



TUGAS AKHIR - MO 141326

ANALISA *SCOURING* PADA PIPA BAWAH LAUT KONDISI *IN-TRENCH* DAN PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK UNTUK PEMODELAN MATEMATIS DENGAN VARIASI DIAMETER PIPA

Minati Pebriantina

NRP. 4312 100 048

Dosen Pembimbing :

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

Agro Wisudawan, S.T, M.T.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2016



FINAL PROJECT - MO 141326

SCOURING ANALYSIS OF IN-TRENCH SUBSEA PIPELINE AND
SOFTWARE DEVELOPMENT FOR MATHEMATICAL MODEL
USING PIPE DIAMETER VARIATION

Minati Pebriantina

NRP. 4312 100 048

Supervisors :

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

Agro Wisudawan, S.T, M.T.

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2016

**ANALISA SCOURING PADA PIPA BAWAH LAUT KONDISI
IN-TRENCH DAN PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK
UNTUK PEMODELAN MATEMATIS DENGAN VARIASI
DIAMETER PIPA**

TUGAS AKHIR





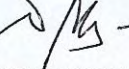
Diajukan untuk Memenuhi salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MINATI PEBRIANTINA

NRP. 4312100048

Disetujui oleh :

1. Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D.  (Pembimbing 1)
.....
2. Agro Wisudawan, S.T.  (Pembimbing 2)
.....
3. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D.  (Penguji 1)
.....
4. Sholihin, S.T., M.T.  (Penguji 2)
.....
5. Drs. Mahmud Musta'in, Msc., Ph.D.  (Penguji 3)
.....

Surabaya, Juli 2016

ANALISA *SCOURING* PADA PIPA BAWAH LAUT KONDISI *IN-TRENCH* DAN PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK UNTUK PEMODELAN MATEMATIS DENGAN VARIASI DIAMETER PIPA

Nama : Minati Pebriantina
NRP : 4312 100 048
Jurusan : Teknik Kelautan FTK – ITS
Dosen Pembimbing : Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D.
Agro Wisudawan, S.T, M.T.

ABSTRAK

Scouring atau penggerusan merupakan fenomena berubahnya topologi dasar laut diakibatkan oleh arus dan gelombang atau kombinasi keduanya yang terjadi pada bangunan pantai maupun lepas pantai. Gerusan tersebut menjadi salah satu penyebab terjadinya *free span* atau bentangan bebas pada jaringan pipa bawah laut yang dapat menjadi pemicu terjadinya kegagalan sebuah struktur. Dalam penelitian ini akan dihitung kedalaman dan lebar dari gerusan pada pipa gas transmisi SSWJ jalur pipa Labuhan Maringgai-Muara Bekasi. Dari kedalaman dan lebar gerusan yang dihitung akan membentuk profil 2D dari gerusan tersebut. Laju propagasi *scouring* yang terjadi juga akan dihitung untuk mengetahui perkembangan *scouring*. Perhitungan juga dilakukan dengan memberikan variasi diameter pipa dan e (*gap ratio*). Dari perhitungan tersebut dibahas hubungan antara variasi diameter pipa dan e (*gap ratio*) dengan profil *scouring* untuk mengetahui kaitan antara parameter- parameter tersebut. Penggerusan tidak terjadi ketika pipa terkubur sepenuhnya (sempurna), yakni nilai e (*gap ratio*) sama besar dengan ukuran diameter pipa (D) dan/atau lebih besar dari ukuran diameter pipa tersebut. Semakin meningkatnya nilai e/D , maka kedalaman *scour* akan menurun. Semakin besar diameter pipa, kedalaman dan lebar gerusan semakin besar. Pada kondisi yang sama (d , U_m dan U_c sama), nilai T^* dan St akan berbeda apabila besarnya ukuran pipa (diameter) diubah. Semakin besar diameter pipa, nilai St semakin kecil sehingga waktu yang dibutuhkan agar terjadi gerusan maksimal juga semakin lama. Pemodelan secara matematis dari perhitungan yang telah dilakukan akan dimodelkan menggunakan bahasa pemrograman scilab.

Kata kunci : diameter pipa, pemodelan matematis, pipa bawah laut, profil 2D, *scouring*

**SCOURING ANALYSIS OF IN-TRENCH SUBSEA PIPELINE AND
SOFTWARE DEVELOPMENT FOR MATHEMATICAL MODEL
USING PIPE DIAMETER VARIATION**

Name : **Minati Pebriantina**
Reg. Number : **4312 100 048**
Department : **Teknik Kelautan FTK – ITS**
Supervisors : **Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D.**
: **Agro Wisudawan, S.T, M.T.**

ABSTRACT

Scouring is the seabed topology changing phenomenon caused by currents and waves or a combination of both that occurred in onshore and offshore buildings. Scour became one of the causes of free span or stretch freely on underwater pipelines that can be a trigger of the structure failure. This study will be calculated depth and width of scouring the gas transmission pipeline SSWJ Labuhan Maringgai-Muara Bekasi. Of the depth and width calculated scour will form a 2D profile of the scour. The rate of propagation scouring that occurs will also be counted to determine the development scouring. Calculations are also done by providing the pipe diameter variation and e (gap ratio). From these calculations discussed the relationship between variations in the diameter of the pipe and e (gap ratio) with scouring profile to determine the relations between such parameters. Scour does not occur when the pipeline buried completely (perfectly), the value of e (gap ratio) as large as the size of the pipe diameter (D) and /or greater than the size of the pipe diameter. The increasing value of e / D , then scour depth will decrease. The larger the pipe diameter, the greater the scour depth and the scour width. At the same condition (d , U_m and U_c equal), the value of T^* and St would be different if the amount of pipe size (diameter) is changed. The larger the diameter of the pipe, the smaller the value of St so the time needed to enable the maximum scour is also getting old. Mathematical modeling of the calculations have been made will be modeled using a programming language scilab.

Keywords: pipe diameter, mathematical modeling, subsea pipelines, the 2D profiles, scouring

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
COVER	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2. Dasar Teori	8
2.2.1 Umum	8
2.2.2 Teori Gelombang	9
2.2.3 Kecepatan Efektif Partikel Air	12
2.2.4 <i>Scouring</i>	14
2.2.5 Kedalaman dan Lebar <i>Scouring</i>	17
2.2.6 Bahasa Pemrograman	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Diagram Alir	25
3.2 Perhitungan Dimensi <i>Scouring</i>	26
3.3 Pemodelan Matematis	27

3.4 Metodologi Penelitian	28
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Analisa Data	31
4.1.1 Perhitungan Gelombang Pecah	33
4.1.2 Menentukan Teori Gelombang	36
4.1.3 Menghitung Parameter Gelombang	36
4.2 Menghitung Kedalaman dan Lebar <i>Scouring</i>	37
4.3 Menghitung Propagasi <i>Scouring</i>	42
BAB V PENUTUP	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	58
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR PUSTAKA	xiv

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. SSWJ Gas Pipeline Project Field Layout	3
Gambar 2.1. Grafik <i>Regions of Validity of Wave Theories</i> (Mousselli, 1981)	10
Gambar 2.2. Inisiasi <i>Scour</i> (Mao 1986)	14
Gambar 2.3. Aliran <i>Seepage</i> di Bawah Pipa	15
Gambar 2.4. Tipe <i>Scouring</i> pada Pipa (Leeuwestein, 1984)	16
Gambar 2.5. Profil 2 Dimensi <i>Scouring</i> pada Pipa	20
Gambar 2.6. Perkembangan Gerusan berdasarkan Mao (1986) dan Kjeldsen (1974) (Whitehouse, 1998)	22
Gambar 3.1. Diagram Alir	21
Gambar 3.2. Perhitungan Dimensi <i>Scouring</i>	22
Gambar 3.3. Pemodelan Matematis.....	23
Gambar 4.1. Peta Geografis Lokasi Pipa SSWJ serta Pembagian Zona KP .	31
Gambar 4.2. Penentuan Tinggi Gelombang Pecah (SPM, 1984)	34
Gambar 4.3. Penentuan Kedalaman Gelombang Pecah (SPM, 1984)	35
Gambar 4.4. Grafik Kedalaman <i>Scouring</i>	39
Gambar 4.5. Grafik Kedalaman <i>Scouring</i> Zona 1 dengan Variasi OD	41
Gambar 4.6. Grafik Kedalaman <i>Scouring</i> Zona 2 dengan Variasi OD	41
Gambar 4.7. Grafik Kedalaman <i>Scouring</i> Zona 3 dengan Variasi OD	41
Gambar 4.8. Grafik Kedalaman <i>Scouring</i> Zona 17 dengan Variasi OD	42
Gambar 4.9. Profil 2D <i>Scouring</i> pada Zona 1 KP 9.15	42
Gambar 4.10. Profil 2D <i>Scouring</i> pada Zona 2 KP 14.9	43
Gambar 4.11. Profil 2D <i>Scouring</i> pada Zona 3 KP 38.86	43
Gambar 4.12. Profil 2D <i>Scouring</i> pada Zona 17 KP 157.6	43
Gambar 4.13. Profil 2D <i>Scouring</i> KP 9.15 (OD = 0.8112 m)	44
Gambar 4.14. Profil 2D <i>Scouring</i> KP 9.15 (OD = 0.862 m)	44
Gambar 4.15. Profil 2D <i>Scouring</i> KP 9.15 (OD = 0.9636 m)	44
Gambar 4.16. Profil 2D <i>Scouring</i> KP 9.15 (OD = 1.0144 m)	45
Gambar 4.17. Perkembangan <i>Scour Depth</i> pada Zona 1	47
Gambar 4.18. Perkembangan <i>Scour Depth</i> pada Zona 2	47

Gambar 4.19. Perkembangan <i>Scour Depth</i> pada Zona 3	48
Gambar 4.20. Perkembangan <i>Scour Depth</i> pada Zona 17	48
Gambar 4.21. Perkembangan <i>Scour Depth</i> dengan Variasi OD pada KP 9.15	49
Gambar 4.22. Laju Propagasi <i>Scouring</i> KP 9.15 ($e=-0.4564$ m; OD=0.9128 m)	50
Gambar 4.23. Laju Propagasi <i>Scouring</i> KP 9.15 ($e=-0.7302$ m; OD=0.9128 m)	50
Gambar 4.24. Laju Propagasi <i>Scouring</i> KP 9.15 ($e=-0.9128$ m; OD=0.9128 m)	50
Gambar 4.25. Laju Propagasi <i>Scouring</i> Zona 1 KP 9.15. (a) $e=-0.4056$ m OD=0.8112 m. (b) $e=-0.431$ m OD=0.862 m. (c) $e=-0.4818$ m OD=0.9636 m. (d) $e=-0.5072$ m OD=1.0144 m	52
Gambar 4.26. Laju Propagasi <i>Scouring</i> Zona 1 KP 9.15. (a) $e=-0.649$ m OD=0.8112 m. (b) $e=-0.6896$ OD=0.862 m. (c) $e=-0.7709$ OD=0.9636 m. (d) $e=-0.8115$ m OD=1.0144 m	53
Gambar 4.27. Laju Propagasi <i>Scouring</i> Zona 1 KP 9.15. (a) $e=-0.8112$ m OD=0.8112 m. (b) $e=-0.862$ m OD=0.862 m. (c) $e=-0.9636$ m OD=0.9636 m. (d) $e=-1.0144$ m OD=1.0144 m	54
Gambar 4.28. Laju Propagasi <i>Scouring</i> Zona 1 KP 9.15 ($e=-1$ m; OD=1.0144 m).....	52
Gambar 4.29. Ilustrasi <i>Ripples, Dunes, dan Antidunes</i>	54

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. <i>Kilometer Point</i> Tiap Zona Beserta Kedalaman Air	30
Tabel 4.2. Kondisi Pipa Berdasarkan KP	30
Tabel 4.3. Data Lingkungan Periode Ulang 100 Tahun	31
Tabel 4.4. Panjang dan Kecepatan Orbital Gelombang Tiap KP	35
Tabel 4.5. Kedalaman dan Lebar Scouring pada Zona 1	36
Tabel 4.6. Kedalaman dan Lebar Scouring pada Zona 2	36
Tabel 4.7. Kedalaman dan Lebar Scouring pada Zona 3	36
Tabel 4.8. Kedalaman dan Lebar Scouring pada Zona 17	36
Tabel 4.9. Kedalaman <i>Scouring</i> dengan Variasi OD	38
Tabel 4.10. Laju Propagasi <i>Scouring</i> pada Zona 1	43
Tabel 4.11. Laju Propagasi <i>Scouring</i> pada Zona 2	44
Tabel 4.12. Laju Propagasi <i>Scouring</i> pada Zona 3	44
Tabel 4.13. Laju Propagasi <i>Scouring</i> pada Zona 17	44

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A Perhitungan Propagasi *Scouring*
- Lampiran B Perhitungan Propagasi *Scouring* dengan Variasi OD
- Lampiran C Perhitungan Laju Propagasi *Scouring* dengan Variasi e (*Gap Ratio*)
- Lampiran D Perhitungan *Time Scale Scouring*
- Lampiran E Algoritma Pemrograman

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring berkembangnya teknologi, tidak dapat dipungkiri mobilitas manusia pun semakin tinggi. Hal tersebut mendorong globalisasi semakin luas sehingga meningkatkan pula aktivitas di bidang ekonomi dan kemaritiman. Kebutuhan akan energi di dunia pun terus meningkat seiring aktivitas ekonomi yang bergerak setiap detiknya. Salah satu energi yang dibutuhkan yakni minyak dan gas. Eksplorasi dan eksploitasi minyak atau gas dilakukan di darat maupun lepas pantai (*offshore*). Setiap hari minyak dan gas itu diambil dari bumi dan diedarkan keseluruh dunia untuk memenuhi kebutuhan energi. Distribusi minyak dan gas dapat menggunakan struktur terapung seperti kapal tanker atau jaringan pipa (*pipeline*) sebagai moda transportasinya.

Pipeline banyak digunakan sebagai penyalur minyak atau gas dari satu tempat ke tempat yang lain. Dalam perancangan sistem jaringan pipa bawah laut perlu memperhatikan jalur yang akan dilewati serta kondisi lingkungannya. Selain itu, perancangannya juga harus memenuhi kriteria desain dari standar perancangan yang digunakan agar struktur berfungsi seperti seharusnya dan memiliki umur operasi yang diharapkan. Hal tersebut juga untuk mengurangi kemungkinan kegagalan struktur akibat kesalahan perancangan. Jaringan pipa bawah laut akan terpengaruh oleh lingkungan laut dimana pipa tersebut diletakkan. Pipa akan mengalami respon beragam sesuai dengan kondisi yang terjadi. Arus dan gelombang yang terjadi dapat menyebabkan kerusakan material pada pipa dan *scouring*.

Scouring merupakan perubahan topologi dasar laut (*seabed*) akibat adanya arus maupun gelombang yang terjadi di sekitar pipa. Berdasarkan DnV RP F105, *scouring* adalah salah satu penyebab terjadinya *free span*. *Free span* adalah bentang bebas yang terjadi pada pipa bawah laut sebagai akibat dari permukaan dasar laut yang tidak rata. *Free span* ini nantinya akan membesar seiring waktu apabila dibiarkan dan dapat memicu kegagalan struktur karena tekanan pada pipa

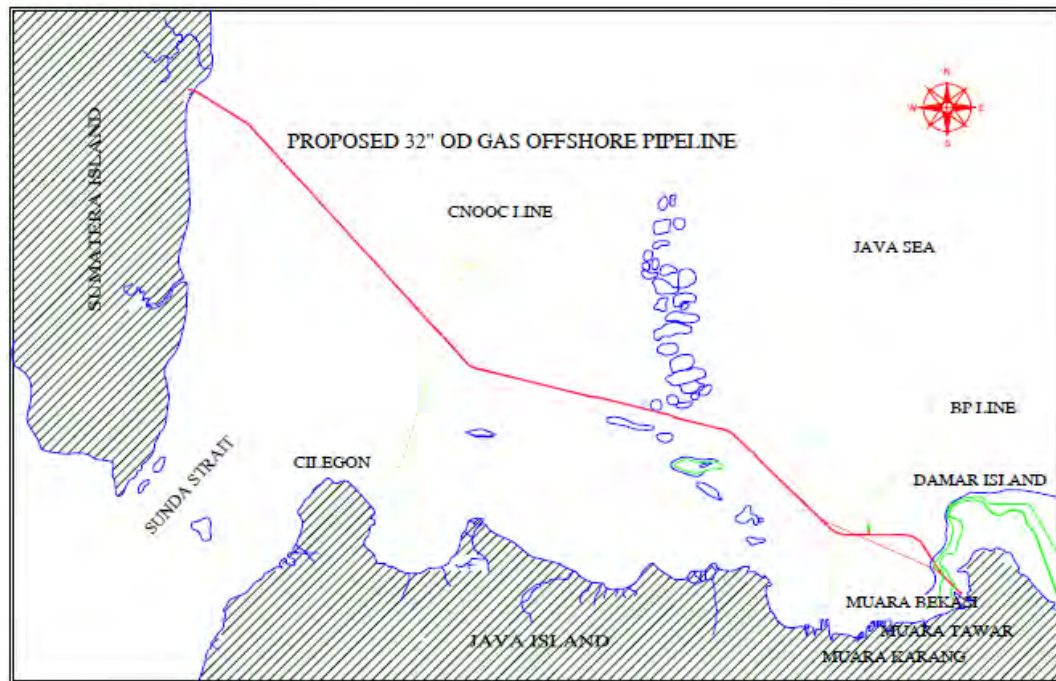
tidak stabil akibat bentuk pipa yang berubah mengikuti landasan pipa dan juga karena kelelahan (*fatigue*) yang terjadi akibat beban siklis dari gelombang atau *vortex*. Dampak yang terjadi akibat kegagalan struktur yakni contohnya kebocoran gas, pipa patah, proses produksi terhambat sehingga perusahaan mengalami kerugian.

Untuk mengurangi dan meminimalkan kerusakan akibat kegagalan struktur, inspeksi dilakukan secara berkala pada struktur bawah laut. Inspeksi ini dapat dilakukan menggunakan bantuan alat (ROV, sensor platform) atau penyelam profesional untuk melakukan inspeksi langsung di bawah laut, meliputi *survey*/inspeksi bawah air dan inspeksi NDT bawah air. Inspeksi membutuhkan biaya yang cukup besar dan memakan waktu cukup lama untuk memperoleh hasil inspeksi yang diinginkan. *Scouring* yang terjadi pada pipa bawah laut juga dapat diperoleh melalui inspeksi bawah laut.

Penelitian mengenai *scouring* pada pipa bawah laut pernah dilakukan oleh Nugroho (2011). Nugroho menganalisa *scouring* pada pipa bawah laut Kodeco jalur Poleng-Gresik yang divariasikan terhadap tipe tanah. Daerah studi kasus yang dibahas adalah perairan di Selat Madura, yang merupakan proyek *Gas Expansion Phase II* dari Kodeco Energy Co. Ltd, menghubungkan PP Platform di perairan Madura menuju Gresik *Onshore Receiving Facility* (ORF). Pada tiap *kilometer point* yang diteliti terdapat perbedaan diameter butiran tanah. Dari perhitungan variasi tipe tanah tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin kecil diameter butiran tanah, maka semakin mudah terjadi *scouring*. Dari lima macam jenis tanah yang dianalisa, tanah yang paling mudah tergerus adalah tanah dengan diameter butiran paling kecil, sementara tanah yang paling jarang tergerus adalah tanah dengan diameter butiran paling besar.

Penelitian lain mengenai *scouring* pipa bawah laut juga pernah dilakukan oleh Nugraha (2012) dengan objek yang dijadikan studi kasus yakni pipa transmisi gas SSWJ (*South Sumatra-West Java*) *Gas Pipeline Project Phase II* Labuhan Maringgai – Muara Bekasi *Offshore Pipeline* yang dijalankan oleh PT Perusahaan Gas Negara (PGN). Jaringan pipa bawah laut ini memiliki dimensi pipa 32” yang menghubungkan Land Fall Labuhan Maringgai di Pulau Sumatra dan Land Fall Muara Bekasi di Pulau Jawa dengan panjang kira-kira 160 km.

Bentangan *pipeline* tersebut dapat dilihat pada gambar 1. Nugraha meneliti kedalaman dan lebar scouring yang terjadi pada pipa serta panjang *free span* berdasarkan gerak *inline flow*. Dari analisa yang dilakukan oleh Nugraha diperoleh bahwa pada tiap zona menghasilkan frekuensi natural yang lebih besar daripada frekuensi *vortex shedding* sehingga tidak terjadi osilasi dan pipa aman untuk dioperasikan.



Gambar 1.1. SSWJ Gas Pipeline Project Field Layout

Perhitungan *scouring* pada pipa bawah laut memiliki banyak kekurangan apabila dikerjakan secara manual. Salah satunya yakni *human error* dan membutuhkan waktu yang lebih lama. Oleh karena itu analisa matematis melalui pengembangan perangkat lunak (*software*) diteliti dalam tugas akhir ini menggunakan bahasa pemrograman untuk perhitungan *scouring* pipa. Dengan mengambil objek studi kasus pada pipa transmisi gas SSWJ akan dianalisa profil dua dimensi *scouring* pada pipa dan dilakukan pemodelan matematisnya.

1.2 Rumusan Masalah

Dari pemaparan latar belakang pada subbab sebelumnya, permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Kedalaman dan lebar *scouring* pada pipa kondisi *in-trench*
2. Laju propagasi *scouring* pada pipa kondisi *in-trench*
3. Hubungan antara *scouring*, e (*gap ratio*) dan diameter pipa kondisi *in-trench*

1.3 Tujuan Penelitian

Penulisan tugas akhir ini memiliki tujuan sebagai berikut :

1. Mencari profil dua dimensi (kedalaman dan lebar) *scouring* yang terjadi pada pipa kondisi *in-trench*.
2. Menghitung laju propagasi *scouring* pipa kondisi *in-trench*.
3. Mengetahui kaitan antara *scouring* dengan e (*gap ratio*) dan diameter pipa kondisi *in-trench*.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari penulisan tugas akhir ini diharapkan dapat diperoleh sebuah korelasi antara parameter penyebab/pembentuk *scouring* dengan profil *scouring* tersebut. Sehingga dapat diketahui faktor apa saja yang dapat mempengaruhi karakteristik *scouring*. Hal tersebut diharapkan dapat menjadi salah satu pertimbangan dalam mendesain sebuah *pipeline*, terutama yang terletak di dasar laut maupun pesisir. Selain itu diharapkan pula dapat memberikan sebuah usulan dalam perhitungan *scouring* pipa menggunakan analisa matematis. Dengan bahasa pemrograman, *syntax* yang diperoleh diharapkan dapat digunakan untuk menghitung *scouring* pada pipa sehingga prediksi tentang kedalaman dan lebar *scouring* dapat dilakukan lebih mudah dan bisa menjadi acuan dalam memperkirakan inspeksi yang akan dilakukan untuk pengawasan dan pemeliharaan *pipeline*.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah diberikan untuk mempermudah penulisan dan supaya pengerjaan tugas akhir ini tidak keluar dari topik yang dibahas. Adapun batasan masalah tersebut yakni sebagai berikut :

1. *Kilometer point* (KP) dijadikan dasar pembagian zona *pipeline* dan kedalaman pipa.
2. Tidak ada pelindung pada pipa.
3. Analisa *scouring* yang dilakukan merupakan analisa dua dimensi.
4. Profil arus mempunyai arah yang sama dari dasar hingga permukaan laut.
5. Sudut datang aliran air adalah 90^0 (tegak lurus dengan pipa).
6. Kemiringan *seabed* diabaikan.
7. Variasi diameter pipa yang digunakan adalah 28 in (0.7112 m), 30 in (0.762 m), 34 in (0.8636 m), dan 36 in (0.9114) dan *concrete* pipa adalah 0.1 m.
8. Variasi e (*gap ratio*) yang dipakai adalah 50%, 80%, dan 100% dari OD pipa serta sebesar 1 m dan 1.1 m.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Jaringan pipa bawah laut (*submarine pipeline*) didefinisikan sebagai bagian dari sistem jaringan pipa bawah laut yang berada dibawah permukaan air pada pasang maksimum. Jaringan pipa tersebut dapat terkubur keseluruhan atau hanya sebagian saja dibawah dasar laut. Sistem jaringan pipa bawah laut menjadi titik penghubung *subsea installation* (DnV OS F101). Sebuah tinjauan sistematis akan membawa seluruh bentuk pengenalan dan evaluasi ancaman (*threat*), konsekuensi dari setiap kegagalan dan rangkaian kegagalan pada sistem jaringan pipa, sehingga kebutuhan terkait langkah perbaikan dapat diambil. Perhatian khusus dapat diberikan pada bagian yang dekat dengan instalasi atau yang mendekati daratan dimana terdapat banyak kegiatan manusia yang memungkinkan dan mengakibatkan kerusakan pada jaringan pipa. Hal ini juga termasuk daerah dimana jaringan pipa dipasang sejajar dengan jaringan pipa yang sudah ada dan jaringan pipa yang berpotongan. Pemeriksaan tambahan terhadap material dasar laut mungkin dibutuhkan untuk menaksir scenario tertentu, misalnya kemungkinan terbentuknya *free span* yang diakibatkan oleh *scouring* selama masa operasi.

Scouring merupakan fenomena penggerusan permukaan dasar laut sehingga dapat menyebabkan perubahan topologi dasar laut (DnV RP F105). Apabila permukaan dasar laut tempat dimana pipeline diletakkan berubah, maka akan memicu terjadinya *free span*, yakni sebuah bentangan bebas di bawah pipa yang membuat sebuah jarak antara pipa dengan tumpuannya (*seabed*). *Free span* tersebut dapat memicu terjadinya kegagalan struktur.

Butiran tanah dimana pipa diletakkan akan mempengaruhi terjadinya *scouring*. Tanah dengan diameter butiran kecil lebih mudah tergerus daripada tanah dengan diameter butiran yang lebih besar (Nugroho, 2011). Selain itu, kondisi lingkungan perairan juga mempengaruhi terjadinya *scouring*. Arus dan gelombang atau kombinasi keduanya berperan dalam kecepatan terbentuknya

scouring. Dari analisa yang dilakukan R. Yasa (2011) mengindikasikan bahwa terdapat korelasi yang signifikan antara nilai KC (Keulegan-Carpenter), e/D , θ , dan kedalaman *scour* non-dimensional (S/D). Dengan meningkatkan KC dan θ maka kedalaman *scour* meningkat, walaupun dengan meningkatkan e/D maka kedalaman *scour* akan menurun. Pada kondisi yang dipengaruhi gelombang, tingkat propagasi *scour* turun seiring naiknya kedalaman penempatan pipa, yang diikuti dengan kenaikan harga KC (Cheng, 2013). Dari pengujian yang dilakukan Yang (2013), pada pipa yang mengalami *Vortex Induced Vibration* (VIV), kedalaman maksimum *scour* tidak berubah secara monoton dengan perbedaan *gap-to-diameter*, tapi menjadi paling besar ketika nilai *gap-to-diameter* antara nilai $e_0/D=0$ dan $e_0/D=2$.

