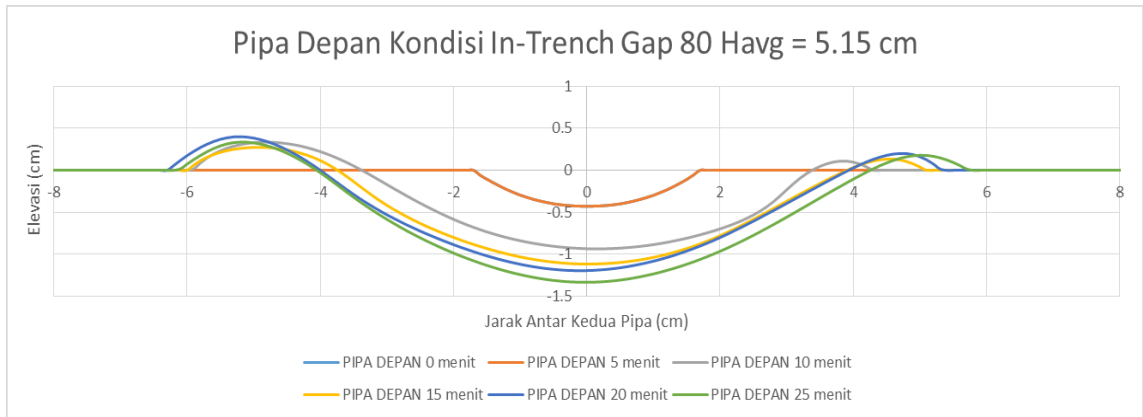


Gambar 4.42 Kondisi  $t = 25$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) berjarak 80 cm kondisi *in-trench* 4 mm, dengan  $H_{avg} = 5,15$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s

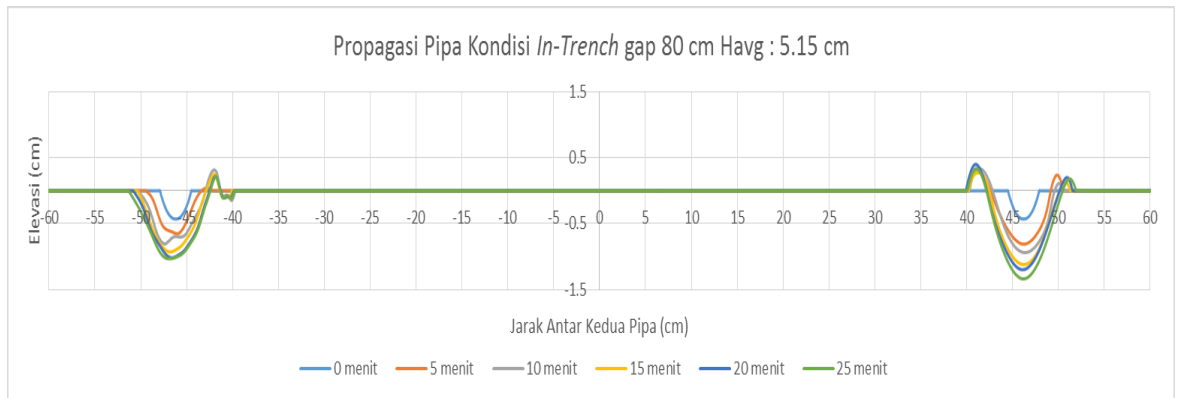
Setelah profil laju propagasi di plot kedalam Software AutoCad, selanjutnya dimasukkan kedalam Ms.Excel sesuai dengan koordinat yang telah didapatkan dari AutoCad. Berikut profil laju propagasi *scouring* pipa berjarak 80 cm kondisi *In-Trench* dengan  $H_{avg} = 5,15$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s.



(a)



(b)



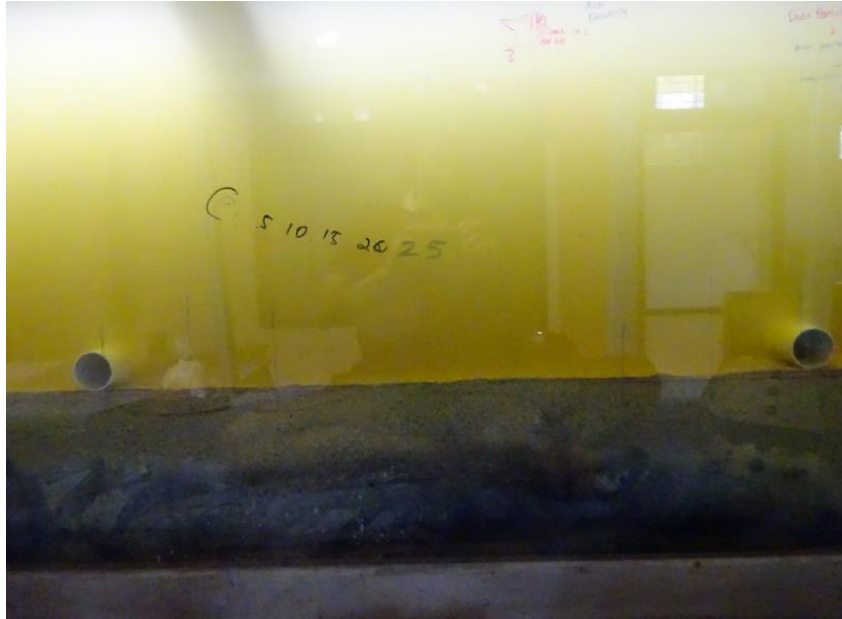
(c)

Gambar 4.43 Profil Laju Propagasi Pipa Kondisi *In-Trench* gap 80 cm  $H_i$  5 cm (a) Pipa Belakang (b) Pipa Depan (c) Pipa Depan dan Belakang

Posisi awal pipa diletakkan berada pada koordinat 0,0. Koordinat jarak negatif merupakan daerah belakang pipa koordinat jarak positif merupakan daerah depan pipa. Cekungan pada profil 2D pada menit ke-0 dikarenakan posisi awal pipa posisi *in-trench* 0,4 cm. *Scouring* terjadi dari menit ke-5 sampai menit ke-25 untuk pipa depan maupun belakang.

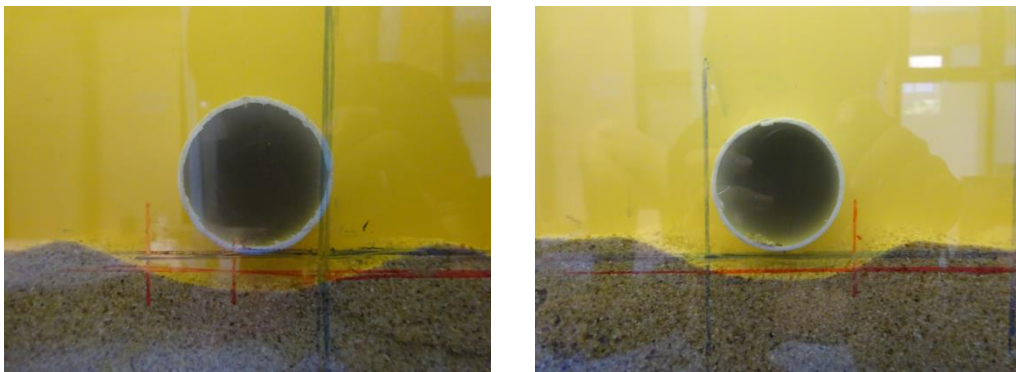
Pengujian ketiga yang dilakukan untuk pipa dengan kondisi meletak ini adalah dengan  $H_i = 7$  cm dan  $T_i = 1$  detik yang menghasilkan  $H_{avg} = 8$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s. Berikut adalah kondisi pipa saat  $t = 0$  menit





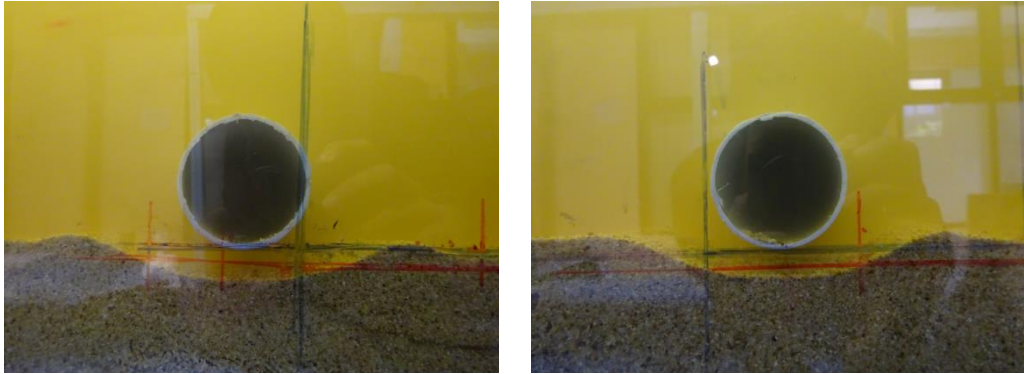
Gambar 4.44 Kondisi  $t = 0$  menit eksperimen *scouring* pada dua pipa berjarak 80 cm kondisi meletak, dengan  $H_{avg} = 8$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s

Setelah eksperimen berjalan selama 15 menit kedalaman *scouring* yang terjadi pada pipa depan sebesar 0,83 cm dengan lebar *scouring* yaitu 7,18 cm, sedangkan kedalaman *scouring* pada pipa belakang sebesar 0,99 cm dan lebar *scouring* 7,46 cm



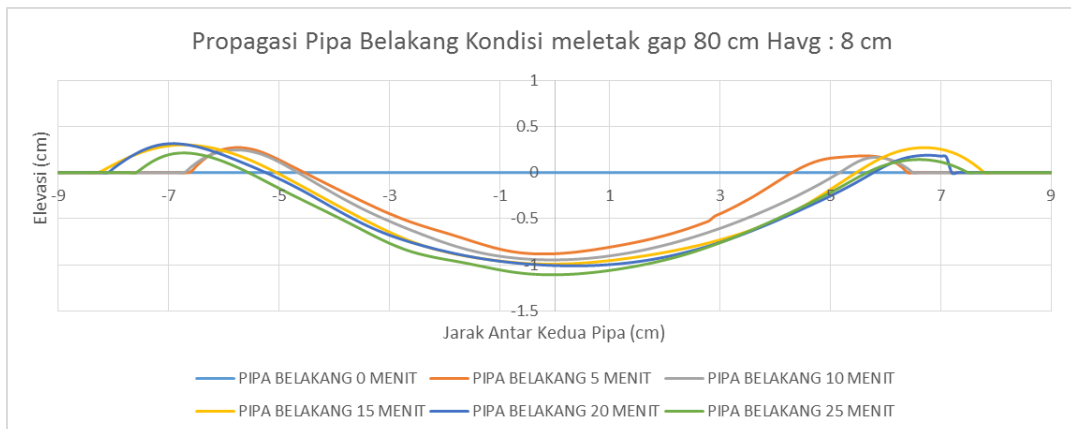
Gambar 4.45 Kondisi  $t = 15$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) berjarak 80 cm kondisi meletak, dengan  $H_{avg} = 8$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s

Setelah eksperimen selesai dilakukan selama 25 menit kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk pada pipa depan mencapai 1 cm dengan lebar 7,35 cm dan pada pipa belakang terbentuk kedalaman *scouring* sebesar 1,1 cm dan lebar *scouring* sebesar 8,11 cm



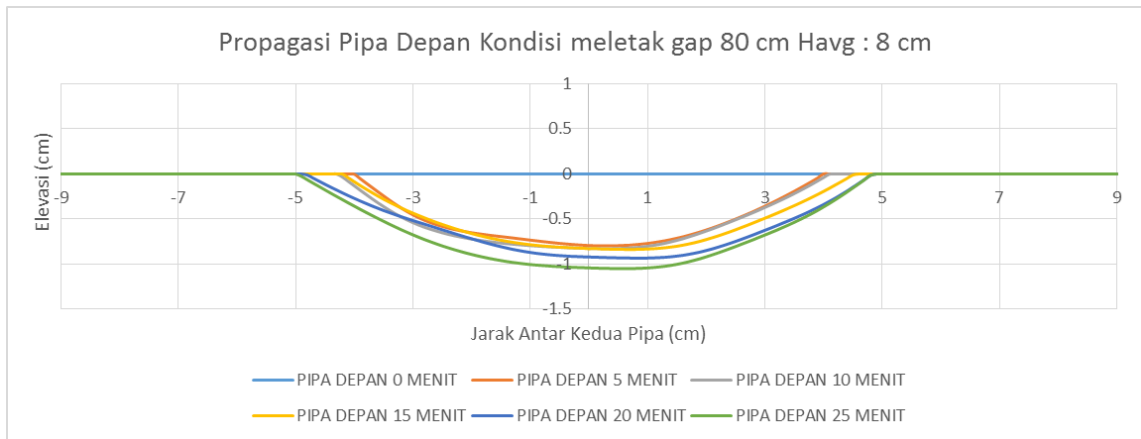
Gambar 4.46 Kondisi  $t = 25$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) berjarak 80 cm kondisi meletak, dengan  $H_{avg} = 8$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s

Setelah profil laju propagasi di plot kedalam Software AutoCad, selanjutnya dimasukkan kedalam Ms.Excel sesuai dengan koordinat yang telah didapatkan dari AutoCad. Berikut profil laju propagasi *scouring* pipa berjarak 80 cm kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 8$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s.

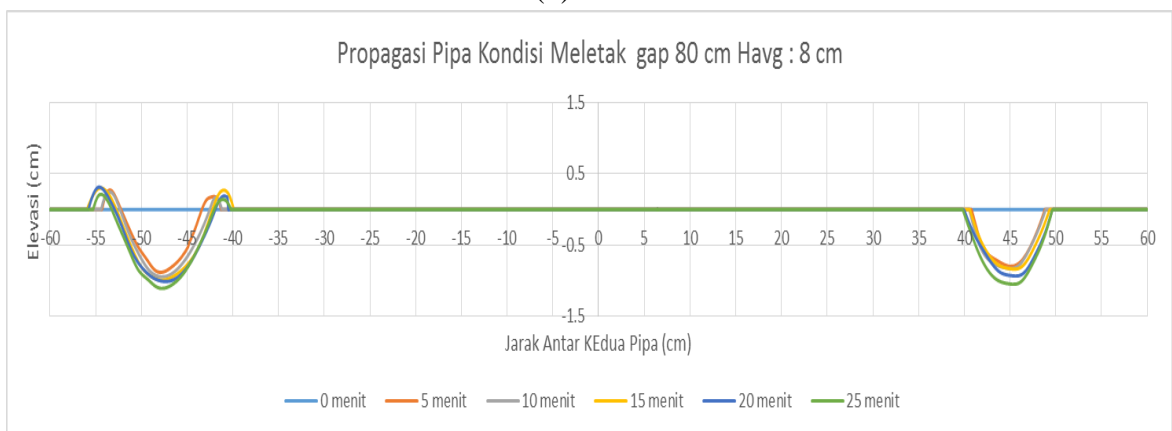


(a)





(b)

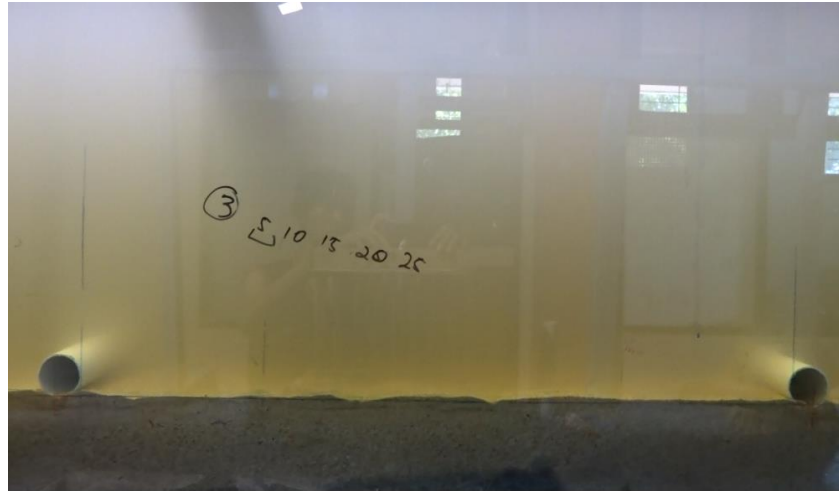


(c)

Gambar 4.47 Profil Laju Propagasi Pipa Kondisi Meletak gap 80 cm  $H_i$  7 cm (a) Pipa Belakang (b) Pipa Depan (c) Pipa Depan dan Belakang

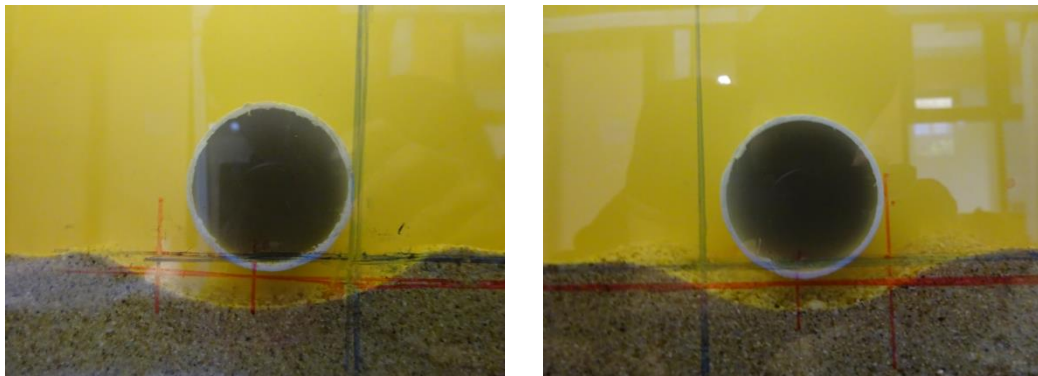
Posisi awal pipa diletakkan berada pada koordinat 0,0. Koordinat jarak negatif merupakan daerah belakang pipa koordinat jarak positif merupakan daerah depan pipa. *Scouring* mulai terjadi saat menit ke-5 dan terus berkembang sampai menit ke-25 untuk pipa depan maupun belakang.

Pengujian keempat yang dilakukan untuk pipa dengan kondisi *in-trench* 4 mm ini adalah dengan  $H_i = 7$  cm dan  $T_i = 1$  detik yang menghasilkan  $H_{avg} = 8,16$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s. Berikut adalah kondisi pipa saat  $t = 0$  menit.



Gambar 4.48 Kondisi  $t = 0$  menit eksperimen *scouring* pada dua pipa berjarak 80 cm kondisi *in-trench* 4 mm dengan  $H_{avg} = 8,16$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s

Setelah eksperimen berjalan selama 15 menit kedalaman *scouring* yang terjadi pada pipa depan sebesar 0,78 cm dengan lebar *scouring* yaitu 6,68 cm, sedangkan kedalaman *scouring* pada pipa belakang sebesar 0,85 cm dan lebar 7,26 cm.

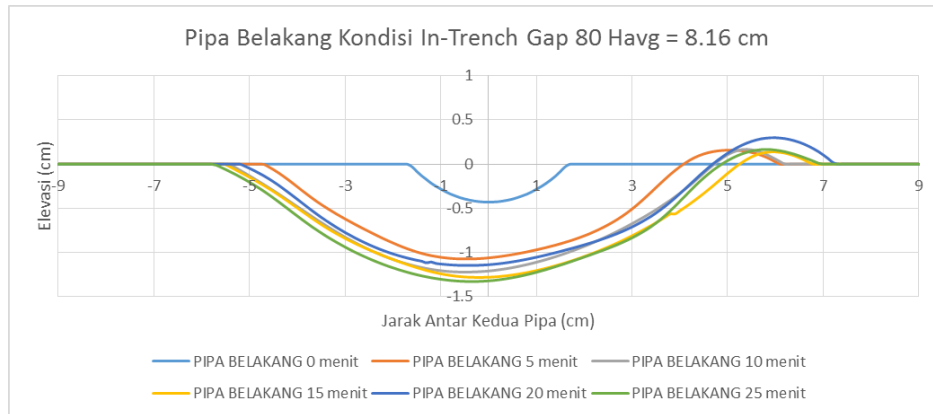


Gambar 4.49 Kondisi  $t = 15$  menit eksperimen *scouring* pada pipa depan (kanan) dan pipa belakang (kiri) berjarak 80 cm kondisi *in-trench* 4 mm dengan  $H_{avg} = 8,16$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s

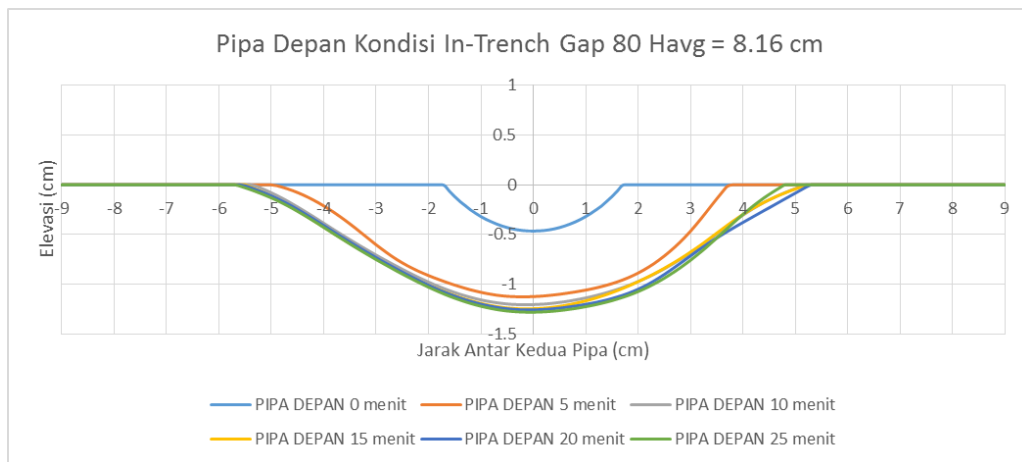
Setelah eksperimen selesai dilakukan selama 25 menit kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk pada pipa depan mencapai 0,81 cm dengan lebar 7,24 cm dan pada kedalaman *scouring* pada pipa belakang sebesar 0,89 cm dan lebar 7,4 cm.

Setelah profil laju propagasi di plot kedalam Software AutoCad, selanjutnya dimasukkan kedalam Ms.Excel sesuai dengan koordinat yang telah

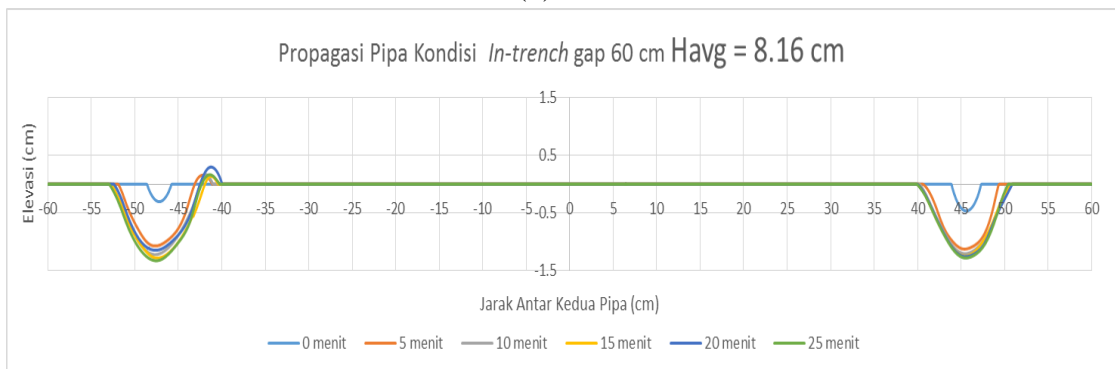
didapatkan dari AutoCad. Berikut profil laju propagasi *scouring* pipa berjarak 80 cm kondisi *In-Trench* dengan  $H_{avg} = 8,16$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.50 Profil Laju Propagasi Pipa Kondisi *In-Trench* gap 80 cm  $H_i = 5$  cm (a) Pipa Belakang (b) Pipa Depan (c) Pipa Depan dan Belakang

Posisi awal pipa diletakkan berada pada koordinat 0,0. Koordinat jarak negatif merupakan daerah belakang pipa koordinat jarak positif merupakan

daerah depan pipa. Cekungan pada profil 2D pada menit ke-0 dikarenakan posisi awal pipa posisi *in-trench* 0,4 cm. *Scouring* terjadi dari menit ke-5 sampai menit ke-25 untuk pipa depan maupun belakang.

#### 4.2.4 Perbandingan Lebar dan Kedalaman *Scouring*

Berdasarkan pada hasil pengujian 12 variasi dapat diketahui hubungan pengaruh posisi pipa, tinggi gelombang dan jarak antar pipa terhadap hasil kedalaman dan lebar di setiap variasi. Tabel dibawah menunjukkan hasil lebar dan kedalaman *scouring* di setiap variasi.

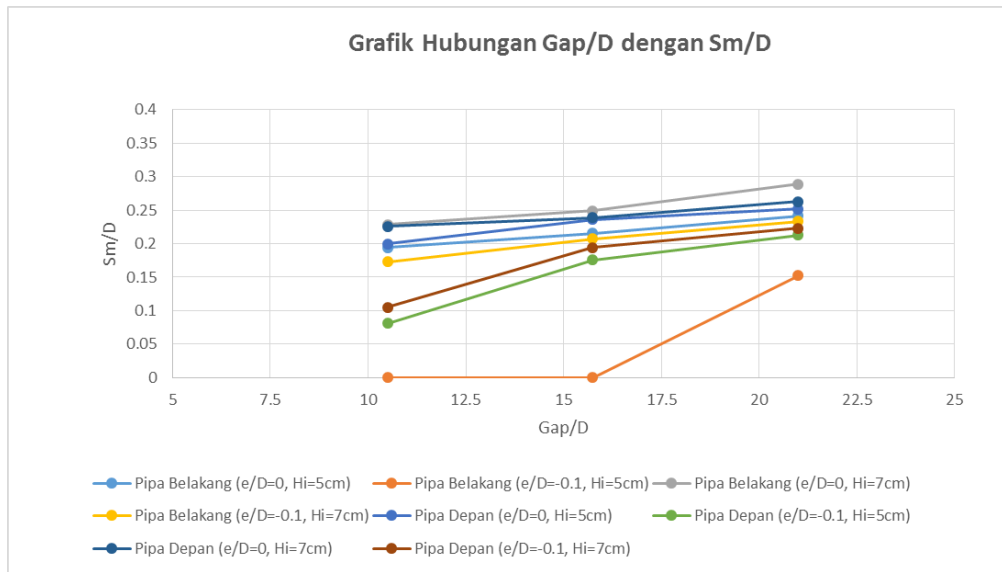
Tabel 4.5 Grafik Perbandingan Kedalaman dan Lebar *Scouring* dengan  
Havg = 4 - 6 cm

No	Gap (cm)	e/D	H avg (cm)	Waktu t (menit)	Scouring			
					Pipa Depan		Pipa Belakang	
					Kedalaman (d) cm	Lebar (w) cm	Kedalaman (d) cm	Lebar (w) cm
1	40	0 (Meletak)	4.76	0	0	0	0	0
				5	0.53	4.78	0.55	5.05
				10	0.59	5.45	0.66	5.05
				15	0.63	5.78	0.68	5.06
				20	0.74	5.93	0.71	5.03
				25	0.76	6.08	0.74	4.99
2	60	0 (Meletak)	6.06	0	0	0	0	0
				5	0.68	5.28	0.55	4.79
				10	0.81	5.87	0.63	5.55
				15	0.84	6.1	0.68	6.11
				20	0.87	6.49	0.7	6.16
				25	0.9	6.64	0.82	6.276
3	80	0 (Meletak)	5.29	0	0	0	0	0
				5	0.57	6.44	0.74	5.53
				10	0.79	6.47	0.84	5.89
				15	0.8	6.59	0.87	6.12
				20	0.91	6.88	0.89	6.54
				25	0.96	7.08	0.92	6.67
4	40	-0.1 (In-Trench)	5.08	0	0	0	0	0
				5	0	4.77	0	0
				10	0.06	4.86	0	0
				15	0.26	4.95	0	0
				20	0.27	5.21	0	0
				25	0.31	5.44	0	0
5	60	-0.1 (In-Trench)	5.14	0	0	0	0	0
				5	0.23	3.04	0	0
				10	0.49	4.92	0	0
				15	0.56	4.95	0	0
				20	0.64	5.55	0	0
				25	0.67	5.68	0	0
6	80	-0.1 (In-Trench)	5.15	0	0	0	0	0
				5	0.38	5.09	0.22	4.22
				10	0.5	6.12	0.26	5.25
				15	0.69	6.52	0.47	5.73
				20	0.77	6.58	0.57	5.91
				25	0.81	6.68	0.58	6.44

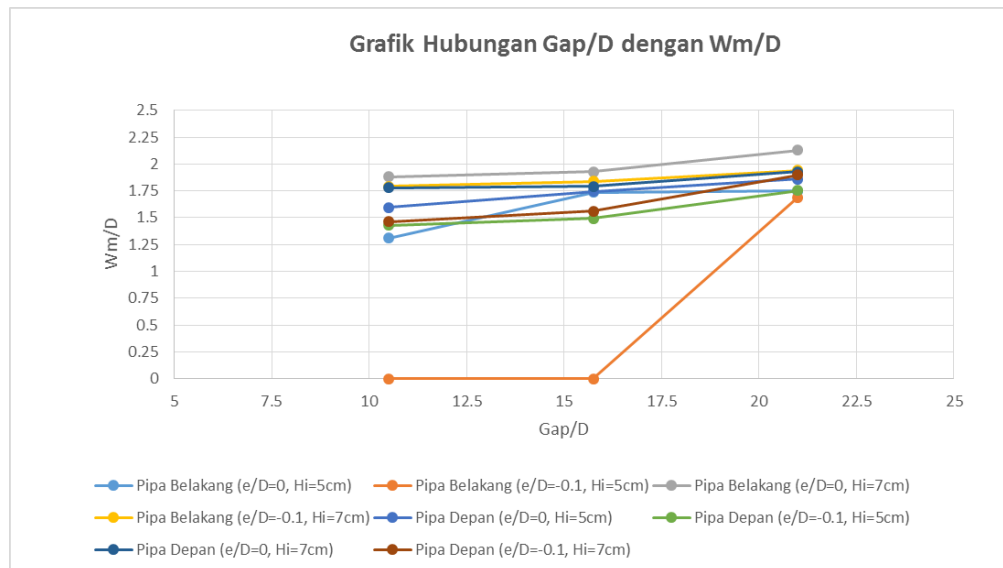
Tabel 4.6 Grafik Perbandingan Kedalaman dan Lebar *Scouring* dengan  
 $H_{avg} = 7 - 9 \text{ cm}$

No	Gap (cm)	e/D	H (cm)	Waktu t (menit)	Scouring			
					Pipa Depan		Pipa Belakang	
					Kedalaman (d) cm	Lebar (w) cm	Kedalaman (d) cm	Lebar (w) cm
1	40	0 (Meletak)	8.15	0	0	0	0	0
				5	0.77	5.33	0.69	5.81
				10	0.81	5.44	0.76	6.26
				15	0.8	5.59	0.79	6.53
				20	0.85	6.38	0.83	6.88
				25	0.86	6.78	0.87	7.16
2	60	0 (Meletak)	8.1	0	0	0	0	0
				5	0.79	5.75	0.8	5.89
				10	0.82	5.8	0.89	6.46
				15	0.84	5.87	0.91	6.87
				20	0.87	6.52	0.92	7.03
				25	0.91	6.82	0.95	7.34
3	80	0 (Meletak)	8	0	0	0	0	0
				5	0.79	6.15	0.88	6.83
				10	0.83	6.86	0.95	7.27
				15	0.83	7.18	0.99	7.46
				20	0.92	7.23	1	7.9
				25	1	7.35	1.1	8.11
4	40	-0.1 (In-Trench)	7.29	0	0	0	0	0
				5	0.23	4.81	0.45	6.47
				10	0.25	4.97	0.5	6.51
				15	0.26	5.09	0.53	6.56
				20	0.31	5.29	0.6	6.7
				25	0.4	5.57	0.66	6.83
5	60	-0.1 (In-Trench)	8.23	0	0	0	0	0
				5	0.49	4.82	0.66	5.71
				10	0.53	5.54	0.71	5.83
				15	0.6	5.43	0.72	6.4
				20	0.68	5.79	0.72	6.79
				25	0.75	5.95	0.79	7
6	80	-0.1 (In-Trench)	8.16	0	0	0	0	0
				5	0.66	5.81	0.63	6.56
				10	0.74	6.34	0.78	6.89
				15	0.78	6.68	0.85	7.26
				20	0.79	6.92	0.86	7.36
				25	0.85	7.24	0.89	7.4

Dari tabel diatas dapat ditarik kesimpulan hubungan antara gap dengan kedalaman dan lebar *scouring* yang terjadi. Berikut grafik yang menjelaskan hubungan antara gap dengan lebar dan kedalaman *scouring*.



(a)



(b)

Gambar 4.51 Grafik Hubungan antara jarak antar pipa (gap) dengan (a) kedalaman *scouring* (b) lebar *scouring*

Dari grafik hubungan diatas semakin besar jarak antar pipa semakin besar juga nilai kedalaman dan lebar *scouring*. pada pipa depan maupun belakang di setiap variasi posisi peletakan pipa. Jadi dapat disimpulkan nilai gap berbanding lurus dengan kedalaman dan lebar *scouring*.

#### 4.3 Hasil Perhitungan Laju Propagasi *Scouring*

Perhitungan laju propagasi *scouring* dapat dilihat pada persamaan 2.15. Dengan diameter pipa yang digunakan eksperimen sebesar 0,038 m. Arah datang gelombang tegak lurus ( $90^0$ ) dengan posisi pipa ( $\alpha$ ) dengan slope 1:10 ( $\tan\phi = 1:10$ ). Untuk nilai bilangan Keulegan-Carpenter (KC) dapat dilihat pada persamaan 2.9 dan persamaan 2.28 untuk perhitungan *shield parameter* ( $\theta$ ). Nilai dari *specific gravity* butiran tanah dan  $d_{50}$  juga telah diketahui sebelumnya dari hasil uji data tanah. Berikut adalah hasil perhitungan laju propagasi *scouring* untuk semua variasi.

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Laju Propagasi *Scouring*

No	$K_w(1 - \frac{e}{D(1 + \sin(\alpha))})$	$g(s-1)d_{50}^3$	D tan $\phi$	$\theta_w$	KC	$V_h$
1	11.3	2.70609E-09	0.004	0.018	1.96	0.00027
2	11.3	2.70609E-09	0.004	0.027	2.80	0.00064
3	11.3	2.70609E-09	0.004	0.020	2.15	0.00034
4	13.673	2.70609E-09	0.004	0.019	2.07	0.00038
5	13.673	2.70609E-09	0.004	0.018	1.90	0.00032
6	13.673	2.70609E-09	0.004	0.021	2.36	0.00048
7	11.3	2.70609E-09	0.004	0.040	3.67	0.00143
8	11.3	2.70609E-09	0.004	0.037	3.40	0.00122
9	11.3	2.70609E-09	0.004	0.032	3.02	0.00088
10	13.673	2.70609E-09	0.004	0.034	3.02	0.00117
11	13.673	2.70609E-09	0.004	0.040	3.54	0.00165
12	13.673	2.70609E-09	0.004	0.039	3.51	0.00161

#### 4.4 Validasi Hasil Eksperimen dengan Rumus Empiris

Validasi dilakukan untuk membandingkan hasil yang diperoleh dari eksperimen dengan hasil perhitungan dari teori yang sudah ada sebelumnya. Hasil eksperimen yang akan divalidasi dengan rumus empiris adalah kedalaman dan lebar *scouring*.

Untuk mengetahui nilai kedalaman dan lebar pada rumus empiris, harus menghitung dahulu nilai *wave number* ( $k_p$ ) dari persamaan 2.8 dengan menggunakan iterasi. Berikut adalah nilai *wave number* di semua variasi.

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan *Wave Number* di Semua Variasi

Percobaan		$T_p$	g	Lo	L	$k_p$	h	$\omega_p^2$	g $k_p \tanh(k_p h)$	Error (%)
$H_{avg}$ (cm)	$T_{avg}$ (s)									
4.76	0.97	1.04	9.81	1.69	1.621	3.87	0.50	36.5	36.413	0.238
6.06	0.97	1.10	9.81	1.89	1.781	3.52	0.50	32.63	32.546	0.248
5.29	0.97	1.05	9.81	1.722	1.648	3.81	0.50	35.81	35.756	0.144
5.08	0.96	1.04	9.81	1.69	1.621	3.87	0.50	36.5	36.413	0.238
5.14	0.94	1.02	9.81	1.625	1.568	4.02	0.50	37.95	38.045	0.263
5.15	0.97	1.09	9.81	1.856	1.755	3.58	0.50	33.23	33.215	0.040
8.15	1.03	1.10	9.81	1.89	1.782	3.52	0.50	32.63	32.592	0.106
8.10	1.00	1.08	9.81	1.812	1.72	3.65	0.50	34.04	34.003	0.093
8.00	1.00	1.07	9.81	1.788	1.701	3.69	0.50	34.48	34.435	0.136
7.29	0.99	1.04	9.81	1.69	1.621	3.87	0.50	36.5	36.457	0.118
8.23	1.00	1.08	9.81	1.822	1.728	3.63	0.50	33.85	33.815	0.093
8.16	1.00	1.08	9.81	1.822	1.728	3.63	0.50	33.85	33.771	0.224

Selanjutnya menghitung nilai bilangan Keulegan-Carpenter (KC) dari persamaan 2.9. Berikut adalah tabel perhitungan KC.



Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Bilangan KC di Semua Variasi

Percobaan		$T_p$	$k_p$	$\omega_p$	$H_{rms}$	$A_{rms}$	$U_{rms}$	$U_m$	KC
$H_{avg}$ (cm)	$T_{avg}$ (s)								
4.76	0.97	1.04	3.87	6.04	0.057	0.008	0.051	0.072	1.964
6.06	0.97	1.10	3.52	5.71	0.068	0.012	0.069	0.097	2.799
5.29	0.97	1.05	3.81	5.98	0.061	0.009	0.055	0.078	2.154
5.08	0.96	1.04	3.87	6.04	0.060	0.009	0.054	0.076	2.072
5.14	0.94	1.02	4.02	6.16	0.060	0.008	0.050	0.071	1.901
5.15	0.97	1.09	3.58	5.76	0.059	0.010	0.058	0.083	2.363
8.15	1.03	1.10	3.52	5.71	0.089	0.016	0.090	0.127	3.672
8.10	1.00	1.08	3.65	5.83	0.088	0.015	0.085	0.12	3.395
8.00	1.00	1.07	3.69	5.87	0.080	0.013	0.076	0.108	3.024
7.29	0.99	1.04	3.87	6.04	0.088	0.013	0.078	0.111	3.021
8.23	1.00	1.08	3.63	5.82	0.091	0.015	0.088	0.125	3.543
8.16	1.00	1.08	3.63	5.82	0.090	0.015	0.088	0.124	3.511

Setelah nilai KC didapatkan, selanjutnya menghitung rumus empiris dari kedalaman *scouring* (persamaan 2.9) dan lebar *scouring* (persamaan 2.14) yang akan divalidasi dengan hasil eksperimen.

Tabel 4.10 Validasi Kedalaman *Scouring* Hasil Eksperimen dengan Rumus Empiris

Percobaan		D (cm)	KC	e/D	$S_{emp}/D$	$S_{exp}$ (cm)		$S_{exp}/D$	
$H_{avg}$ (cm)	$T_{avg}$ (s)					Pipa Belakang	Pipa Depan	Pipa Belakang	Pipa Depan
4.76	0.97	3.81	1.964	0.000	0.147	0.740	0.76	0.19	0.199
6.06	0.97	3.81	2.799	0.000	0.176	0.820	0.90	0.22	0.236
5.29	0.97	3.81	2.154	0.000	0.154	0.920	0.96	0.24	0.252
5.08	0.96	3.81	2.072	-1.050	0.204	0.000	0.31	0.00	0.081
5.14	0.94	3.81	1.901	-1.050	0.195	0.000	0.67	0.00	0.176
5.15	0.97	3.81	2.363	-1.050	0.218	0.580	0.81	0.15	0.213
8.15	1.03	3.81	3.672	0.000	0.202	0.870	0.86	0.23	0.226
8.10	1.00	3.81	3.395	0.000	0.194	0.950	0.91	0.25	0.239
8.00	1.00	3.81	3.024	0.000	0.183	1.100	1.00	0.29	0.262
7.29	0.99	3.81	3.021	-0.105	0.189	0.660	0.40	0.17	0.105
8.23	1.00	3.81	3.543	-0.105	0.204	0.790	0.74	0.21	0.194
8.16	1.00	3.81	3.511	-0.105	0.203	0.890	0.85	0.23	0.223

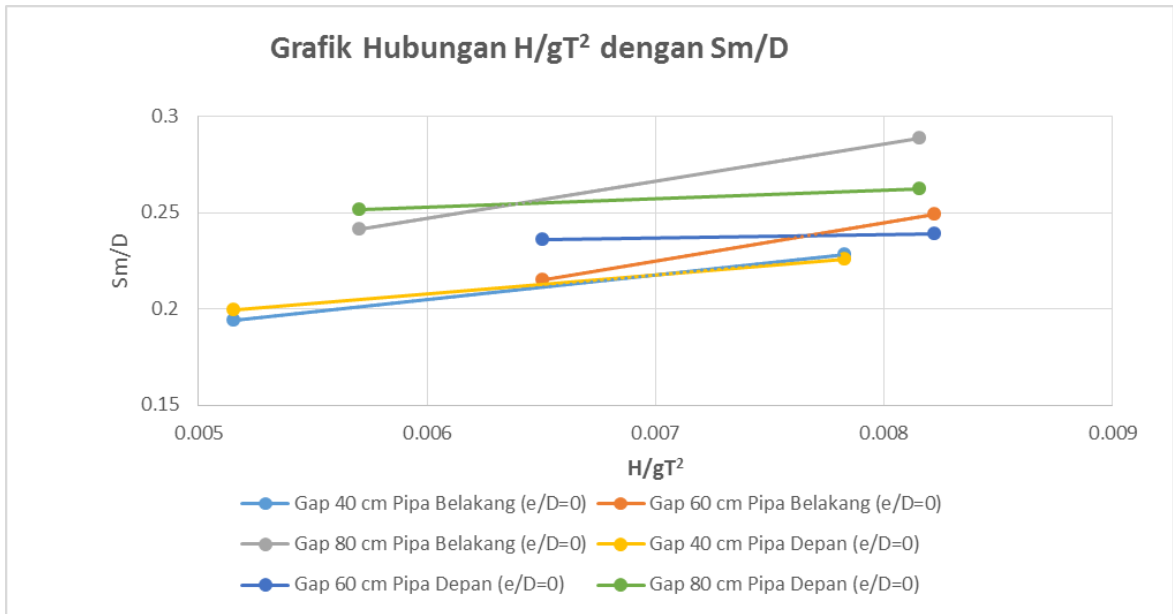
Tabel 4.11 Validasi Lebar *Scouring* Hasil Eksperimen dengan Rumus Empiris

Percobaan		D (cm)	KC	e/D	W <sub>emp</sub> /D	W <sub>exp</sub> (cm)		W <sub>exp</sub> /D	
H <sub>avg</sub> (cm)	T <sub>avg</sub> (s)					Pipa Belakang	Pipa Depan	Pipa Belakang	Pipa Depan
4.76	0.97	3.81	1.964	0.000	2.068	4.99	6.08	1.31	1.60
6.06	0.97	3.81	2.799	0.000	2.604	6.62	6.64	1.74	1.74
5.29	0.97	3.81	2.154	0.000	2.196	6.67	7.08	1.75	1.86
5.08	0.96	3.81	2.072	-0.105	2.141	0.00	5.44	0.00	1.43
5.14	0.94	3.81	1.901	-0.105	2.025	0.00	5.68	0.00	1.49
5.15	0.97	3.81	2.363	-0.105	2.332	6.44	6.68	1.69	1.75
8.15	1.03	3.81	3.672	0.000	3.106	7.160	6.78	1.88	1.78
8.10	1.00	3.81	3.395	0.000	2.952	7.340	6.82	1.93	1.79
8.00	1.00	3.81	3.024	0.000	2.738	8.110	7.35	2.13	1.93
7.29	0.99	3.81	3.021	-0.105	2.736	6.830	5.57	1.79	1.46
8.23	1.00	3.81	3.543	-0.105	3.034	7.000	5.95	1.84	1.56
8.16	1.00	3.81	3.511	-0.105	3.017	7.400	7.24	1.94	1.90

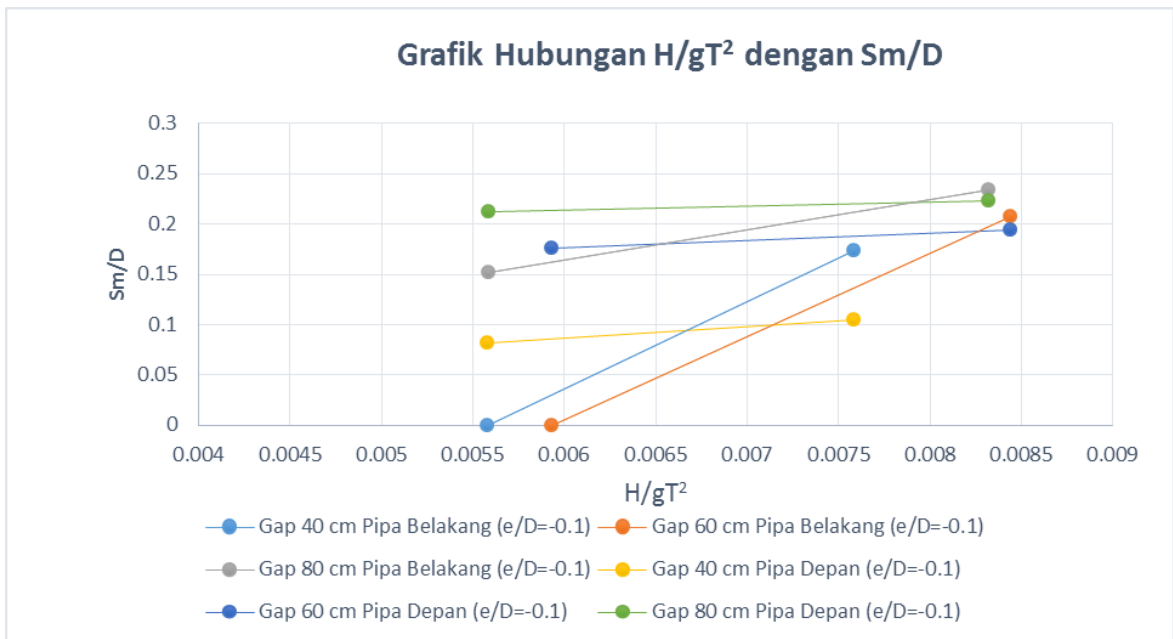
S<sub>em</sub> merupakan hasil perhitungan kedalaman *scouring* maksimum berdasarkan rumus empiris, sedangkan S<sub>exp</sub> merupakan hasil dari *scouring* maksimum eksperimen yang diukur dari ujung pipa paling bawah sampai menyentuk *seabed*. Begitu pula W<sub>emp</sub> adalah lebar *scouring* maksimum dari ruus empiris dan W<sub>exp</sub> adalah lebar *scouring* maksimum dari hasil eksperimen yang dihitung dari ujung *seabed* yang tererosi sebelah kiri hingga sebelah kanan. Dari hasil validasi kedalaman dan lebar *scouring* diatas terdapat error beberapa error yang besar karena tidak adanya pengaruh e/D dalam perhitungan empiris.