Frekuensi natural pipa berpengaruh pada aman tidaknya pipa tersebut dioperasikan. Nugraha (2012) menganalisa pengaruh *scouring* pada pipa gas transmisi SSWJ Labuhan Maringgai – Muara Bekasi, dan memperoleh bahwa tiap zona dimana pipa diletakkan menghasilkan frekuensi natural yang lebih besar daripada frekuensi *vortex shedding* sehingga tidak terjadi osilasi (getaran) dan pipa aman untuk dioperasikan.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Umum

Seiring dengan meningkatnya eksplorasi dan produksi minyak dan gas bumi yang berasal dari sumur-sumur minyak/gas yang terletak di lepas pantai, *pipeline* banyak digunakan untuk transportasi gas dan minyak mentah dari anjungan lepas pantai menuju daratan. Secara umum, pipa bawah laut diklasifikasikan menjadi 4 berdasarkan fungsi jalurnya (Mouselli, 1981). Ukuran pipa tertentu dan tekanan saat operasi juga dapat dikaitkan dengan setiap klasifikasi. Klasifikasi tersebut yakni :

- *flowlines* atau *intrafield lines*, menghubungkan sumur menuju ke *platform* atau *subsea manifold*
- *gathering lines* atau *interfield lines*, menghubungkan dari 1 platform ke platform lain

- *trunk lines*, mengendalikan aliran kombinasi dari 1 atau banyak platform menuju pesisir
- *loading (unloading) lines*, menghubungkan *production platform* dan *loading facility* atau *subsea manifold* dan *loading facility*.

2.2.2 Teori Gelombang

Gelombang merupakan fenomena paling penting yang harus dipertimbangkan diantara kondisi lingkungan yang mempengaruhi bangunan laut, termasuk pipa bawah laut, karena gelombang memberikan pengaruh yang paling besar. Adanya gelombang menyebabkan cara perancangan bangunan laut sedikit berbeda dengan bangunan darat. Karena gelombang adalah fenomena paling kompleks dan mudah berubah di alam, tidak mudah mencapai pemahaman menyeluruh terhadap sifat pokok gelombang (Goda, 1999). Gelombang dapat disebabkan oleh angin yang bertiup pada permukaan air laut, dapat pula disebabkan oleh gaya tarik matahari dan bulan (pasang surut), tsunami, pergerakan kapal, dan sebagainya. Gelombang mampu menimbulkan energi untuk membentuk pantai, menimbulkan arus dan transpor sedimen, serta menyebabkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pantai maupun bangunan laut.

Berdasarkan perbandingan antara kedalaman air (d) dengan panjang gelombang (L), atau biasa disebut dengan kedalaman relatif (d/L), gelombang dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis :

1. Gelombang di laut dangkal untuk $d/L \leq 1/20$
2. Gelombang di laut transisi untuk $1/20 < d/L < 1/2$
3. Gelombang di laut dalam untuk $d/L \geq 1/2$

Panjang dan tinggi gelombang awalnya didapatkan dari persamaan 2.1 (Triatmojo, 1999) :

$$L_0 = 1,56 T^2 \quad (2.1)$$

$$H = K_s H_0 \quad (2.2)$$

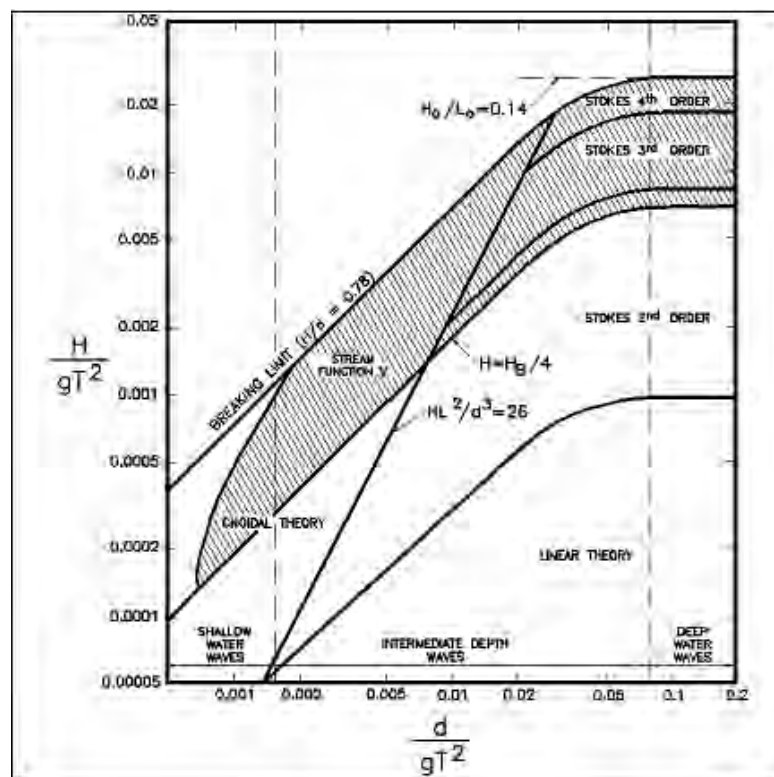
Untuk menganalisa bangunan laut, Djatmiko (2012) dalam bukunya menjelaskan 2 teori gelombang yang saat ini digunakan, yakni teori gelombang regular dan teori gelombang acak. Contoh teori gelombang regular yakni teori gelombang

airy. Teori ini didasarkan pada asumsi bahwa tinggi gelombang adalah relatif kecil bila memberikan komponen kecepatan pada arah tersebut, biasa disebut juga teori amplitudo kecil. Salah satu contoh teori gelombang acak yakni teori gelombang stokes.

Dalam menentukan teori gelombang yang akan digunakan dalam perancangan dapat ditentukan dengan menggunakan formulasi 2.3.

$$\left[\frac{H}{gT^2} \right] \text{ dan } \left[\frac{d}{gT^2} \right] \quad (2.3)$$

Hasil yang diperoleh selanjutnya dipakai untuk membuat titik perpotongan pada grafik *Regions of Validity of Wave Theories*. Titik tersebut akan menunjukkan teori gelombang mana yang dapat digunakan sebagai landasan pengerjaan.



Gambar 2.1. Grafik *Regions of Validity of Wave Theories* (Mousselli, 1981)

Stokes mengembangkan teori orde 3 untuk gelombang yang memiliki tinggi gelombang kecil namun berhingga. Triatmodjo (1999) dalam bukunya

menjelaskan kecepatan partikel dalam teori stokes orde 3 dapat diperoleh melalui persamaan 2.4.

$$Um = C (F_1 \cosh kS \cos \theta + F_2 \cosh 2kS \cos 2\theta + F_3 \cosh 3kS \cos 3\theta) \quad (2.4)$$

Dengan :

$$S = d + y \quad (2.5)$$

$$k = \frac{2\pi}{L} \quad (2.6)$$

$$C = \frac{L}{T} \quad (2.7)$$

$$F_1 = \frac{ka}{\sinh kd} - (ka)^2 \frac{\cosh^2 kd (1+5 \cosh^2 kd)}{8 \sinh^5 kd} \quad (2.8)$$

$$F_2 = \frac{3}{4} (ka)^2 \frac{1}{\sinh^4 kd} \quad (2.9)$$

$$F_3 = \frac{3}{64} (ka)^3 \frac{11-2 \cosh 2kd}{\sinh^7 kd} \quad (2.10)$$

Dimana :

d = kedalaman laut (m)

k = angka gelombang

H = tinggi gelombang pada kedalaman yang ditinjau (m)

T = periode gelombang (sec)

C = cepat rambat gelombang (m/sec)

s = jarak vertikal titik yang ditinjau dari dasar laut (m)

y = jarak vertikal suatu titik yang ditinjau terhadap *still water level* (m)

L = panjang gelombang pada kedalaman yang ditinjau (m)

g = percepatan grafitasi (m/sec²)

θ = sudut fase

2.2.3 Kecepatan Efektif Partikel Air

Kecepatan efektif dari partikel air adalah penggabungan kecepatan arus akibat gelombang dengan kecepatan arus *steady*. Kecepatan arus akibat pengaruh gelombang berdasarkan kedalaman tertentu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.11 (Mouselli, 1981) :

$$U_w = k^2 a \delta^2 c e^{2kd} \quad (2.11)$$

Dengan :

$$c = \frac{L}{T} \quad (2.12)$$

$$k = \frac{2\pi}{L} \quad (2.13)$$

Dengan mensubstitusikan nilai c dan k pada persamaan (2.4), diperoleh persamaan baru untuk kecepatan arus akibat gelombang.

$$U_w = \pi^2 \delta^2 c e^{2kd} \quad (2.14)$$

Dimana :

U_w = kecepatan arus akibat gelombang

c = cepat rambat gelombang

k = angka gelombang

L = panjang gelombang

d = kedalaman perairan

T = periode gelombang

a = amplitudo gelombang

H = tinggi gelombang

δ = wave steepness yang mempunyai nilai = H/L

Sementara untuk kecepatan arus yang mengenai pipa bawah laut dapat dihitung dengan memperhatikan sudut datangnya arus melalui persamaan 2.15.

$$\alpha = (\beta + 90) - \varphi \quad (2.15)$$

Dimana :

β = sudut pipa terhadap arah utara ($^{\circ}$)

φ = sudut datang arus terhadap arah utara ($^{\circ}$)

Nilai sudut yang telah diperoleh melalui persamaan (2.9) selanjutnya digunakan untuk mencari kecepatan normal pipa menggunakan persamaan 2.16.

$$U_N = U_{avg} \cos \alpha \quad (2.16)$$

Keterangan :

U_N = kecepatan arus arah normal pipa (m/s)

U_{avg} = kecepatan rata-rata arus (m/s)

Dengan demikian kecepatan arus *steady* dapat ditentukan dengan persamaan 2.17.

$$U_a^2 = 0.778 U_o^2 \left(\frac{D}{y_o} \right)^{0.286} \quad (2.17)$$

Dimana :

U_a = kecepatan arus *steady* ketinggian y_o (m/s)

U_o = kecepatan horizontal partikel air yang diketahui pada y_o (m/s)

D = diameter luar pipa (m)

y = kedalaman laut

y_o = ketinggian orbit partikel dari seabed (m)

Sehingga diperoleh persamaan untuk mencari kecepatan efektif partikel air adalah

$$U_e = U_w + U_a \quad (2.18)$$

Dimana :

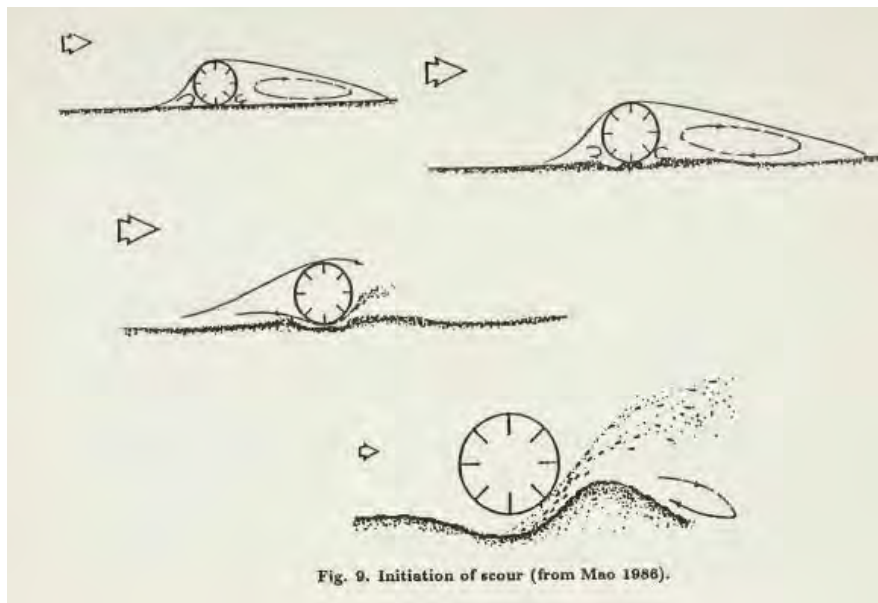
U_e = kecepatan efektif partikel air pada ketinggian y_o (m/s)

U_w = kecepatan partikel air akibat gelombang (m/s)

U_a = kecepatan arus *steady* (m/s)

2.2.4 Scouring

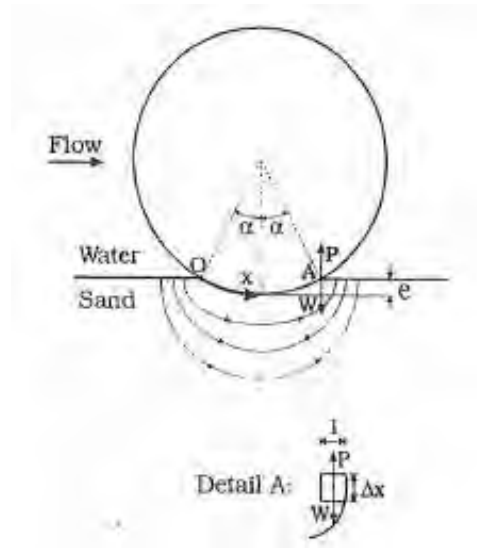
Struktur yang ditempatkan dalam lingkungan laut akan mengubah pola aliran lingkungan sekitarnya. Perubahan tersebut biasanya disebabkan karena peningkatan kapasitas pengangkutan sedimen dimana struktur terletak dan kemudian dan kemudian menyebabkan penggerusan (*scour*). Perubahan morfologi dasar laut akibat pergerakan butiran sedimen yang disebabkan oleh arus, gelombang, atau kombinasi keduanya biasa disebut *scouring*. *Scouring* merupakan ancaman terhadap stabilitas struktur. Fenomena ini dapat menyebabkan penurunan kapasitas tahanan pasif tanah terhadap gaya lateral dan momen.



Gambar 2.2. Inisiasi *Scour* (Mao 1986)

Ketika pipa diletakkan di dasar laut dan terkena aliran arus, perbedaan tekanan antara daerah *upstream* dan *downstream* pada pipa akan menyebabkan aliran *seepage* pada tanah di bawah pipa. Ketika kecepatan arus meningkat, titik kritis akan tercapai ketika aliran *seepage* ditingkatkan lebih cepat daripada perbedaan tekanan yang terjadi, dan secara simultan dasar laut pada daerah *downstream* pipa akan naik, dan secepatnya campuran pasir dan air akan melalui jarak di bawah pipa. Proses tersebut disebut dengan *piping*, dan biasa dikenal pada

mekanika tanah pada konjungsi yang disebut kegagalan *piping* pada bangunan hidraulik seperti bendungan, *cofferdam*, dan sebagainya.



Gambar 2.3. Aliran *Seepage* di Bawah Pipa (Sumer dan Fredsoe, 2002)

Leeuwestein (1984) mendefinisikan tipe *scouring* berdasarkan posisi gerusan terhadap pipa menjadi 3 macam :

- *Luff Scour*

Luff scour atau *luff erosion* terjadi pada *upstream* (bagian pipa yang berhadapan dengan arah datangnya aliran). *Scouring* dengan jenis ini tidak terlalu berpengaruh terhadap pembentukan *freespan*.

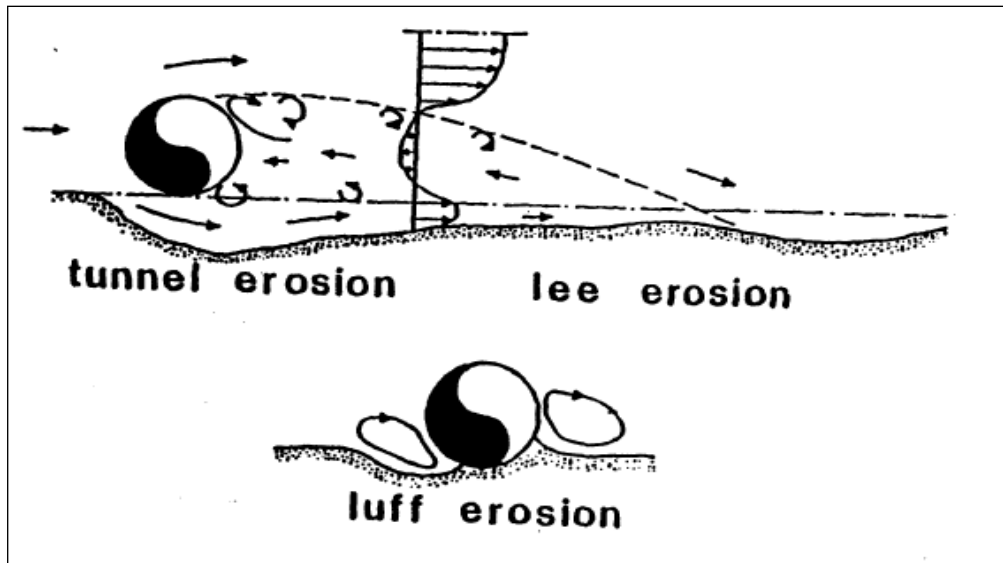
- *Lee Wake Scour*

Lee wake scour atau *lee wake erosion* terjadi pada bagian *downstream* (bagian pipa yang tidak berhadapan langsung dengan arah datangnya aliran) karena aliran yang melewati pipa menyebabkan terjadinya turbulensi pada bagian tersebut. *Lee wake scour* menjadi faktor utama terjadinya *scouring* di bawah pipa.

- *Tunnel Scour*

Tunnel scour atau *tunnel erosion* terjadi di bawah pipa. Penggerusan *tunnel* merupakan tahap awal pembentukan lubang *scouring*, kemudian diikuti *lee*

erosion yang akan menggerus bagian bawah pipa sehingga terbentuklah *freespan*.



Gambar 2.4. Tipe *Scouring* pada Pipa (Leeuwestein, 1984)

Scouring dapat dibagi menjadi 2 kategori, *clean-water scouring* dan *live-bed scouring*. Pada kondisi *clean-water*, tidak ada sediment yang terangkat menjauhi struktur. Sedangkan pada kondisi *live-bed*, sedimen pada dasar laut terangkat. *Shield parameter* (θ) mengambil peranan penting dalam hal ini. Pada kondisi *clean-water*, nilai *shield parameter* lebih kecil dari pada *shield parameter* kritis ($\theta < \theta_{cr}$). Sebaliknya dengan kondisi *live-bed*, nilai *shield parameter* lebih besar dari nilai *shield parameter* kritis ($\theta > \theta_{cr}$). *Shield parameter* didefinisikan sebagai persamaan 2.19.

$$\theta = \frac{U_f}{g(s-1)d} \quad (2.19)$$

Dengan :

$$s = \frac{\rho_s}{\rho} \quad (2.20)$$

$$U_f = \sqrt{\tau_{\infty}/\rho} \quad (2.21)$$

Dimana :

τ_{∞} = tegangan geser dasar untuk aliran *undisturbed*

s = *specific gravity* sedimen dasar

- g = percepatan gravitasi
- d = *grain size*

Dalam tugas akhir ini akan dilakukan perhitungan *scouring* dua dimensi, yakni termasuk dalam gerusan lokal (*local scour*) dimana tipe gerusan umumnya terjadi di sekitar satu elemen sebuah struktur, bukan pada keseluruhan lokasi struktur (*global scour*).

2.2.5 Kedalaman dan Lebar *Scouring*

Scouring disekitar pipa silinder dipengaruhi oleh fenomena hidrodinamik (Sumer dan Fredsoe, 2002), yakni *horseshoe vortex upstream* pipa, *vortex shedding* pada downstream pipa, dan *streamline contraction*. *Horseshoe vortex* merupakan fenomena yang mendominasi pada kondisi arus. Ketika arus mengenai pipa, perbedaan tekanan menurun disekitar pipa dan terjadi *scouring* akibat perbedaan transport sedimen lokal. Ukuran *horseshoe vortex* dan konsekuensi kedalaman *scouring* sebagian besar ditentukan oleh jarak pemisahan *boundary layer* dasar dan dari aliran *upstream*.

Pada kondisi gelombang, fenomena yang mendominasi adalah *vortex shedding*. Setiap *shed vortex* menyapu sedimen lalu mengangkatnya ke daerah *downstream*, yang menyebabkan naiknya kedalaman *scouring* setiap setengah periode gelombang. Intensitas *vortex shedding* berdasarkan gerakan induksi gelombang pada dasar laut relatif dengan diameter pipa. Rasio tersebut yang disebut nilai Keulegan-Carpenter (KC).

Kedalaman *scouring* dihitung berdasarkan kondisi *live-bed* dimana *sediment transport* diperhitungkan untuk memperoleh hasil yang mendekati kondisi lapangan (Chiew, 1997). Sumer dan Fredsoe (2002) dalam bukunya menjelaskan kedalaman gerusan tergantung pada kondisi struktur yang dialami.

- Kedalaman Gerusan pada Arus *Steady*

Kjeldsen (1973) merumuskan sebuah formula empirik yang menghubungkan kedalaman gerusan, diameter pipa dan kecepatan arus yang bekerja pada pipa (persamaan 2.22). Formula tersebut kemudian disempurnakan oleh Bijker dan Leeuwestein (1983) dan menghasilkan persamaan 2.23.

$$S_d = 0.972 \left(\frac{U^2}{2g} \right)^{0.2} D^{0.8} \quad (2.22)$$

$$S_d = 0.929 \left(\frac{U^2}{2g} \right)^{0.26} D^{0.78} (d_{50})^{-0.04} \quad (2.23)$$

Dimana :

S_d = kedalaman gerusan maksimum

U = kecepatan rata-rata fluida

g = percepatan gravitasi

D = diameter pipa

d_{50} = diameter rata-rata butiran

- Kedalaman Gerusan pada Gelombang Regular

Parameter utama yang mempengaruhi kedalaman *scouring* adalah *Keulegan-Carpenter number* (KC). Nilai KC tersebut mempunyai pengaruh terhadap kedalaman relatif *scouring* dan nilai S/D. Kedalaman gerusan dapat diperoleh melalui persamaan 2.24.

$$\frac{S_d}{D} = 0.1 \sqrt{KC} \quad (2.24)$$

dengan :

$$KC = \frac{U_m T}{D} \quad (2.25)$$

Keterangan :

S_d = kedalaman *scouring*

KC = Keulegan-Carpenter Number

U_m = kecepatan orbital maksimum pada *undisturbed condition*

T = periode gelombang

D = diameter pipa

- Kedalaman Gerusan pada Gelombang Acak

Pengukuran dilakukan di perairan North Sea dengan kondisi badai dan menggunakan spectrum Jonswap sebagai pengontrol spektrum pembangkit gelombang. Persamaan yang digunakan sama dengan persamaan (2.17) dengan nilai KC yang diperoleh melalui persamaan (2.25). Namun nilai T yang digunakan adalah periode puncak dan U_m didefinisikan melalui persamaan 2.26.

$$U_m = \sqrt{2\sigma_u} \quad (2.26)$$

Dimana U_m adalah kecepatan orbital partikel dan σ_u adalah standar deviasi dari kecepatan orbital U pada dasar laut.

- Kedalaman Gerusan akibat Kombinasi Arus dan Gelombang

Kedalaman *scouring* yang diakibatkan oleh kombinasi arus dan gelombang dapat dihitung melalui persamaan 2.27.

$$\frac{S_d}{D} = \frac{S_{d\ cur}}{D} F \quad (2.27)$$

$S_{d\ cur}$ adalah kedalaman gerusan pada kondisi dimana *scouring* hanya disebabkan oleh arus saja, sementara F adalah fungsi KC dan nilai perbandingan kecepatan arus dan gelombang yang dinyatakan dalam $\frac{U_c}{U_c+U_w}$ dimana U_c adalah kecepatan arus *undisturbed*. Nilai F tersebut ditentukan oleh batas kondisi perbandingan kecepatan arus dan gelombang, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada persamaan 2.28.

- Untuk $0 < \frac{U_c}{U_c+U_w} \leq 0.7$

$$F = \frac{5}{3} (KC)^a \exp(2.3b) \quad (2.28)$$

- Untuk $0.7 < \frac{U_c}{U_c+U_w} \leq 1$

$$F = 1$$

Koefisien a dan b pada persamaan (2.11) ditentukan pada kondisi berikut :

- Untuk $0 \leq \frac{U_c}{U_c+U_w} \leq 0.4$

$$a = 0.557 - 0.912 \left(\frac{U_c}{U_c+U_w} - 0.25 \right)^2 \quad (2.29)$$

$$b = -1.14 + 2.24 \left(\frac{U_c}{U_c+U_w} - 0.25 \right)^2 \quad (2.30)$$

- Untuk $0.4 \leq \frac{U_c}{U_c+U_w} \leq 0.7$

$$a = -2.14 \frac{U_c}{U_c+U_w} + 1.46 \quad (2.31)$$

$$b = 3.3 \frac{U_c}{U_c + U_w} - 2.5 \quad (2.32)$$

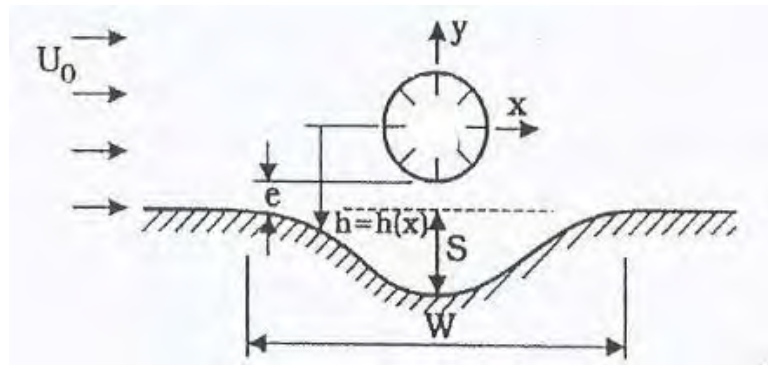
- Kedalaman Gerusan pada *Shoaling Condition* (Pendangkalan)
Scouring yang terjadi pada kondisi pendangkalan memiliki kedalaman yang lebih besar dari pada yang terjadi di dasar laut pada kondisi gelombang yang sama (Cevik dan Yuksel, 1999). Kedalaman gerusan pada kondisi *shoaling* disajikan dalam persamaan 2.33.

$$\frac{S}{D} = 0.11 KC^{0.45} \quad (2.33)$$

Lebar *scouring* (w) dihitung mulai dari titik tengah pipa (setengah diameter) sampai kedalaman maksimum gerusan di bawah pipa. Percobaan Sumer dan Fredso (1990) yang mempelajari lebar span akibat *scouring* menghasilkan rumus empiris pada persamaan 2.34.

$$\frac{w}{D} = 0.35 KC^{0.65} \quad (2.34)$$

Lebar dan kedalaman gerusan dapat digunakan untuk menentukan profil 2D *scouring* pada pipa seperti yang terlihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.5. Profil 2D *Scouring* pada Pipa (Sumer dan Fredsoe, 2002)

Dalam bukunya yang berjudul *The Mechanics of Scour in The Marine Environment*, Sumer dan Fredsoe menulis rumus untuk menghitung $h(x)$ dengan asumsi permukaan dasar laut adalah simetris (datar).

$$h(x) = \begin{cases} e + \frac{D}{2} + \frac{S_d}{2} (1 + \cos\left(2\pi \frac{x}{w}\right)) & \text{for } |x| < \frac{w}{2} \\ e + \frac{D}{2} & \text{for } |x| > \frac{w}{2} \end{cases} \quad (2.35)$$

Dimana $h(x)$ adalah jarak vertikal dari titik tengah diameter pipa hingga bagian bawah lubang gerusan, w adalah lebar gerusan, dan e adalah jarak antara pipa dengan dasar laut. Apabila nilai e (*gap ratio*) lebih besar atau sama dengan diameter pipa maka $h(x)$ bernilai 0 (nol).

Formula $h(x)$ tersebut apabila ditambahkan dengan fungsi waktu $[h(x,t)]$ maka akan menghasilkan laju propagasi *scouring* dalam 2 dimensi yang terjadi pada pipa. Ilustrasi dari propagasi *scouring* dapat dilihat dalam gambar 2.5. Dalam buku yang sama, Sumer dan Fredsoe juga menulis persamaan untuk menghitung kedalaman gerusan berdasarkan waktu (S_t).

$$S_t = S_{dmax} \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{T}\right) \right) \quad (2.36)$$

Dimana t adalah waktu yang ditinjau dalam detik dan T adalah *time scale* terjadinya *scouring* yang diperoleh dari persamaan 2.37.

$$T = \frac{D^2}{(g(s-1)d_{50}^3)^{\frac{1}{2}}} T^* \quad (2.37)$$

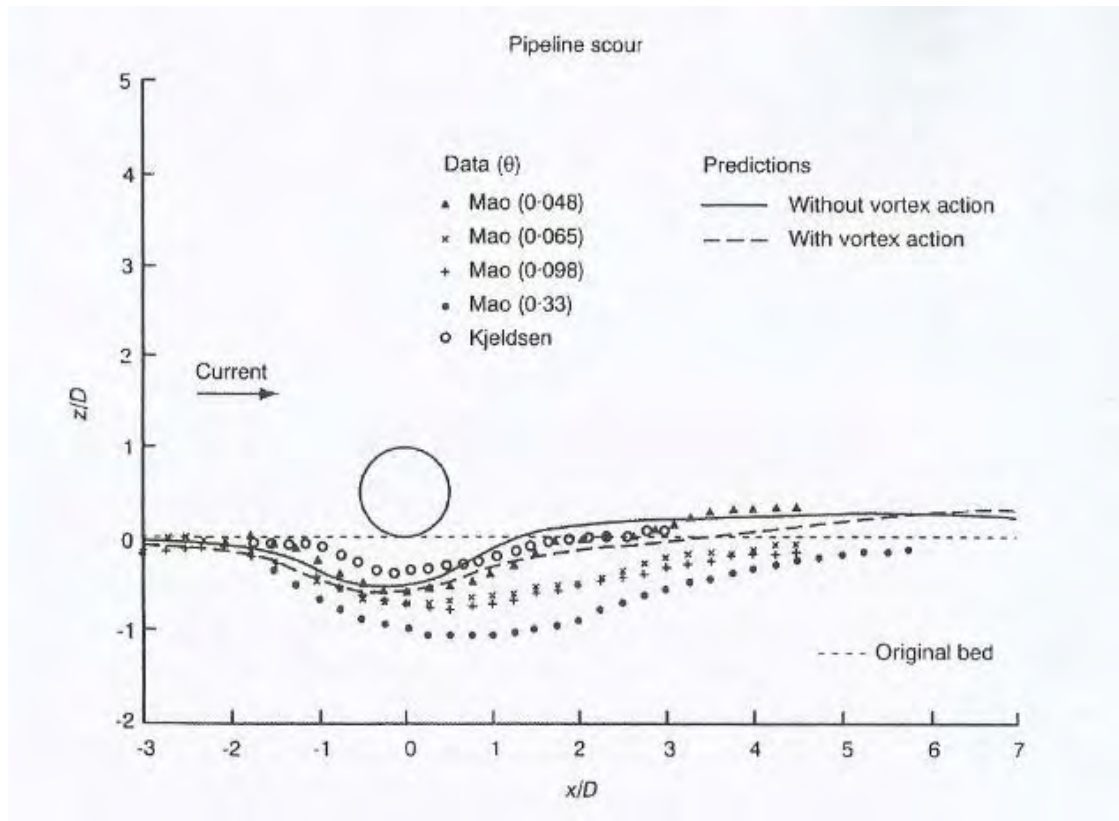
Lalu untuk mencari nilai T^* dalam kondisi kombinasi arus dan gelombang digunakan formula empiris dari Cheng (2014).

$$T^* = \frac{1}{50} \left((1-m)\theta_w + m\theta_c \right)^{-\frac{5}{3}} \quad (2.38)$$

Dimana :

$$m = \frac{U_c}{(U_c + U_m)}$$

θ = shields parameter



Gambar 2.6. Perkembangan Gerusan berdasarkan Mao (1986) dan Kjeldsen (1974) (Whitehouse, 1998)

2.2.6 Bahasa Pemrograman

Bahasa pemrograman biasa disebut juga bahasa komputer karena berhubungan dengan kegunaannya yakni memerintah computer agar mempunyai fungsi tertentu. Bahasa pemrograman merupakan sebuah himpunan dari aturan sintaks untuk mendefinisikan program computer. Hal tersebut memungkinkan seorang programmer untuk dapat menentukan secara persis data mana yang akan diolah oleh komputer, bagaimana data tersebut disimpan/diteruskan, dan langkah apa yang akan diambil dalam berbagai situasi. Berdasarkan tingkat kedekatannya dengan mesin komputer, bahasa pemrograman dibedakan menjadi berikut.

- a. Bahasa mesin, yakni perintah yang dipakai berupa kode bahasa biner (0 dan 1)
- b. Bahasa tingkat rendah, atau biasa dikenal sebagai bahasa rakitan (*assembly*) karena perintah yang diberikan pada computer berupa kode-kode singkat seperti SUB, CMP, JGE, LOOP, dsb.

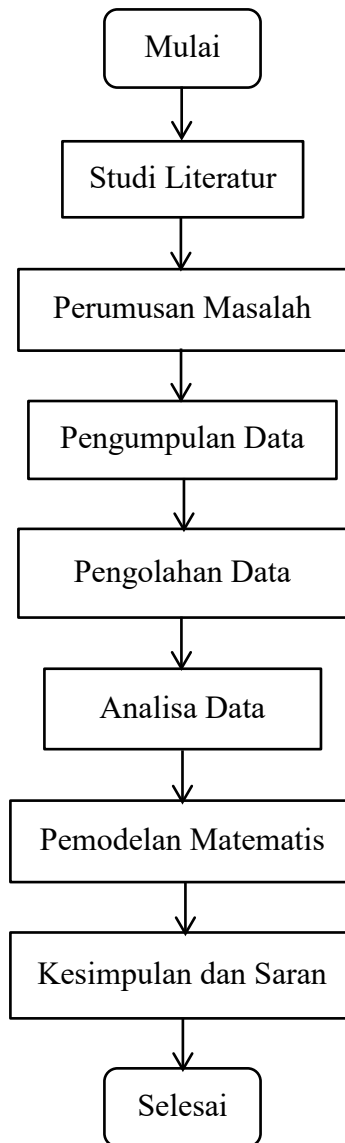
- c. Bahasa tingkat menengah, yakni memadukan instruksi dalam kata-kata bahasa manusia dan instruksi yang bersifat simbolik misalkan $?, <<, >>, \&\&$, dsb.
- d. Bahasa tingkat tinggi, yaitu memakai instruksi yang berasal dari unsur kata-kata bahasa manusia, seperti *begin, end, if, or, and*, dsb. Hampir semua bahasa pemrograman yang banyak digunakan saat ini masuk dalam kategori bahasa tingkat tinggi, contohnya Visual Basic, Pascal, Java, PHP, Fortran, dan lain-lain.

Melalui bahasa pemrograman, perhitungan yang sulit dan membutuhkan waktu yang lama dalam pengerjaannya dapat dilakukan dengan cepat. Untuk pengerjaan tugas akhir ini, bahasa pemrograman akan digunakan untuk menentukan prosedur perhitungan *scouring* pada pipa bawah laut pada kondisi *in-trench* secara matematis sehingga membantu perhitungan dan perkiraan *scouring* yang terjadi untuk selanjutnya dapat ditentukan inspeksi yang diperlukan dalam perawatan *pipeline* tersebut.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

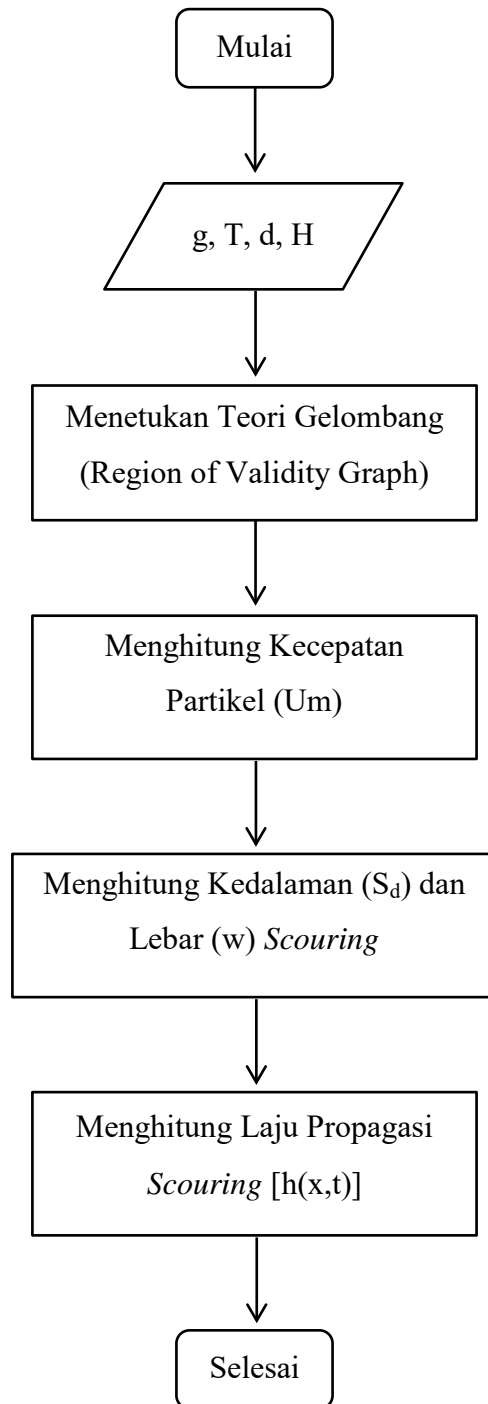
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



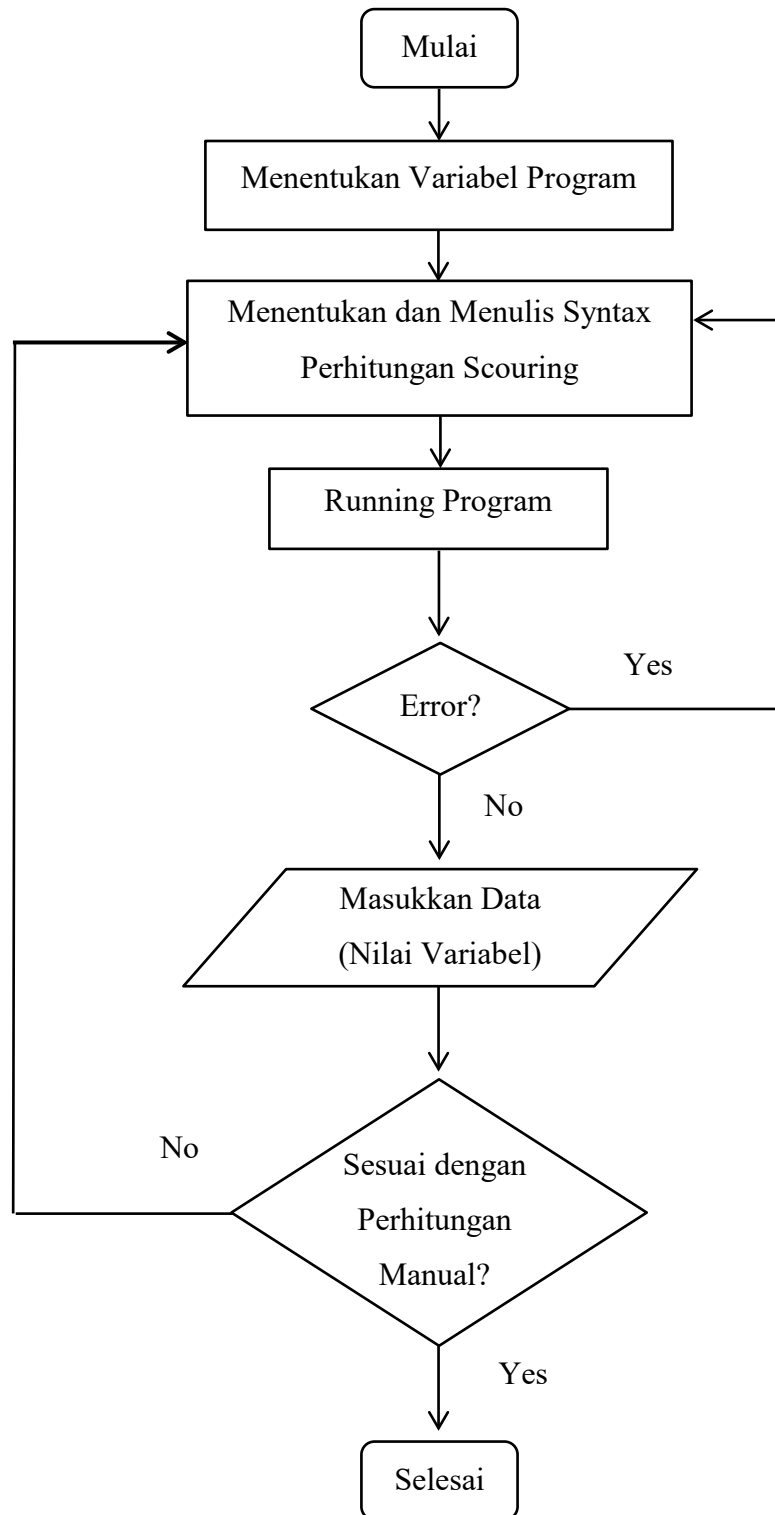
Gambar 3.1. Diagram Alir

3.2 Perhitungan Dimensi *Scouring*



Gambar 3.2. Perhitungan Dimensi *Scouring*

3.3 Pemodelan Matematis



Gambar 3.3. Pemodelan Matematis

3.4 Metodologi Penelitian

Berikut adalah penjelasan untuk urutan kerja yang ditunjukkan pada subbab sebelumnya.

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengkaji dasar teori berkaitan dengan *scouring* pipa bawah laut kondisi *in-trench*. Studi literatur bersumber dari berbagai buku, materi perkuliahan, jurnal, penelitian sebelumnya termasuk laporan tugas akhir terdahulu yang memiliki keterkaitan topik serupa.

2. Perumusan Masalah

Karakteristik *scouring* yang diketahui dari melakukan studi literatur selanjutnya dijadikan acuan dalam menentukan permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini, yakni profil (kedalaman dan lebar) *scouring* pipa dan laju propagasinya.

3. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah data pipa gas transmisi SSWJ (*South Sumatra-West Java*) *Gas Pipeline Project Phase II* Labuhan Maringgai – Muara Bekasi *Offshore Pipeline* milik PT Perusahaan Gas Negara, yang terdiri dari :

- Data propertis pipa, meliputi diameter, panjang, dan lokasi *Kilometer Point* (KP) letak pipa.
- Data lingkungan, meliputi kedalaman perairan, kecepatan arus, tinggi dan periode gelombang.

4. Pengolahan Data

Dari data yang diperoleh, selanjutnya akan dilakukan perhitungan *scouring* secara manual meliputi :

- Kedalaman dan lebar *scouring* yang terjadi pada pipa
- Laju propagasi *scouring*

5. Analisa Data

Dari perhitungan yang dilakukan akan diketahui profil *scouring* yang terjadi. Selanjutnya hasil perhitungan tersebut akan dicari hubungannya dengan diameter pipa menggunakan metode regresi.

6. Pemodelan Matematis

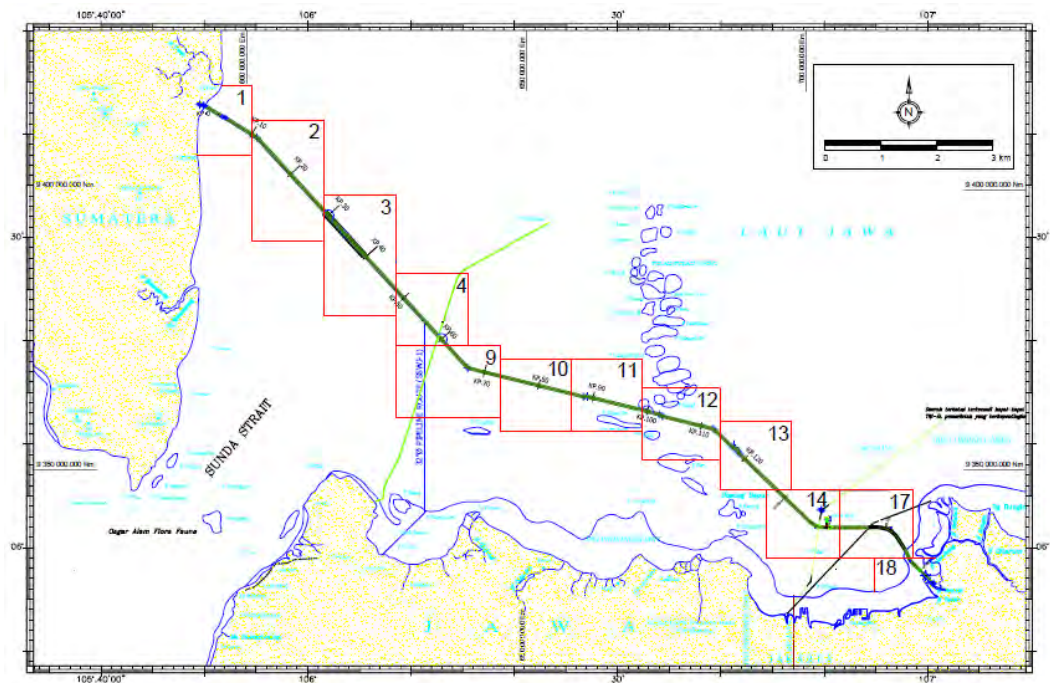
Pemodelan matematis dilakukan dengan bantuan bahasa pemrograman. Variabel yang dipakai dalam menyusun *syntax* program mengacu pada variabel yang dipakai dalam perhitungan *scouring* agar kalibrasi lebih akurat. Untuk mencocokkan *syntax* program dengan perhitungan manual, dimasukkan data yang dipakai dalam perhitungan manual. Jika hasil yang diperoleh sama, maka *syntax* dapat dipakai untuk menghitung *scouring* pipa. Selanjutnya dapat dimasukkan variasi diameter pipa sesuai dengan yang diberikan pada batasan masalah. Jika terdapat *error* ketika menjalankan program, maka kemungkinan hal tersebut disebabkan oleh *syntax* yang belum benar. Bisa karena salah ketik, salah penulisan perintah, variabel tidak terdefinisi, salah penggunaan perintah, salah penyusunan struktur suatu kondisi, dan lain sebagainya. Namun umumnya sebuah program akan menunjukkan sebab *error* yang terjadi ketika *running*, sehingga pengguna dapat mengetahui lebih mudah penyebab kesalahan yang terjadi.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

Data pipeline dan lingkungan yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini diperoleh dari PT. Perusahaan Gas Negara (PGN) yakni pada jaringan pipa penyalur gas SSWJ (*South Sumatra - West Java*). Jaringan pipa tersebut menghubungkan Muara Bekasi di Jawa Barat dan Labuhan Maringgai di Sumatra Selatan. Lokasi *pipeline* dibagi menjadi 18 zona dengan titik acuan berupa *kilometer point* (KP). Diameter pipa berukuran 32 inchi pada semua *kilometer point* dengan kedalaman berbeda di tiap zonanya.



Gambar 4.1 Peta Geografis Lokasi Pipa SSWJ serta Pembagian Zona KP

Kilometer point tiap zona disajikan pada tabel 4.1. Kedalaman air minimal dan maksimal *pipeline* pada zona 1 hingga 18 juga disajikan dalam tabel yang sama.

Tabel 4.1. *Kilometer Point* Tiap Zona Beserta Kedalaman Air

No.	Zones	KP from	KP to	min depth (m)	max depth (m)
1	1	0	10	0.00	8.50
2	2	10	29	9.00	26.50
3	3	29	48	22.50	50.50
4	4	48	59	45.50	59.00
5	9	59	73	51.00	63.50
6	10	73	86	42.50	60.80
7	11	86	99	33.50	45.50
8	12	99	114	43.50	84.70
9	13	114	128	30.50	50.00
10	14	128	139.6	21.80	29.80
11	17	139.6	155.7	5.80	21.80
12	18	155.7	161.3	0.00	5.80

Titik yang dianalisa dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah *kilometer point* dimana pipa berada pada kondisi terbenam (*in-trench*) sehingga tidak semua zona dianalisa. Analisa dilakukan pada zona 1, 2, 3, dan 17. Data kondisi *pipeline* dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Kondisi Pipa Berdasarkan KP

KP Range		Depth Below Seabed (m)	Soil Type
From	To		
0	15.5	3.0 (in trench)	Sand
15.5	29.6	0 (on seabed)	Sand
29.6	39.6	3.0 (in trench)	Sand
39.6	62	0 (on seabed)	Sand
62	77.6	0 (on seabed)	Sand
77.6	101.4	0 (on seabed)	Sand
101.4	112.9	0 (on seabed)	Sand
112.9	149.6	0 (on seabed)	Sand
149.6	161.3	3.0 (in trench)	Sand

Data lingkungan yang digunakan adalah data lingkungan dengan periode ulang 100 tahun. Pada tabel 4.3 dapat diketahui tinggi gelombang, periode gelombang serta kecepatan arus tiap kedalaman yang seluruhnya berdasarkan zona *pipeline*.

Tabel 4.3. Data Lingkungan Periode Ulang 100 Tahun

ZONES	Z1	Z2	Z3	Z4	Z9	Z10	Z11	Z12	Z13	Z14	Z17	Z18
WAVES												
Significant Wave Height (Hs) (m)	4.1	4.13	4.49	4.98	4.98	4.98	4.49	4.98	5.03	4.73	3.8	3.46
Spectral peak period (Ts) (sec)	8.18	8.21	8.55	9	9	9	8.55	9	9.04	8.77	7.88	7.52
CURRENT SPEED												
At 0% of depth	1.72	1.36	1.7	1.6	1.57	1.53	1.58	1.55	1.61	1.26	1.28	1.42
10% of depth	1.18	0.81	0.95	0.85	0.82	0.78	0.83	0.8	0.86	0.73	0.75	0.89
20% of depth	1.17	0.8	0.93	0.83	0.81	0.76	0.82	0.79	0.84	0.72	0.74	0.88
30% of depth	1.16	0.79	0.91	0.82	0.79	0.75	0.8	0.77	0.82	0.71	0.73	0.87
40% of depth	1.15	0.78	0.89	0.79	0.76	0.72	0.77	0.75	0.8	0.69	0.71	0.85
50% of depth	1.13	0.76	0.85	0.76	0.73	0.69	0.74	0.71	0.77	0.67	0.69	0.83
60% of depth	1.1	0.74	0.81	0.71	0.68	0.51	0.69	0.66	0.72	0.64	0.66	0.8
70% of depth	1.07	0.7	0.74	0.64	0.62	0.58	0.63	0.6	0.65	0.6	0.62	0.76
80% of depth	1.02	0.65	0.66	0.56	0.53	0.49	0.54	0.51	0.57	0.54	0.56	0.7
90% of depth	0.96	0.59	0.53	0.44	0.41	0.37	0.42	0.39	0.45	0.47	0.49	0.63
100% of depth	0.87	0.5	0.37	0.27	0.24	0.2	0.25	0.23	0.28	0.36	0.38	0.52

4.1.1 Perhitungan Gelombang Pecah

a. Wilayah Labuhan Maringgai

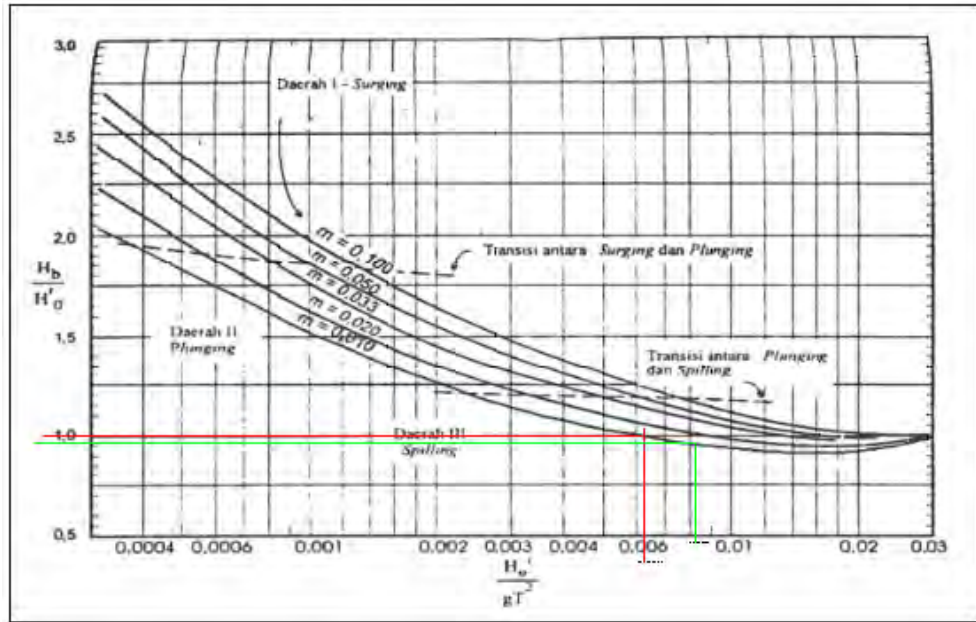
- Kedalaman perairan (d) = 8.5 m
- Tinggi gelombang (Hs) = 4.1 m
- Periode gelombang (Ts) = 8.18 sec
- Kemiringan dasar laut (m) = 0.009
- Panjang gelombang di laut dalam (Lo) = $1.56 \times Ts^2 = 104.38$ m
- d/Lo = 0.814

Nilai d/Lo tersebut selanjutnya digunakan untuk mencari nilai d/L dan Ks dengan cara interpolasi. Nilai d/L sesuai dengan d/Lo dan Ks dapat dilihat pada *Shore Protection Manual* (1984). Dari nilai yang diperoleh dari hasil interpolasi nantinya akan diketahui panjang gelombang (L) dan $H'o$.