#### 4.5 Analisa Hubungan *Scouring* dengan Parameter Tak Berdimensi

Hasil dari eksperimen diatas meliputi hasil kedalaman *scouring* maksimum dan lebar *scouring* maksimum. Data tersebut dapat di plot dengan beberapa parameter tak berdimensi, salah satunya *wave steepness parameter* (H/gT<sup>2</sup>). *Wave steepness* menunjukkan hubungan tinggi dan periode gelombang terhadap laju *scouring*. Berikut adalah grafik yang menyatakan hubungan *wave steepness* dengan *scouring*.

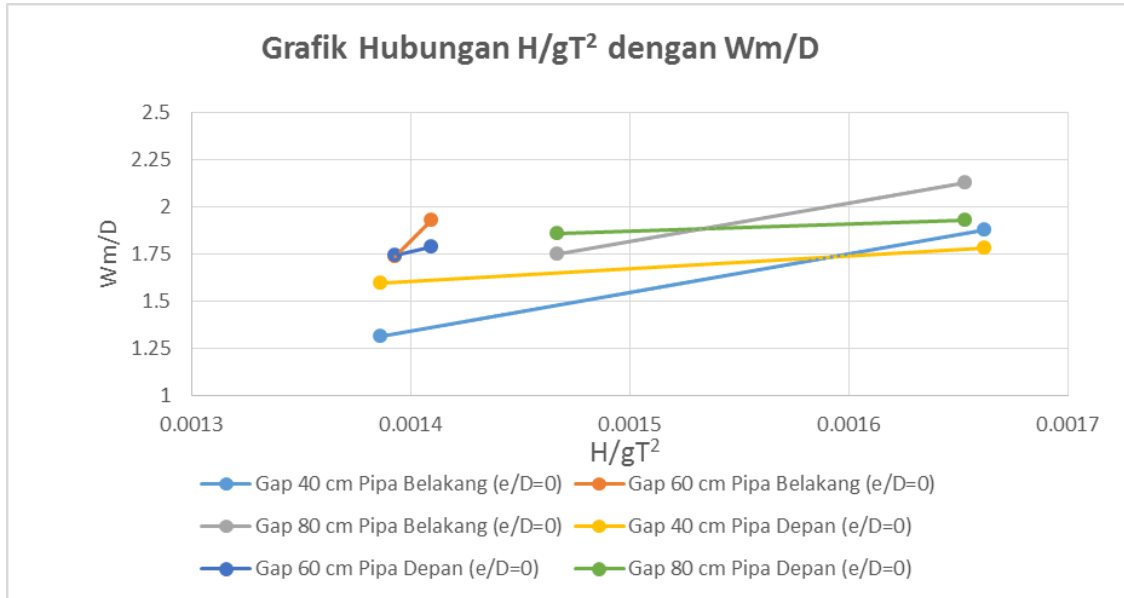


(a)

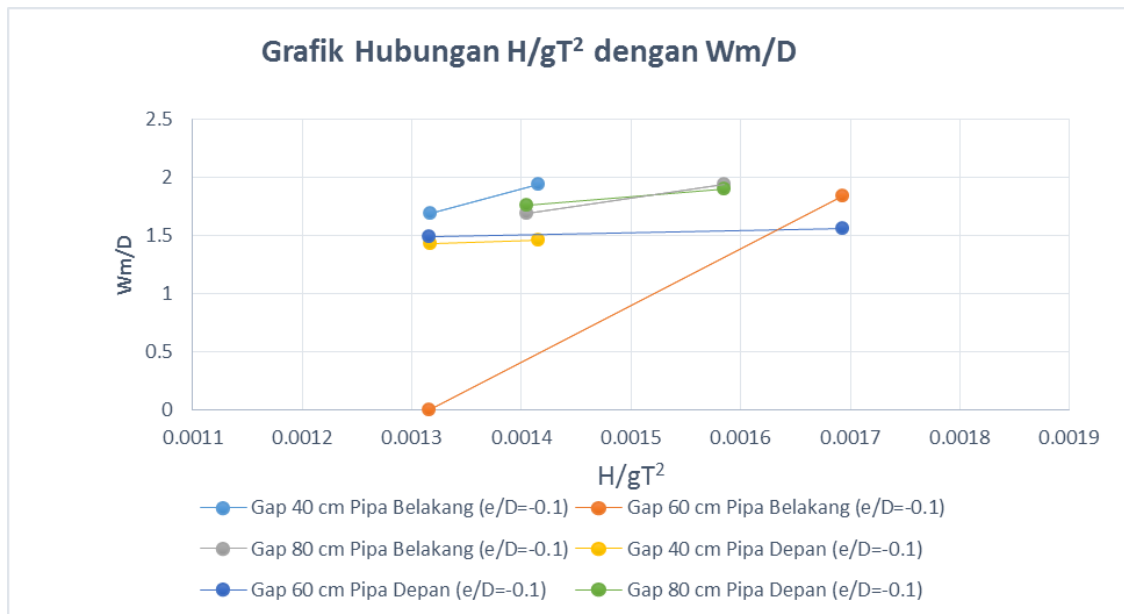


(b)

Gambar 4.52 Grafik Hubungan Wave Steepness Parameter ( $H/gT^2$ ) dengan non dimensional scour depth ( $Sm/D$ ) (a) saat  $e/D = -0$  (b) saat  $e/D = -0.1$



(a)

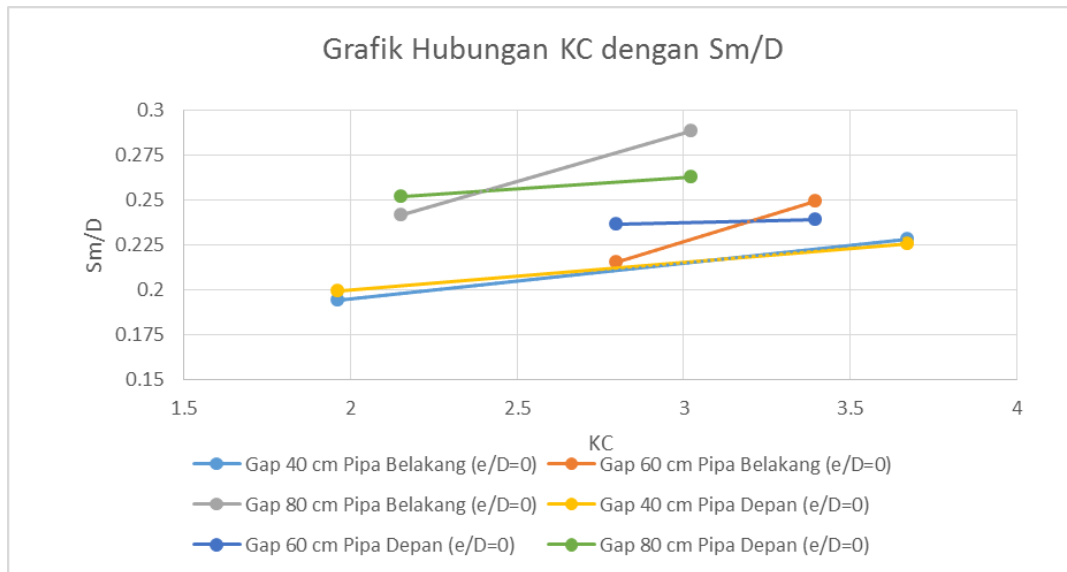


(b)

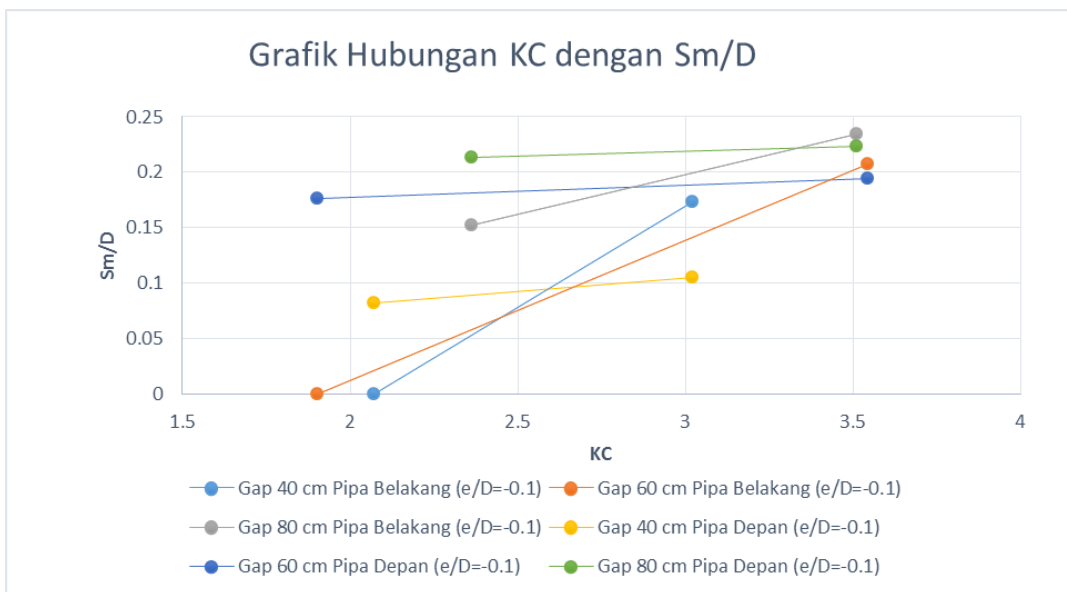
Gambar 4.53 Grafik Hubungan *Wave Stepness Parameter* ( $H/gT^2$ ) dengan *non dimensional scour width* ( $Wm/D$ ) (a) saat  $e/D = -0$  (b) saat  $e/D = -0.1$

Dari grafik diatas semakin tinggi gelombang maka akan semakin besar nilai  $Sm/D$  dan  $Wm/D$ . Hal ini berlaku untuk semua kondisi baik meletak maupun *in-trench* pada pipa depan maupun belakang di setiap variasi gap. Dalam eksperimen ini hanya tinggi gelombang yang divariasikan, periode gelombang tidak divariasikan. Jadi dapat disimpulkan semakin tinggi gelombang semakin besar kedalaman dan lebar *scouring* yang terjadi.

Selain *wave stepness* ada parameter tak berdimensi yang lain, yaitu bilangan KC. Berikut grafik hubungan nilai KC dengan *scouring*.

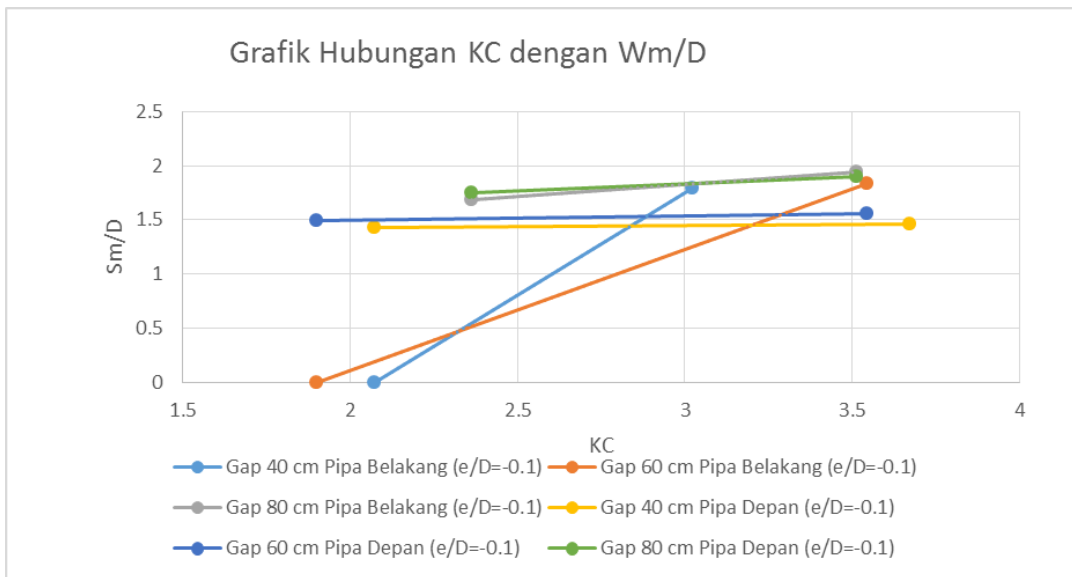


(a)

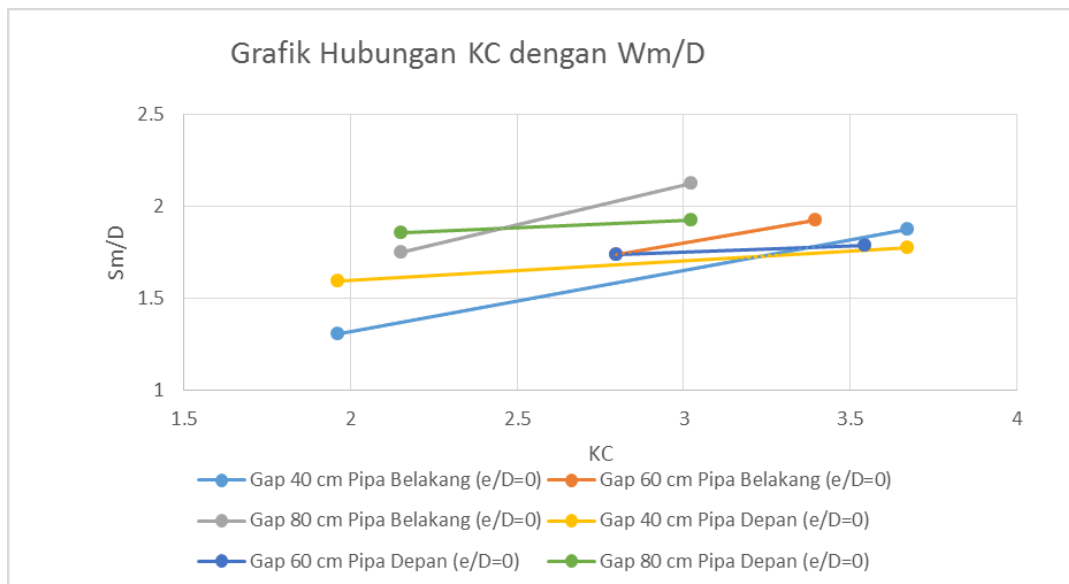


(b)

Gambar 4.54 Grafik Hubungan *Keulegan-Carpenter* (KC) dengan *non dimensional scour depth* ( $S_m/D$ ) (a) saat  $e/D = -0$  (b) saat  $e/D = -0.1$



(a)

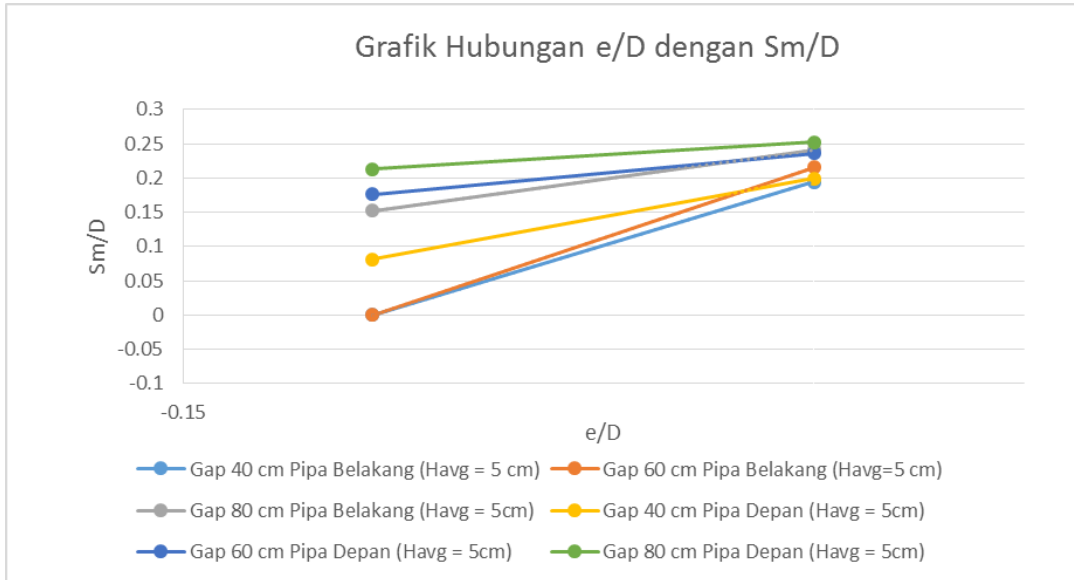


(b)

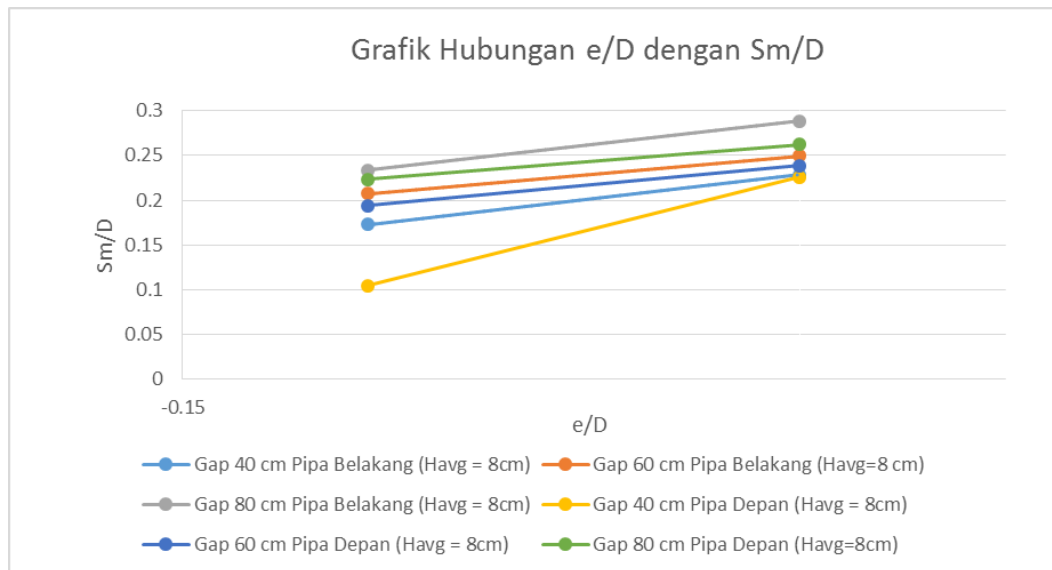
Gambar 4.56 Grafik Hubungan *Keulegan-Carpenter* (KC) dengan *non dimensional scour width* ( $Wm/D$ ) (a) saat  $e/D = -0$  (b) saat  $e/D = -0.1$

Dari grafik diatas semakin besar nilai bilangan *Keulegan-Carpenter* (KC), semakin besar nilai  $Sm/D$  dan  $Wm/D$ . Hal ini berlaku untuk semua kondisi baik meletak maupun *in-trench* pada pipa depan maupun belakang di setiap variasi gap. Dapat disimpulkan nilai bilangan KC berbanding lurus dengan kedalaman dan lebar *scouring*.

Parameter tak berdimensi yang berpengaruh terhadap *scouring* yang lain adalah *burial depth-diameter ratio* ( $e/D$ ). Parameter ini menjelaskan hubungan posisi peletakan pipa dengan kedalaman dan lebar *scouring*.

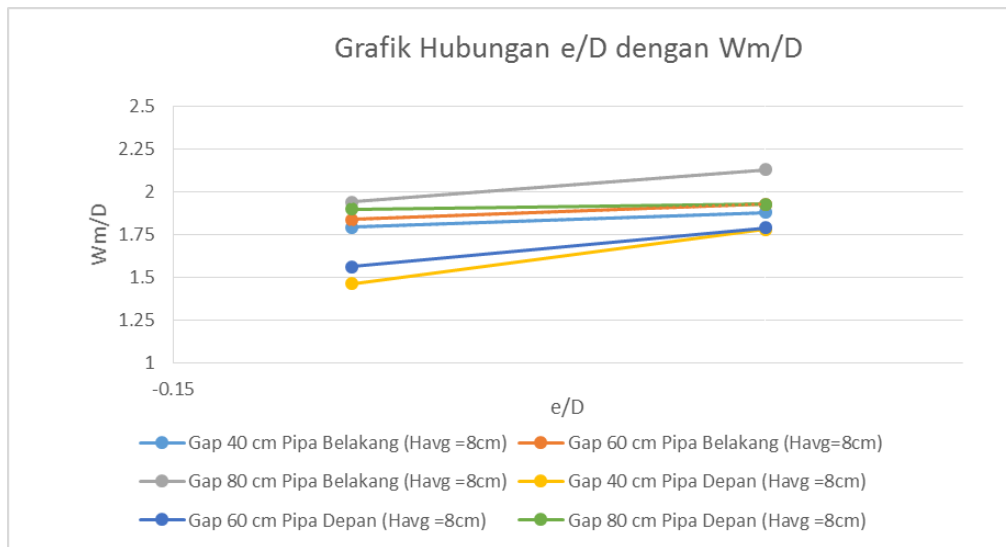


(a)

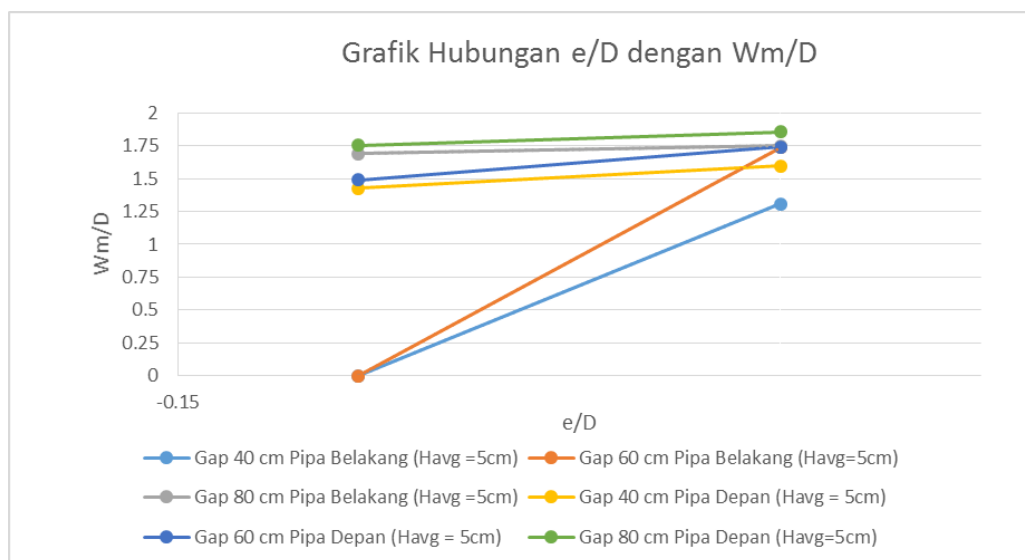


(b)

Gambar 4.57 Grafik Hubungan *burial depth-ratio parameter* ( $e/D$ ) dengan *non dimensional scour depth* ( $S_{m/D}$ ) (a) saat  $H_{avg} = 5$  cm (b) saat  $H_{avg} = 8$  cm



(a)



(b)

Gambar 4.58 Grafik Hubungan *burial depth-ratio parameter* ( $e/D$ ) dengan *non dimensional scour width* ( $Wm/D$ ) (a) saat  $H_{avg} = 5$  cm (b) saat  $H_{avg} = 8$  cm

Dari grafik diatas semakin besar nilai  $e/D$  semakin besar juga nilai kedalaman dan lebar maksimum *scouring*. Hal ini berlaku untuk semua kondisi baik meletak maupun *in-trench* pada pipa depan maupun belakang di setiap variasi gap. Jadi dapat disimpulkan nilai  $e/D$  berbanding lurus dengan kedalaman dan lebar *scouring*.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen pengaruh jarak antar pipa kondisi meletak dan *in-trench* terhadap laju *scouring*, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Kedalaman *scouring* ( $S_m/D$ ) yang terjadi pada dua pipa berjarak 40 cm dengan kondisi meletak dan *in-trench* berkisar antara 0 - 0,23 dengan lebar ( $W_m/D$ ) berkisar antara 0 – 1,88. Pada pipa berjarak 60 cm dengan kondisi meletak maupun *in-trench* memiliki kedalaman ( $S_m/D$ ) lebih besar dari jarak 40 cm yaitu sebesar 0 – 0,25 dengan lebar ( $W_m/D$ ) antara 0 – 1,93. Pada pipa berjarak 80 cm dengan kondisi meletak dan *in-trench* memiliki kedalaman ( $S_m/D$ ) lebih besar dari sebelumnya yaitu antara 0 – 0,29 dengan lebar ( $W_m/D$ ) berkisar antara 0 – 2,13.
2. Besar nilai laju propagasi *scouring* pada pipa gap 40 cm sebesar 0,00027 – 0,00117, untuk pipa gap 60 cm sebesar 0,00032 – 0,00165 dan untuk pipa gap 80 cm sebesar 0,00034 – 0,00161.
3. Berdasarkan parameter-parameter tak berdimensi yang dibandingkan dengan *scouring* didapatkan hasil =
  - a. Nilai *wave steepness* ( $H/gT^2$ ) berbanding lurus dengan kedalaman dan lebar *scouring*
  - b. Semakin besar nilai *Keulegan-Carpenter* (KC) semakin besar juga nilai kedalaman dan lebar *scouring*.
  - c. Nilai  $e/D < 0$  memiliki kedalaman dan lebar *scouring* lebih kecil dibandingkan  $e/D = 0$
  - d. Semakin besar jarak antar pipa (gap) semakin besar juga kedalaman dan lebar *scouring*.