- d/L = 0.124484
- Panjang gelombang (L) = 68.28 m
- $Ks = H/H'o$ = 0.7566
- $H'o$ = 5.419 m

- $H'_o/(g Ts^2) = 0.0083$

Nilai $H'_o/(g Ts^2)$ selanjutnya dimasukkan ke dalam grafik seperti pada gambar 4.2 untuk memperoleh nilai H_b/H'_o sesuai dengan kemiringan dasar laut (m).

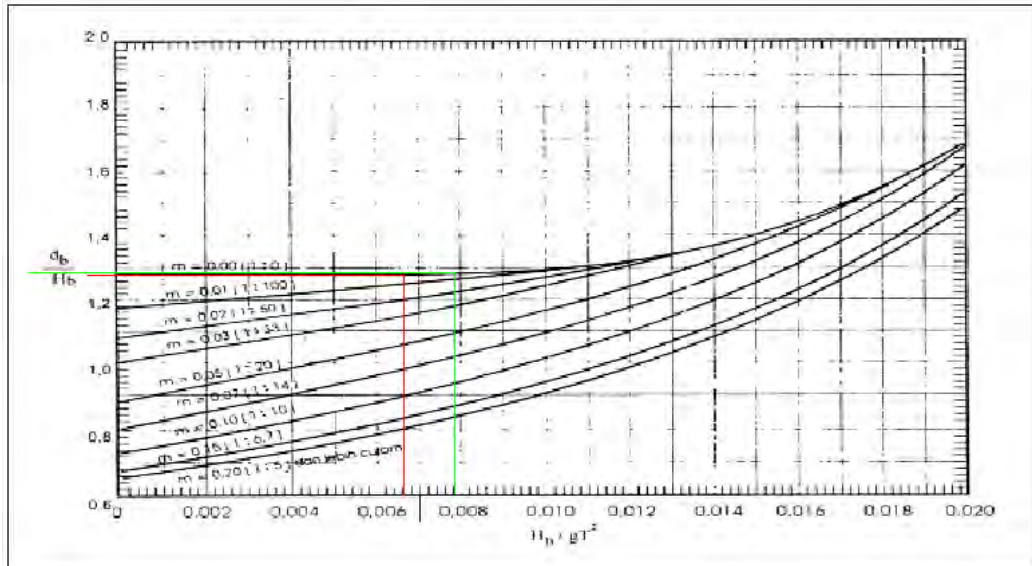


Gambar 4.2. Penentuan Tinggi Gelombang Pecah (SPM, 1984)

- $H_b/H'_o = 0.95$
- Tinggi gelombang pecah (H_b) = 5.1482 m
- $H_b/(g Ts^2) = 0.0078$

Nilai $H_b/(g Ts^2)$ dimasukkan ke dalam grafik seperti pada gambar 4.3 untuk mendapatkan nilai db/H_b sehingga akan didapatkan nilai kedalaman gelombang pecah (db).

- $Db/H_b = 1.283$
- Kedalaman gelombang pecah (db) = 6.6051 m



Gambar 4.3. Penentuan Kedalaman Gelombang Pecah (SPM, 1984)

b. Wilayah Muara Bekasi

Proses pengerjaan sama seperti pada perhitungan gelombang pecah untuk wilayah Labuhan Maringgai. Diperoleh nilai-nilai sebagai berikut :

- Kedalaman perairan (d) = 5.8 m
- Tinggi gelombang (Hs) = 3.46 m
- Periode gelombang (Ts) = 7.52 sec
- Kemiringan dasar laut (m) = 0.0014
- Panjang gelombang di laut dalam (Lo) = $1.56 \times Ts^2 = 88.22$ m
- d/Lo = 0.0657
- d/L = 0.109852
- Panjang gelombang (L) = 52.8 m
- $K_s = H/H'o$ = 0.9796
- $H'o$ = 3.5321 m
- $H'o/(g Ts^2)$ = 0.0064
- $Hb/H'o$ = 1
- Tinggi gelombang pecah (Hb) = 3.5321 m
- $Hb/(g Ts^2)$ = 0.0078
- db/Hb = 1.28
- Kedalaman gelombang pecah (db) = 4.521 m

Dari perhitungan diatas, berdasarkan kedalaman gelombang pecah dapat disimpulkan bahwa gelombang pecah terjadi pada zona 1 untuk wilayah Labuhan Maringgai. Sementara untuk wilayah Muara Bekasi terjadi pada zona 18. *Scouring* yang terjadi di daerah dimana gelombang pecah telah terjadi (mendekati *onshore*) dipengaruhi oleh arus, sebaliknya daerah yang menjauhi area *onshore* dari titik dimana gelombang pecah (setelah gelombang pecah) dipengaruhi oleh gelombang. Sementara untuk daerah transisi pada gelombang pecah dipengaruhi oleh kombinasi arus dan gelombang. Indikasi tersebut juga dilakukan dengan memperhatikan nilai d/L pada KP yang ditinjau.

4.1.2 Menentukan Teori Gelombang

Penentuan teori gelombang didasarkan pada nilai H/gT^2 dan d/gT^2 dari setiap zona yang diuji. Nilai tersebut selanjutnya dimasukkan pada grafik *Region of Validity* sehingga diketahui teori gelombang yang akan dipakai. Dari hasil pengerjaan diketahui bahwa teori gelombang yang akan dipakai adalah stokes orde 3 untuk semua zona uji. Teori tersebut nantinya akan digunakan untuk menghitung parameter gelombang yang diperlukan.

4.1.3 Menghitung Parameter Gelombang

Setelah mengetahui teori gelombang yang dipakai, selanjutnya yakni menghitung panjang gelombang (L), cepat rambat gelombang (C), serta kecepatan orbital gelombang (U_m). Panjang gelombang diperoleh menggunakan cara interpolasi berdasarkan nilai dari perbandingan antara kedalaman (d) dan panjang gelombang di laut dalam (L_0). Nilai d/L_0 tersebut selanjutnya digunakan untuk mencari nilai d/L . Nilai d/L yang sesuai dengan nilai d/L_0 dapat dilihat pada *Shore Protection Manual* (1984). Nilai panjang gelombang yang sudah diketahui selanjutnya digunakan untuk menghitung kecepatan orbital gelombang. Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4. Panjang dan Kecepatan Orbital Gelombang Tiap KP

Zona	KP	d (m)	Hs (m)	Ts (sec)	Lo (m)	d/Lo (m)	d/L (interpolasi)	L (m)	C (m/s)	Um (m/s)
1	4.72	6.25	4.1	8.18	104.38	0.06	0.1042	59.99	12.76	3.751
	6.03	6.89	4.1	8.18	104.38	0.066	0.1101	62.51	12.76	3.213
	7.89	7.48	4.1	8.18	104.38	0.072	0.1155	64.77	12.76	2.906
	8.06	8.52	4.1	8.18	104.38	0.082	0.1247	68.34	12.76	2.591
	9.15	8.54	4.1	8.18	104.38	0.082	0.1249	68.40	12.76	2.588
2	11.1	9.33	4.13	8.21	105.15	0.089	0.1310	71.17	8.67	2.464
	11.9	11.78	4.13	8.21	105.15	0.112	0.1513	77.86	9.48	2.208
	13	13.21	4.13	8.21	105.15	0.126	0.1629	81.10	9.88	2.117
	13.9	14.15	4.13	8.21	105.15	0.135	0.1704	83.04	10.11	2.069
	14.9	16.18	4.13	8.21	105.15	0.154	0.1865	86.74	10.56	1.984
3	31.03	24.18	4.49	8.55	114.04	0.2120	0.2353	102.76	12.02	1.905
	33.04	25.47	4.49	8.55	114.04	0.2233	0.2446	104.11	12.18	1.884
	34.86	26.25	4.49	8.55	114.04	0.2302	0.2508	104.68	12.24	1.872
	35.78	27.41	4.49	8.55	114.04	0.2403	0.2595	105.61	12.35	1.856
	36.90	28.06	4.49	8.55	114.04	0.2461	0.2645	106.11	12.41	1.847
	37.88	29.53	4.49	8.55	114.04	0.2589	0.2756	107.11	12.53	1.831
	38.86	31.86	4.49	8.55	114.04	0.2793	0.2936	108.48	12.69	1.808
4	157.60	13.75	3.8	7.88	96.87	0.1419	0.1766	77.87	9.88	1.950
	158.71	12.80	3.8	7.88	96.87	0.1321	0.1684	76.03	9.65	1.995
	159.23	9.49	3.8	7.88	96.87	0.0979	0.1392	68.15	8.65	2.242
	159.74	9.18	3.8	7.88	96.87	0.0948	0.1364	67.31	8.54	2.278
	160.19	6.28	3.8	7.88	96.87	0.0649	0.1091	57.62	7.31	3.161

4.2 Menghitung Kedalaman dan Lebar *Scouring*

Perhitungan kedalaman (S_{dmax}) dan lebar (w) *scouring* dipengaruhi oleh arus dan gelombang yang terjadi pada zona yang diuji. Nilai kecepatan orbital gelombang yang diperoleh dari perhitungan sebelumnya dipakai untuk menentukan profil *scouring*. Hasil perhitungan pada tiap *kilometer point* disajikan pada tabel 4.5 hingga tabel 4.8. Hasil perhitungan kedalaman *scouring* disajikan dalam grafik untuk mempermudah interpretasi data (gambar 4.4). Dari grafik yang disajikan dapat diketahui bahwa semakin besar kedalaman air, maka kedalaman *scouring* akan semakin kecil.

Tabel 4.5. Kedalaman dan Lebar *Scouring* pada Zona 1

No.	KP	d (m)	Um (m/s)	KC	Sdmax (m)	w (m)
1	4.72	6.25	3.751	33.611	0.637	3.138
2	6.03	6.89	3.213	28.790	0.592	2.838
3	7.89	7.48	2.906	26.040	0.567	2.658
4	8.06	8.52	2.591	23.223	0.541	2.468
5	9.15	8.54	2.588	23.190	0.541	2.465

Tabel 4.6. Kedalaman dan Lebar *Scouring* pada Zona 2

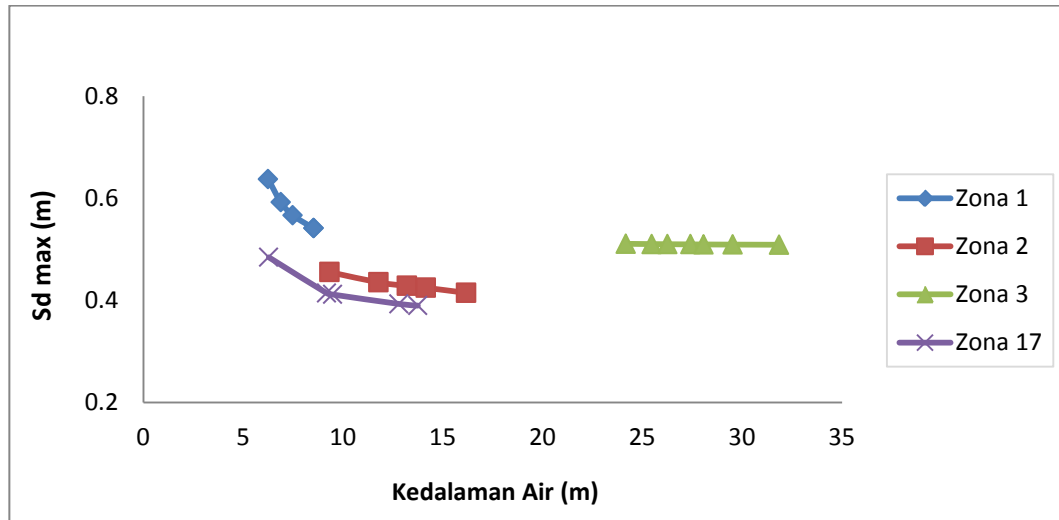
No.	KP	d (m)	Um (m/s)	KC	Sdmax (m)	w (m)
1	11.1	9.33	2.464	22.165	0.455	2.394
2	11.9	11.78	2.208	19.859	0.435	2.229
3	13	13.21	2.117	19.041	0.428	2.169
4	13.9	14.15	2.069	18.607	0.425	2.137
5	14.9	16.18	1.984	17.849	0.415	2.080

Tabel 4.7. Kedalaman dan Lebar *Scouring* pada Zona 3

No.	KP	d (m)	Um (m/s)	KC	Sdmax (m)	w (m)
1	31.03	24.18	1.905	17.845	0.511	2.079
2	33.04	25.47	1.884	17.647	0.510	2.064
3	34.86	26.25	1.872	17.531	0.510	2.056
4	35.78	27.41	1.856	17.381	0.510	2.044
5	36.90	28.06	1.847	17.304	0.510	2.038
6	37.88	29.53	1.831	17.146	0.509	2.026
7	38.86	31.86	1.808	16.937	0.509	2.010

Tabel 4.8. Kedalaman dan Lebar *Scouring* pada Zona 17

No.	KP	d (m)	Um (m/s)	KC	Sdmax (m)	w (m)
1	157.60	13.75	1.950	16.830	0.390	2.002
2	158.71	12.80	1.995	17.222	0.393	2.032
3	159.23	9.49	2.242	19.352	0.412	2.192
4	159.74	9.18	2.278	19.663	0.414	2.215
5	160.19	6.28	3.161	27.289	0.484	2.741



Gambar 4.4. Grafik Kedalaman Maksimum *Scouring*

Kecepatan arus dan gelombang menentukan karakteristik *scouring*. *Scouring* yang dipengaruhi oleh kombinasi arus dan gelombang tergantung pada nilai perbandingan kecepatan arus dan gelombang ($\frac{U_c}{U_c+U_w}$). Perbandingan tersebut digunakan untuk mengetahui batas kondisi untuk menentukan nilai F (persamaan 2.28) serta koefisien *a* dan *b*. Nilai KC (Keulegan-Carpenter) yang dipengaruhi oleh nilai kecepatan orbital gelombang (U_m) juga ikut mempengaruhi karakteristik *scouring*. Nilai KC yang semakin kecil diikuti oleh kedalaman dan lebar *scouring* yang semakin kecil pula. Begitu juga dengan semakin kecil kecepatan orbital gelombang, maka besarnya kedalaman dan lebar *scouring* juga mengecil. Selain itu, ukuran diameter butiran pasir juga menjadi salah satu parameter pembentuk *scouring*. Butiran pasir yang berdiameter kecil lebih mudah tergerus daripada butiran pasir dengan diameter yang lebih besar. Ukuran diameter butiran pasir digunakan untuk mencari kedalaman *scouring* akibat arus *steady* (persamaan 2.23). Nilai tersebut digunakan untuk memperoleh kedalaman maksimum *scouring* akibat kombinasi arus dan gelombang.

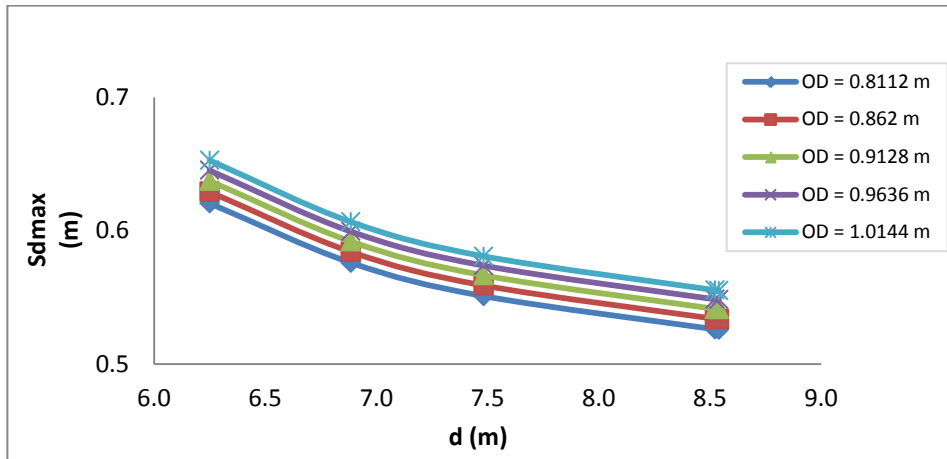
Dilakukan pula perhitungan kedalaman *scouring* dengan memberikan variasi diameter pipa yakni sebesar 0.8112 m (V1), 0.862 m (V2), 0.9636 m (V3), dan 1.0144 m (V4). Perhitungan dilakukan untuk setiap *kilometer point* yang diuji pada zona masing-masing. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.9. Diameter awal pipa yakni sebesar 0.9128 m (V) juga ditampilkan dalam tabel.

Dari hasil perhitungan terlihat perbedaan besar kedalaman *scouring* akibat perbedaan ukuran diameter pipa.

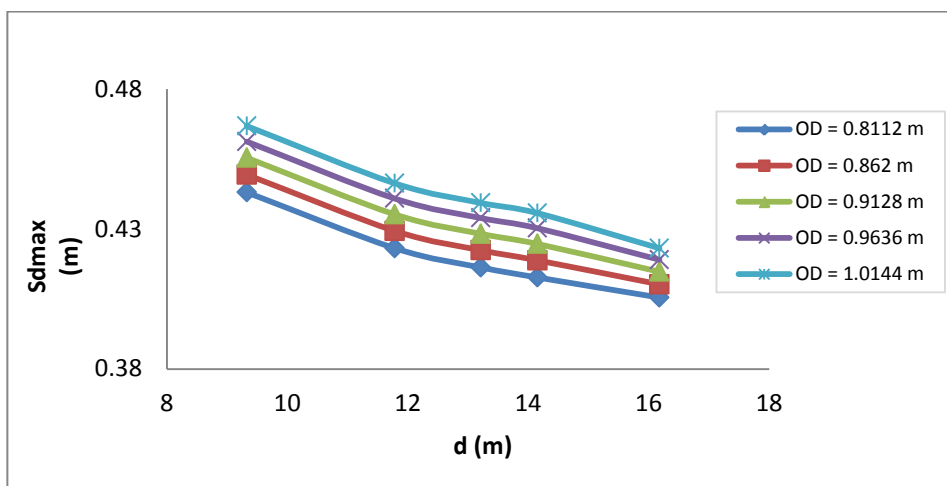
Tabel 4.9. Kedalaman *Scouring* dengan Variasi OD

Zona	KP	d (m)	Sdmax (m)				
			V1	V2	V	V3	V4
1	4.72	6.25	0.621	0.629	0.637	0.645	0.653
	6.03	6.89	0.576	0.584	0.592	0.599	0.607
	7.89	7.48	0.551	0.559	0.567	0.574	0.581
	8.06	8.52	0.526	0.534	0.541	0.549	0.555
	9.15	8.54	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
2	11.1	9.33	0.443	0.449	0.455	0.461	0.467
	11.9	11.78	0.423	0.429	0.435	0.441	0.446
	13	13.21	0.416	0.422	0.428	0.434	0.439
	13.9	14.15	0.413	0.419	0.425	0.430	0.436
	14.9	16.18	0.406	0.410	0.415	0.419	0.423
3	31.03	24.18	0.491	0.501	0.511	0.520	0.529
	33.04	25.47	0.490	0.501	0.510	0.520	0.529
	34.86	26.25	0.490	0.500	0.510	0.519	0.529
	35.78	27.41	0.489	0.500	0.510	0.519	0.528
	36.90	28.06	0.489	0.500	0.510	0.519	0.528
	37.88	29.53	0.489	0.499	0.509	0.519	0.528
	38.86	31.86	0.488	0.499	0.509	0.519	0.529
17	157.60	13.75	0.379	0.384	0.390	0.395	0.400
	158.71	12.80	0.382	0.388	0.393	0.398	0.403
	159.23	9.49	0.400	0.406	0.412	0.417	0.422
	159.74	9.18	0.403	0.409	0.414	0.420	0.425
	160.19	6.28	0.472	0.478	0.484	0.490	0.496

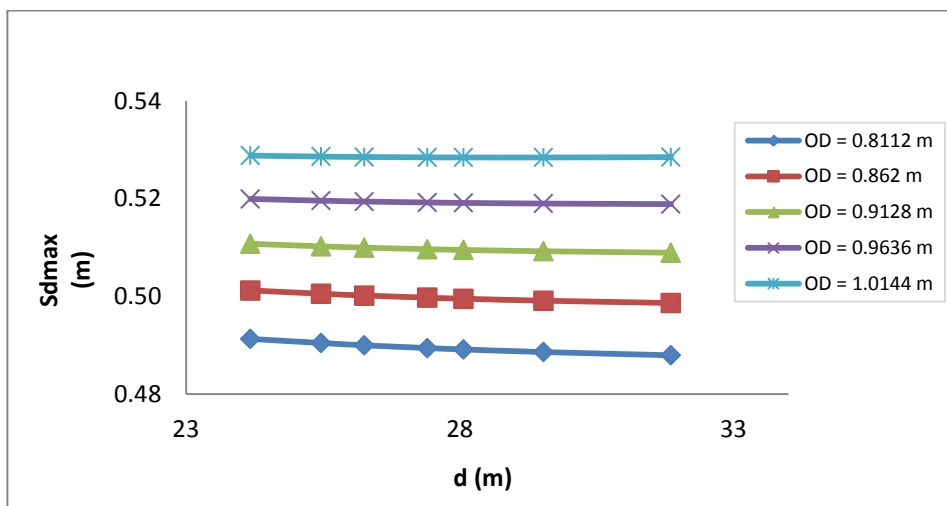
Hasil dari perhitungan dari tabel 4.9 juga disajikan dalam grafik (gambar 4.5 hingga gambar 4.8). Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar diameter pipa, kedalaman *scouring* juga semakin besar. Hal tersebut berlaku pada semua zona uji. Ukuran diameter pipa berpengaruh besar terhadap nilai KC. Semakin besar ukuran pipa maka nilai KC semakin kecil. Nilai KC tersebut merupakan salah satu parameter dalam formula untuk menentukan nilai kedalaman *scouring* akibat kombinasi arus dan gelombang apabila perbandingan kecepatan dan arus berada pada nilai 0 (nol) hingga 0.7.



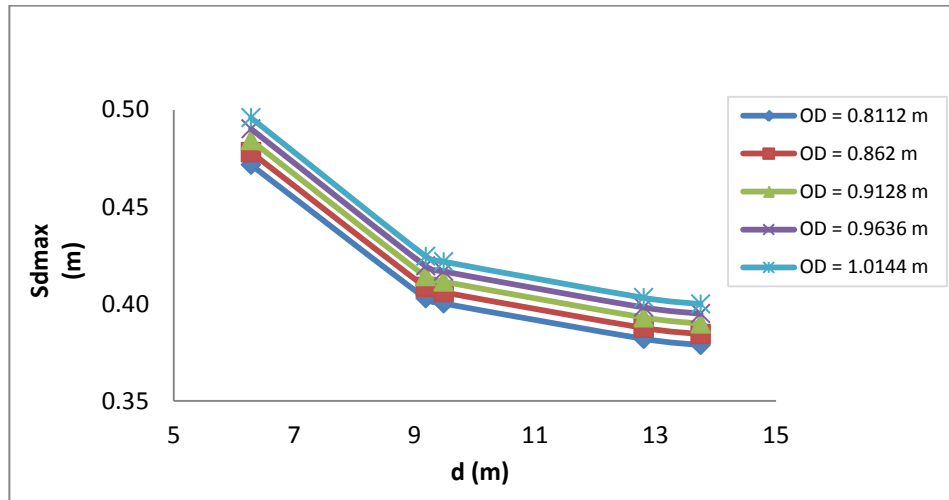
Gambar 4.5. Grafik Kedalaman *Scouring* Zona 1 dengan Variasi OD



Gambar 4.6. Grafik Kedalaman *Scouring* Zona 2 dengan Variasi OD



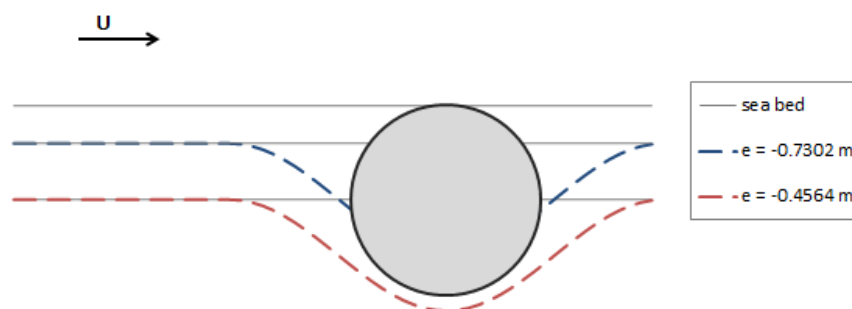
Gambar 4.7. Grafik Kedalaman *Scouring* Zona 3 dengan Variasi OD



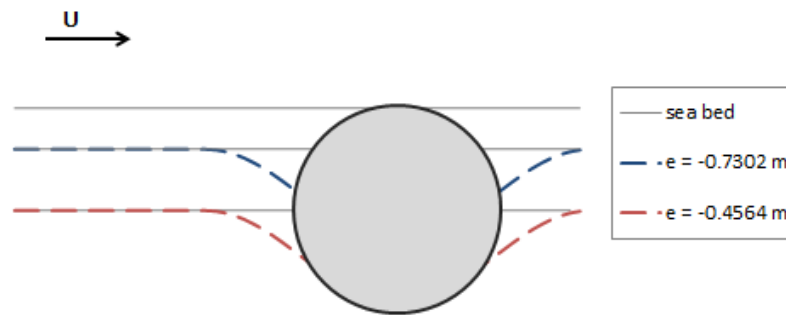
Gambar 4.8. Grafik Kedalaman *Scouring* Zona 17 dengan Variasi OD

4.3 Menghitung Propagasi *Scouring*

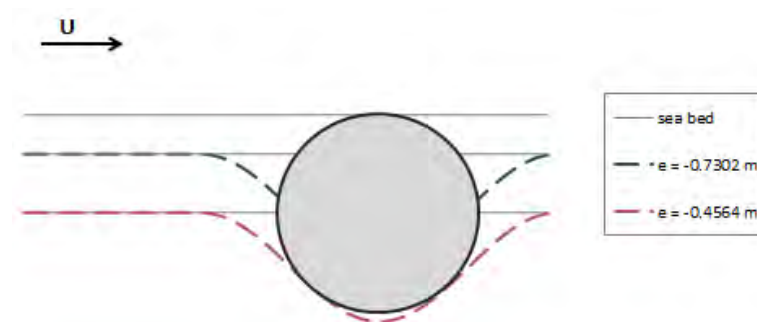
Pengerjaan propagasi didasarkan pada rumus pada persamaan 2.35. Sebagai fungsi (x), nilai yang dihasilkan nantinya akan dapat membentuk sebuah profil 2D dari *scouring* yang terjadi sepanjang lebar *scouring* (w). Perhitungan dilakukan dengan bantuan program. Rumus pada persamaan 2.35 dimasukkan dalam *syntax* program tersebut. Algoritma pemrograman dan *syntax* program dapat dilihat pada lampiran. Nilai yang keluar (*ouput*) dari program tersebut selanjutnya di plot untuk melihat profil 2D yang terjadi. Berikut gambar profil 2D dari *scouring* yang terjadi, dimana yang ditinjau adalah *kilometer point* dengan kedalaman air paling besar dari setiap zona uji dengan variasi e (*gap ratio*) yang telah ditentukan sebelumnya, yakni 50%, 80%, dan 100% dari OD pipa (0.9128 m) serta sebesar 1 m dan 1.1 m.



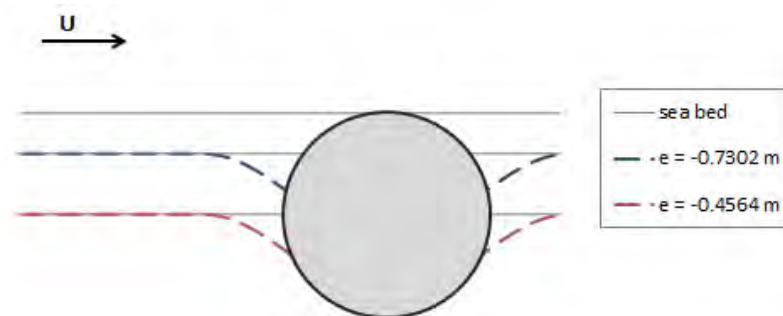
Gambar 4.9. Profil 2D *Scouring* pada Zona 1 KP 9.15



Gambar 4.10. Profil 2D *Scouring* pada Zona 2 KP 14.9



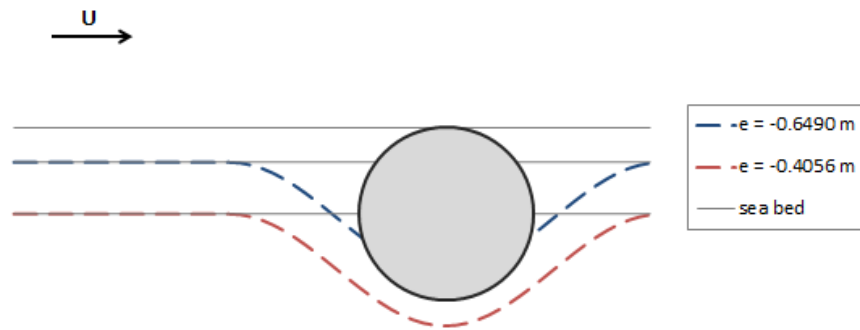
Gambar 4.11. Profil 2D *Scouring* pada Zona 3 KP 38.86



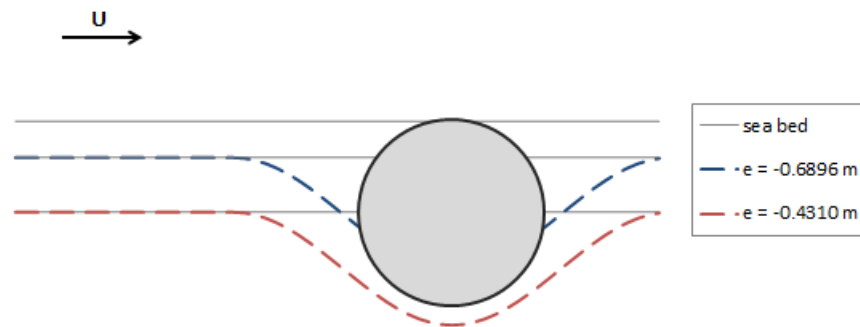
Gambar 4.12. Profil 2D *Scouring* pada Zona 17 KP 157.6

Dari keempat gambar tersebut dapat diketahui bahwa *scouring* tidak terjadi apabila e (*gap ratio*) sama besar atau lebih besar dari ukuran diameter pipa. Hal ini karena pipa benar-benar terkubur sempurna sehingga aliran fluida yang bergerak di dasar laut tidak terganggu pola alirannya maka tidak menimbulkan inisiasi terjadinya *scouring* pada pipa.

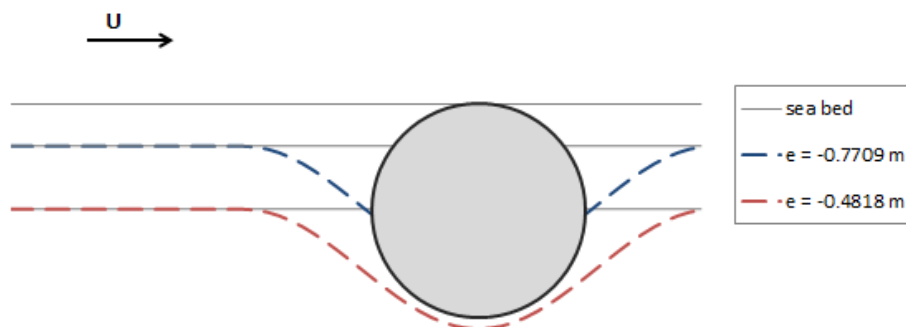
Pada pengerjaan propagasi *scouring* dilakukan pula perhitungan dengan memberi variasi pada diameter pipa, yakni sebesar 0.8112 m, 0.862 m, 0.9636 m dan 1.0144 m. Perhitungan ini dilakukan pada KP 9.15 yang terletak pada zona 1. Karena besar kedalaman *scouring* berbeda akibat ukuran pipa yang berubah, profil 2D *scouring* juga berbeda untuk tiap pipa.



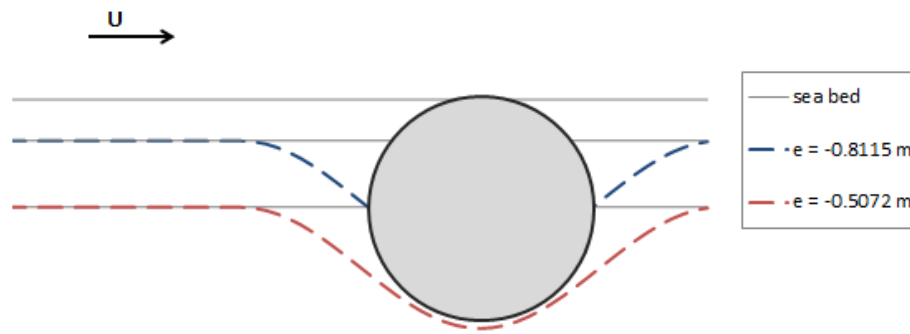
Gambar 4.13. Profil 2D *Scouring* KP 9.15 (OD = 0.8112 m)



Gambar 4.14. Profil 2D *Scouring* KP 9.15 (OD = 0.862 m)



Gambar 4.15. Profil 2D *Scouring* KP 9.15 (OD = 0.9636 m)



Gambar 4.16. Profil 2D *Scouring* KP 9.15 (OD = 1.0144 m)

Kedalaman dan lebar *scouring* berubah mengikuti besarnya diameter pipa. Pada kondisi lingkungan yang sama, dimana kedalaman air, kecepatan orbital gelombang dan kecepatan arus sama, semakin besar diameter pipa maka kedalaman dan lebar *scouring* juga semakin besar sehingga menyebabkan perbedaan profil 2D *scouring* pada pipa dengan ukuran diameter yang berbeda seperti yang terlihat pada gambar 4.13 hingga gambar 4.16.

Propagasi *scouring* yang telah dihitung selanjutnya diberi fungsi waktu untuk mengetahui jangka waktu terjadinya fenomena *scouring* tersebut. Nilai *shields parameter* (θ) punya pengaruh besar terhadap laju propagasi *scouring*, baik *shields parameter* yang dipengaruhi arus (θ_c) maupun gelombang (θ_w). *Shields parameter* mengambil peranan penting dalam pengangkatan sediment sehingga semakin kecil nilai *shields parameter* maka waktu terjadinya *scouring* pun juga semakin lama. Besarnya diameter pipa dan ukuran diameter butiran pasir (d_{50}) juga menjadi parameter laju propagasi *scouring*. Dengan menggunakan persamaan yang telah dipaparkan pada Bab II, diperoleh laju propagasi *scouring* pada tiap zona.

Tabel 4.10. Laju Propagasi *Scouring* pada Zona 1

KP	d (m)	T*	T (s)	T (min)	Sd (m)	St (t=1 sec) (m)	St (t=2 sec) (m)	St (t=5 sec) (m)	St (t=T min) (m)
4.72	6.25	0.000029	1.528	0.025	0.637	0.306	0.465	0.613	0.403
6.03	6.89	0.000051	2.648	0.044	0.592	0.186	0.314	0.502	0.374
7.89	7.48	0.000072	3.774	0.063	0.567	0.132	0.233	0.416	0.358
8.06	8.52	0.000107	5.606	0.093	0.541	0.088	0.162	0.319	0.342
9.15	8.54	0.000108	5.634	0.094	0.541	0.088	0.162	0.318	0.342

Tabel 4.11. Laju Propagasi *Scouring* pada Zona 2

KP	d (m)	T*	T (s)	T (min)	Sd (m)	St (t=3 sec) (m)	St (t=5 sec) (m)	St (t=10 sec) (m)	St (t=T min) (m)
11.1	9.33	0.00011	5.653	0.094	0.455	0.188	0.267	0.378	0.288
11.9	11.78	0.00015	7.859	0.131	0.435	0.138	0.205	0.313	0.275
13	13.21	0.00017	8.844	0.147	0.428	0.123	0.185	0.290	0.271
13.9	14.15	0.00018	9.407	0.157	0.425	0.116	0.175	0.278	0.268
14.9	16.18	0.00020	10.448	0.174	0.415	0.104	0.158	0.255	0.262

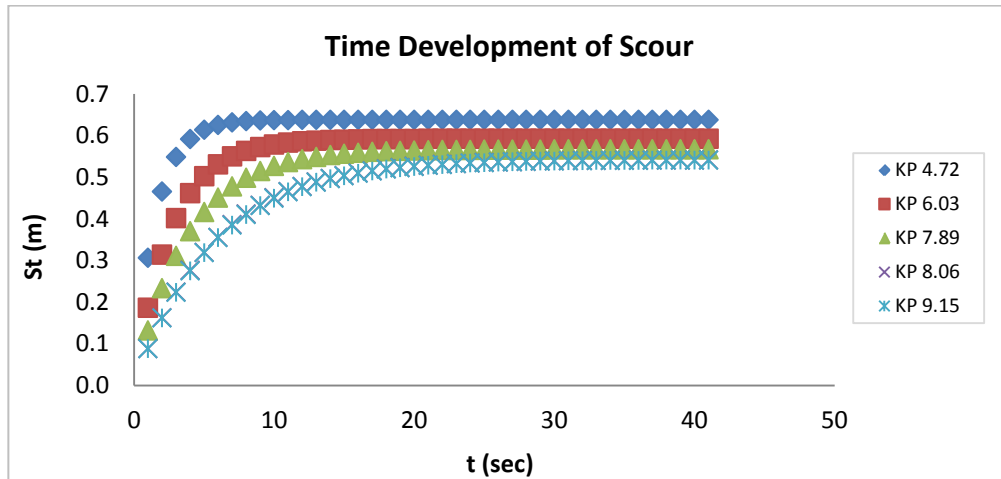
Tabel 4.12. Laju Propagasi *Scouring* pada Zona 3

KP	d (m)	T*	T (s)	T (min)	Sd (m)	St (t=2 sec) (m)	St (t=4 sec) (m)	St (t=6 sec) (m)	St (t=T min) (m)
31.03	24.18	0.000218	11.42	0.19	0.511	0.082	0.151	0.209	0.323
33.04	25.47	0.000221	11.60	0.19	0.510	0.081	0.149	0.206	0.323
34.86	26.25	0.000223	11.69	0.19	0.510	0.080	0.148	0.205	0.322
35.78	27.41	0.000225	11.79	0.20	0.510	0.080	0.147	0.203	0.322
36.90	28.06	0.000226	11.82	0.20	0.510	0.079	0.146	0.203	0.322
37.88	29.53	0.000227	11.87	0.20	0.509	0.079	0.146	0.202	0.322
38.86	31.86	0.000226	11.85	0.20	0.509	0.079	0.146	0.202	0.322

Tabel 4.13. Laju Propagasi *Scouring* pada Zona 17

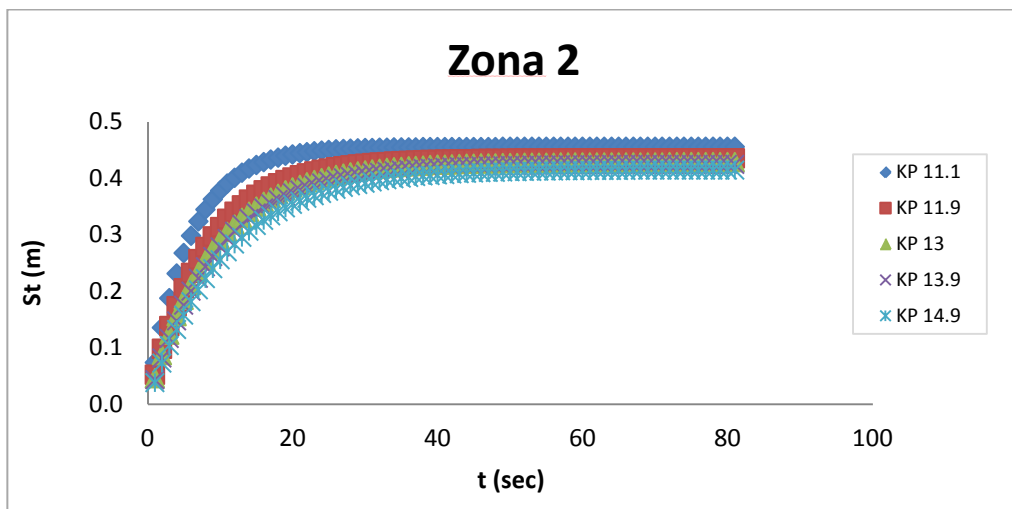
KP	d (m)	T*	T (s)	T (min)	Sd (m)	St (t=2 sec) (m)	St (t=5 sec) (m)	St (t=10 sec) (m)	St (t=T min) (m)
157.60	13.75	0.00020	10.633	0.177	0.390	0.067	0.146	0.238	0.246
158.71	12.80	0.00019	10.021	0.167	0.393	0.071	0.154	0.248	0.248
159.23	9.49	0.00014	7.183	0.120	0.412	0.100	0.206	0.309	0.260
159.74	9.18	0.00013	6.841	0.114	0.414	0.105	0.215	0.318	0.262
160.19	6.28	0.00004	2.298	0.038	0.484	0.281	0.429	0.478	0.306

Nilai St yang diperoleh hanya sebesar 63.21% saja dari besarnya kedalaman maksimal *scouring* yang mungkin terjadi. Maka dari itu dilakukan perhitungan lagi dengan memasukkan nilai t (detik) hingga diperoleh kedalaman maksimal *scouring*. Hasil perhitungan untuk tiap zona disajikan dalam grafik pada gambar 4.17 hingga gambar 4.20.



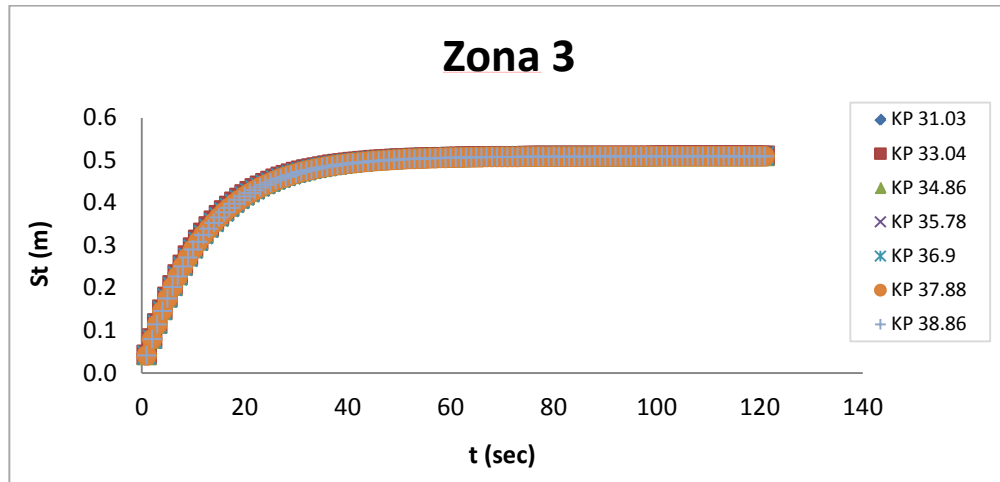
Gambar 4.17. Perkembangan *Scour Depth* pada Zona 1

Pada zona 1, di KP 4.72 *scouring* mencapai kedalaman maksimal pada detik ke 10 kemudian tidak terjadi *scouring* karena telah mencapai tahap kesetimbangan. Pada KP 6.03 *scouring* mencapai kedalaman maksimal pada detik ke 19, di KP 7.89 pada detik 34, di KP 8.06 pada detik 36 dan di KP 9.15 pada detik 39.



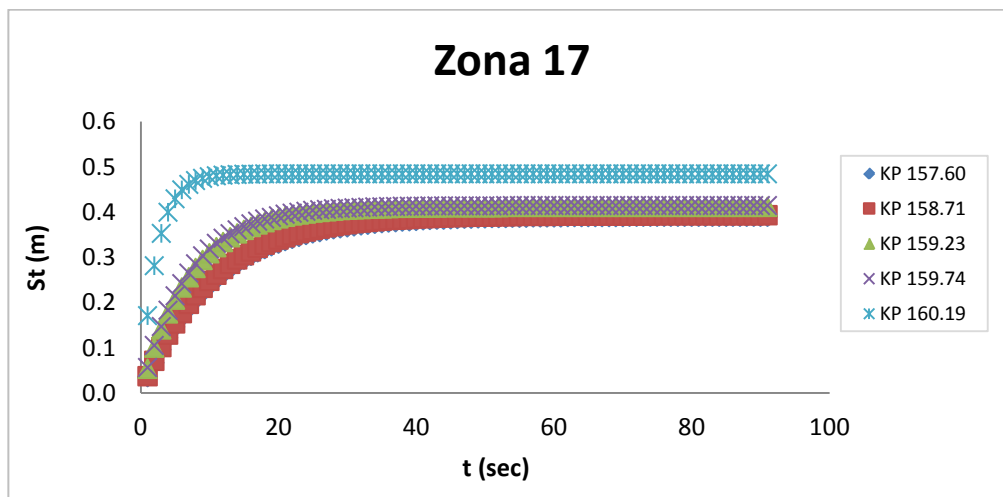
Gambar 4.18. Perkembangan *Scour Depth* pada Zona 2

Pada zona 2, di KP 11.1 *scouring* mencapai kedalaman maksimal pada detik ke 35 kemudian tidak terjadi *scouring* karena telah mencapai tahap kesetimbangan. Pada KP 11.9 *scouring* mencapai kedalaman maksimal pada detik ke 50, di KP 13 pada detik 56, di KP 13.9 pada detik 72 dan di KP 14.9 pada detik 78.



Gambar 4.19. Perkembangan *Scour Depth* pada Zona 3

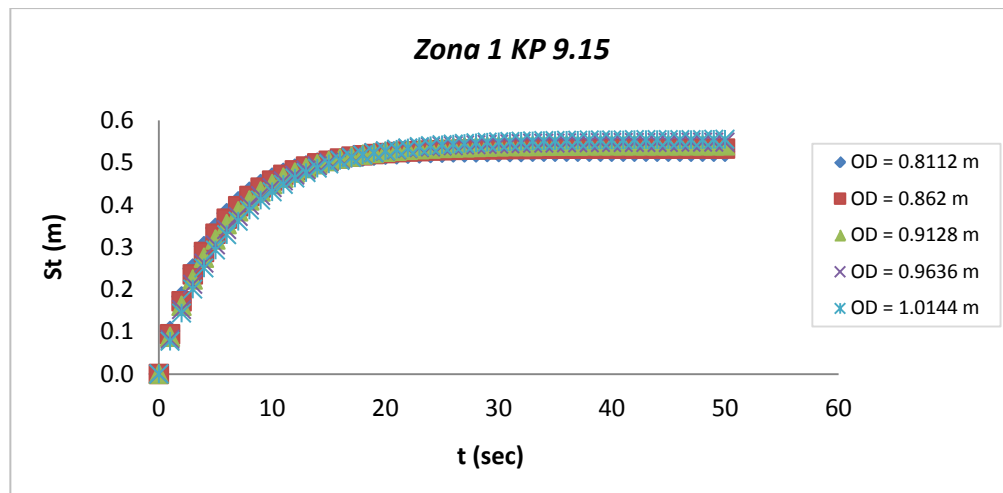
Pada zona 3, di KP 31.03 *scouring* mencapai kedalaman maksimal pada detik ke 86 kemudian tidak terjadi *scouring* karena telah mencapai tahap kesetimbangan. Pada KP 33.04 *scouring* mencapai kedalaman maksimal pada detik ke 76, di KP 34.86 pada detik 82, di KP 35.78 pada detik 94, di KP 36.9 pada detik 116, di KP 37.88 pada detik 79 dan di KP 38.86 pada detik 83.



Gambar 4.20. Perkembangan *Scour Depth* pada Zona 17

Pada zona 17, di KP 157.6 *scouring* mencapai kedalaman maksimal pada detik ke 76 kemudian tidak terjadi *scouring* karena telah mencapai tahap kesetimbangan. Pada KP 158.71 *scouring* mencapai kedalaman maksimal pada detik ke 66, di KP 159.23 pada detik 82, di KP 159.74 pada detik 44 dan di KP 160.19 pada detik 15.

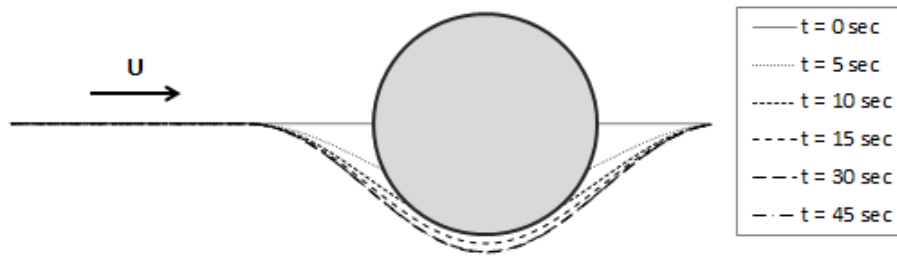
Dilakukan pula perhitungan untuk variasi diameter pipa pada laju propagasi *scouring*. Perhitungan dilakukan pada KP 9.15 di zona 1. Ukuran pipa yang digunakan adalah 0.8112 m, 0.862 m, 0.9636 m dan 1.0144 m. Hasil perhitungan disajikan pada gambar 4.21.



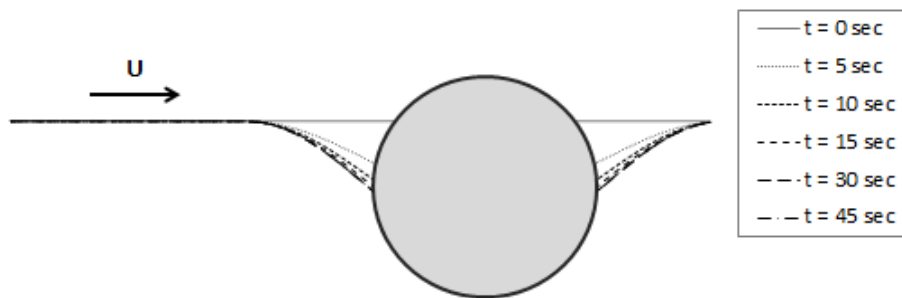
Gambar 4.21. Perkembangan *Scour Depth* dengan Variasi OD pada KP 9.15

Karena kedalaman *scouring* berubah mengikuti besarnya ukuran diameter pipa, maka skala waktu menuju tahap kesetimbangan juga ikut berubah. Jika pada OD pipa 0.9128 m *scouring* mencapai kedalaman maksimal pada detik ke 39, maka pada OD pipa 0.8112 m terjadi pada detik 36. Sementara pada OD pipa 0.862 m *scouring* mencapai kedalaman maksimal pada detik 44, pada OD pipa 0.9636 m di detik 41 dan pada OD 1.0144 m di detik 45.

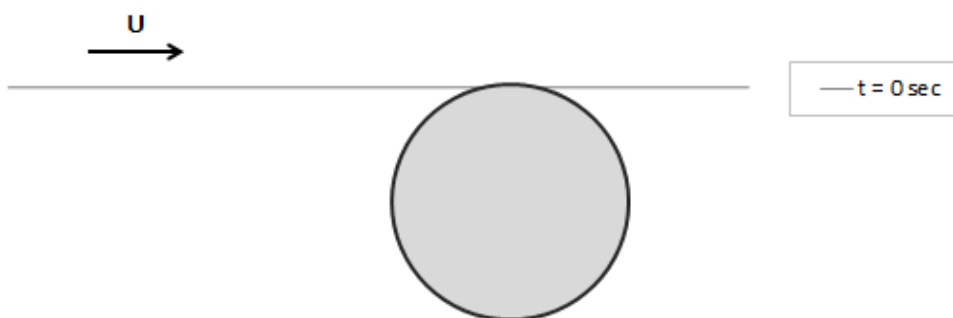
Pada KP 9.15 zona 1 dilakukan perhitungan laju propagasi *scouring* dengan variasi e (*gap ratio*). Perhitungan tersebut disajikan pada sebuah gambar untuk tiap variasi e (*gap ratio*) agar lebih mudah diamati. Dari gambar 4.26 dapat dilihat bahwa *scouring* tidak terjadi pada $e=0.9128$ atau sebesar 100% dari diameter pipa, begitu pula pada $e=1$ m dan $e=1.1$ m. Hal tersebut dikarenakan nilai e (*gap ratio*) lebih besar dari diameter pipa sehingga pipa terkubur sempurna. Akibatnya, pola aliran pada dasar laut tidak berubah sehingga tidak ada inisiasi terjadinya *scouring* (gambar 4.24).