## 5.2 Saran

Dari eksperimen yang telah dilakukan, penulis melakukan saran sebagai berikut :

1. Pasir yang digunakan berukuran lebih kecil untuk memudahkan pergerakan sedimen. Apabila pergerakan lebih mudah, maka *scouring* dapat terjadi.
2. Apabila pasir berukuran sama, dapat ditambahkan arus untuk menambah gaya yang menyebabkan terjadinya *scouring*, sehingga *scouring* akan mudah terjadi.
3. Menggunakan alat yang lebih canggih agar data yang dihasilkan lebih akurat, seperti *flow meter* untuk mengukur nilai kecepatan partikel gelombang.

## DAFTAR PUSTAKA

- Budiarti, Liestia, 2016. *Pemodelan Numerik Profil 2D Scouring Pada Pipa Bawah Laut Dengan Variasi Jarak Clearance Terhadap Dasar Laut*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, FTK-ITS. Surabaya
- Chow, V.T. 1985. *Hidraulika Saluran Terbuka*. Jakarta : Erlangga
- Gao, F. dan D. Jeng. 2015. *A New Design for Wave-Induced Pipeline Stability on a Sandy seabed*. Australia : The University of Sydney.
- Guo, B. Dan J. Chacko. 2005. *Offshore pipelines*. Elsevier Ocean Engineering Book Series. USA.
- Joseph, H.W. 1988. *The effect of pipe spacing on marine pipeline scour*, Texas A&M University.
- Kiziloz, B. Esin, C. dan Yalcin, Y. 2014. *Assesment of estimation models for scour around pipelines under irregular waves*. Coastal Engineering, Elsevier.
- Mao, Y. 1986. *The Interaction Between A Pipeline And An Erodible Bed*. Series Paper 39, Tech. Univ, Of Denmark, ISVA, in partial fulfillment of the requirement for the degree of Ph.D.
- Mousselli, A. H. (1981). *Offshore Pipeline Design, Analysis and Methods*. PennWell Books. Oklahoma
- Nugroho, Adi. 2011. *Analisa Scouring Pipa Bawah Laut Kodeco Jalur Poleng-Gresik Dengan Variasi Tipe Tanah*. Tugas Akhir Jurusan Teknik kelautan, FTK- ITS. Surabaya
- Ramadhan, Dimas. 2017. *Studi Eksperimen Scouring Pada Pipa Akibat Gelombang Ireguler Dengan Kondisi Meletak dan In-Trench*. Tugas Akhir Jurusan Teknik kelautan, FTK- ITS. Surabaya.
- Soegiono. 2007. *Pipa Laut*. Surabaya : Airlangga University Press.
- Soulsby, S. 1997. *A Manual for Practical Applications*. New York : Thosmas Telford

- Sumer, B. M, dan J, Fredsoe. 1991. Onset of scour below pipeline exposed to waves. *International Journal of Offshore and Polar Engineering*. Vol. 1 No. 3 : 1899 - 194.
- Sumer, B. M, dan J. Fredsoe. 1996. Scour Around Pipelines in Combined Waves and Current. *Proceeding 7th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering Conference*, ASME, vol. V, Pipeline Technology.
- Sumer, B. Mutlu, dan J, Fredsoe. 2002. *The Mechanics Of Scour In The Marine Environment*. World Scientific : Denmark
- Sumer, B.M., dan J, Fredsoe. 1990. Scour below pipelines in waves. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, 116 : 307-323.
- Suntoyo. 2016. *Aplikasi Pemodelan Turbulent Boundary Layer untuk Pengembangan Model Scouring pada Marine Pipeline di Perairan Indonesia dan Penanggulangannya*. Usulan PUPT ITS. Surabaya.
- Testik, Firat Y. dan D. Morgan Young. 2009. *Onshore Scour Characteristic Around Submmerged Vertical and Semicircular Breakwaters*. Coastal Engineering. Elsevier.
- Triatmodjo, Bambang. 1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset : Yogyakarta.
- Westerhorstmann, J. H. 1988. *The Effect of Pipe Spacing on Marine Pipeline Scour*. Thesis. Master of Science Ocean Engineering. Texas A&M University.
- Widiatma, A. R. 2015. *Analisis Stabilitas dan Pengaruh Scouring Pada Pipa Bawah Laut*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, FTK-ITS. Surabaya.
- Wirayuhanto, Harish. 2017. *Studi Eksperimen Karakteristik Scouring di Sekitar Artificial Reef Bentuk Heksagonal*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS. Surabaya.
- Zhao, Ming. dan Cheng, Liang. 2015. *Local Scour Around Two Pipelines in tandem in Steady Current*. Coastal Engineering. Elsevier

Zhao, Z. H. dan Fernando, H. J. S. 2007. Numerical simulation of scour around pipelines using an Euler-Euler coupled two-phase model. *Environmental Fluid Mechanics*, 7, 121-142

LAMPIRAN A  
HASIL PENGOLAHAN GELOMBANG DENGAN WAVAN

A.1 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi Meletak Gap 40 cm dengan  
 $H_i = 5$  cm dan  $T_i = 1$  s

Channel 3

```
>> wavan
```

```
Program WAVAN
```

```
Wave Analysis
```

```
INPUT
```

```
enter input filename  c3_40_m_h5.txt  
Enter Number of Columns in Input File:  1  
Enter Sampling Time, Delt:  0.04  
Enter No. of Points (Multiple of 8):  7512  
Do you want plots? - Yes=1, No=0:  0  
Remove Mean (1) or Trend (2)?:  2  
Enter Desired Resolution, M:  10
```

```
Enter Number of Bins for Histogram: 5
```

```
Basic Output
```

```
Mean Water Level          =  0.6265 centimetres  
Water Level Trend         =  0.00008 cm/s  
Sigma                     =  1.865 centimetres
```

```
Wave Statistics
```

```
Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3
```

```
Number of Waves          =  310  
Average Wave Period      =  0.9709 seconds  
Significant Wave Height  =  8.4663 centimetres  
Maximum Wave Height     =  14.5500 centimetres  
Average Wave Height      =  4.7645 centimetres  
rms Wave Height          =  5.7097 centimetres  
Average of Highest 1/10  =  11.1625 centimetres  
Sigmaz                  =  1.5747 centimetres
```

Channel 4

>> wavan

Program WAVAN

Wave Analysis

INPUT

enter input filename c4\_40\_m\_h5.txt  
Enter Number of Columns in Input File: 1  
Enter Sampling Time, Delt: 0.04  
Enter No. of Points (Multiple of 8): 7512  
Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0  
Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2  
Enter Desired Resolution, M: 10

Enter Number of Bins for Histogram: 5

Basic Output

Mean Water Level = 0.2478 centimetres  
Water Level Trend = -0.00019 cm/s  
Sigma = 3.139 centimetres

Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3

Number of Waves = 316  
Average Wave Period = 0.9509 seconds  
Significant Wave Height = 12.6509 centimetres  
Maximum Wave Height = 22.0500 centimetres  
Average Wave Height = 7.9598 centimetres  
rms Wave Height = 8.9522 centimetres  
Average of Highest 1/10 = 15.6955 centimetres  
Sigmaz = 2.4747 centimetres

A.1 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi *In-Trench* Gap 40 cm dengan  $H_i = 5$  cm dan  $T_i = 1$  s

Channel 3

```
>> wavan
```

```
Program WAVAN
```

```
Wave Analysis
```

```
INPUT
```

```
enter input filename c3_40_h5_tr.txt
Enter Number of Columns in Input File: 1
Enter Sampling Time, Delt: 0.04
Enter No. of Points (Multiple of 8): 7512
Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0
Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2
Enter Desired Resolution, M: 10
```

```
Enter Number of Bins for Histogram: 5
```

```
Basic Output
```

```
Mean Water Level          = 0.0296 centimetres
Water Level Trend         = -0.00008 cm/s
Sigma                     = 1.996 centimetres
```

```
Wave Statistics
```

```
Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3
```

```
Number of Waves          = 312
Average Wave Period      = 0.9631 seconds
Significant Wave Height  = 8.8729 centimetres
Maximum Wave Height     = 17.0000 centimetres
Average Wave Height      = 5.0771 centimetres
rms Wave Height          = 6.0242 centimetres
Average of Highest 1/10  = 11.7219 centimetres
Sigmaz                   = 1.6878 centimetres
```



Channel 4

>> wavan

Program WAVAN

Wave Analysis

INPUT

enter input filename c4\_40\_h5\_tr.txt  
Enter Number of Columns in Input File: 1  
Enter Sampling Time, Delt: 0.04  
Enter No. of Points (Multiple of 8): 7512  
Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0  
Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2  
Enter Desired Resolution, M: 10

Enter Number of Bins for Histogram: 5

Basic Output

Mean Water Level = 0.0677 centimetres  
Water Level Trend = 0.00028 cm/s  
Sigma = 3.161 centimetres

Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3

Number of Waves = 328  
Average Wave Period = 0.9175 seconds  
Significant Wave Height = 12.4927 centimetres  
Maximum Wave Height = 22.2000 centimetres  
Average Wave Height = 7.8101 centimetres  
rms Wave Height = 8.8244 centimetres  
Average of Highest 1/10 = 15.8618 centimetres  
Sigmaz = 2.4120 centimetres

A.3 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi Meletak Gap 60 cm dengan  
 $H_i = 5$  cm dan  $T_i = 1$  s

Channel 3

>> wavan

Program WAVAN

Wave Analysis

INPUT

enter input filename c3\_60\_m\_h5.txt  
Enter Number of Columns in Input File: 1  
Enter Sampling Time, Delt: 0.04  
Enter No. of Points (Multiple of 8): 7520  
Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0  
Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2  
Enter Desired Resolution, M: 10

Enter Number of Bins for Histogram: 5

Basic Output

Mean Water Level = -0.0298 centimetres  
Water Level Trend = -0.00030 cm/s  
Sigma = 2.394 centimetres

Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3

Number of Waves = 318  
Average Wave Period = 0.9474 seconds  
Significant Wave Height = 9.5313 centimetres  
Maximum Wave Height = 13.9000 centimetres  
Average Wave Height = 6.0562 centimetres  
rms Wave Height = 6.7765 centimetres  
Average of Highest 1/10 = 11.4227 centimetres  
Sigmaz = 1.9164 centimetres

Channel 4

>> wavan

Program WAVAN

Wave Analysis

INPUT

enter input filename c4\_60\_m\_h5.txt  
Enter Number of Columns in Input File: 1  
Enter Sampling Time, Delt: 0.04  
Enter No. of Points (Multiple of 8): 7520  
Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0  
Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2  
Enter Desired Resolution, M: 10

Enter Number of Bins for Histogram: 5

Basic Output

Mean Water Level = 0.4005 centimetres  
Water Level Trend = 0.00007 cm/s  
Sigma = 3.067 centimetres

Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3

Number of Waves = 327  
Average Wave Period = 0.9199 seconds  
Significant Wave Height = 12.2395 centimetres  
Maximum Wave Height = 19.2500 centimetres  
Average Wave Height = 7.6156 centimetres  
rms Wave Height = 8.6128 centimetres  
Average of Highest 1/10 = 15.0353 centimetres  
Sigmaz = 2.3555 centimetres

A.4 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi *In-Trench* Gap 60 cm dengan  $H_i = 5$  cm dan  $T_i = 1$  s

Channel 3

>> wavan

Program WAVAN

Wave Analysis

INPUT

enter input filename c3\_60\_h5\_tr.txt  
Enter Number of Columns in Input File: 1  
Enter Sampling Time, Delt: 0.04  
Enter No. of Points (Multiple of 8): 7496  
Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0  
Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2  
Enter Desired Resolution, M: 10

Enter Number of Bins for Histogram: 5

Basic Output

Mean Water Level = 0.1674 centimetres  
Water Level Trend = 0.00018 cm/s  
Sigma = 2.007 centimetres

Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3

Number of Waves = 319  
Average Wave Period = 0.9399 seconds  
Significant Wave Height = 8.6421 centimetres  
Maximum Wave Height = 17.0000 centimetres  
Average Wave Height = 5.1403 centimetres  
rms Wave Height = 5.9754 centimetres  
Average of Highest 1/10 = 11.3788 centimetres  
Sigmaz = 1.6676 centimetres

Channel 4

>> wavan

Program WAVAN

Wave Analysis

INPUT

enter input filename c4\_60\_h5\_tr.txt  
Enter Number of Columns in Input File: 1  
Enter Sampling Time, Delt: 0.04  
Enter No. of Points (Multiple of 8): 7496  
Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0  
Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2  
Enter Desired Resolution, M: 10

Enter Number of Bins for Histogram: 5

Basic Output

Mean Water Level = 0.1284 centimetres  
Water Level Trend = -0.00012 cm/s  
Sigma = 3.135 centimetres

Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3

Number of Waves = 316  
Average Wave Period = 0.9489 seconds  
Significant Wave Height = 12.4689 centimetres  
Maximum Wave Height = 17.9000 centimetres  
Average Wave Height = 8.0378 centimetres  
rms Wave Height = 8.9299 centimetres  
Average of Highest 1/10 = 15.4045 centimetres  
Sigmaz = 2.5277 centimetres

A.5 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi Meletak Gap 80 cm dengan  
Hi = 5 cm dan Ti = 1 s

Channel 3

>> wavan

Program WAVAN

Wave Analysis

INPUT

enter input filename c3\_80\_m\_h5.txt  
Enter Number of Columns in Input File: 1  
Enter Sampling Time, Delt: 0.04  
Enter No. of Points (Multiple of 8): 7496  
Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0  
Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2  
Enter Desired Resolution, M: 10

Enter Number of Bins for Histogram: 5

Basic Output

Mean Water Level = 0.2787 centimetres  
Water Level Trend = -0.00008 cm/s  
Sigma = 2.030 centimetres

Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3

Number of Waves = 309  
Average Wave Period = 0.9719 seconds  
Significant Wave Height = 8.7332 centimetres  
Maximum Wave Height = 14.9000 centimetres  
Average Wave Height = 5.2882 centimetres  
rms Wave Height = 6.0697 centimetres  
Average of Highest 1/10 = 11.2703 centimetres  
Sigmaz = 1.6577 centimetres

Channel 4

>> wavan

Program WAVAN

Wave Analysis

INPUT

enter input filename c4\_80\_m\_h5.txt  
Enter Number of Columns in Input File: 1  
Enter Sampling Time, Delt: 0.04  
Enter No. of Points (Multiple of 8): 7496  
Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0  
Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2  
Enter Desired Resolution, M: 10

Enter Number of Bins for Histogram: 5

Basic Output

Mean Water Level = 0.1994 centimetres  
Water Level Trend = 0.00008 cm/s  
Sigma = 3.154 centimetres

Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3

Number of Waves = 329  
Average Wave Period = 0.9114 seconds  
Significant Wave Height = 12.6149 centimetres  
Maximum Wave Height = 21.1500 centimetres  
Average Wave Height = 7.8161 centimetres  
rms Wave Height = 8.8819 centimetres  
Average of Highest 1/10 = 15.6735 centimetres  
Sigmaz = 2.4323 centimetres

A.8 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi *In-Trench* Gap 80 cm dengan  $H_i = 5$  cm dan  $T_i = 1$  s

Channel 3

>> wavan

Program WAVAN

Wave Analysis

INPUT

enter input filename c3\_80\_h5\_tr.txt  
Enter Number of Columns in Input File: 1  
Enter Sampling Time, Delt: 0.04  
Enter No. of Points (Multiple of 8): 7504  
Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0  
Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2  
Enter Desired Resolution, M: 10

Enter Number of Bins for Histogram: 5

Basic Output

Mean Water Level = 0.2856 centimetres  
Water Level Trend = 0.00015 cm/s  
Sigma = 1.944 centimetres

Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3

Number of Waves = 310  
Average Wave Period = 0.9698 seconds  
Significant Wave Height = 8.4923 centimetres  
Maximum Wave Height = 15.5500 centimetres  
Average Wave Height = 5.1533 centimetres  
rms Wave Height = 5.9066 centimetres  
Average of Highest 1/10 = 10.8594 centimetres  
Sigmaz = 1.6189 centimetres



Channel 4

>> wavan

Program WAVAN

Wave Analysis

INPUT

enter input filename c4\_80\_h5\_tr.txt  
Enter Number of Columns in Input File: 1  
Enter Sampling Time, Delt: 0.04  
Enter No. of Points (Multiple of 8): 7504  
Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0  
Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2  
Enter Desired Resolution, M: 10

Enter Number of Bins for Histogram: 5

Basic Output

Mean Water Level = 0.0934 centimetres  
Water Level Trend = 0.00003 cm/s  
Sigma = 3.151 centimetres

Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3

Number of Waves = 317  
Average Wave Period = 0.9469 seconds  
Significant Wave Height = 12.3000 centimetres  
Maximum Wave Height = 21.0500 centimetres  
Average Wave Height = 8.1901 centimetres  
rms Wave Height = 8.9912 centimetres  
Average of Highest 1/10 = 14.6788 centimetres  
Sigmaz = 2.4282 centimetres

A.7 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi Meletak Gap 40 cm dengan  
 $H_i = 7$  cm dan  $T_i = 1$  s

Channel 3

```
>> wavan

                                Program WAVAN

                                Wave Analysis

INPUT

enter input filename  c3_40_h7_m.txt
Enter Number of Columns in Input File:  1
Enter Sampling Time, Delt:  0.04
Enter No. of Points (Multiple of 8):  4512
Do you want plots? - Yes=1, No=0:  0
Remove Mean (1) or Trend (2)?:  2
Enter Desired Resolution, M:  10

Enter Number of Bins for Histogram:  5

Basic Output

Mean Water Level           =  0.6368 centimetres
Water Level Trend          = -0.00056 cm/s
Sigma                      =  3.118 centimetres

Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?:  3

Number of Waves           =  176
Average Wave Period       =  1.0255 seconds
Significant Wave Height   = 12.3292 centimetres
Maximum Wave Height       = 17.2001 centimetres
Average Wave Height       =  8.1554 centimetres
rms Wave Height           =  8.9365 centimetres
Average of Highest 1/10   = 14.8737 centimetres
Sigmaz                  =  2.5442 centimetres
```

Channel 4

>> wavan

Program WAVAN

Wave Analysis

INPUT

enter input filename c4\_40\_h7\_m.txt  
Enter Number of Columns in Input File: 1  
Enter Sampling Time, Delt: 0.04  
Enter No. of Points (Multiple of 8): 4512  
Do you want plots? - Yes=1, No=0: 1  
Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2  
Enter Desired Resolution, M: 10

Enter Number of Bins for Histogram: 5

Basic Output

Mean Water Level = -0.0723 centimetres  
Water Level Trend = -0.00058 cm/s  
Sigma = 3.903 centimetres

Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3

Number of Waves = 180  
Average Wave Period = 1.0055 seconds  
Significant Wave Height = 15.4893 centimetres  
Maximum Wave Height = 23.1000 centimetres  
Average Wave Height = 10.2373 centimetres  
rms Wave Height = 11.2591 centimetres  
Average of Highest 1/10 = 18.8947 centimetres  
Sigma<sub>z</sub> = 3.2577 centimetres

A.8 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi *In-Trench* Gap 40 cm dengan  $H_i = 7$  cm dan  $T_i = 1$  s

Channel 3

>> wavan

Program WAVAN

Wave Analysis

INPUT

enter input filename c3\_40\_h7\_tr.txt  
Enter Number of Columns in Input File: 1  
Enter Sampling Time, Delt: 0.04  
Enter No. of Points (Multiple of 8): 3016  
Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0  
Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2  
Enter Desired Resolution, M: 10

Enter Number of Bins for Histogram: 5

Basic Output

Mean Water Level = 0.4684 centimetres  
Water Level Trend = -0.00013 cm/s  
Sigma = 3.148 centimetres

Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3

Number of Waves = 122  
Average Wave Period = 0.9929 seconds  
Significant Wave Height = 12.1622 centimetres  
Maximum Wave Height = 17.6500 centimetres  
Average Wave Height = 7.9256 centimetres  
rms Wave Height = 8.8427 centimetres  
Average of Highest 1/10 = 14.6808 centimetres  
Sigmaz = 2.5452 centimetres

## Channel 4

```
>> wavan
```

```
Program WAVAN
```

```
Wave Analysis
```

```
INPUT
```

```
enter input filename c4_40_h7_tr.txt  
Enter Number of Columns in Input File: 1  
Enter Sampling Time, Delt: 0.04  
Enter No. of Points (Multiple of 8): 3016  
Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0  
Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2  
Enter Desired Resolution, M: 10
```

```
Enter Number of Bins for Histogram: 5
```

```
Basic Output
```

```
Mean Water Level          = 0.6583 centimetres  
Water Level Trend         = -0.00131 cm/s  
Sigma                     = 3.946 centimetres
```

```
Wave Statistics
```

```
Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3
```

```
Number of Waves          = 121  
Average Wave Period      = 0.9970 seconds  
Significant Wave Height = 15.6439 centimetres  
Maximum Wave Height     = 20.9000 centimetres  
Average Wave Height     = 10.1789 centimetres  
rms Wave Height         = 11.2425 centimetres  
Average of Highest 1/10 = 18.8653 centimetres  
Sigmaz                  = 3.0957 centimetres
```

A.9 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi Meletak Gap 60 cm dengan  
 $H_i = 7$  cm dan  $T_i = 1$  s