Gambar 4.22. Laju Propagasi *Scouring* KP 9.15 ($e=-0.4564$ m; $OD=0.9128$ m)



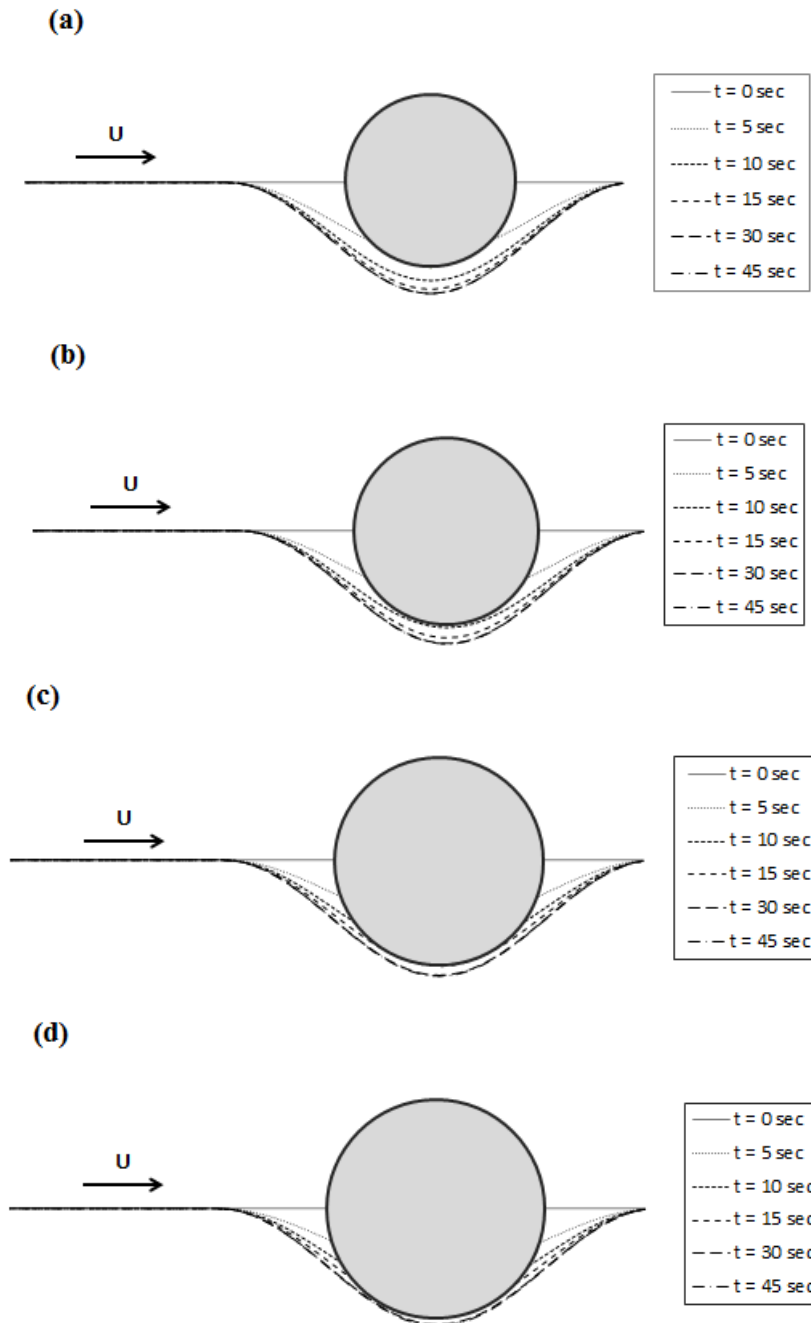
Gambar 4.23. Laju Propagasi *Scouring* KP 9.15 ($e=-0.7302$ m; $OD=0.9128$ m)



Gambar 4.24. Laju Propagasi *Scouring* KP 9.15 ($e=-0.9128$ m; $OD=0.9128$ m)

Dilakukan pula perhitungan laju propagasi *scouring* dengan memberikan variasi pada diameter pipa dan e (*gap ratio*) pada titik yang sama untuk memperoleh korelasi antara parameter-parameter penyebab timbulnya *scouring* serta untuk mengetahui pada kedalaman berapa pipa terkubur sehingga tidak mengalami *scouring*. Untuk mempermudah pengamatan, perhitungan tersebut disajikan dalam sebuah gambar untuk tiap-tiap diameter pipa dan e (*gap ratio*) yang digunakan.

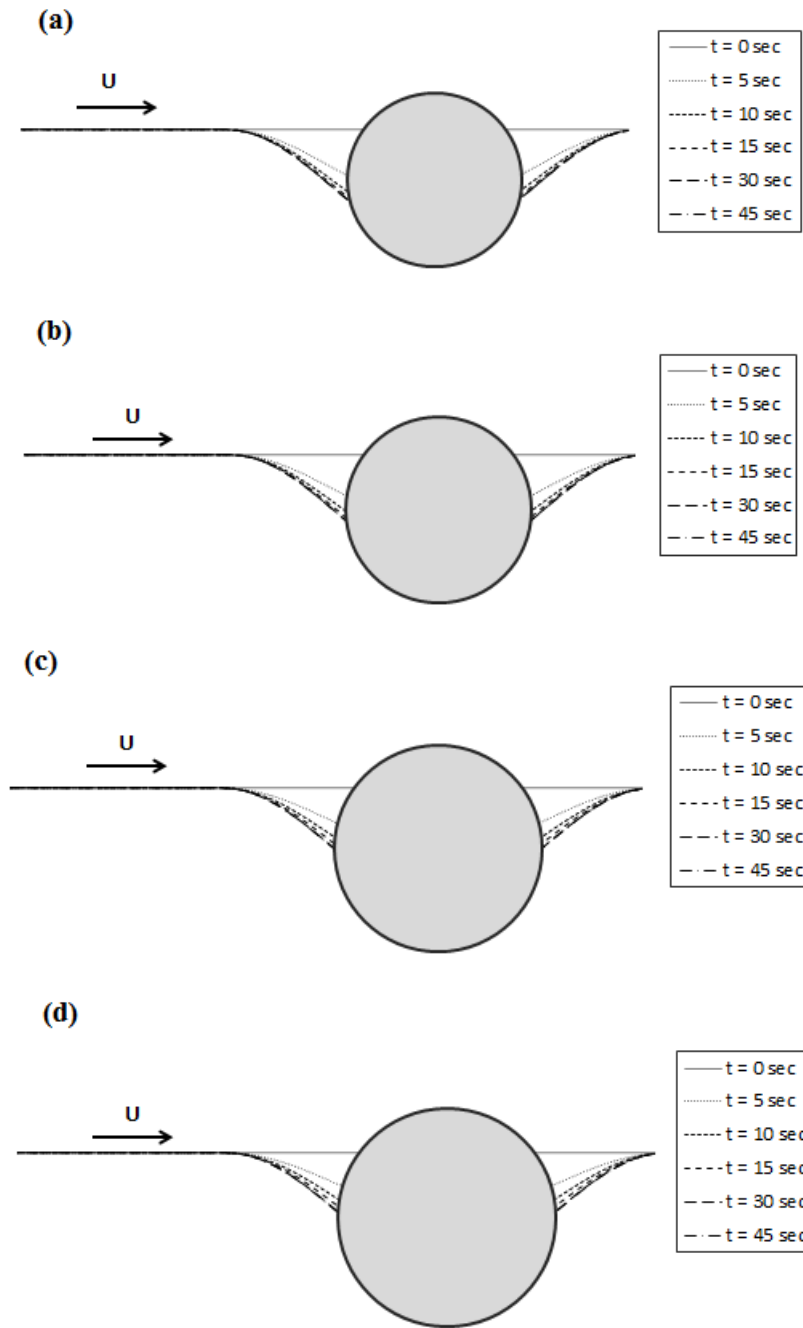
$e = 50\% \text{ OD}$



Gambar 4.25. Laju Propagasi *Scouring* Zona 1 KP 9.15. (a) $e=-0.4056\text{m}$ $\text{OD}=0.8112 \text{ m}$. (b) $e=-0.431 \text{ m}$ $\text{OD}=0.862 \text{ m}$. (c) $e=-0.4818 \text{ m}$ $\text{OD}=0.9636 \text{ m}$. (d) $e=-0.5072\text{m}$ $\text{OD}=1.0144 \text{ m}$.

Ketika pipa terbenam sedalam setengah dari diameternya *scouring* masih terjadi. *Scouring* terjadi pada $\text{OD} = 0.8112 \text{ m}$, namun semakin mengecil ketika ukuran diameter pipa semakin besar.

$e = 80\% \text{ OD}$

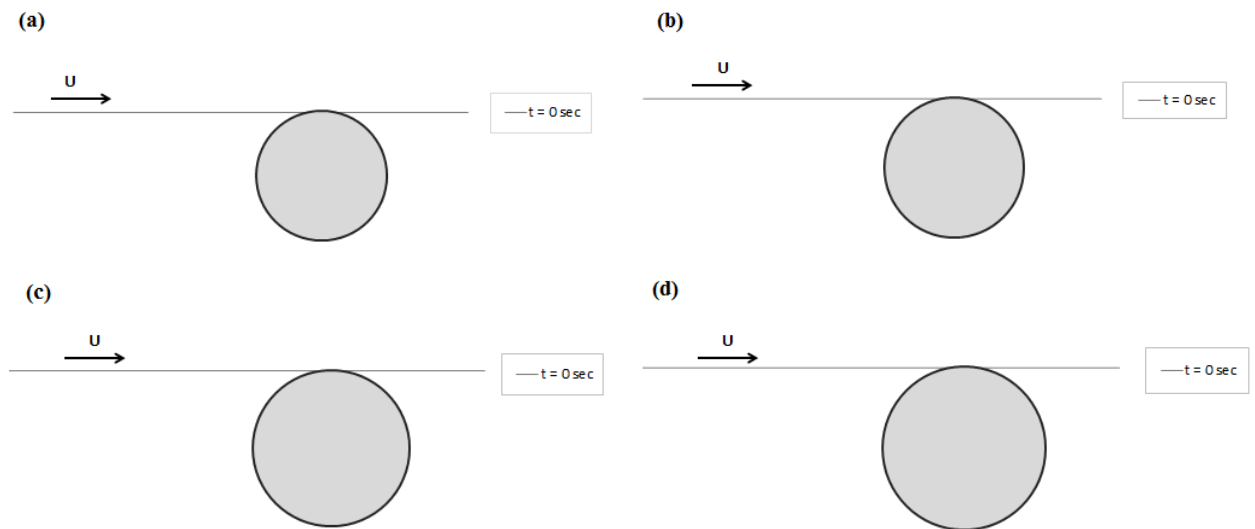


Gambar 4.26. Laju Propagasi *Scouring* Zona 1 KP 9.15. (a) $e = -0.649 \text{ m}$ $\text{OD} = 0.8112 \text{ m}$. (b) $e = -0.6896 \text{ m}$ $\text{OD} = 0.862 \text{ m}$. (c) $e = -0.7709 \text{ m}$ $\text{OD} = 0.9636 \text{ m}$. (d) $e = -0.8115 \text{ m}$ $\text{OD} = 1.0144 \text{ m}$.

Ukuran diameter pipa dan peletakan pipa mempengaruhi karakteristik *scouring*. Semakin besar diameter pipa, kedalaman dan lebar *scouring* semakin besar. Sementara bila pipa terkubur semakin dalam maka kedalaman dan lebar *scouring*

semakin kecil. Oleh sebab itu maka profil 2D *scouring* yang terjadi berbeda pada tiap diameter pipa dan tiap e (*gap ratio*) yang diberikan. Ketika pipa terbenam sedalam 0.8 dari diameternya, *scouring* masih terjadi walaupun lebar dan kedalamannya kecil. Lebar dan kedalaman *scouring* semakin kecil ketika ukuran diameter pipa semakin besar.

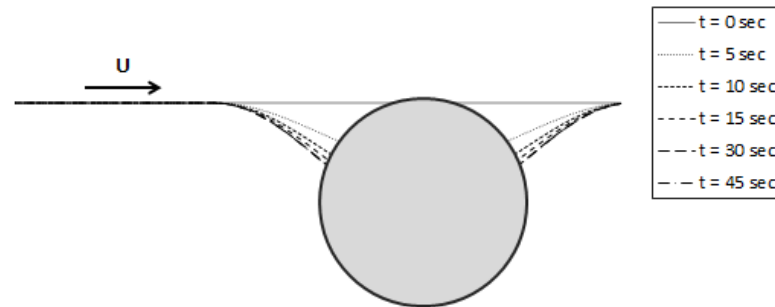
$e = 100\% \text{ OD}$



Gambar 4.27. Laju Propagasi *Scouring* Zona 1 KP 9.15. (a) $e=0.8112\text{m}$ $\text{OD}=0.8112 \text{ m}$. (b) $e=0.862 \text{ m}$ $\text{OD}=0.862 \text{ m}$. (c) $e=0.9636 \text{ m}$ $\text{OD}=0.9636 \text{ m}$. (d) $e=1.0144\text{m}$ $\text{OD}=1.0144 \text{ m}$.

Tidak terjadi *scouring* ketika pipa terbenam sedalam ukuran diameter pipa tersebut karena nilai e (*gap ratio*) sama dengan ukuran diameter pipa sehingga pipa terkubur sempurna. Aliran fluida yang mengalir pada dasar laut tidak mengalami perubahan arah dan pola yang mengakibatkan *vortex shedding* sehingga inisiasi *scouring* tidak terjadi.

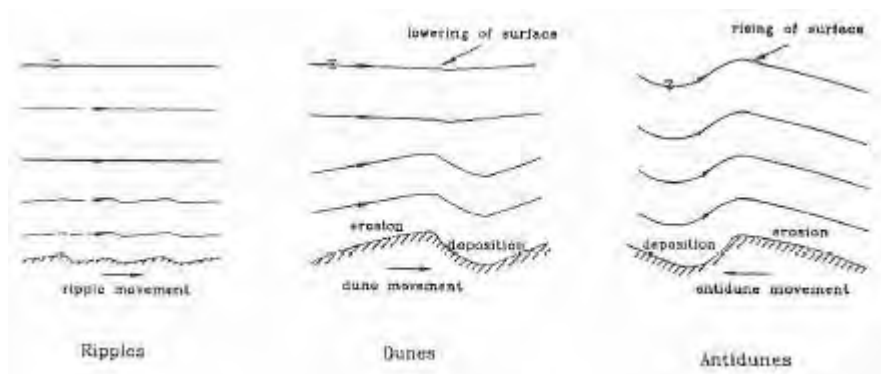
$e = -1 \text{ m}$



Gambar 4.28. Laju Propagasi *Scouring* Zona 1 KP 9.15 ($e=-1 \text{ m}$; $OD=1.0144 \text{ m}$)

Masih terjadi *scouring* pada OD 1.0144 m dan e (*gap ratio*) sebesar -1 m. Untuk pipa lebih kecil dari OD 1.0144 m tidak terjadi *scouring* karena e (*gap ratio*) lebih besar dari ukuran diameter pipa.

Dasar laut dimana pipa terkubur sempurna maka tidak ada struktur di permukaan dasar laut (*flatbed*). Pada *flatbed*, sedimen berpindah karena adanya arus dan gelombang yang dapat menyebabkan erosi di dasar laut sehingga akan menyebabkan banyak terjadinya *bedform*. *Bedform* diawali dengan terbentuknya *ripples*. *Ripples* terbentuk ketika intensitas aliran relatif lemah dimana terdapat butiran pasir dengan ukuran diameter kurang dari 0.7 mm ($d_{50} < 0.7 \text{ mm}$). Apabila intensitas aliran meningkat, *ripples* tersebut akan menyebabkan terjadinya *dunes* yang lama kelamaan membentuk *antidunes*. Tinggi gelombang di permukaan akan mengikuti bentuk *antidunes* yang terbentuk di dasar laut. Permukaan gelombang yang tidak stabil akan pecah ke arah *upstream* yang menggerakkan *antidunes upstream*. Ilustrasi proses tersebut dapat dilihat pada gambar 4.29.



Gambar 4.29. Ilustrasi *Ripples*, *Dunes*, dan *Antidunes*

Pada wilayah uji, besarnya diameter butiran pasir adalah 0.25 mm, yakni lebih kecil dari 0.7 mm. Sehingga dapat dikatakan bahwa apabila pada wilayah uji terdapat *flatbed*, besar kemungkinan akan terjadi *ripples*. Pada kondisi di lapangan, arus dan gelombang akan terus terjadi setiap detik. Intensitas tersebut apabila terjadi dalam jangka waktu yang lama dan semakin besar, maka *bedform* akan terbentuk pada dasar laut, termasuk dapat terjadi pula pada titik dimana pipa terletak. Walau sebelumnya pipa terkubur dan permukaan dasar laut rata, *bedform* tersebut mengakibatkan ketidakrataan dasar laut yang lama kelamaan nantinya dapat membentuk lubang di sekitar pipa. Jika terus terjadi, pola aliran disekitar pipa akan berubah dan menyebabkan perbedaan tekanan. Hal tersebut dapat mengarah pada terjadinya *seepage* dan *piping* pada pipa yang menginisiasi terjadinya *scouring* pada pipa tersebut.

Sesuai dengan pemaparan dapat dilihat bahwa penggerusan tidak terjadi ketika nilai e (*gap ratio*) sama besarnya dengan diameter pipa dan tidak terjadi pula jika nilai e (*gap ratio*) lebih besar dari diameter pipa. Besarnya nilai e (*gap ratio*) berpengaruh pada profil penggerusan pada pipa. Begitu pula dengan diameter pipa. Semakin meningkatnya nilai e/D maka kedalaman gerusan akan menurun sehingga berpengaruh terhadap profil *scouring*. Pada kondisi yang sama (d , U_m dan U_c sama), nilai T^* dan St akan berbeda apabila besarnya ukuran pipa (diameter) diubah. Semakin besar diameter pipa, nilai St semakin kecil sehingga waktu yang dibutuhkan agar terjadi gerusan maksimal juga semakin lama.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN A

Perhitungan Propagasi *Scouring*

Propagasi *scouring* pada seluruh zona dengan data lingkungan masing-masing dimana OD = 32 in dan e : 50% OD, 80% OD, 100% OD, -1 m, -1.1 m

Zona 1

x	e (m)				
	-0.4564	-0.7302	-0.9128	-1	-1.1
	h (x)				
-4.9311	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-4.8078	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-4.6846	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-4.5613	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-4.438	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-4.3147	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-4.1915	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-4.0682	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.9449	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.8216	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.6983	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.5751	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.4518	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.3285	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.2052	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.082	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.9587	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.8354	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.7121	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.5888	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.4656	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.3423	-0.0034	0.2704	0.453	0.5402	0.6402
-2.219	-0.0134	0.2604	0.443	0.5302	0.6302
-2.0957	-0.0296	0.2442	0.4268	0.514	0.614
-1.9724	-0.0519	0.2219	0.4045	0.4917	0.5917
-1.8492	-0.0795	0.1943	0.3769	0.4641	0.5641
-1.7259	-0.1117	0.1621	0.3447	0.4319	0.5319
-1.6026	-0.1479	0.1259	0.3085	0.3957	0.4957
-1.4793	-0.1872	0.0866	0.2692	0.3564	0.4564
-1.3561	-0.2284	0.0454	0.228	0.3152	0.4152
-1.2328	-0.2707	0.0031	0.1857	0.2729	0.3729
-1.1095	-0.313	-0.0392	0.1434	0.2306	0.3306
-0.9862	-0.3543	-0.0805	0.1021	0.1893	0.2893
-0.8629	-0.3934	-0.1196	0.063	0.1502	0.2502
-0.7397	-0.4296	-0.1558	0.0268	0.114	0.214

	e (m)				
	-0.4564	-0.7302	-0.9128	-1	-1.1
x	h (x)				
-0.6164	-0.4618	-0.188	-0.0054	0.0818	0.1818
-0.4931	-0.4894	-0.2156	-0.033	0.0542	0.1542
-0.3698	-0.5115	-0.2377	-0.0551	0.0321	0.1321
-0.2466	-0.5278	-0.254	-0.0714	0.0158	0.1158
-0.1233	-0.5377	-0.2639	-0.0813	0.0059	0.1059
0	-0.541	-0.2672	-0.0846	0.0026	0.1026
0.1233	-0.5377	-0.2639	-0.0813	0.0059	0.1059
0.2466	-0.5278	-0.254	-0.0714	0.0158	0.1158
0.3698	-0.5115	-0.2377	-0.0551	0.0321	0.1321
0.4931	-0.4894	-0.2156	-0.033	0.0542	0.1542
0.6164	-0.4618	-0.188	-0.0054	0.0818	0.1818
0.7397	-0.4296	-0.1558	0.0268	0.114	0.214
0.8629	-0.3934	-0.1196	0.063	0.1502	0.2502
0.9862	-0.3543	-0.0805	0.1021	0.1893	0.2893
1.1095	-0.313	-0.0392	0.1434	0.2306	0.3306
1.2328	-0.2707	0.0031	0.1857	0.2729	0.3729
1.3561	-0.2284	0.0454	0.228	0.3152	0.4152
1.4793	-0.1872	0.0866	0.2692	0.3564	0.4564
1.6026	-0.1479	0.1259	0.3085	0.3957	0.4957
1.7259	-0.1117	0.1621	0.3447	0.4319	0.5319
1.8492	-0.0795	0.1943	0.3769	0.4641	0.5641
1.9725	-0.0519	0.2219	0.4045	0.4917	0.5917
2.0957	-0.0296	0.2442	0.4268	0.514	0.614
2.219	-0.0134	0.2604	0.443	0.5302	0.6302
2.3423	-0.0034	0.2704	0.453	0.5402	0.6402

Zona 2

x	e (m)				
	-0.4564	-0.7302	-0.9128	-1	-1.1
	h (x)				
-4.1587	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-4.0547	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.9507	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.8468	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.7428	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.6388	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.5349	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.4309	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.3269	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.223	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.119	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.015	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.9111	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.8071	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.7031	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.5992	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.4952	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.3912	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.2873	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.1833	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.0793	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-1.9754	-0.0026	0.2712	0.4538	0.541	0.641
-1.8714	-0.0102	0.2636	0.4462	0.5334	0.6334
-1.7674	-0.0227	0.2511	0.4337	0.5209	0.6209
-1.6635	-0.0398	0.234	0.4166	0.5038	0.6038
-1.5595	-0.061	0.2128	0.3954	0.4826	0.5826
-1.4555	-0.0857	0.1881	0.3707	0.4579	0.5579
-1.3516	-0.1135	0.1603	0.3429	0.4301	0.5301
-1.2476	-0.1436	0.1302	0.3128	0.4	0.5
-1.1436	-0.1752	0.0986	0.2812	0.3684	0.4684
-1.0397	-0.2077	0.0661	0.2487	0.3359	0.4359
-0.9357	-0.2401	0.0337	0.2163	0.3035	0.4035
-0.8317	-0.2717	0.0021	0.1847	0.2719	0.3719
-0.7278	-0.3018	-0.028	0.1546	0.2418	0.3418
-0.6238	-0.3295	-0.0557	0.1269	0.2141	0.3141
-0.5198	-0.3543	-0.0805	0.1021	0.1893	0.2893
-0.4159	-0.3754	-0.1016	0.081	0.1682	0.2682
-0.3119	-0.3924	-0.1186	0.064	0.1512	0.2512

x	e (m)				
	-0.4564	-0.7302	-0.9128	-1	-1.1
	h (x)				
-0.2079	-0.4049	-0.1311	0.0515	0.1387	0.2387
-0.104	-0.4124	-0.1386	0.044	0.1312	0.2312
0	-0.415	-0.1412	0.0414	0.1286	0.2286
0.104	-0.4124	-0.1386	0.044	0.1312	0.2312
0.2079	-0.4049	-0.1311	0.0515	0.1387	0.2387
0.3119	-0.3924	-0.1186	0.064	0.1512	0.2512
0.4159	-0.3754	-0.1016	0.081	0.1682	0.2682
0.5198	-0.3543	-0.0805	0.1021	0.1893	0.2893
0.6238	-0.3295	-0.0557	0.1269	0.2141	0.3141
0.7278	-0.3018	-0.028	0.1546	0.2418	0.3418
0.8317	-0.2717	0.0021	0.1847	0.2719	0.3719
0.9357	-0.2401	0.0337	0.2163	0.3035	0.4035
1.0397	-0.2077	0.0661	0.2487	0.3359	0.4359
1.1436	-0.1752	0.0986	0.2812	0.3684	0.4684
1.2476	-0.1436	0.1302	0.3128	0.4	0.5
1.3516	-0.1135	0.1603	0.3429	0.4301	0.5301
1.4555	-0.0857	0.1881	0.3707	0.4579	0.5579
1.5595	-0.061	0.2128	0.3954	0.4826	0.5826
1.6635	-0.0398	0.234	0.4166	0.5038	0.6038
1.7674	-0.0227	0.2511	0.4337	0.5209	0.6209
1.8714	-0.0102	0.2636	0.4462	0.5334	0.6334
1.9754	-0.0026	0.2712	0.4538	0.541	0.641

Zona 3

x	e (m)				
	-0.4564	-0.7302	-0.9128	-1	-1.1
	h (x)				
-4.0196	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.9191	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.8187	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.7182	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.6177	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.5172	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.4167	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.3162	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.2157	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.1152	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.0147	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.9142	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.8137	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.7133	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.6128	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.5123	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.4118	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.3113	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.2108	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.1103	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.0098	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-1.9093	-0.0032	0.2706	0.4532	0.5404	0.6404
-1.8088	-0.0126	0.2612	0.4438	0.531	0.631
-1.7083	-0.0279	0.2459	0.4285	0.5157	0.6157
-1.6079	-0.0488	0.225	0.4076	0.4948	0.5948
-1.5074	-0.0748	0.199	0.3816	0.4688	0.5688
-1.4069	-0.1051	0.1687	0.3513	0.4385	0.5385
-1.3064	-0.1392	0.1346	0.3172	0.4044	0.5044
-1.2059	-0.1761	0.0977	0.2803	0.3675	0.4675
-1.1054	-0.2149	0.0589	0.2415	0.3287	0.4287
-1.0049	-0.2547	0.0191	0.2017	0.2889	0.3889
-0.9044	-0.2945	-0.0207	0.1619	0.2491	0.3491
-0.8039	-0.3333	-0.0595	0.1231	0.2103	0.3103
-0.7034	-0.3702	-0.0964	0.0862	0.1734	0.2734
-0.6029	-0.4042	-0.1304	0.0522	0.1394	0.2394
-0.5025	-0.4345	-0.1607	0.0219	0.1091	0.2091
-0.402	-0.4604	-0.1866	-0.004	0.0832	0.1832
-0.3015	-0.4813	-0.2075	-0.0249	0.0623	0.1623

	e (m)				
	-0.4564	-0.7302	-0.9128	-1	-1.1
x	h (x)				
-0.201	-0.4966	-0.2228	-0.0402	0.047	0.147
-0.1005	-0.5059	-0.2321	-0.0495	0.0377	0.1377
0	-0.509	-0.2352	-0.0526	0.0346	0.1346
0.1005	-0.5059	-0.2321	-0.0495	0.0377	0.1377
0.201	-0.4966	-0.2228	-0.0402	0.047	0.147
0.3015	-0.4813	-0.2075	-0.0249	0.0623	0.1623
0.402	-0.4604	-0.1866	-0.004	0.0832	0.1832
0.5025	-0.4345	-0.1607	0.0219	0.1091	0.2091
0.6029	-0.4042	-0.1304	0.0522	0.1394	0.2394
0.7034	-0.3702	-0.0964	0.0862	0.1734	0.2734
0.8039	-0.3333	-0.0595	0.1231	0.2103	0.3103
0.9044	-0.2945	-0.0207	0.1619	0.2491	0.3491
1.0049	-0.2547	0.0191	0.2017	0.2889	0.3889
1.1054	-0.2149	0.0589	0.2415	0.3287	0.4287
1.2059	-0.1761	0.0977	0.2803	0.3675	0.4675
1.3064	-0.1392	0.1346	0.3172	0.4044	0.5044
1.4069	-0.1051	0.1687	0.3513	0.4385	0.5385
1.5074	-0.0748	0.199	0.3816	0.4688	0.5688
1.6079	-0.0488	0.225	0.4076	0.4948	0.5948
1.7083	-0.0279	0.2459	0.4285	0.5157	0.6157
1.8088	-0.0126	0.2612	0.4438	0.531	0.631
1.9093	-0.0032	0.2706	0.4532	0.5404	0.6404