Channel 3

>> wavan

Program WAVAN

Wave Analysis

INPUT

enter input filename c3\_60\_h7\_m.txt  
Enter Number of Columns in Input File: 1  
Enter Sampling Time, Delt: 0.04  
Enter No. of Points (Multiple of 8): 3016  
Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0  
Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2  
Enter Desired Resolution, M: 10

Enter Number of Bins for Histogram: 5

Basic Output

Mean Water Level = 0.1809 centimetres  
Water Level Trend = 0.00004 cm/s  
Sigma = 3.088 centimetres

Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3

Number of Waves = 118  
Average Wave Period = 1.0224 seconds  
Significant Wave Height = 12.1750 centimetres  
Maximum Wave Height = 17.0500 centimetres  
Average Wave Height = 8.1042 centimetres  
rms Wave Height = 8.8602 centimetres  
Average of Highest 1/10 = 14.6077 centimetres  
Sigmaz = 2.4457 centimetres

## Channel 4

```
>> wavan
```

```
Program WAVAN
```

```
Wave Analysis
```

```
INPUT
```

```
enter input filename c4_60_h7_m.txt  
Enter Number of Columns in Input File: 1  
Enter Sampling Time, Delt: 0.04  
Enter No. of Points (Multiple of 8): 3016  
Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0  
Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2  
Enter Desired Resolution, M: 10
```

```
Enter Number of Bins for Histogram: 5
```

```
Basic Output
```

```
Mean Water Level          = 0.7167 centimetres  
Water Level Trend         = 0.00126 cm/s  
Sigma                     = 3.887 centimetres
```

```
Wave Statistics
```

```
Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3
```

```
Number of Waves          = 124  
Average Wave Period      = 0.9769 seconds  
Significant Wave Height  = 15.2512 centimetres  
Maximum Wave Height      = 21.7500 centimetres  
Average Wave Height      = 9.8566 centimetres  
rms Wave Height          = 10.9591 centimetres  
Average of Highest 1/10  = 18.1808 centimetres  
Sigmaz                   = 3.1837 centimetres
```

A.10 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi *In-Trench* Gap 60 cm dengan  $H_i = 7$  cm dan  $T_i = 1$  s

Channel 3

>> wavan

Program WAVAN

Wave Analysis

INPUT

enter input filename c3\_60\_h7\_tr.txt  
Enter Number of Columns in Input File: 1  
Enter Sampling Time, Delt: 0.04  
Enter No. of Points (Multiple of 8): 4512  
Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0  
Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2  
Enter Desired Resolution, M: 10

Enter Number of Bins for Histogram: 5

Basic Output

Mean Water Level = 0.1659 centimetres  
Water Level Trend = -0.00021 cm/s  
Sigma = 3.168 centimetres

Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3

Number of Waves = 181  
Average Wave Period = 0.9971 seconds  
Significant Wave Height = 12.5549 centimetres  
Maximum Wave Height = 18.5500 centimetres  
Average Wave Height = 8.2276 centimetres  
rms Wave Height = 9.0809 centimetres  
Average of Highest 1/10 = 15.3105 centimetres  
Sigmaz = 2.5366 centimetres



Channel 4

>> wavan

Program WAVAN

Wave Analysis

INPUT

enter input filename c4\_60\_h7\_tr.txt  
Enter Number of Columns in Input File: 1  
Enter Sampling Time, Delt: 0.04  
Enter No. of Points (Multiple of 8): 4512  
Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0  
Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2  
Enter Desired Resolution, M: 10

Enter Number of Bins for Histogram: 5

Basic Output

Mean Water Level = 0.7649 centimetres  
Water Level Trend = 0.00063 cm/s  
Sigma = 4.003 centimetres

Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3

Number of Waves = 184  
Average Wave Period = 0.9835 seconds  
Significant Wave Height = 15.5242 centimetres  
Maximum Wave Height = 23.9000 centimetres  
Average Wave Height = 10.3123 centimetres  
rms Wave Height = 11.3158 centimetres  
Average of Highest 1/10 = 18.5474 centimetres  
Sigmaz = 3.1545 centimetres

A.11 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi Meletak Gap 80 cm dengan  $H_i = 7$  cm dan  $T_i = 1$  s

Channel 3

>> wavan

Program WAVAN

Wave Analysis

INPUT

enter input filename c3\_80\_h7\_m.txt  
Enter Number of Columns in Input File: 1  
Enter Sampling Time, Delt: 0.04  
Enter No. of Points (Multiple of 8): 4512  
Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0  
Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2  
Enter Desired Resolution, M: 10

Enter Number of Bins for Histogram: 5

Basic Output

Mean Water Level = 0.1635 centimetres  
Water Level Trend = 0.00020 cm/s  
Sigma = 3.079 centimetres

Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3

Number of Waves = 180  
Average Wave Period = 1.0055 seconds  
Significant Wave Height = 12.0738 centimetres  
Maximum Wave Height = 18.1500 centimetres  
Average Wave Height = 8.0022 centimetres  
rms Wave Height = 8.8090 centimetres  
Average of Highest 1/10 = 14.5711 centimetres  
Sigmaz = 2.4655 centimetres

## Channel 4

```
>> wavan
```

```
Program WAVAN
```

```
Wave Analysis
```

```
INPUT
```

```
enter input filename c4_80_h7_m.txt
```

```
Enter Number of Columns in Input File: 1
```

```
Enter Sampling Time, Delt: 0.04
```

```
Enter No. of Points (Multiple of 8): 4512
```

```
Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0
```

```
Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2
```

```
Enter Desired Resolution, M: 10
```

```
Enter Number of Bins for Histogram: 5
```

```
Basic Output
```

```
Mean Water Level = 0.6100 centimetres
```

```
Water Level Trend = -0.00031 cm/s
```

```
Sigma = 3.874 centimetres
```

```
Wave Statistics
```

```
Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3
```

```
Number of Waves = 182
```

```
Average Wave Period = 0.9944 seconds
```

```
Significant Wave Height = 15.3101 centimetres
```

```
Maximum Wave Height = 24.6000 centimetres
```

```
Average Wave Height = 9.8295 centimetres
```

```
rms Wave Height = 10.9926 centimetres
```

```
Average of Highest 1/10 = 19.2447 centimetres
```

```
Sigmaz = 2.9593 centimetres
```

A.12 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi *In-Trench* Gap 80 cm dengan  $H_i = 7$  cm dan  $T_i = 1$  s

Channel 3

>> wavan

Program WAVAN

Wave Analysis

INPUT

enter input filename c3\_80\_h7\_tr.txt  
Enter Number of Columns in Input File: 1  
Enter Sampling Time, Delt: 0.04  
Enter No. of Points (Multiple of 8): 4512  
Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0  
Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2  
Enter Desired Resolution, M: 10

Enter Number of Bins for Histogram: 5

Basic Output

Mean Water Level = 0.2619 centimetres  
Water Level Trend = -0.00036 cm/s  
Sigma = 3.152 centimetres

Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3

Number of Waves = 179  
Average Wave Period = 1.0083 seconds  
Significant Wave Height = 12.5156 centimetres  
Maximum Wave Height = 19.5000 centimetres  
Average Wave Height = 8.1673 centimetres  
rms Wave Height = 9.0516 centimetres  
Average of Highest 1/10 = 15.6368 centimetres  
Sigmaz = 2.3139 centimetres

Channel 4

>> wavan

Program WAVAN

Wave Analysis

INPUT

enter input filename c4\_80\_h7\_tr.txt  
Enter Number of Columns in Input File: 1  
Enter Sampling Time, Delt: 0.04  
Enter No. of Points (Multiple of 8): 4512  
Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0  
Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2  
Enter Desired Resolution, M: 10

Enter Number of Bins for Histogram: 5

Basic Output

Mean Water Level = 0.5327 centimetres  
Water Level Trend = 0.00053 cm/s  
Sigma = 3.869 centimetres

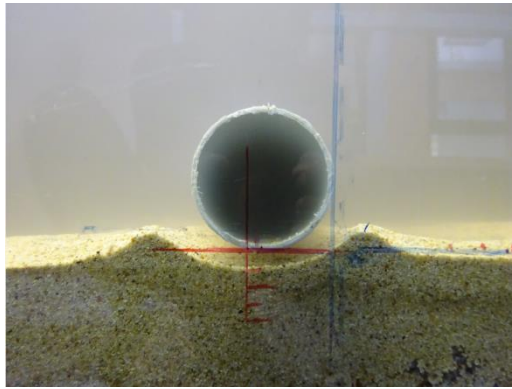
Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3

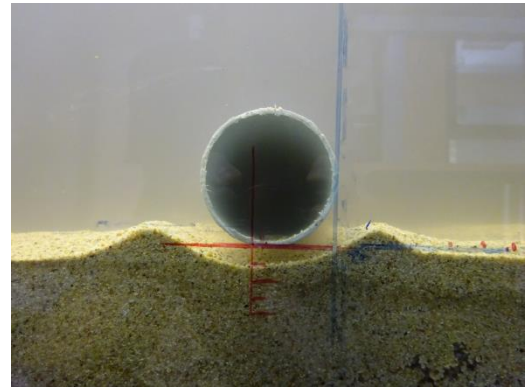
Number of Waves = 184  
Average Wave Period = 0.9809 seconds  
Significant Wave Height = 15.4161 centimetres  
Maximum Wave Height = 22.4001 centimetres  
Average Wave Height = 9.7313 centimetres  
rms Wave Height = 10.9340 centimetres  
Average of Highest 1/10 = 19.0079 centimetres  
Sigmaz = 3.0985 centimetres

LAMPIRAN B  
FOTO HASIL PENGAMATAN *SCOURING* TIAP 5 MENIT

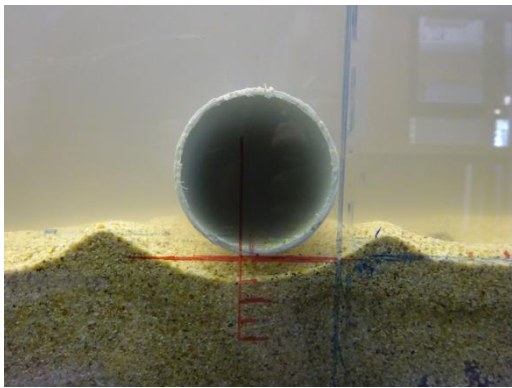
B.1 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi Meletak Gap 40 cm dengan  $H_{avg} = 4,76$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s



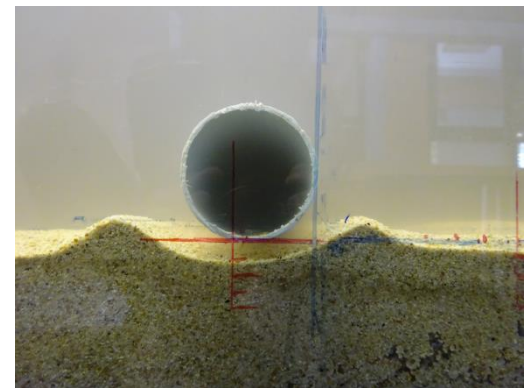
(a)



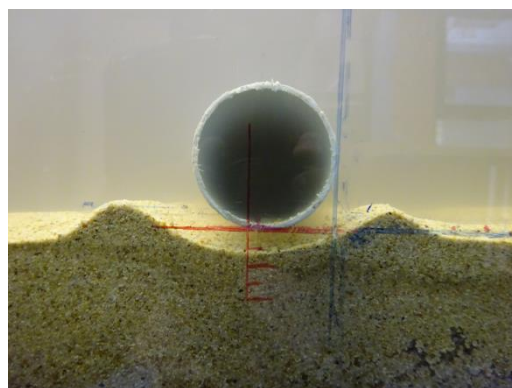
(b)



(c)

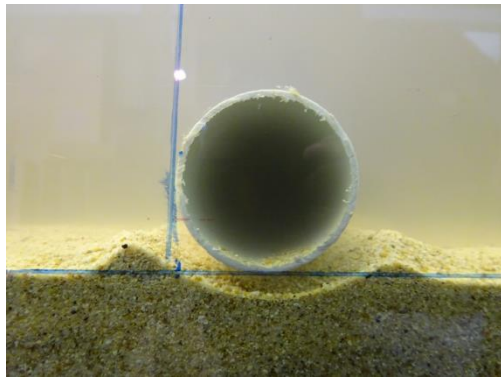


(d)

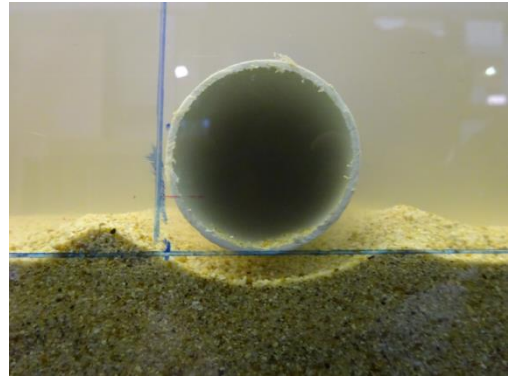


(e)

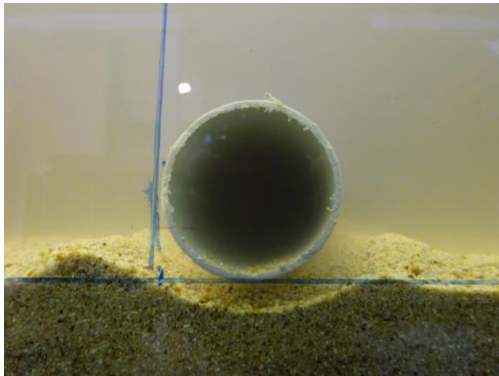
Gambar 1. Pengamatan *scouring* pipa belakang kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 4,76$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s, (a)  $t = 5$  menit, (b)  $t = 10$  menit, (c)  $t = 15$  menit, (d)  $t = 20$  menit, (e)  $t = 25$  menit



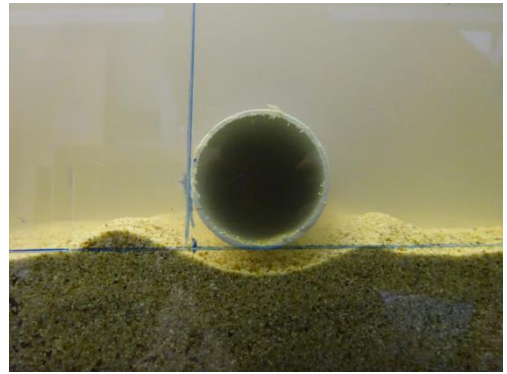
(a)



(b)



(c)



(d)

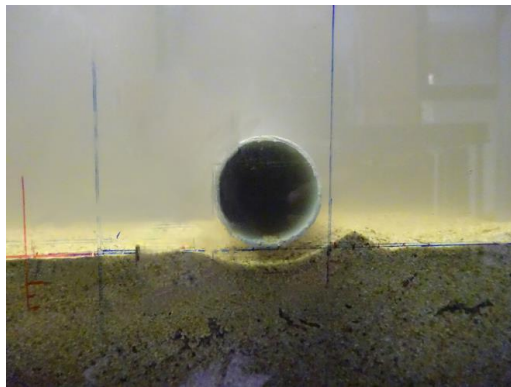


(e)

Gambar 2. Pengamatan *scouring* pipa depan kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 4,76$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s, (a)  $t = 5$  menit, (b)  $t = 10$  menit, (c)  $t = 15$  menit, (d)  $t = 20$  menit, (e)  $t = 25$  menit



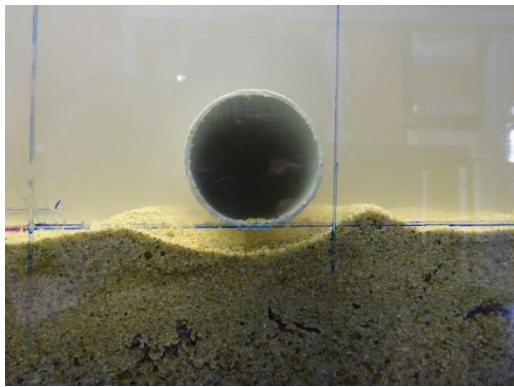
B.2 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi Meletak Gap 60 cm dengan  $H_{avg} = 6,06$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s



(a)



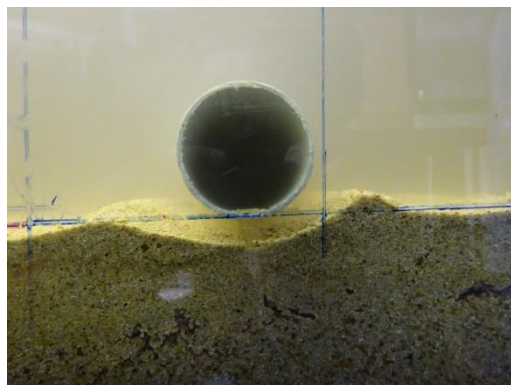
(b)



(c)



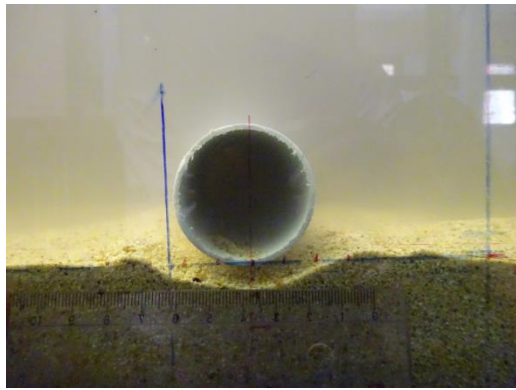
(d)



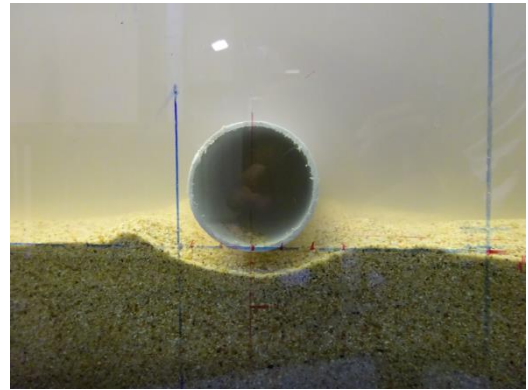
(e)

Gambar 3. Pengamatan *scouring* pipa belakang kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 6,06$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s, (a)  $t = 5$  menit, (b)  $t = 10$  menit, (c)  $t = 15$  menit, (d)  $t = 20$  menit, (e)  $t = 25$  menit

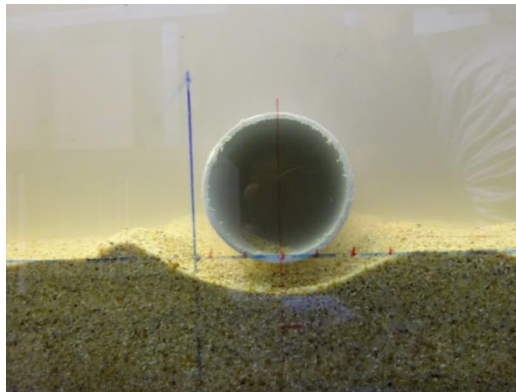




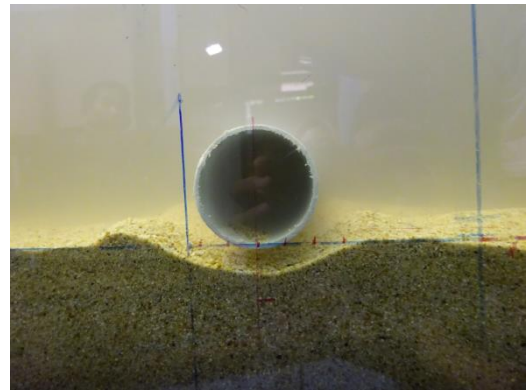
(a)



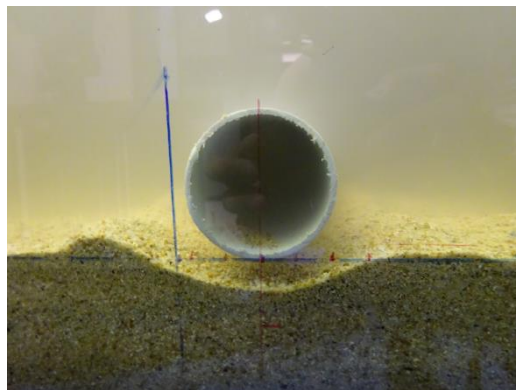
(b)



(c)



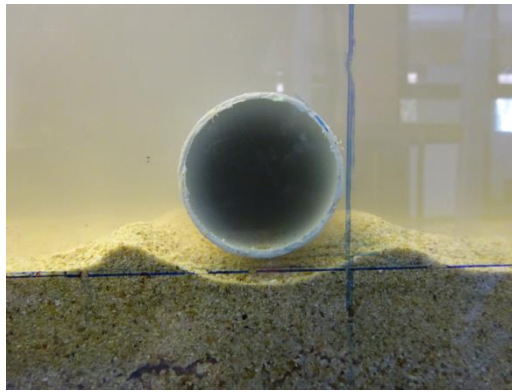
(d)



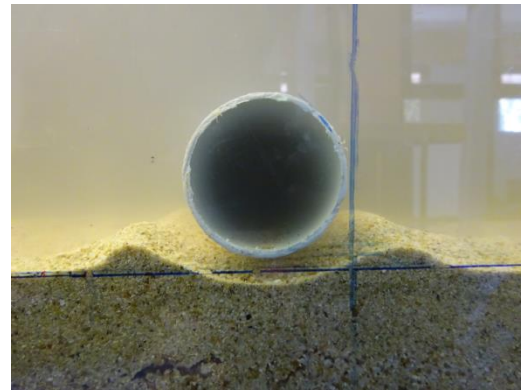
(e)

Gambar 4. Pengamatan *scouring* pipa depan kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 6,06$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s, (a)  $t = 5$  menit, (b)  $t = 10$  menit, (c)  $t = 15$  menit, (d)  $t = 20$  menit, (e)  $t = 25$  menit

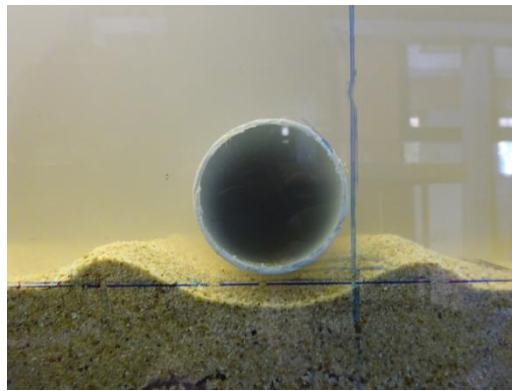
B.3 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi Meletak Gap 80 cm dengan  $H_{avg} = 5,29$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s



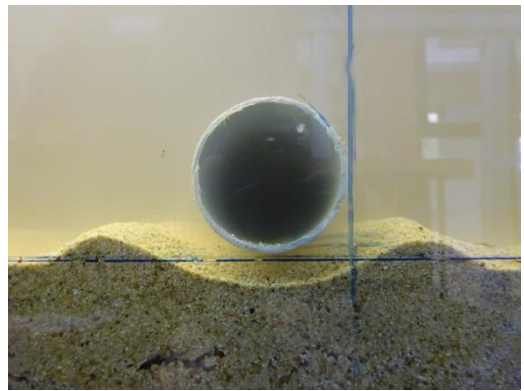
(a)



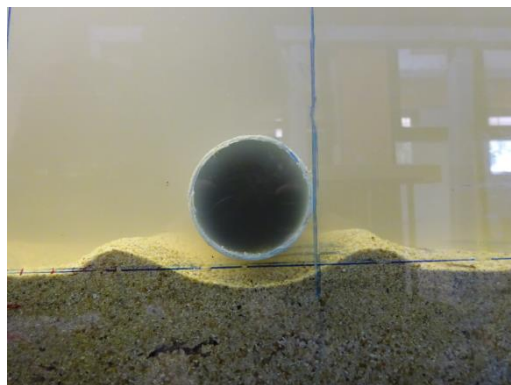
(b)



(c)



(d)

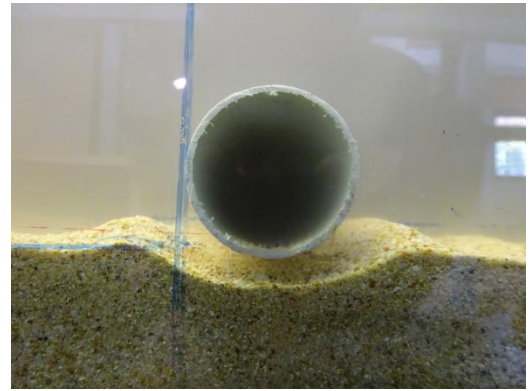


(e)

Gambar 5. Pengamatan *scouring* pipa belakang kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 5,29$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s, (a)  $t = 5$  menit, (b)  $t = 10$  menit, (c)  $t = 15$  menit, (d)  $t = 20$  menit, (e)  $t = 25$  menit



(a)



(b)



(c)



(d)

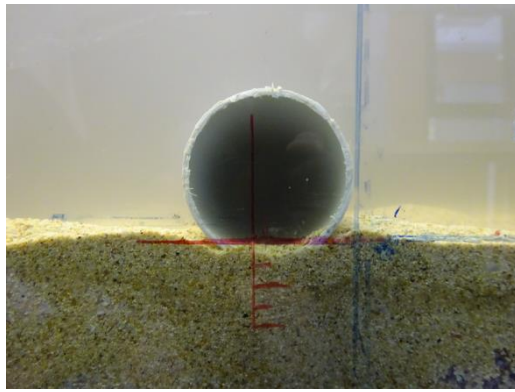


(e)

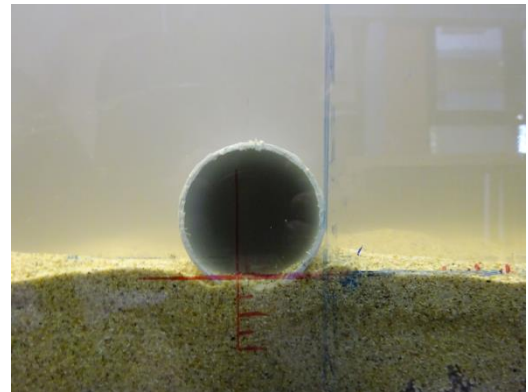
Gambar 6. Pengamatan *scouring* pipa depan kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 5,29$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s, (a)  $t = 5$  menit, (b)  $t = 10$  menit, (c)  $t = 15$  menit, (d)  $t = 20$  menit, (e)  $t = 25$  menit



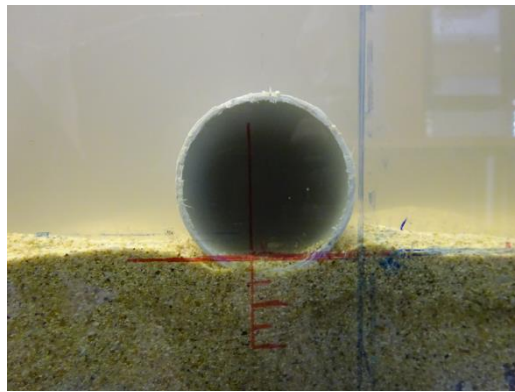
B.4 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi *In-Trench* Gap 40 cm dengan  $H_{avg} = 5,08$  cm dan  $T_{avg} = 0,96$  s



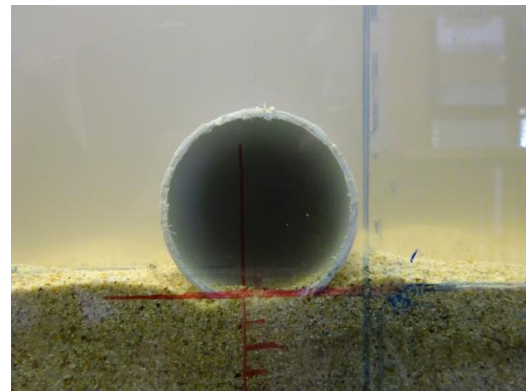
(a)



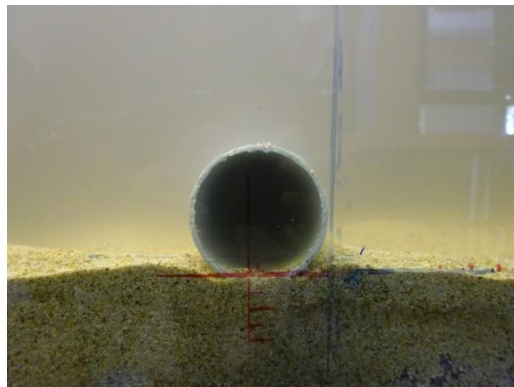
(b)



(c)

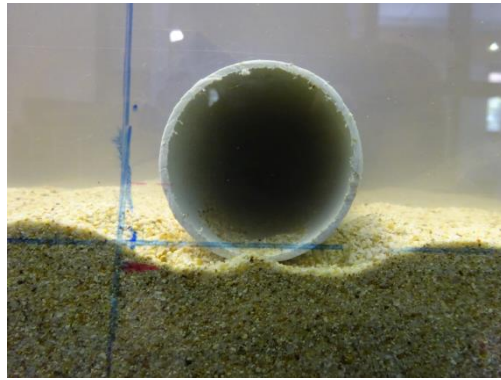


(d)



(e)

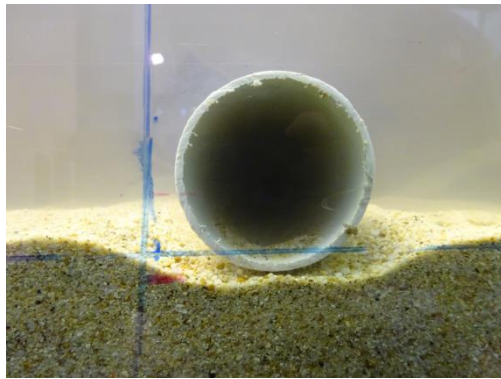
Gambar 7. Pengamatan *scouring* pipa belakang kondisi *in-trench* dengan  $H_{avg} = 5,08$  cm dan  $T_{avg} = 0,96$  s, (a)  $t = 5$  menit, (b)  $t = 10$  menit, (c)  $t = 15$  menit, (d)  $t = 20$  menit, (e)  $t = 25$  menit



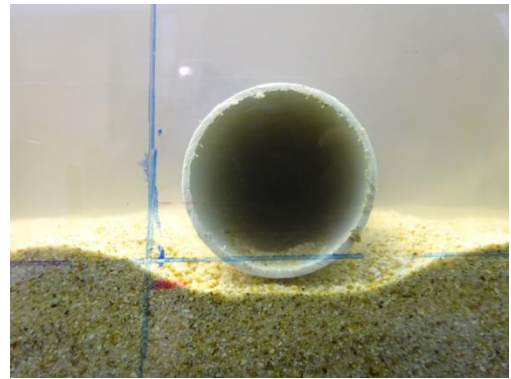
(a)



(b)



(c)



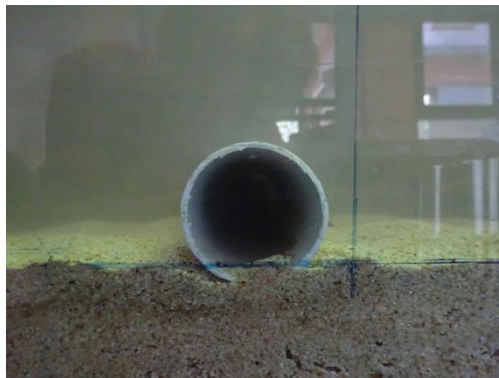
(d)



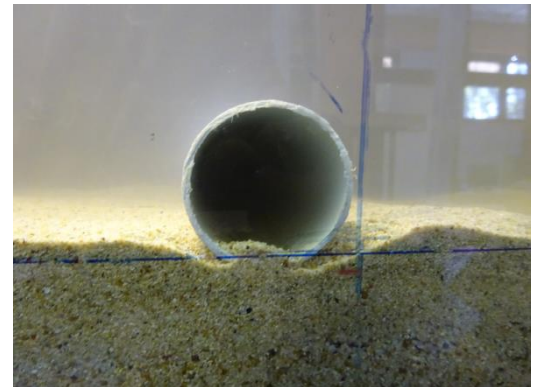
(e)

Gambar 8. Pengamatan *scouring* pipa depan kondisi *in-trench* dengan  $H_{avg} = 5,08$  cm dan  $T_{avg} = 0,96$  s, (a)  $t = 5$  menit, (b)  $t = 10$  menit, (c)  $t = 15$  menit, (d)  $t = 20$  menit, (e)  $t = 25$  menit

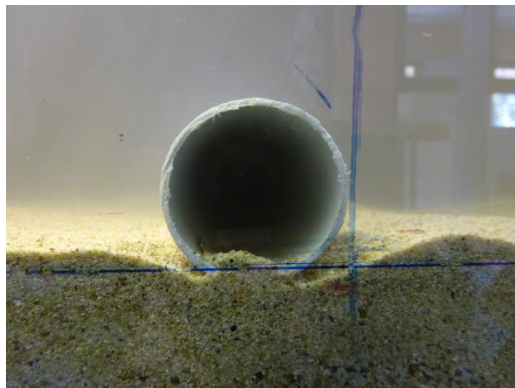
B.5 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi *In-Trench* Gap 60 cm dengan  $H_{avg} = 5,14$  cm dan  $T_{avg} = 0,94$  s



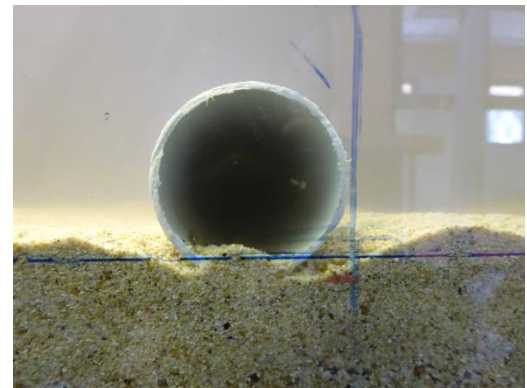
(a)



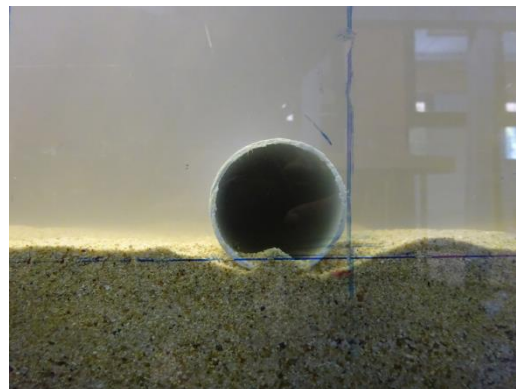
(b)



(c)



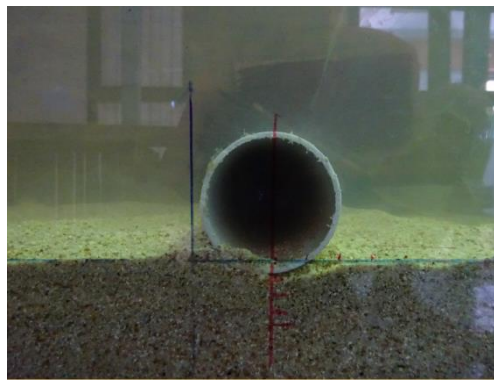
(d)



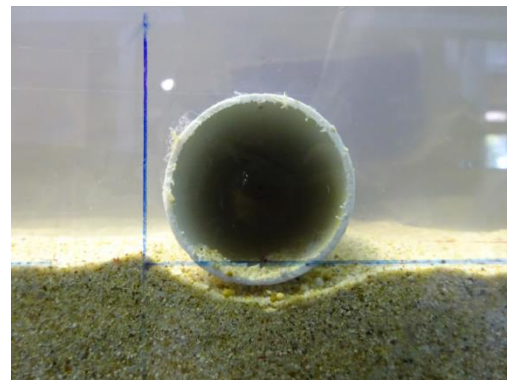
(e)

Gambar 9. Pengamatan *scouring* pipa belakang kondisi *in-trench* dengan  $H_{avg} = 5,14$  cm dan  $T_{avg} = 0,94$  s, (a)  $t = 5$  menit, (b)  $t = 10$  menit, (c)  $t = 15$  menit, (d)  $t = 20$  menit, (e)  $t = 25$  menit

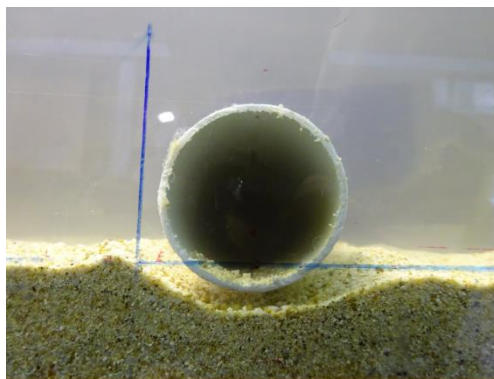




(a)



(b)



(c)



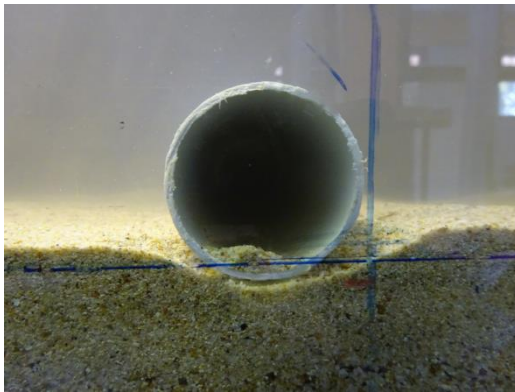
(d)



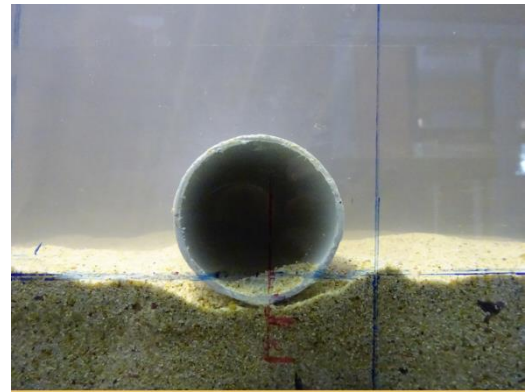
(e)

Gambar 10. Pengamatan *scouring* pipa depan kondisi *in-trench*  $H_{avg} = 5,14$  cm dan  $T_{avg} = 0,94$  s, (a)  $t = 5$  menit, (b)  $t = 10$  menit, (c)  $t = 15$  menit, (d)  $t = 20$  menit, (e)  $t = 25$  menit

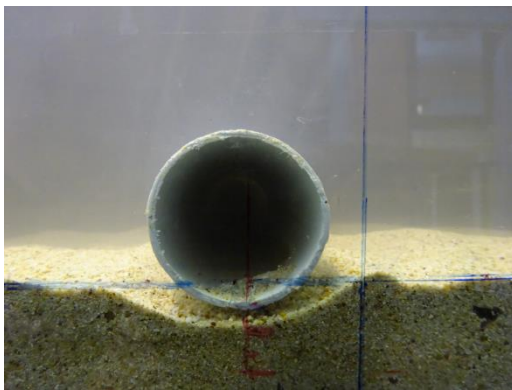
B.6 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi *In-Trench* Gap 80 cm dengan  $H_{avg} = 5,15$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s



(a)



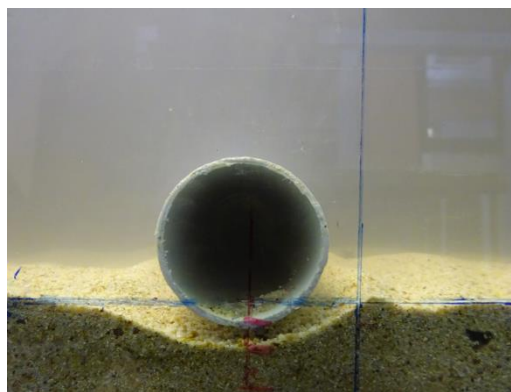
(b)



(c)



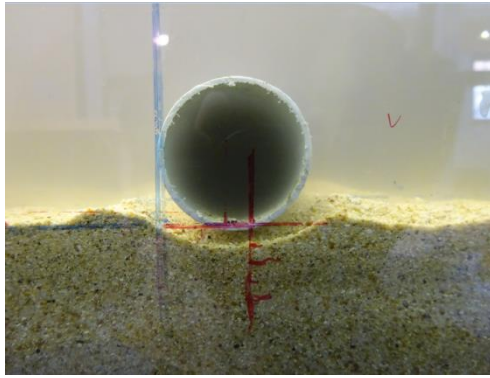
(d)



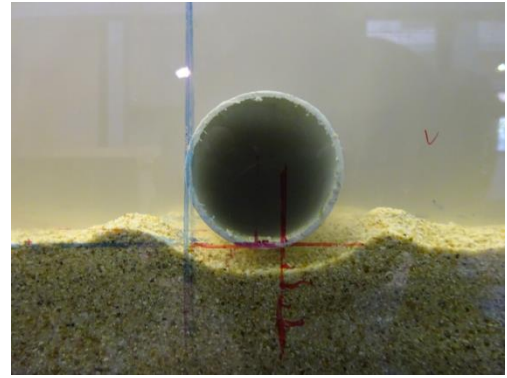
(e)

Gambar 11. Pengamatan *scouring* pipa belakang kondisi *in-trench* dengan  $H_{avg} = 5,15$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s, (a)  $t = 5$  menit, (b)  $t = 10$  menit, (c)  $t = 15$  menit, (d)  $t = 20$  menit, (e)  $t = 25$  menit

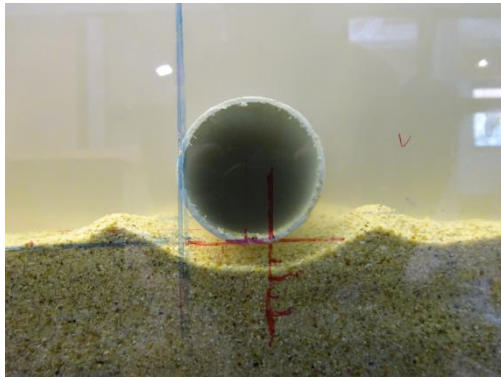




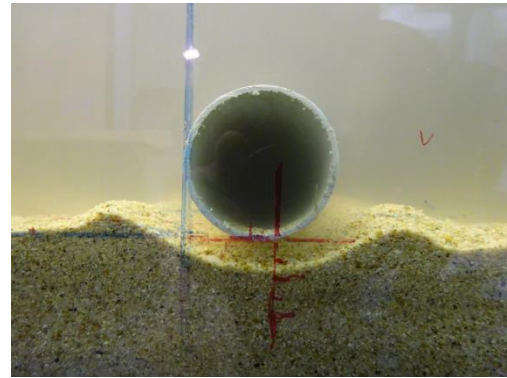
(a)



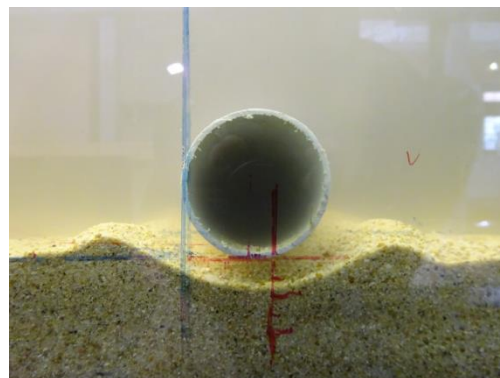
(b)



(c)



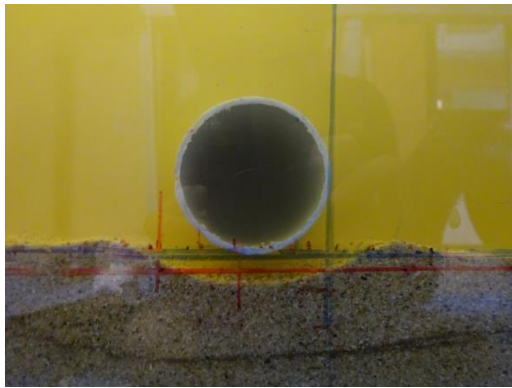
(d)



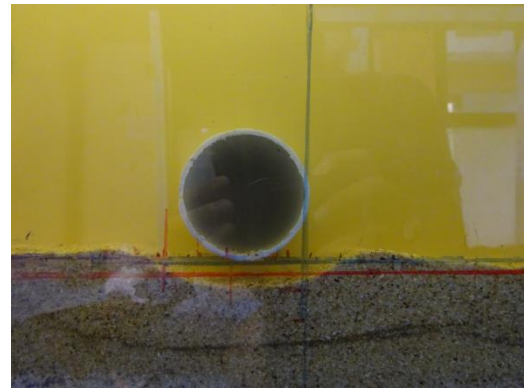
(e)

Gambar 12. Pengamatan *scouring* pipa depan kondisi *in-trench* dengan  $H_{avg} = 5,15$  cm dan  $T_{avg} = 0,97$  s, (a)  $t = 5$  menit, (b)  $t = 10$  menit, (c)  $t = 15$  menit, (d)  $t = 20$  menit, (e)  $t = 25$  menit

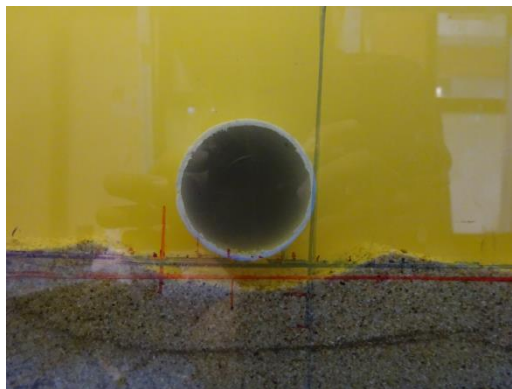
B.7 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi Meletak Gap 40 cm dengan  $H_{avg} = 8,15$  cm dan  $T_{avg} = 1,03$  s



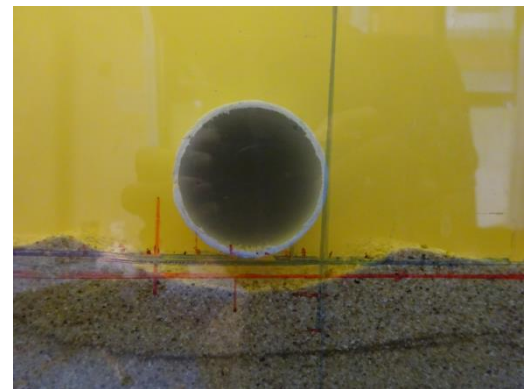
(a)



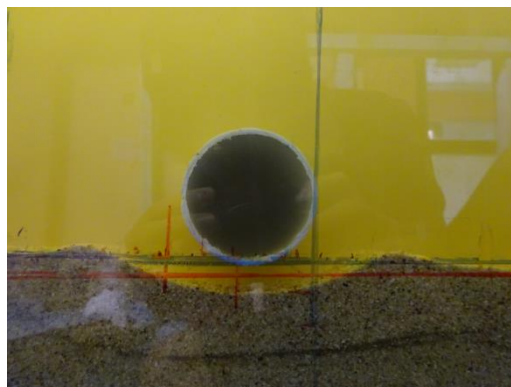
(b)