Zona 17

x	e (m)				
	-0.4564	-0.7302	-0.9128	-1	-1.1
	h (x)				
-4.004	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.9039	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.8038	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.7037	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.6036	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.5035	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.4034	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.3033	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.2032	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.1031	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-3.003	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.9029	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.8028	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.7027	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.6026	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.5025	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.4024	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.3023	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.2022	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.1021	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-2.002	0	0.2738	0.4564	0.5436	0.6436
-1.9019	-0.0024	0.2714	0.454	0.5412	0.6412
-1.8018	-0.0096	0.2642	0.4468	0.534	0.634
-1.7017	-0.0214	0.2524	0.435	0.5222	0.6222
-1.6016	-0.0374	0.2364	0.419	0.5062	0.6062
-1.5015	-0.0573	0.2165	0.3991	0.4863	0.5863
-1.4014	-0.0806	0.1932	0.3758	0.463	0.563
-1.3013	-0.1067	0.1671	0.3497	0.4369	0.5369
-1.2012	-0.1349	0.1389	0.3215	0.4087	0.5087
-1.1011	-0.1647	0.1091	0.2917	0.3789	0.4789
-1.001	-0.1952	0.0786	0.2612	0.3484	0.4484
-0.9009	-0.2256	0.0482	0.2308	0.318	0.418
-0.8008	-0.2554	0.0184	0.201	0.2882	0.3882
-0.7007	-0.2836	-0.0098	0.1728	0.26	0.36
-0.6006	-0.3097	-0.0359	0.1467	0.2339	0.3339
-0.5005	-0.3329	-0.0591	0.1235	0.2107	0.3107
-0.4004	-0.3528	-0.079	0.1036	0.1908	0.2908
-0.3003	-0.3688	-0.095	0.0876	0.1748	0.2748

	e (m)				
	-0.4564	-0.7302	-0.9128	-1	-1.1
x	h (x)				
-0.2002	-0.3805	-0.1067	0.0759	0.1631	0.2631
-0.1001	-0.3876	-0.1138	0.0688	0.156	0.256
0	-0.39	-0.1162	0.0664	0.1536	0.2536
0.1001	-0.3876	-0.1138	0.0688	0.156	0.256
0.2002	-0.3805	-0.1067	0.0759	0.1631	0.2631
0.3003	-0.3688	-0.095	0.0876	0.1748	0.2748
0.4004	-0.3528	-0.079	0.1036	0.1908	0.2908
0.5005	-0.3329	-0.0591	0.1235	0.2107	0.3107
0.6006	-0.3097	-0.0359	0.1467	0.2339	0.3339
0.7007	-0.2836	-0.0098	0.1728	0.26	0.36
0.8008	-0.2554	0.0184	0.201	0.2882	0.3882
0.9009	-0.2256	0.0482	0.2308	0.318	0.418
1.001	-0.1952	0.0786	0.2612	0.3484	0.4484
1.1011	-0.1647	0.1091	0.2917	0.3789	0.4789
1.2012	-0.1349	0.1389	0.3215	0.4087	0.5087
1.3013	-0.1067	0.1671	0.3497	0.4369	0.5369
1.4014	-0.0806	0.1932	0.3758	0.463	0.563
1.5015	-0.0573	0.2165	0.3991	0.4863	0.5863
1.6016	-0.0374	0.2364	0.419	0.5062	0.6062
1.7017	-0.0214	0.2524	0.435	0.5222	0.6222
1.8018	-0.0096	0.2642	0.4468	0.534	0.634
1.9019	-0.0024	0.2714	0.454	0.5412	0.6412

LAMPIRAN B

Perhitungan Propagasi *Scouring* dengan Variasi OD

Propagasi *Scouring* pada Zona 1 KP 9.15 dengan Variasi OD

$OD = 28 \text{ in}$

x	e (m)				
	-0.4056	-0.6490	-0.8112	-1	-1.1
	h (x)				
-4.7316	0	0.2434	0.4056	0.5944	0.6944
-4.6133	0	0.2434	0.4056	0.5944	0.6944
-4.495	0	0.2434	0.4056	0.5944	0.6944
-4.3767	0	0.2434	0.4056	0.5944	0.6944
-4.2585	0	0.2434	0.4056	0.5944	0.6944
-4.1402	0	0.2434	0.4056	0.5944	0.6944
-4.0219	0	0.2434	0.4056	0.5944	0.6944
-3.9036	0	0.2434	0.4056	0.5944	0.6944
-3.7853	0	0.2434	0.4056	0.5944	0.6944
-3.667	0	0.2434	0.4056	0.5944	0.6944
-3.5487	0	0.2434	0.4056	0.5944	0.6944
-3.4304	0	0.2434	0.4056	0.5944	0.6944
-3.3121	0	0.2434	0.4056	0.5944	0.6944
-3.1938	0	0.2434	0.4056	0.5944	0.6944
-3.0755	0	0.2434	0.4056	0.5944	0.6944
-2.9573	0	0.2434	0.4056	0.5944	0.6944
-2.839	0	0.2434	0.4056	0.5944	0.6944
-2.7207	0	0.2434	0.4056	0.5944	0.6944
-2.6024	0	0.2434	0.4056	0.5944	0.6944
-2.4841	0	0.2434	0.4056	0.5944	0.6944
-2.3658	0	0.2434	0.4056	0.5944	0.6944
-2.2475	-0.0033	0.2401	0.4023	0.5911	0.6911
-2.1292	-0.013	0.2304	0.3926	0.5814	0.6814
-2.0109	-0.0288	0.2146	0.3768	0.5656	0.6656
-1.8926	-0.0504	0.193	0.3552	0.544	0.644
-1.7744	-0.0773	0.1661	0.3283	0.5171	0.6171
-1.6561	-0.1087	0.1347	0.2969	0.4857	0.5857
-1.5378	-0.1438	0.0996	0.2618	0.4506	0.5506
-1.4195	-0.182	0.0614	0.2236	0.4124	0.5124
-1.3012	-0.2221	0.0213	0.1835	0.3723	0.4723
-1.1829	-0.2632	-0.0198	0.1424	0.3312	0.4312
-1.0646	-0.3043	-0.0609	0.1013	0.2901	0.3901
-0.9463	-0.3444	-0.101	0.0612	0.25	0.35
-0.828	-0.3825	-0.1391	0.0231	0.2119	0.3119
-0.7097	-0.4177	-0.1743	-0.0121	0.1767	0.2767
-0.5914	-0.449	-0.2056	-0.0434	0.1454	0.2454

	e (m)				
	-0.4056	-0.6490	-0.8112	-1	-1.1
x	h (x)				
-0.4732	-0.4758	-0.2324	-0.0702	0.1186	0.2186
-0.3549	-0.4974	-0.254	-0.0918	0.097	0.197
-0.2366	-0.5131	-0.2697	-0.1075	0.0813	0.1813
-0.1183	-0.5228	-0.2794	-0.1172	0.0716	0.1716
0	-0.526	-0.2826	-0.1204	0.0684	0.1684
0.1183	-0.5228	-0.2794	-0.1172	0.0716	0.1716
0.2366	-0.5131	-0.2697	-0.1075	0.0813	0.1813
0.3549	-0.4974	-0.254	-0.0918	0.097	0.197
0.4732	-0.4758	-0.2324	-0.0702	0.1186	0.2186
0.5915	-0.449	-0.2056	-0.0434	0.1454	0.2454
0.7097	-0.4177	-0.1743	-0.0121	0.1767	0.2767
0.828	-0.3825	-0.1391	0.0231	0.2119	0.3119
0.9463	-0.3444	-0.101	0.0612	0.25	0.35
1.0646	-0.3043	-0.0609	0.1013	0.2901	0.3901
1.1829	-0.2632	-0.0198	0.1424	0.3312	0.4312
1.3012	-0.2221	0.0213	0.1835	0.3723	0.4723
1.4195	-0.182	0.0614	0.2236	0.4124	0.5124
1.5378	-0.1438	0.0996	0.2618	0.4506	0.5506
1.6561	-0.1086	0.1348	0.297	0.4858	0.5858
1.7744	-0.0773	0.1661	0.3283	0.5171	0.6171
1.8926	-0.0504	0.193	0.3552	0.544	0.644
2.0109	-0.0288	0.2146	0.3768	0.5656	0.6656
2.1292	-0.013	0.2304	0.3926	0.5814	0.6814
2.2475	-0.0033	0.2401	0.4023	0.5911	0.6911

OD = 30 in

x	e (m)				
	-0.4310	-0.6896	-0.862	-1	-1.1
x	h (x)				
-4.8333	0	0.2586	0.431	0.569	0.669
-4.7124	0	0.2586	0.431	0.569	0.669
-4.5916	0	0.2586	0.431	0.569	0.669
-4.4708	0	0.2586	0.431	0.569	0.669
-4.35	0	0.2586	0.431	0.569	0.669
-4.2291	0	0.2586	0.431	0.569	0.669
-4.1083	0	0.2586	0.431	0.569	0.669
-3.9875	0	0.2586	0.431	0.569	0.669
-3.8666	0	0.2586	0.431	0.569	0.669
-3.7458	0	0.2586	0.431	0.569	0.669
-3.625	0	0.2586	0.431	0.569	0.669
-3.5041	0	0.2586	0.431	0.569	0.669
-3.3833	0	0.2586	0.431	0.569	0.669
-3.2625	0	0.2586	0.431	0.569	0.669
-3.1416	0	0.2586	0.431	0.569	0.669
-3.0208	0	0.2586	0.431	0.569	0.669
-2.9	0	0.2586	0.431	0.569	0.669
-2.7791	0	0.2586	0.431	0.569	0.669
-2.6583	0	0.2586	0.431	0.569	0.669
-2.5375	0	0.2586	0.431	0.569	0.669
-2.4166	0	0.2586	0.431	0.569	0.669
-2.2958	-0.0034	0.2552	0.4276	0.5656	0.6656
-2.175	-0.0132	0.2454	0.4178	0.5558	0.6558
-2.0541	-0.0293	0.2293	0.4017	0.5397	0.6397
-1.9333	-0.0512	0.2074	0.3798	0.5178	0.6178
-1.8125	-0.0784	0.1802	0.3526	0.4906	0.5906
-1.6916	-0.1103	0.1483	0.3207	0.4587	0.5587
-1.5708	-0.146	0.1126	0.285	0.423	0.523
-1.45	-0.1847	0.0739	0.2463	0.3843	0.4843
-1.3292	-0.2255	0.0331	0.2055	0.3435	0.4435
-1.2083	-0.2672	-0.0086	0.1638	0.3018	0.4018
-1.0875	-0.309	-0.0504	0.122	0.26	0.36
-0.9667	-0.3497	-0.0911	0.0813	0.2193	0.3193
-0.8458	-0.3883	-0.1297	0.0427	0.1807	0.2807
-0.725	-0.424	-0.1654	0.007	0.145	0.245
-0.6042	-0.4559	-0.1973	-0.0249	0.1131	0.2131
-0.4833	-0.4831	-0.2245	-0.0521	0.0859	0.1859
-0.3625	-0.5049	-0.2463	-0.0739	0.0641	0.1641

	e (m)				
	-0.4310	-0.6896	-0.862	-1	-1.1
x	h (x)				
-0.2417	-0.5209	-0.2623	-0.0899	0.0481	0.1481
-0.1208	-0.5307	-0.2721	-0.0997	0.0383	0.1383
0	-0.534	-0.2754	-0.103	0.035	0.135
0.1208	-0.5307	-0.2721	-0.0997	0.0383	0.1383
0.2417	-0.5209	-0.2623	-0.0899	0.0481	0.1481
0.3625	-0.5049	-0.2463	-0.0739	0.0641	0.1641
0.4833	-0.4831	-0.2245	-0.0521	0.0859	0.1859
0.6042	-0.4559	-0.1973	-0.0249	0.1131	0.2131
0.725	-0.424	-0.1654	0.007	0.145	0.245
0.8458	-0.3883	-0.1297	0.0427	0.1807	0.2807
0.9667	-0.3497	-0.0911	0.0813	0.2193	0.3193
1.0875	-0.309	-0.0504	0.122	0.26	0.36
1.2083	-0.2672	-0.0086	0.1638	0.3018	0.4018
1.3292	-0.2255	0.0331	0.2055	0.3435	0.4435
1.45	-0.1847	0.0739	0.2463	0.3843	0.4843
1.5708	-0.146	0.1126	0.285	0.423	0.523
1.6916	-0.1103	0.1483	0.3207	0.4587	0.5587
1.8125	-0.0784	0.1802	0.3526	0.4906	0.5906
1.9333	-0.0512	0.2074	0.3798	0.5178	0.6178
2.0541	-0.0293	0.2293	0.4017	0.5397	0.6397
2.175	-0.0132	0.2454	0.4178	0.5558	0.6558
2.2958	-0.0034	0.2552	0.4276	0.5656	0.6656

$OD = 34 \text{ in}$

x	e (m)				
	-0.4818	-0.7709	-0.9636	-1	-1.1
x	h (x)				
-5.0255	0	0.2891	0.4818	0.5182	0.6182
-4.8999	0	0.2891	0.4818	0.5182	0.6182
-4.7742	0	0.2891	0.4818	0.5182	0.6182
-4.6486	0	0.2891	0.4818	0.5182	0.6182
-4.5229	0	0.2891	0.4818	0.5182	0.6182
-4.3973	0	0.2891	0.4818	0.5182	0.6182
-4.2717	0	0.2891	0.4818	0.5182	0.6182
-4.146	0	0.2891	0.4818	0.5182	0.6182
-4.0204	0	0.2891	0.4818	0.5182	0.6182
-3.8948	0	0.2891	0.4818	0.5182	0.6182
-3.7691	0	0.2891	0.4818	0.5182	0.6182
-3.6435	0	0.2891	0.4818	0.5182	0.6182
-3.5178	0	0.2891	0.4818	0.5182	0.6182
-3.3922	0	0.2891	0.4818	0.5182	0.6182
-3.2666	0	0.2891	0.4818	0.5182	0.6182
-3.1409	0	0.2891	0.4818	0.5182	0.6182
-3.0153	0	0.2891	0.4818	0.5182	0.6182
-2.8897	0	0.2891	0.4818	0.5182	0.6182
-2.764	0	0.2891	0.4818	0.5182	0.6182
-2.6384	0	0.2891	0.4818	0.5182	0.6182
-2.5127	0	0.2891	0.4818	0.5182	0.6182
-2.3871	-0.0034	0.2857	0.4784	0.5148	0.6148
-2.2615	-0.0135	0.2756	0.4683	0.5047	0.6047
-2.1358	-0.03	0.2591	0.4518	0.4882	0.5882
-2.0102	-0.0525	0.2366	0.4293	0.4657	0.5657
-1.8846	-0.0805	0.2086	0.4013	0.4377	0.5377
-1.7589	-0.1132	0.1759	0.3686	0.405	0.505
-1.6333	-0.1499	0.1392	0.3319	0.3683	0.4683
-1.5076	-0.1896	0.0995	0.2922	0.3286	0.4286
-1.382	-0.2314	0.0577	0.2504	0.2868	0.3868
-1.2564	-0.2742	0.0149	0.2076	0.244	0.344
-1.1307	-0.3171	-0.028	0.1647	0.2011	0.3011
-1.0051	-0.3588	-0.0697	0.123	0.1594	0.2594
-0.8795	-0.3985	-0.1094	0.0833	0.1197	0.2197
-0.7538	-0.4352	-0.1461	0.0466	0.083	0.183
-0.6282	-0.4678	-0.1787	0.014	0.0504	0.1504
-0.5025	-0.4957	-0.2066	-0.0139	0.0225	0.1225
-0.3769	-0.5182	-0.2291	-0.0364	0	0.1

x	e (m)				
	-0.4818	-0.7709	-0.9636	-1	-1.1
	h (x)				
-0.2513	-0.5346	-0.2455	-0.0528	-0.0164	0.0836
-0.1256	-0.5446	-0.2555	-0.0628	-0.0264	0.0736
0	-0.548	-0.2589	-0.0662	-0.0298	0.0702
0.1256	-0.5446	-0.2555	-0.0628	-0.0264	0.0736
0.2513	-0.5346	-0.2455	-0.0528	-0.0164	0.0836
0.3769	-0.5182	-0.2291	-0.0364	0	0.1
0.5025	-0.4957	-0.2066	-0.0139	0.0225	0.1225
0.6282	-0.4678	-0.1787	0.014	0.0504	0.1504
0.7538	-0.4352	-0.1461	0.0466	0.083	0.183
0.8795	-0.3985	-0.1094	0.0833	0.1197	0.2197
1.0051	-0.3588	-0.0697	0.123	0.1594	0.2594
1.1307	-0.3171	-0.028	0.1647	0.2011	0.3011
1.2564	-0.2742	0.0149	0.2076	0.244	0.344
1.382	-0.2314	0.0577	0.2504	0.2868	0.3868
1.5076	-0.1896	0.0995	0.2922	0.3286	0.4286
1.6333	-0.1499	0.1392	0.3319	0.3683	0.4683
1.7589	-0.1132	0.1759	0.3686	0.405	0.505
1.8846	-0.0805	0.2086	0.4013	0.4377	0.5377
2.0102	-0.0525	0.2366	0.4293	0.4657	0.5657
2.1358	-0.03	0.2591	0.4518	0.4882	0.5882
2.2615	-0.0135	0.2756	0.4683	0.5047	0.6047
2.3871	-0.0034	0.2857	0.4784	0.5148	0.6148

OD = 36 in

x	e (m)				
	-0.5072	-0.8115	-1	-1.0144	-1.1
x	h (x)				
-5.1167	0	0.3043	0.4928	0.5072	0.5928
-4.9888	0	0.3043	0.4928	0.5072	0.5928
-4.8608	0	0.3043	0.4928	0.5072	0.5928
-4.7329	0	0.3043	0.4928	0.5072	0.5928
-4.605	0	0.3043	0.4928	0.5072	0.5928
-4.4771	0	0.3043	0.4928	0.5072	0.5928
-4.3492	0	0.3043	0.4928	0.5072	0.5928
-4.2213	0	0.3043	0.4928	0.5072	0.5928
-4.0933	0	0.3043	0.4928	0.5072	0.5928
-3.9654	0	0.3043	0.4928	0.5072	0.5928
-3.8375	0	0.3043	0.4928	0.5072	0.5928
-3.7096	0	0.3043	0.4928	0.5072	0.5928
-3.5817	0	0.3043	0.4928	0.5072	0.5928
-3.4538	0	0.3043	0.4928	0.5072	0.5928
-3.3258	0	0.3043	0.4928	0.5072	0.5928
-3.1979	0	0.3043	0.4928	0.5072	0.5928
-3.07	0	0.3043	0.4928	0.5072	0.5928
-2.9421	0	0.3043	0.4928	0.5072	0.5928
-2.8142	0	0.3043	0.4928	0.5072	0.5928
-2.6863	0	0.3043	0.4928	0.5072	0.5928
-2.5583	0	0.3043	0.4928	0.5072	0.5928
-2.4304	-0.0035	0.3008	0.4893	0.5037	0.5893
-2.3025	-0.0137	0.2906	0.4791	0.4935	0.5791
-2.1746	-0.0304	0.2739	0.4624	0.4768	0.5624
-2.0467	-0.0532	0.2511	0.4396	0.454	0.5396
-1.9188	-0.0815	0.2228	0.4113	0.4257	0.5113
-1.7908	-0.1146	0.1897	0.3782	0.3926	0.4782
-1.6629	-0.1518	0.1525	0.341	0.3554	0.441
-1.535	-0.192	0.1123	0.3008	0.3152	0.4008
-1.4071	-0.2343	0.07	0.2585	0.2729	0.3585
-1.2792	-0.2777	0.0266	0.2151	0.2295	0.3151
-1.1513	-0.3211	-0.0168	0.1717	0.1861	0.2717
-1.0233	-0.3634	-0.0591	0.1294	0.1438	0.2294
-0.8954	-0.4036	-0.0993	0.0892	0.1036	0.1892
-0.7675	-0.4407	-0.1364	0.0521	0.0665	0.1521
-0.6396	-0.4738	-0.1695	0.019	0.0334	0.119
-0.5117	-0.5021	-0.1978	-0.0093	0.0051	0.0907
-0.3838	-0.5248	-0.2205	-0.032	-0.0176	0.068

	e (m)				
	-0.5072	-0.8115	-1	-1.0144	-1.1
x	h (x)				
-0.2558	-0.5414	-0.2371	-0.0486	-0.0342	0.0514
-0.1279	-0.5516	-0.2473	-0.0588	-0.0444	0.0412
0	-0.555	-0.2507	-0.0622	-0.0478	0.0378
0.1279	-0.5516	-0.2473	-0.0588	-0.0444	0.0412
0.2558	-0.5414	-0.2371	-0.0486	-0.0342	0.0514
0.3837	-0.5248	-0.2205	-0.032	-0.0176	0.068
0.5117	-0.5021	-0.1978	-0.0093	0.0051	0.0907
0.6396	-0.4738	-0.1695	0.019	0.0334	0.119
0.7675	-0.4407	-0.1364	0.0521	0.0665	0.1521
0.8954	-0.4036	-0.0993	0.0892	0.1036	0.1892
1.0233	-0.3634	-0.0591	0.1294	0.1438	0.2294
1.1513	-0.3211	-0.0168	0.1717	0.1861	0.2717
1.2792	-0.2777	0.0266	0.2151	0.2295	0.3151
1.4071	-0.2343	0.07	0.2585	0.2729	0.3585
1.535	-0.192	0.1123	0.3008	0.3152	0.4008
1.6629	-0.1518	0.1525	0.341	0.3554	0.441
1.7908	-0.1146	0.1897	0.3782	0.3926	0.4782
1.9188	-0.0815	0.2228	0.4113	0.4257	0.5113
2.0467	-0.0532	0.2511	0.4396	0.454	0.5396
2.1746	-0.0304	0.2739	0.4624	0.4768	0.5624
2.3025	-0.0137	0.2906	0.4791	0.4935	0.5791
2.4304	-0.0035	0.3008	0.4893	0.5037	0.5893

LAMPIRAN C

Perhitungan Laju Propagasi *Scouring* dengan Variasi e (*Gap Ratio*)

Laju Propagasi *Scouring* pada Zona 1 KP 9.15 dengan Variasi e (*gap ratio*)

$e = -0.4564 m$

x	h(x,t)				
	5 sec	10 sec	15 sec	30 sec	45 sec
-4.9311	0	0	0	0	0
-4.8078	0	0	0	0	0
-4.6846	0	0	0	0	0
-4.5613	0	0	0	0	0
-4.438	0	0	0	0	0
-4.3147	0	0	0	0	0
-4.1915	0	0	0	0	0
-4.0682	0	0	0	0	0
-3.9449	0	0	0	0	0
-3.8216	0	0	0	0	0
-3.6983	0	0	0	0	0
-3.5751	0	0	0	0	0
-3.4518	0	0	0	0	0
-3.3285	0	0	0	0	0
-3.2052	0	0	0	0	0
-3.082	0	0	0	0	0
-2.9587	0	0	0	0	0
-2.8354	0	0	0	0	0
-2.7121	0	0	0	0	0
-2.5888	0	0	0	0	0
-2.4656	0	0	0	0	0
-2.3423	-0.002	-0.0028	-0.0032	-0.0034	-0.0034
-2.219	-0.0079	-0.0111	-0.0124	-0.0133	-0.0134
-2.0957	-0.0174	-0.0246	-0.0276	-0.0295	-0.0296
-1.9724	-0.0305	-0.043	-0.0482	-0.0516	-0.0519
-1.8492	-0.0467	-0.0659	-0.0739	-0.079	-0.0795
-1.7259	-0.0657	-0.0927	-0.1039	-0.1111	-0.1117
-1.6026	-0.087	-0.1228	-0.1376	-0.1471	-0.1479
-1.4793	-0.11	-0.1553	-0.174	-0.1861	-0.1872
-1.3561	-0.1343	-0.1896	-0.2124	-0.2272	-0.2284
-1.2328	-0.1591	-0.2247	-0.2517	-0.2692	-0.2707
-1.1095	-0.184	-0.2598	-0.291	-0.3113	-0.313
-0.9862	-0.2082	-0.294	-0.3294	-0.3523	-0.3543
-0.8629	-0.2313	-0.3265	-0.3658	-0.3913	-0.3934
-0.7397	-0.2525	-0.3565	-0.3994	-0.4272	-0.4296
-0.6164	-0.2715	-0.3833	-0.4294	-0.4593	-0.4618
-0.4931	-0.2877	-0.4062	-0.455	-0.4867	-0.4894

x	h(x,t)				
	5 sec	10 sec	15 sec	30 sec	45 sec
-0.3698	-0.3007	-0.4246	-0.4756	-0.5087	-0.5115
-0.2466	-0.3102	-0.438	-0.4907	-0.5248	-0.5278
-0.1233	-0.316	-0.4462	-0.4999	-0.5347	-0.5377
0	-0.318	-0.449	-0.503	-0.538	-0.541
0.1233	-0.316	-0.4462	-0.4999	-0.5347	-0.5377
0.2466	-0.3102	-0.438	-0.4907	-0.5248	-0.5278
0.3698	-0.3007	-0.4246	-0.4756	-0.5087	-0.5115
0.4931	-0.2877	-0.4062	-0.455	-0.4867	-0.4894
0.6164	-0.2715	-0.3833	-0.4294	-0.4593	-0.4618
0.7397	-0.2525	-0.3565	-0.3994	-0.4272	-0.4296
0.8629	-0.2313	-0.3265	-0.3658	-0.3913	-0.3934
0.9862	-0.2082	-0.294	-0.3294	-0.3523	-0.3543
1.1095	-0.184	-0.2598	-0.291	-0.3113	-0.313
1.2328	-0.1591	-0.2247	-0.2517	-0.2692	-0.2707
1.3561	-0.1343	-0.1896	-0.2124	-0.2272	-0.2284
1.4793	-0.11	-0.1553	-0.174	-0.1861	-0.1872
1.6026	-0.087	-0.1228	-0.1376	-0.1471	-0.1479
1.7259	-0.0657	-0.0927	-0.1039	-0.1111	-0.1117
1.8492	-0.0467	-0.0659	-0.0739	-0.079	-0.0795
1.9725	-0.0305	-0.043	-0.0482	-0.0516	-0.0519
2.0957	-0.0174	-0.0246	-0.0276	-0.0295	-0.0296
2.219	-0.0079	-0.0111	-0.0124	-0.0133	-0.0134
2.3423	-0.002	-0.0028	-0.0032	-0.0034	-0.0034