(c)

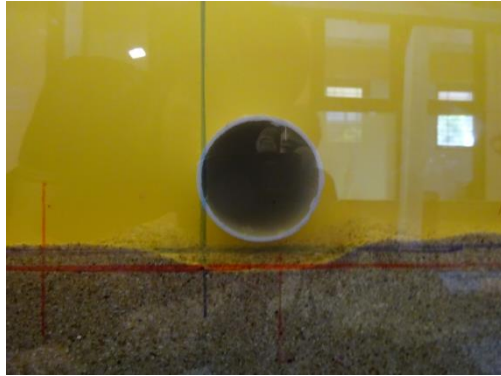


(d)

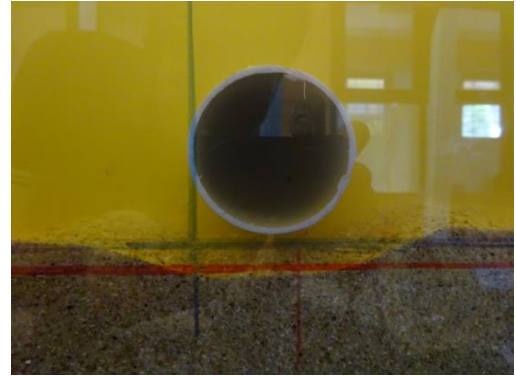


(e)

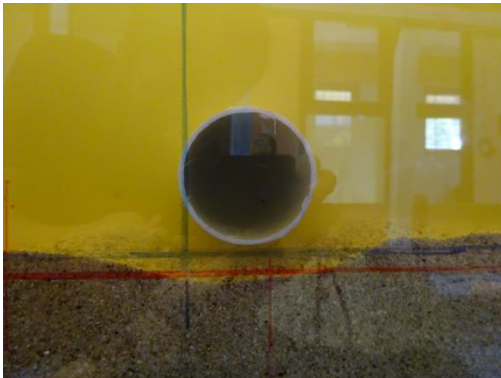
Gambar 13. Pengamatan *scouring* pipa belakang kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 8,15$  cm dan  $T_{avg} = 1.03$  s, (a)  $t = 5$  menit, (b)  $t = 10$  menit, (c)  $t = 15$  menit, (d)  $t = 20$  menit, (e)  $t = 25$  menit



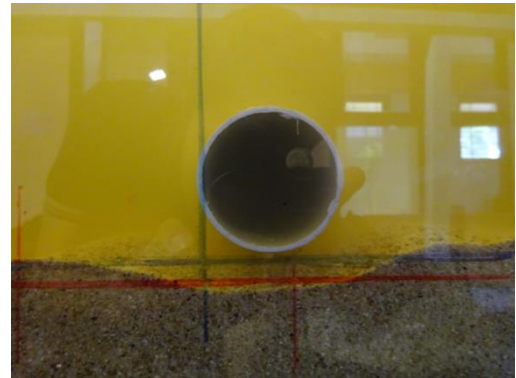
(a)



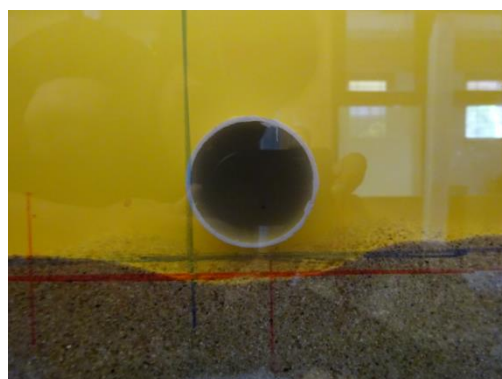
(b)



(c)



(d)

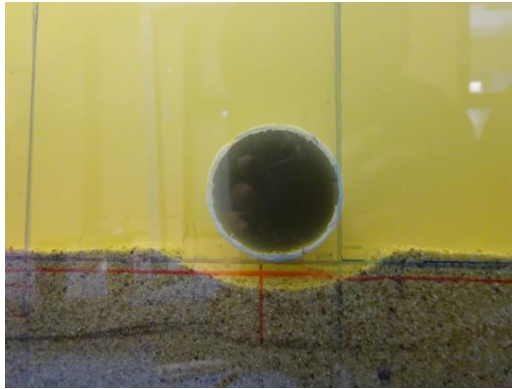


(e)

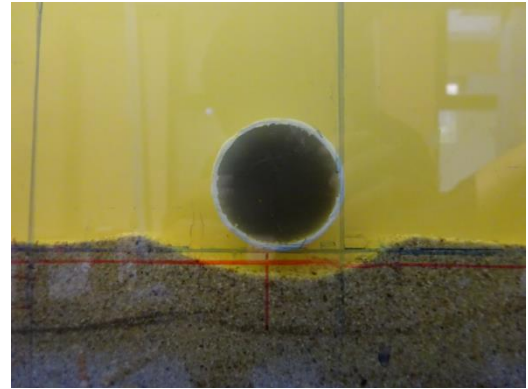
Gambar 14. Pengamatan *scouring* pipa depan kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 8,15$  cm dan  $T_{avg} = 1.03$  s, (a)  $t = 5$  menit, (b)  $t = 10$  menit, (c)  $t = 15$  menit, (d)  $t = 20$  menit, (e)  $t = 25$  menit



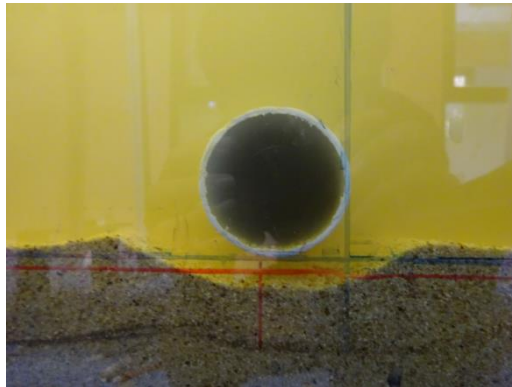
B.8 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi Meletak Gap 60 cm dengan  $H_{avg} = 8,10$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s



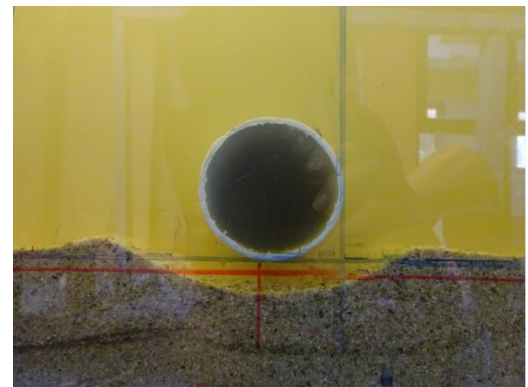
(a)



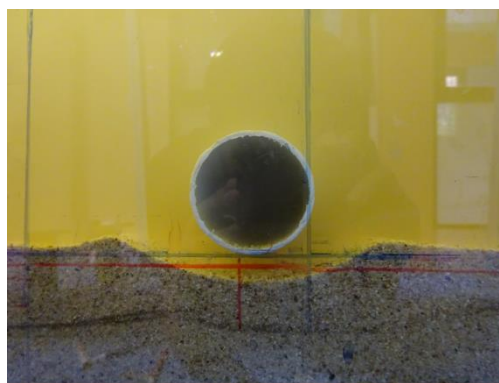
(b)



(c)

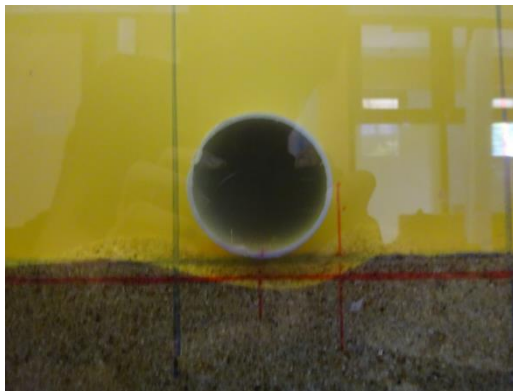


(d)

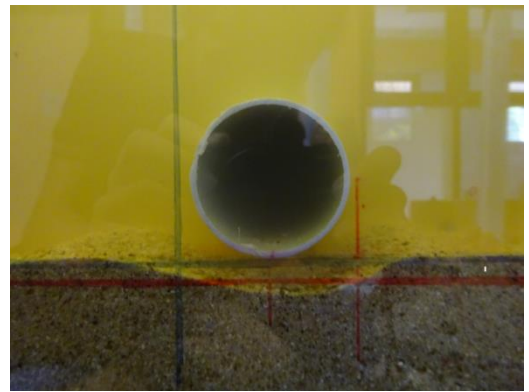


(e)

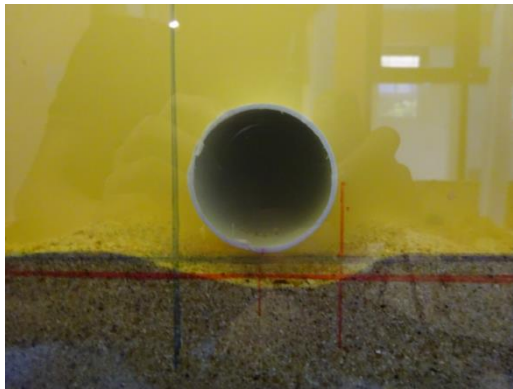
Gambar 15. Pengamatan *scouring* pipa belakang kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 8,10$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s, (a)  $t = 5$  menit, (b)  $t = 10$  menit, (c)  $t = 15$  menit, (d)  $t = 20$  menit, (e)  $t = 25$  menit



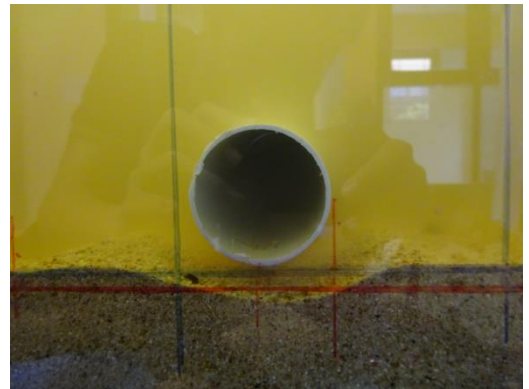
(a)



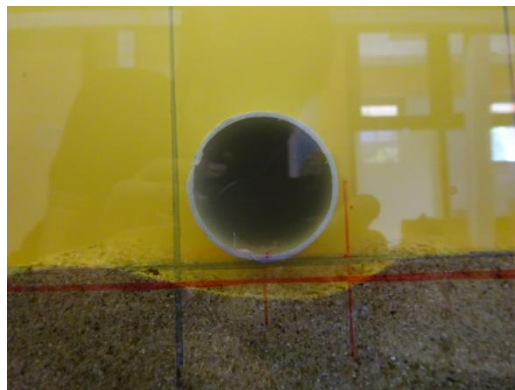
(b)



(c)



(d)



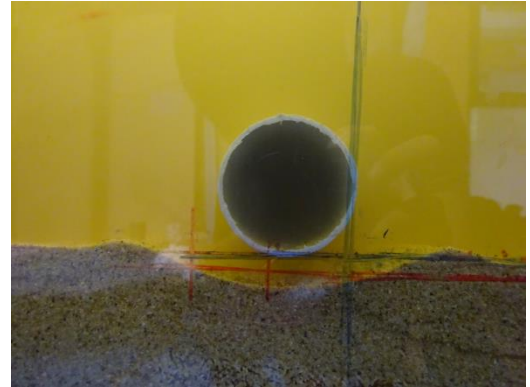
(e)

Gambar 16. Pengamatan *scouring* pipa depan kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 8,10$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s, (a)  $t = 5$  menit, (b)  $t = 10$  menit, (c)  $t = 15$  menit, (d)  $t = 20$  menit, (e)  $t = 25$  menit

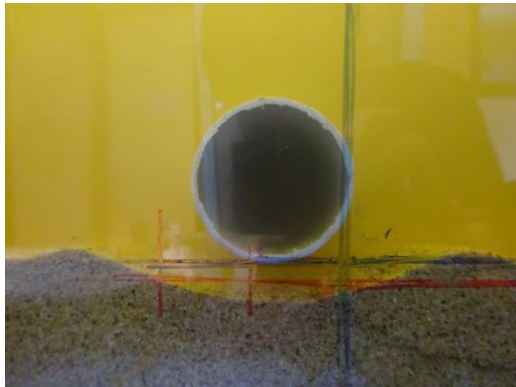
B.9 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi Meletak Gap 80 cm dengan  $H_{avg} = 8$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s



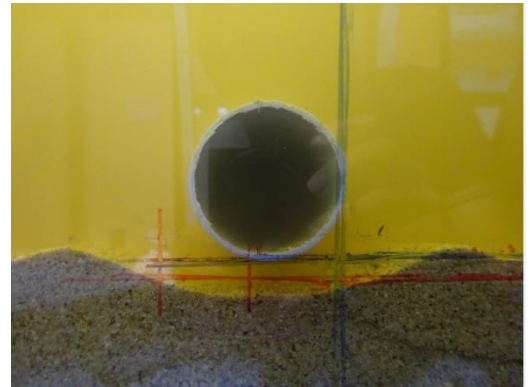
(a)



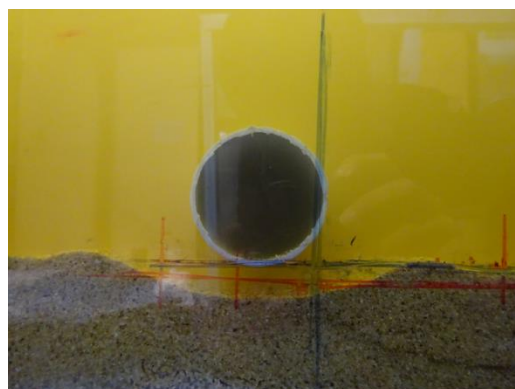
(b)



(c)



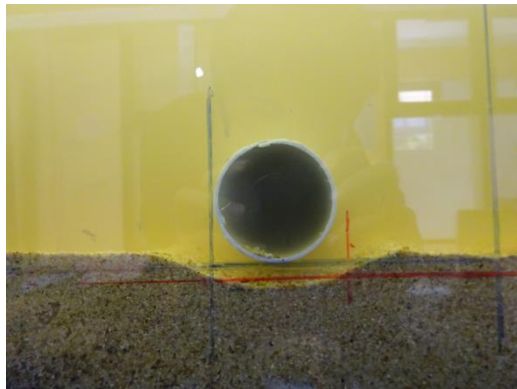
(d)



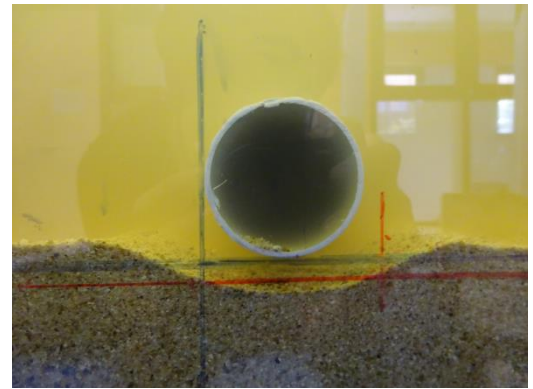
(e)

Gambar 17. Pengamatan *scouring* pipa belakang kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 8$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s, (a)  $t = 5$  menit, (b)  $t = 10$  menit, (c)  $t = 15$  menit, (d)  $t = 20$  menit, (e)  $t = 25$  menit

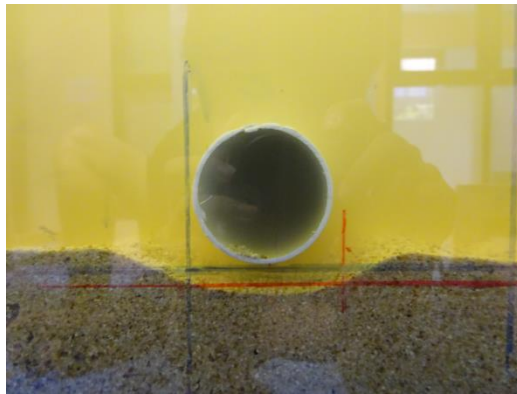




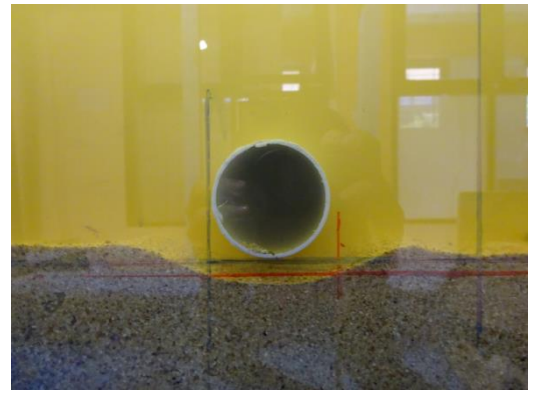
(a)



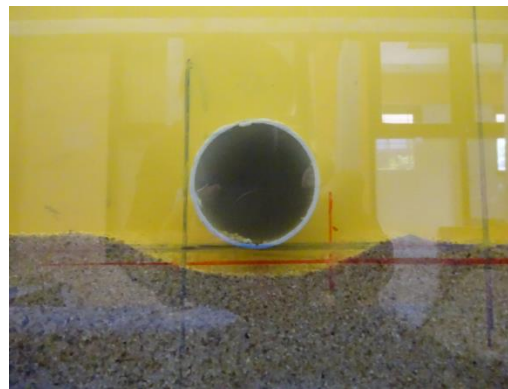
(b)



(c)



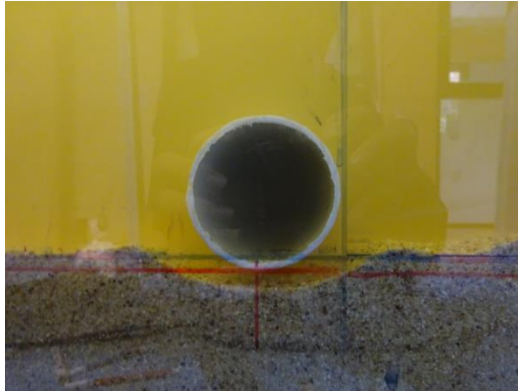
(d)



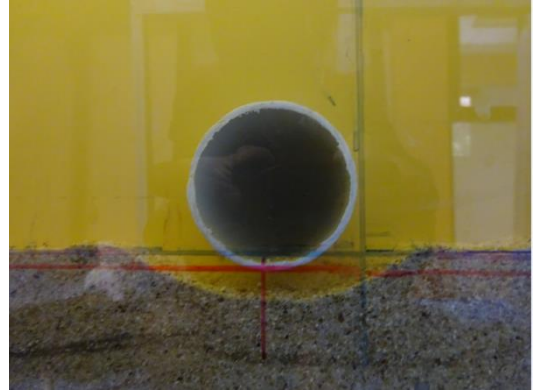
(e)

Gambar 18. Pengamatan *scouring* pipa depan kondisi meletak dengan  $H_{avg} = 8$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s, (a)  $t = 5$  menit, (b)  $t = 10$  menit, (c)  $t = 15$  menit, (d)  $t = 20$  menit, (e)  $t = 25$  menit

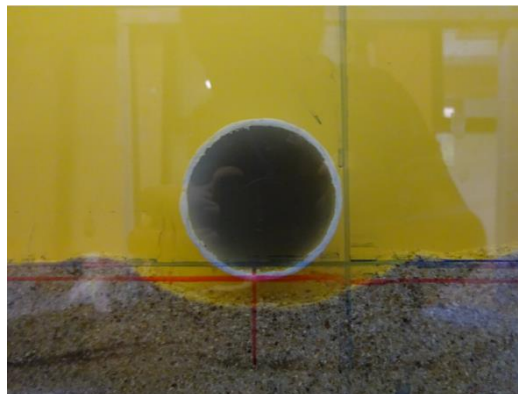
B.10 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi *In-Trench* Gap 40 cm dengan  $H_{avg} = 7,29$  cm dan  $T_{avg} = 0,99$  s



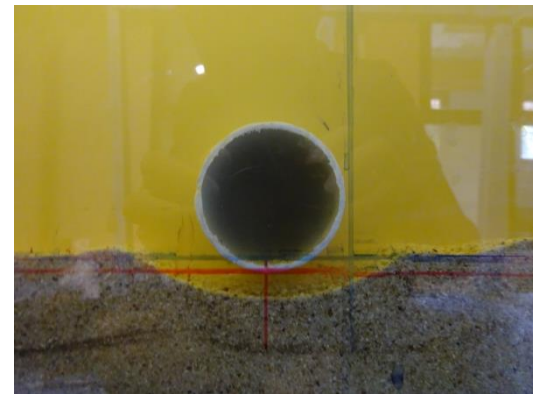
(a)



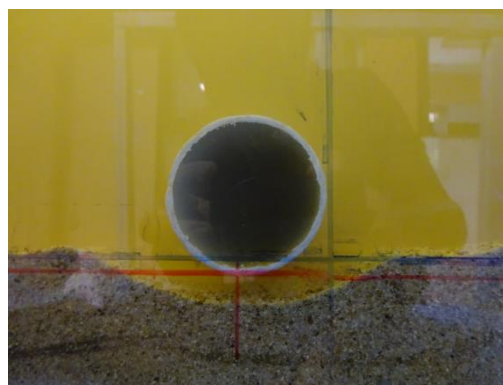
(b)



(c)



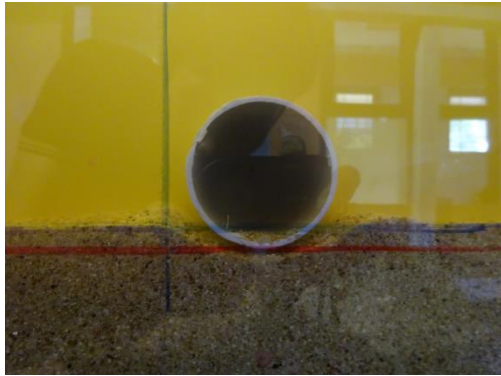
(d)



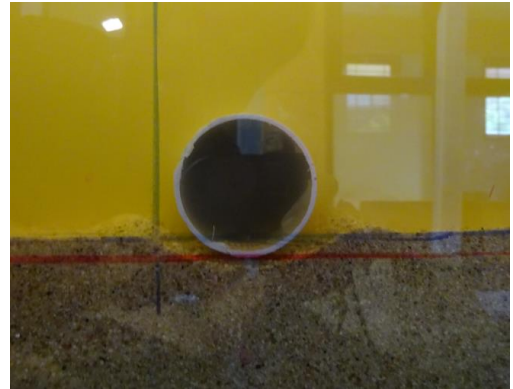
(e)

Gambar 19. Pengamatan *scouring* pipa belakang kondisi *in-trench* dengan  $H_{avg} = 7,29$  cm dan  $T_{avg} = 0,99$  s, (a)  $t = 5$  menit, (b)  $t = 10$  menit, (c)  $t = 15$  menit, (d)  $t = 20$  menit, (e)  $t = 25$  menit

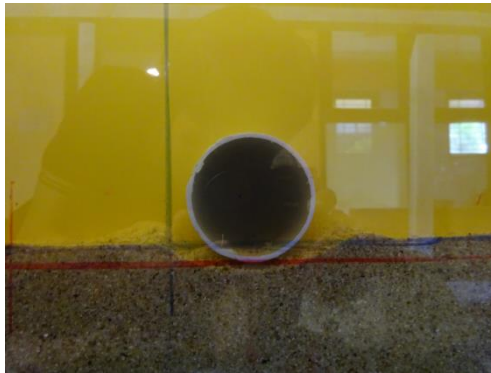




(a)



(b)



(c)



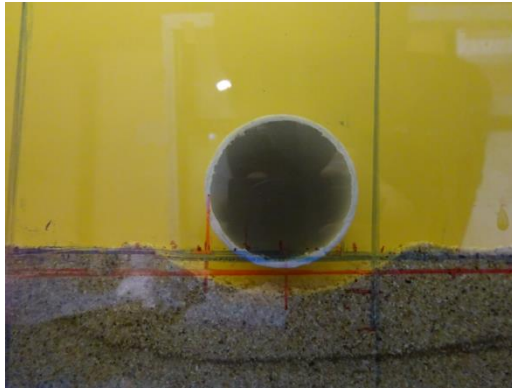
(d)



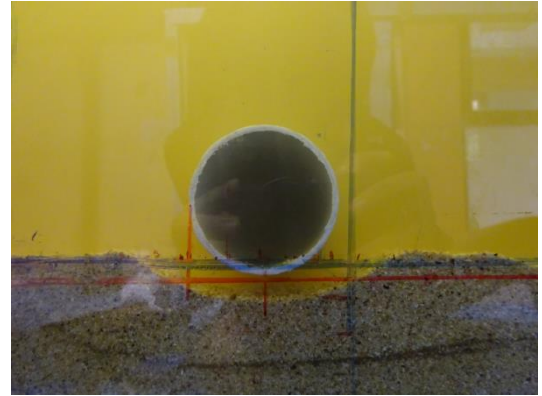
(e)

Gambar 20. Pengamatan *scouring* pipa depan kondisi *in-trench* dengan  $H_{avg} = 7,29$  cm dan  $T_{avg} = 0,99$  s, (a)  $t = 5$  menit, (b)  $t = 10$  menit, (c)  $t = 15$  menit, (d)  $t = 20$  menit, (e)  $t = 25$  menit

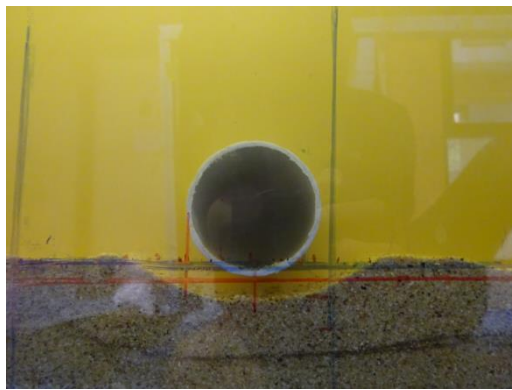
B.11 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi *In-Trench* Gap 60 cm dengan  $H_{avg} = 8,23$  cm dan  $T_{avg} = 1,08$  s



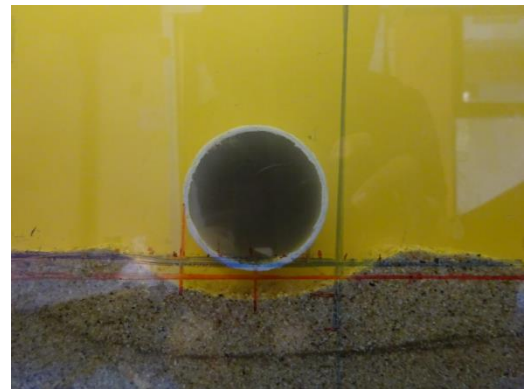
(a)



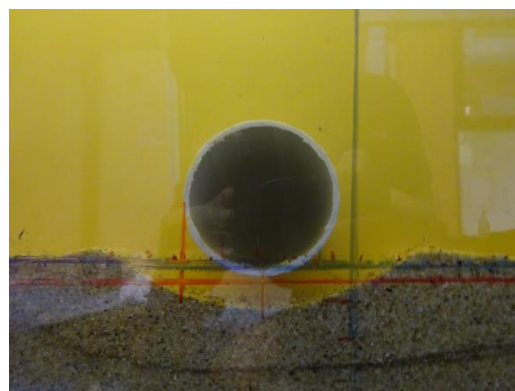
(b)



(c)

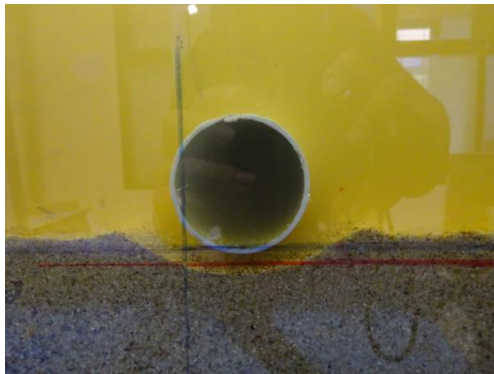


(d)

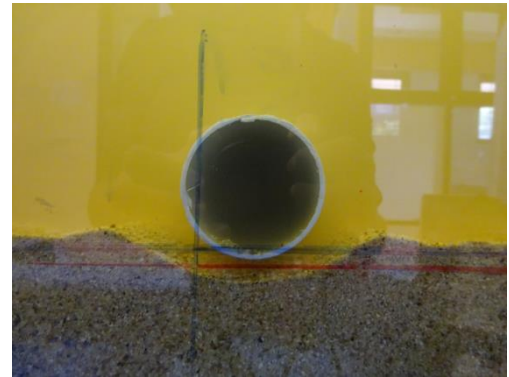


(e)

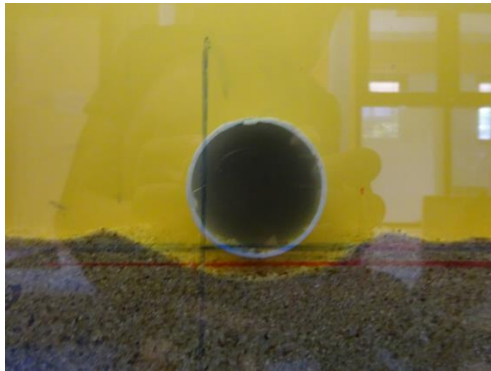
Gambar 21. Pengamatan *scouring* pipa belakang kondisi *in-trench* dengan  $H_{avg} = 8,23$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s, (a)  $t = 5$  menit, (b)  $t = 10$  menit, (c)  $t = 15$  menit, (d)  $t = 20$  menit, (e)  $t = 25$  menit



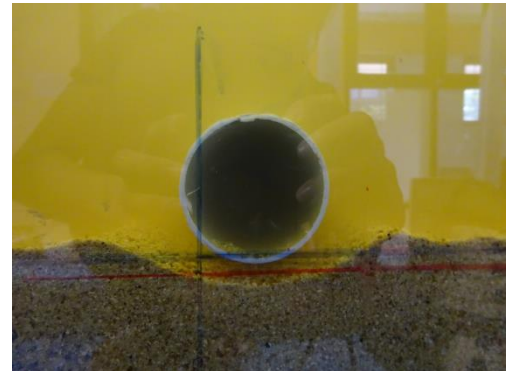
(a)



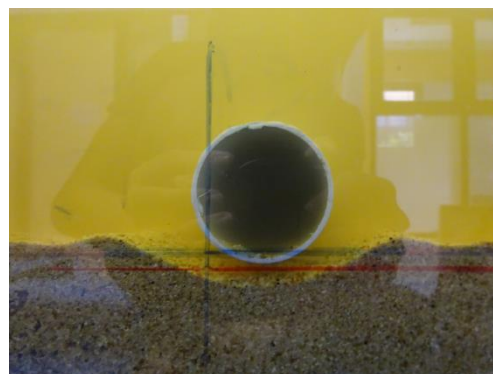
(b)



(c)



(d)

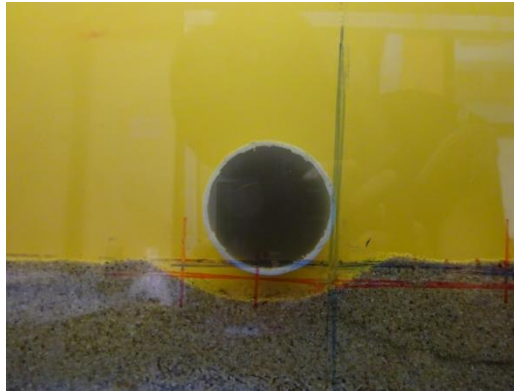


(e)

Gambar 22. Pengamatan *scouring* pipa depan kondisi *in-trench* dengan  $H_{avg} = 8,23$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s, (a)  $t = 5$  menit, (b)  $t = 10$  menit, (c)  $t = 15$  menit, (d)  $t = 20$  menit, (e)  $t = 25$  menit



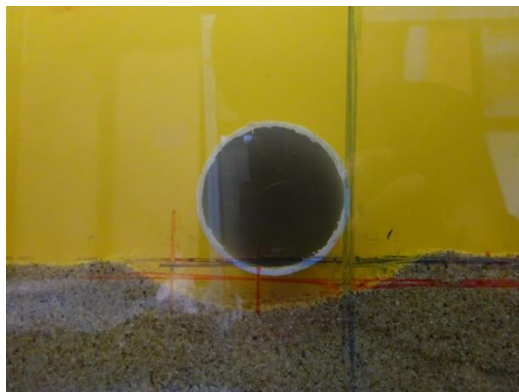
B.12 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi *In-Trench* Gap 80 cm dengan  $H_{avg} = 8,16$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s



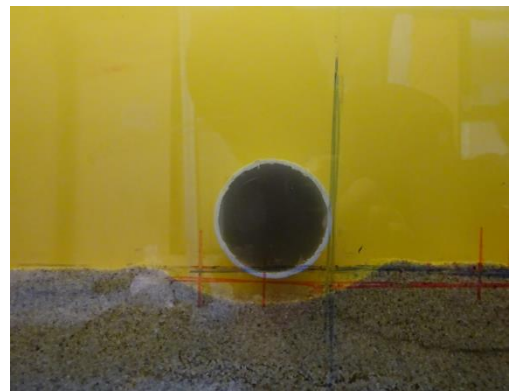
(a)



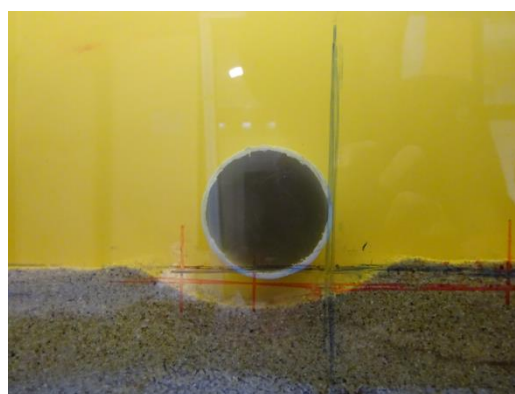
(b)



(c)

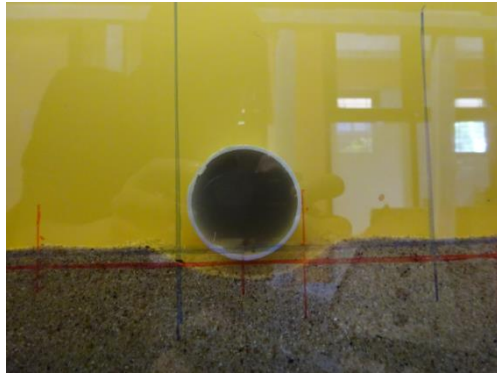


(d)

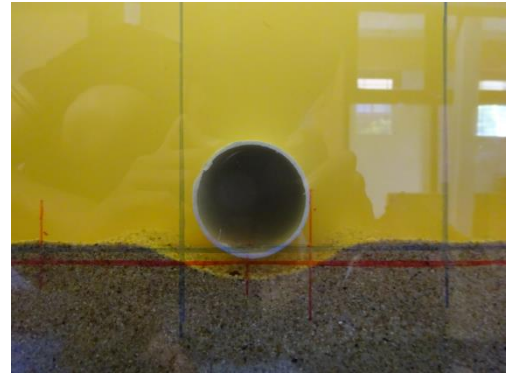


(e)

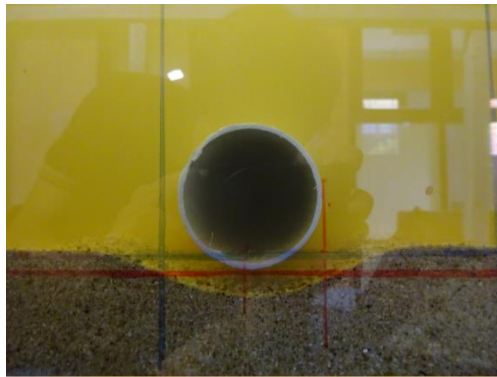
Gambar 23. Pengamatan *scouring* pipa belakang kondisi *in-trench* dengan  $H_{avg} = 8,16$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s, (a)  $t = 5$  menit, (b)  $t = 10$  menit, (c)  $t = 15$  menit, (d)  $t = 20$  menit, (e)  $t = 25$  menit



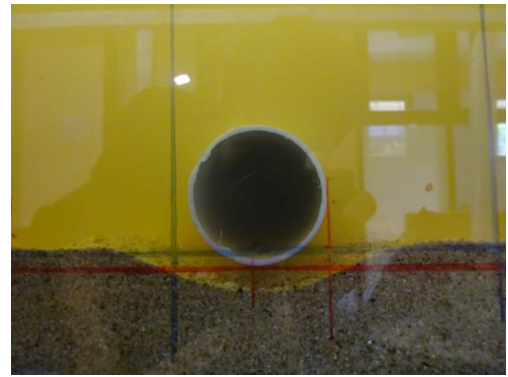
(a)



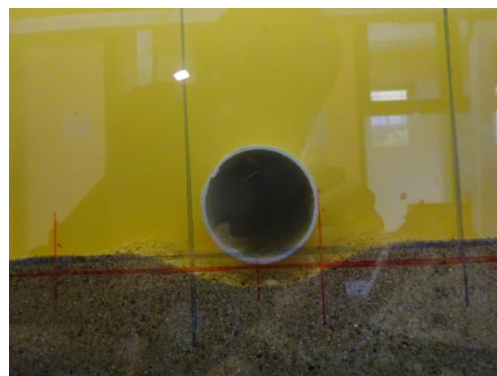
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 24. Pengamatan *scouring* pipa depan kondisi *in-trench* dengan  $H_{avg} = 8,16$  cm dan  $T_{avg} = 1$  s, (a)  $t = 5$  menit, (b)  $t = 10$  menit, (c)  $t = 15$  menit, (d)  $t = 20$  menit, (e)  $t = 25$  menit

LAMPIRAN C

DATA HUBUNGAN *SCOURING* DENGAN PARAMETER TAK BERDIMENSI

C.1 Data hubungan antara *wave stepness parameter* ( $H/gT^2$ ) dengan *non dimensional scour depth* ( $S_m/D$ ) dan *non dimensional scour width* ( $W_m/D$ )

Tabel 1. Data hubungan antara *wave stepness parameter* ( $H/gT^2$ ) dengan *non dimensional scour depth* ( $S_m/D$ )

No	$H_{avg}$ (cm)	$T_{avg}$ (s)	$H/gT^2$	Sd (cm)		W (cm)		S/D		Kondisi
				Pipa Belakang	Pipa Depan	Pipa Belakang	Pipa Depan	Pipa Belakang	Pipa Depan	
1	4.76	0.97	0.0052	0.740	0.760	4.990	6.080	0.194	0.199	Meletak
2	6.06	0.97	0.0065	0.820	0.900	6.620	6.640	0.215	0.236	
3	5.29	0.97	0.0057	0.920	0.960	6.670	7.080	0.241	0.252	
4	5.08	0.96	0.0056	0.000	0.310	0.000	5.440	0.000	0.081	Trench 4 mm
5	5.14	0.94	0.0059	0.000	0.670	0.000	5.680	0.000	0.176	
6	5.15	0.97	0.0056	0.580	0.810	6.440	6.680	0.152	0.213	
7	8.15	1.03	0.0078	0.870	0.860	7.160	6.780	0.228	0.226	Meletak
8	8.10	1.00	0.0082	0.950	0.910	7.340	6.820	0.249	0.239	
9	8.00	1.00	0.0082	1.100	1.000	8.110	7.350	0.289	0.262	
10	7.29	0.99	0.0076	0.660	0.400	6.830	5.570	0.173	0.105	Trench 4 mm
11	8.23	1.00	0.0084	0.790	0.740	7.000	5.950	0.207	0.194	
12	8.16	1.00	0.0083	0.890	0.850	7.400	7.240	0.234	0.223	

Tabel 2. Data hubungan antara *wave stepness parameter* ( $H/gT^2$ ) dengan *non dimensional scour depth* ( $W_m/D$ )

No	$H_{avg}$ (cm)	$T_{avg}$ (s)	$H/gT^2$	Sd (cm)		W (cm)		W/D		Kondisi
				Pipa Belakang	Pipa Depan	Pipa Belakang	Pipa Depan	Pipa Belakang	Pipa Depan	
1	5.55	2.02	0.0014	0.740	0.760	4.99	6.08	1.310	1.596	Meletak
2	5.63	2.03	0.0014	0.820	0.900	6.62	6.64	1.738	1.743	
3	5.99	2.04	0.0015	0.920	0.960	6.67	7.08	1.751	1.858	
4	5.22	2.01	0.0013	0.000	0.310	0.00	5.44	0.000	1.428	Trench 4 mm
5	6.08	2.17	0.0013	0.000	0.670	0.00	5.68	0.000	1.491	
6	6.37	2.15	0.0014	0.580	0.810	6.44	6.68	1.690	1.753	
7	6.92	2.06	0.0017	0.870	0.860	7.16	6.78	1.879	1.780	Meletak
8	6.57	2.18	0.0014	0.950	0.910	7.34	6.82	1.927	1.790	
9	6.95	2.07	0.0017	1.100	1.000	8.11	7.35	2.129	1.929	
10	6.48	2.16	0.0014	0.660	0.400	6.83	5.57	1.793	1.462	Trench 4 mm
11	7.05	2.06	0.0017	0.790	0.740	7.00	5.95	1.837	1.562	
12	6.66	2.07	0.0016	0.890	0.850	7.40	7.24	1.942	1.900	

C.2 Data hubungan antara KC dengan *non dimensional scour depth* ( $S_m/D$ ) dan *non dimensional scour width* ( $W_m/D$ )

Tabel 3. Data hubungan antara KC dengan *non dimensional scour depth* ( $S_m/D$ )

Percobaan		A	A/ $k_s$	$f_w$	$\tau_w$	$\theta_w$	$S_m/D$	
$H_{avg}$ (cm)	$T_{avg}$ (s)						Pipa Belakang	Pipa Depan
4.76	0.97	0.012	10.83	0.069	0.178	0.018	0.194	0.199
6.06	0.97	0.017	15.43	0.057	0.268	0.027	0.215	0.236
5.29	0.97	0.013	11.88	0.065	0.200	0.020	0.241	0.252
5.08	0.96	0.013	11.42	0.067	0.192	0.019	0.000	0.081
5.14	0.94	0.012	10.48	0.070	0.176	0.018	0.000	0.176
5.15	0.97	0.014	13.03	0.062	0.213	0.021	0.152	0.213
8.15	1.03	0.022	20.24	0.050	0.401	0.040	0.228	0.226
8.10	1.00	0.021	18.72	0.052	0.373	0.037	0.249	0.239
8.00	1.00	0.018	16.67	0.055	0.318	0.032	0.289	0.262
7.29	0.99	0.018	16.65	0.055	0.336	0.034	0.173	0.105
8.23	1.00	0.021	19.53	0.051	0.395	0.040	0.207	0.194
8.16	1.00	0.021	19.35	0.051	0.389	0.039	0.234	0.223

Tabel 4. Data hubungan antara KC dengan *non dimensional scour width* ( $W_m/D$ )

Percobaan		A	A/ $k_s$	$f_w$	$\tau_w$	$\theta_w$	$W_m/D$	
$H_{avg}$ (cm)	$T_{avg}$ (s)						Pipa Belakang	Pipa Depan
5.55	2.02	0.012	10.83	0.069	0.178	0.018	1.31	1.60
5.63	2.03	0.017	15.43	0.057	0.268	0.027	1.74	1.74
5.99	2.04	0.013	11.88	0.065	0.200	0.020	1.75	1.86
5.22	2.01	0.013	11.42	0.067	0.192	0.019	0.00	1.43
6.08	2.17	0.012	10.48	0.070	0.176	0.018	0.00	1.49
6.37	2.15	0.014	13.03	0.062	0.213	0.021	1.69	1.75
6.92	2.06	0.022	20.24	0.050	0.401	0.040	1.88	1.78
6.57	2.18	0.021	18.72	0.052	0.373	0.037	1.93	1.79
6.95	2.07	0.018	16.67	0.055	0.318	0.032	2.13	1.93
6.48	2.16	0.018	16.65	0.055	0.336	0.034	1.79	1.46
7.05	2.06	0.021	19.53	0.051	0.395	0.040	1.84	1.56
6.66	2.07	0.021	19.35	0.051	0.389	0.039	1.94	1.90

C.3 Data hubungan antara *burial depth-ratio parameter* ( $e/D$ ) dengan *non dimensional scour depth* ( $S_m/D$ ) dan *non dimensional scour width* ( $W_m/D$ )

Tabel 5 Data hubungan antara *burial depth-ratio parameter* ( $e/D$ ) dengan *non dimensional scour depth* ( $S_m/D$ )

Percobaan		D (cm)	e	e/D	$S_m/D$		KC
$H_{avg}$ (cm)	$T_{avg}$ (s)				Pipa Belakang	Pipa Depan	
4.76	0.97	3.81	0.000	0.000	0.194	0.199	1.964
6.06	0.97	3.81	0.000	0.000	0.215	0.236	2.799
5.29	0.97	3.81	0.000	0.000	0.241	0.252	2.154
5.08	0.96	3.81	-4.000	-0.105	0.000	0.081	2.072
5.14	0.94	3.81	-4.000	-0.105	0.000	0.176	1.901
5.15	0.97	3.81	-4.000	-0.105	0.152	0.213	2.363
8.15	1.03	3.81	0.000	0.000	0.228	0.226	3.672
8.10	1.00	3.81	0.000	0.000	0.249	0.239	3.395
8.00	1.00	3.81	0.000	0.000	0.289	0.262	3.024
7.29	0.99	3.81	-4.000	-0.105	0.173	0.105	3.021
8.23	1.00	3.81	-4.000	-0.105	0.207	0.194	3.543
8.16	1.00	3.81	-4.000	-0.105	0.234	0.223	3.511

Tabel 6 Data hubungan antara *burial depth-ratio parameter* ( $e/D$ ) dengan *non dimensional scour width* ( $W_m/D$ )

Percobaan		D (cm)	e	e/D	$W_m/D$		KC
$H_{avg}$ (cm)	$T_{avg}$ (s)				Pipa Belakang	Pipa Depan	
4.76	0.97	3.81	0.000	0.000	1.31	1.60	1.964
6.06	0.97	3.81	0.000	0.000	1.74	1.74	2.799
5.29	0.97	3.81	0.000	0.000	1.75	1.86	2.154
5.08	0.96	3.81	-4.000	-0.105	0.00	1.43	2.072
5.14	0.94	3.81	-4.000	-0.105	0.00	1.49	1.901
5.15	0.97	3.81	-4.000	-0.105	1.69	1.75	2.363
8.15	1.03	3.81	0.000	0.000	1.88	1.78	3.672
8.10	1.00	3.81	0.000	0.000	1.93	1.79	3.395
8.00	1.00	3.81	0.000	0.000	2.13	1.93	3.024
7.29	0.99	3.81	-4.000	-0.105	1.79	1.46	3.021
8.23	1.00	3.81	-4.000	-0.105	1.84	1.56	3.543
8.16	1.00	3.81	-4.000	-0.105	1.94	1.90	3.511