$$e = -0.7302 \text{ m}$$

x	h(x,t)				
	5 sec	10 sec	15 sec	30 sec	45 sec
-4.9311	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738
-4.8078	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738
-4.6846	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738
-4.5613	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738
-4.438	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738
-4.3147	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738
-4.1915	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738
-4.0682	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738
-3.9449	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738
-3.8216	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738
-3.6983	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738
-3.5751	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738
-3.4518	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738
-3.3285	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738
-3.2052	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738
-3.082	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738
-2.9587	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738
-2.8354	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738
-2.7121	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738
-2.5888	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738
-2.4656	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738	0.2738
-2.3423	0.2718	0.271	0.2706	0.2704	0.2704
-2.219	0.2659	0.2627	0.2614	0.2605	0.2604
-2.0957	0.2564	0.2492	0.2462	0.2443	0.2442
-1.9724	0.2433	0.2308	0.2256	0.2222	0.2219
-1.8492	0.2271	0.2079	0.1999	0.1948	0.1943
-1.7259	0.2081	0.1811	0.1699	0.1627	0.1621
-1.6026	0.1868	0.151	0.1362	0.1267	0.1259
-1.4793	0.1638	0.1185	0.0998	0.0877	0.0866
-1.3561	0.1395	0.0842	0.0614	0.0466	0.0454
-1.2328	0.1147	0.0491	0.0221	0.0046	0.0031
-1.1095	0.0898	0.014	-0.0172	-0.0375	-0.0392
-0.9862	0.0656	-0.0202	-0.0556	-0.0785	-0.0805
-0.8629	0.0425	-0.0527	-0.092	-0.1175	-0.1196
-0.7397	0.0213	-0.0827	-0.1256	-0.1534	-0.1558
-0.6164	0.0023	-0.1095	-0.1556	-0.1855	-0.188
-0.4931	-0.0139	-0.1324	-0.1812	-0.2129	-0.2156
-0.3698	-0.0269	-0.1508	-0.2018	-0.2349	-0.2377
-0.2466	-0.0364	-0.1642	-0.2169	-0.251	-0.254

x	h(x,t)				
	5 sec	10 sec	15 sec	30 sec	45 sec
-0.1233	-0.0422	-0.1724	-0.2261	-0.2609	-0.2639
0	-0.0442	-0.1752	-0.2292	-0.2642	-0.2672
0.1233	-0.0422	-0.1724	-0.2261	-0.2609	-0.2639
0.2466	-0.0364	-0.1642	-0.2169	-0.251	-0.254
0.3698	-0.0269	-0.1508	-0.2018	-0.2349	-0.2377
0.4931	-0.0139	-0.1324	-0.1812	-0.2129	-0.2156
0.6164	0.0023	-0.1095	-0.1556	-0.1855	-0.188
0.7397	0.0213	-0.0827	-0.1256	-0.1534	-0.1558
0.8629	0.0425	-0.0527	-0.092	-0.1175	-0.1196
0.9862	0.0656	-0.0202	-0.0556	-0.0785	-0.0805
1.1095	0.0898	0.014	-0.0172	-0.0375	-0.0392
1.2328	0.1147	0.0491	0.0221	0.0046	0.0031
1.3561	0.1395	0.0842	0.0614	0.0466	0.0454
1.4793	0.1638	0.1185	0.0998	0.0877	0.0866
1.6026	0.1868	0.151	0.1362	0.1267	0.1259
1.7259	0.2081	0.1811	0.1699	0.1627	0.1621
1.8492	0.2271	0.2079	0.1999	0.1948	0.1943
1.9725	0.2433	0.2308	0.2256	0.2222	0.2219
2.0957	0.2564	0.2492	0.2462	0.2443	0.2442
2.219	0.2659	0.2627	0.2614	0.2605	0.2604
2.3423	0.2718	0.271	0.2706	0.2704	0.2704

$$e = -0.9128$$

x	h(x,t)				
	5 sec	10 sec	15 sec	30 sec	45 sec
-4.9311	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564
-4.8078	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564
-4.6846	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564
-4.5613	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564
-4.438	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564
-4.3147	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564
-4.1915	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564
-4.0682	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564
-3.9449	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564
-3.8216	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564
-3.6983	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564
-3.5751	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564
-3.4518	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564
-3.3285	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564
-3.2052	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564
-3.082	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564
-2.9587	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564
-2.8354	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564
-2.7121	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564
-2.5888	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564
-2.4656	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564	0.4564
-2.3423	0.4544	0.4536	0.4532	0.453	0.453
-2.219	0.4485	0.4453	0.444	0.4431	0.443
-2.0957	0.439	0.4318	0.4288	0.4269	0.4268
-1.9724	0.4259	0.4134	0.4082	0.4048	0.4045
-1.8492	0.4097	0.3905	0.3825	0.3774	0.3769
-1.7259	0.3907	0.3637	0.3525	0.3453	0.3447
-1.6026	0.3694	0.3336	0.3188	0.3093	0.3085
-1.4793	0.3464	0.3011	0.2824	0.2703	0.2692
-1.3561	0.3221	0.2668	0.244	0.2292	0.228
-1.2328	0.2973	0.2317	0.2047	0.1872	0.1857
-1.1095	0.2724	0.1966	0.1654	0.1451	0.1434
-0.9862	0.2482	0.1624	0.127	0.1041	0.1021
-0.8629	0.2251	0.1299	0.0906	0.0651	0.063
-0.7397	0.2039	0.0999	0.057	0.0292	0.0268
-0.6164	0.1849	0.0731	0.027	-0.0029	-0.0054
-0.4931	0.1687	0.0502	0.0014	-0.0303	-0.033
-0.3698	0.1557	0.0318	-0.0192	-0.0523	-0.0551
-0.2466	0.1462	0.0184	-0.0343	-0.0684	-0.0714

x	h(x,t)				
	5 sec	10 sec	15 sec	30 sec	45 sec
-0.1233	0.1404	0.0102	-0.0435	-0.0783	-0.0813
0	0.1384	0.0074	-0.0466	-0.0816	-0.0846
0.1233	0.1404	0.0102	-0.0435	-0.0783	-0.0813
0.2466	0.1462	0.0184	-0.0343	-0.0684	-0.0714
0.3698	0.1557	0.0318	-0.0192	-0.0523	-0.0551
0.4931	0.1687	0.0502	0.0014	-0.0303	-0.033
0.6164	0.1849	0.0731	0.027	-0.0029	-0.0054
0.7397	0.2039	0.0999	0.057	0.0292	0.0268
0.8629	0.2251	0.1299	0.0906	0.0651	0.063
0.9862	0.2482	0.1624	0.127	0.1041	0.1021
1.1095	0.2724	0.1966	0.1654	0.1451	0.1434
1.2328	0.2973	0.2317	0.2047	0.1872	0.1857
1.3561	0.3221	0.2668	0.244	0.2292	0.228
1.4793	0.3464	0.3011	0.2824	0.2703	0.2692
1.6026	0.3694	0.3336	0.3188	0.3093	0.3085
1.7259	0.3907	0.3637	0.3525	0.3453	0.3447
1.8492	0.4097	0.3905	0.3825	0.3774	0.3769
1.9725	0.4259	0.4134	0.4082	0.4048	0.4045
2.0957	0.439	0.4318	0.4288	0.4269	0.4268
2.219	0.4485	0.4453	0.444	0.4431	0.443
2.3423	0.4544	0.4536	0.4532	0.453	0.453

$$e = -1 \text{ m}$$

x	h(x,t)				
	5 sec	10 sec	15 sec	30 sec	45 sec
-4.9311	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436
-4.8078	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436
-4.6846	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436
-4.5613	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436
-4.438	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436
-4.3147	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436
-4.1915	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436
-4.0682	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436
-3.9449	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436
-3.8216	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436
-3.6983	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436
-3.5751	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436
-3.4518	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436
-3.3285	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436
-3.2052	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436
-3.082	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436
-2.9587	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436
-2.8354	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436
-2.7121	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436
-2.5888	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436
-2.4656	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436	0.5436
-2.3423	0.5416	0.5408	0.5404	0.5402	0.5402
-2.219	0.5357	0.5325	0.5312	0.5303	0.5302
-2.0957	0.5262	0.519	0.516	0.5141	0.514
-1.9724	0.5131	0.5006	0.4954	0.492	0.4917
-1.8492	0.4969	0.4777	0.4697	0.4646	0.4641
-1.7259	0.4779	0.4509	0.4397	0.4325	0.4319
-1.6026	0.4566	0.4208	0.406	0.3965	0.3957
-1.4793	0.4336	0.3883	0.3696	0.3575	0.3564
-1.3561	0.4093	0.354	0.3312	0.3164	0.3152
-1.2328	0.3845	0.3189	0.2919	0.2744	0.2729
-1.1095	0.3596	0.2838	0.2526	0.2323	0.2306
-0.9862	0.3354	0.2496	0.2142	0.1913	0.1893
-0.8629	0.3123	0.2171	0.1778	0.1523	0.1502
-0.7397	0.2911	0.1871	0.1442	0.1164	0.114
-0.6164	0.2721	0.1603	0.1142	0.0843	0.0818
-0.4931	0.2559	0.1374	0.0886	0.0569	0.0542
-0.3698	0.2429	0.119	0.068	0.0349	0.0321
-0.2466	0.2334	0.1056	0.0529	0.0188	0.0158

x	h(x,t)				
	5 sec	10 sec	15 sec	30 sec	45 sec
-0.1233	0.2276	0.0974	0.0437	0.0089	0.0059
0	0.2256	0.0946	0.0406	0.0056	0.0026
0.1233	0.2276	0.0974	0.0437	0.0089	0.0059
0.2466	0.2334	0.1056	0.0529	0.0188	0.0158
0.3698	0.2429	0.119	0.068	0.0349	0.0321
0.4931	0.2559	0.1374	0.0886	0.0569	0.0542
0.6164	0.2721	0.1603	0.1142	0.0843	0.0818
0.7397	0.2911	0.1871	0.1442	0.1164	0.114
0.8629	0.3123	0.2171	0.1778	0.1523	0.1502
0.9862	0.3354	0.2496	0.2142	0.1913	0.1893
1.1095	0.3596	0.2838	0.2526	0.2323	0.2306
1.2328	0.3845	0.3189	0.2919	0.2744	0.2729
1.3561	0.4093	0.354	0.3312	0.3164	0.3152
1.4793	0.4336	0.3883	0.3696	0.3575	0.3564
1.6026	0.4566	0.4208	0.406	0.3965	0.3957
1.7259	0.4779	0.4509	0.4397	0.4325	0.4319
1.8492	0.4969	0.4777	0.4697	0.4646	0.4641
1.9725	0.5131	0.5006	0.4954	0.492	0.4917
2.0957	0.5262	0.519	0.516	0.5141	0.514
2.219	0.5357	0.5325	0.5312	0.5303	0.5302
2.3423	0.5416	0.5408	0.5404	0.5402	0.5402

$$e = -1.1 \text{ m}$$

x	h(x,t)				
	5 sec	10 sec	15 sec	30 sec	45 sec
-4.9311	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436
-4.8078	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436
-4.6846	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436
-4.5613	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436
-4.438	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436
-4.3147	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436
-4.1915	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436
-4.0682	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436
-3.9449	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436
-3.8216	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436
-3.6983	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436
-3.5751	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436
-3.4518	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436
-3.3285	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436
-3.2052	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436
-3.082	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436
-2.9587	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436
-2.8354	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436
-2.7121	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436
-2.5888	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436
-2.4656	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436	0.6436
-2.3423	0.6416	0.6408	0.6404	0.6402	0.6402
-2.219	0.6357	0.6325	0.6312	0.6303	0.6302
-2.0957	0.6262	0.619	0.616	0.6141	0.614
-1.9724	0.6131	0.6006	0.5954	0.592	0.5917
-1.8492	0.5969	0.5777	0.5697	0.5646	0.5641
-1.7259	0.5779	0.5509	0.5397	0.5325	0.5319
-1.6026	0.5566	0.5208	0.506	0.4965	0.4957
-1.4793	0.5336	0.4883	0.4696	0.4575	0.4564
-1.3561	0.5093	0.454	0.4312	0.4164	0.4152
-1.2328	0.4845	0.4189	0.3919	0.3744	0.3729
-1.1095	0.4596	0.3838	0.3526	0.3323	0.3306
-0.9862	0.4354	0.3496	0.3142	0.2913	0.2893
-0.8629	0.4123	0.3171	0.2778	0.2523	0.2502
-0.7397	0.3911	0.2871	0.2442	0.2164	0.214
-0.6164	0.3721	0.2603	0.2142	0.1843	0.1818
-0.4931	0.3559	0.2374	0.1886	0.1569	0.1542
-0.3698	0.3429	0.219	0.168	0.1349	0.1321
-0.2466	0.3334	0.2056	0.1529	0.1188	0.1158

x	h(x,t)				
	5 sec	10 sec	15 sec	30 sec	45 sec
-0.1233	0.3276	0.1974	0.1437	0.1089	0.1059
0	0.3256	0.1946	0.1406	0.1056	0.1026
0.1233	0.3276	0.1974	0.1437	0.1089	0.1059
0.2466	0.3334	0.2056	0.1529	0.1188	0.1158
0.3698	0.3429	0.219	0.168	0.1349	0.1321
0.4931	0.3559	0.2374	0.1886	0.1569	0.1542
0.6164	0.3721	0.2603	0.2142	0.1843	0.1818
0.7397	0.3911	0.2871	0.2442	0.2164	0.214
0.8629	0.4123	0.3171	0.2778	0.2523	0.2502
0.9862	0.4354	0.3496	0.3142	0.2913	0.2893
1.1095	0.4596	0.3838	0.3526	0.3323	0.3306
1.2328	0.4845	0.4189	0.3919	0.3744	0.3729
1.3561	0.5093	0.454	0.4312	0.4164	0.4152
1.4793	0.5336	0.4883	0.4696	0.4575	0.4564
1.6026	0.5566	0.5208	0.506	0.4965	0.4957
1.7259	0.5779	0.5509	0.5397	0.5325	0.5319
1.8492	0.5969	0.5777	0.5697	0.5646	0.5641
1.9725	0.6131	0.6006	0.5954	0.592	0.5917
2.0957	0.6262	0.619	0.616	0.6141	0.614
2.219	0.6357	0.6325	0.6312	0.6303	0.6302
2.3423	0.6416	0.6408	0.6404	0.6402	0.6402

Lampiran D

Perhitungan *Time Scale Scouring*

Time Scale scouring pada seluruh zona dengan OD sebesar 32 in

Zona 1

t (sec)	KP				
	4.72	6.03	7.89	8.06	9.15
	St (m)	St (m)	St (m)	St (m)	St (m)
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.306	0.186	0.132	0.088	0.088
2	0.465	0.314	0.233	0.162	0.162
3	0.548	0.401	0.311	0.224	0.223
4	0.591	0.461	0.370	0.276	0.275
5	0.613	0.502	0.416	0.319	0.318
6	0.625	0.531	0.451	0.356	0.355
7	0.631	0.550	0.478	0.386	0.385
8	0.634	0.563	0.499	0.411	0.410
9	0.636	0.572	0.514	0.433	0.432
10	0.637	0.578	0.527	0.450	0.449
11	0.637	0.583	0.536	0.465	0.464
12	0.637	0.586	0.543	0.478	0.477
13	0.637	0.588	0.548	0.488	0.487
14	0.637	0.589	0.553	0.497	0.496
15	0.637	0.590	0.556	0.504	0.503
16	0.637	0.591	0.558	0.510	0.509
17	0.637	0.591	0.560	0.515	0.515
18	0.637	0.591	0.562	0.520	0.519
19	0.637	0.592	0.563	0.523	0.523
20	0.637	0.592	0.564	0.526	0.526
21	0.637	0.592	0.564	0.529	0.528
22	0.637	0.592	0.565	0.531	0.530
23	0.637	0.592	0.565	0.532	0.532
24	0.637	0.592	0.566	0.534	0.533
25	0.637	0.592	0.566	0.535	0.535
26	0.637	0.592	0.566	0.536	0.536
27	0.637	0.592	0.566	0.537	0.537
28	0.637	0.592	0.566	0.538	0.537
29	0.637	0.592	0.566	0.538	0.538
30	0.637	0.592	0.566	0.539	0.538
31	0.637	0.592	0.566	0.539	0.539
32	0.637	0.592	0.566	0.540	0.539
33	0.637	0.592	0.566	0.540	0.540
34	0.637	0.592	0.567	0.540	0.540
35	0.637	0.592	0.567	0.540	0.540

	KP				
	4.72	6.03	7.89	8.06	9.15
t (sec)	St (m)	St (m)	St (m)	St (m)	St (m)
36	0.637	0.592	0.567	0.541	0.540
37	0.637	0.592	0.567	0.541	0.540
38	0.637	0.592	0.567	0.541	0.540
39	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
40	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
41	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
42	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
43	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
44	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
45	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
46	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
47	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
48	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
49	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
50	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
51	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
52	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
53	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
54	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
55	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
56	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
57	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
58	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
59	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
60	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
61	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
62	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
63	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
64	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
65	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
66	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
67	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
68	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
69	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
70	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
71	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
72	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
73	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
74	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541
75	0.637	0.592	0.567	0.541	0.541

Zona 2

t (sec)	KP				
	11.10	11.90	13.00	13.90	14.90
St (m)	St (m)	St (m)	St (m)	St (m)	St (m)
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.074	0.052	0.046	0.043	0.038
2	0.136	0.098	0.087	0.081	0.072
3	0.188	0.138	0.123	0.116	0.104
4	0.231	0.174	0.156	0.147	0.132
5	0.267	0.205	0.185	0.175	0.158
6	0.298	0.232	0.211	0.200	0.181
7	0.323	0.257	0.234	0.223	0.203
8	0.345	0.278	0.255	0.243	0.222
9	0.363	0.297	0.273	0.262	0.239
10	0.378	0.313	0.290	0.278	0.255
11	0.390	0.328	0.305	0.293	0.270
12	0.401	0.341	0.318	0.306	0.283
13	0.410	0.352	0.330	0.318	0.295
14	0.417	0.362	0.340	0.329	0.306
15	0.423	0.371	0.350	0.338	0.316
16	0.429	0.378	0.358	0.347	0.325
17	0.433	0.385	0.366	0.355	0.333
18	0.437	0.391	0.372	0.362	0.341
19	0.440	0.396	0.378	0.368	0.347
20	0.442	0.401	0.384	0.374	0.354
21	0.444	0.405	0.388	0.379	0.359
22	0.446	0.409	0.393	0.384	0.364
23	0.448	0.412	0.397	0.388	0.369
24	0.449	0.415	0.400	0.392	0.373
25	0.450	0.417	0.403	0.395	0.377
26	0.451	0.419	0.406	0.398	0.380
27	0.452	0.421	0.408	0.401	0.383
28	0.452	0.423	0.410	0.403	0.386
29	0.453	0.424	0.412	0.405	0.389
30	0.453	0.426	0.414	0.407	0.391
31	0.454	0.427	0.415	0.409	0.393
32	0.454	0.428	0.417	0.411	0.395
33	0.454	0.429	0.418	0.412	0.397
34	0.454	0.430	0.419	0.413	0.399
35	0.455	0.430	0.420	0.414	0.400
36	0.455	0.431	0.421	0.415	0.402
37	0.455	0.431	0.422	0.416	0.403

t (sec)	KP				
	11.10	11.90	13.00	13.90	14.90
	St (m)	St (m)	St (m)	St (m)	St (m)
38	0.455	0.432	0.422	0.417	0.404
39	0.455	0.432	0.423	0.418	0.405
40	0.455	0.433	0.424	0.419	0.406
41	0.455	0.433	0.424	0.419	0.407
42	0.455	0.433	0.425	0.420	0.407
43	0.455	0.433	0.425	0.420	0.408
44	0.455	0.434	0.425	0.421	0.409
45	0.455	0.434	0.426	0.421	0.409
46	0.455	0.434	0.426	0.422	0.410
47	0.455	0.434	0.426	0.422	0.410
48	0.455	0.434	0.426	0.422	0.411
49	0.455	0.434	0.427	0.422	0.411
50	0.455	0.435	0.427	0.423	0.411
51	0.455	0.435	0.427	0.423	0.412
52	0.455	0.435	0.427	0.423	0.412
53	0.455	0.435	0.427	0.423	0.412
54	0.455	0.435	0.427	0.423	0.412
55	0.455	0.435	0.427	0.423	0.413
56	0.455	0.435	0.428	0.424	0.413
57	0.455	0.435	0.428	0.424	0.413
58	0.455	0.435	0.428	0.424	0.413
59	0.455	0.435	0.428	0.424	0.413
60	0.455	0.435	0.428	0.424	0.413
61	0.455	0.435	0.428	0.424	0.414
62	0.455	0.435	0.428	0.424	0.414
63	0.455	0.435	0.428	0.424	0.414
64	0.455	0.435	0.428	0.424	0.414
65	0.455	0.435	0.428	0.424	0.414
66	0.455	0.435	0.428	0.424	0.414
67	0.455	0.435	0.428	0.424	0.414
68	0.455	0.435	0.428	0.424	0.414
69	0.455	0.435	0.428	0.424	0.414
70	0.455	0.435	0.428	0.424	0.414
71	0.455	0.435	0.428	0.424	0.414
72	0.455	0.435	0.428	0.425	0.414
73	0.455	0.435	0.428	0.425	0.414
74	0.455	0.435	0.428	0.425	0.414
75	0.455	0.435	0.428	0.425	0.414
76	0.455	0.435	0.428	0.425	0.414
77	0.455	0.435	0.428	0.425	0.414

	KP				
	11.10	11.90	13.00	13.90	14.90
t (sec)	St (m)	St (m)	St (m)	St (m)	St (m)
78	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
79	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
80	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
81	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
82	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
83	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
84	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
85	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
86	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
87	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
88	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
89	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
90	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
91	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
92	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
93	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
94	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
95	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
96	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
97	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
98	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
99	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
100	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
101	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
102	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
103	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
104	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
105	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
106	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
107	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
108	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
109	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
110	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
111	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
112	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
113	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
114	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
115	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
116	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415
117	0.455	0.435	0.428	0.425	0.415

Zona 3

t (sec)	KP						
	31.03	33.04	34.86	35.78	36.90	37.88	38.86
	St (m)	St (m)	St (m)	St (m)	St (m)	St (m)	St (m)
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.043	0.042	0.042	0.041	0.041	0.041	0.041
2	0.082	0.081	0.080	0.080	0.079	0.079	0.079
3	0.118	0.116	0.115	0.115	0.114	0.114	0.114
4	0.151	0.149	0.148	0.147	0.146	0.146	0.146
5	0.181	0.179	0.178	0.176	0.176	0.175	0.175
6	0.209	0.206	0.205	0.203	0.203	0.202	0.202
7	0.234	0.231	0.230	0.228	0.228	0.227	0.227
8	0.257	0.254	0.253	0.251	0.251	0.250	0.250
9	0.279	0.275	0.274	0.272	0.272	0.271	0.271
10	0.298	0.295	0.293	0.292	0.291	0.290	0.290
11	0.316	0.313	0.311	0.309	0.309	0.308	0.308
12	0.332	0.329	0.327	0.326	0.325	0.324	0.324
13	0.347	0.344	0.342	0.341	0.340	0.339	0.339
14	0.361	0.358	0.356	0.354	0.354	0.353	0.353
15	0.373	0.370	0.369	0.367	0.366	0.365	0.365
16	0.385	0.382	0.380	0.379	0.378	0.377	0.377
17	0.396	0.392	0.391	0.389	0.389	0.388	0.388
18	0.405	0.402	0.401	0.399	0.398	0.397	0.398
19	0.414	0.411	0.410	0.408	0.407	0.406	0.407
20	0.422	0.419	0.418	0.416	0.416	0.415	0.415
21	0.430	0.427	0.425	0.424	0.423	0.422	0.423
22	0.436	0.434	0.432	0.431	0.430	0.429	0.430
23	0.443	0.440	0.439	0.437	0.437	0.436	0.436
24	0.448	0.446	0.445	0.443	0.443	0.442	0.442
25	0.454	0.451	0.450	0.449	0.448	0.447	0.447
26	0.458	0.456	0.455	0.454	0.453	0.452	0.452
27	0.463	0.461	0.459	0.458	0.458	0.457	0.457
28	0.467	0.465	0.464	0.462	0.462	0.461	0.461
29	0.471	0.468	0.467	0.466	0.466	0.465	0.465
30	0.474	0.472	0.471	0.470	0.469	0.469	0.469
31	0.477	0.475	0.474	0.473	0.472	0.472	0.472
32	0.480	0.478	0.477	0.476	0.476	0.475	0.475
33	0.482	0.481	0.480	0.479	0.478	0.478	0.478
34	0.485	0.483	0.482	0.481	0.481	0.480	0.480
35	0.487	0.485	0.484	0.484	0.483	0.483	0.482
36	0.489	0.487	0.487	0.486	0.485	0.485	0.485
37	0.491	0.489	0.488	0.488	0.487	0.487	0.487

		KP						
		31.03	33.04	34.86	35.78	36.90	37.88	38.86
t (sec)	St (m)	St (m)	St (m)	St (m)	St (m)	St (m)	St (m)	St (m)
38	0.492	0.491	0.490	0.489	0.489	0.489	0.488	
39	0.494	0.493	0.492	0.491	0.491	0.490	0.490	
40	0.495	0.494	0.493	0.493	0.492	0.492	0.492	
41	0.497	0.495	0.495	0.494	0.494	0.493	0.493	
42	0.498	0.497	0.496	0.495	0.495	0.494	0.494	
43	0.499	0.498	0.497	0.496	0.496	0.496	0.495	
44	0.500	0.499	0.498	0.497	0.497	0.497	0.497	
45	0.501	0.500	0.499	0.498	0.498	0.498	0.498	
46	0.502	0.501	0.500	0.499	0.499	0.499	0.498	
47	0.502	0.501	0.501	0.500	0.500	0.500	0.499	
48	0.503	0.502	0.502	0.501	0.501	0.500	0.500	
49	0.504	0.503	0.502	0.502	0.501	0.501	0.501	
50	0.504	0.503	0.503	0.502	0.502	0.502	0.501	
51	0.505	0.504	0.504	0.503	0.503	0.502	0.502	
52	0.505	0.505	0.504	0.503	0.503	0.503	0.503	
53	0.506	0.505	0.505	0.504	0.504	0.503	0.503	
54	0.506	0.505	0.505	0.504	0.504	0.504	0.504	
55	0.507	0.506	0.505	0.505	0.505	0.504	0.504	
56	0.507	0.506	0.506	0.505	0.505	0.505	0.504	
57	0.507	0.507	0.506	0.506	0.505	0.505	0.505	
58	0.508	0.507	0.506	0.506	0.506	0.505	0.505	
59	0.508	0.507	0.507	0.506	0.506	0.506	0.505	
60	0.508	0.507	0.507	0.507	0.506	0.506	0.506	
61	0.508	0.508	0.507	0.507	0.507	0.506	0.506	
62	0.509	0.508	0.507	0.507	0.507	0.507	0.506	
63	0.509	0.508	0.508	0.507	0.507	0.507	0.506	
64	0.509	0.508	0.508	0.507	0.507	0.507	0.507	
65	0.509	0.508	0.508	0.508	0.507	0.507	0.507	
66	0.509	0.509	0.508	0.508	0.508	0.507	0.507	
67	0.509	0.509	0.508	0.508	0.508	0.507	0.507	
68	0.509	0.509	0.508	0.508	0.508	0.508	0.507	
69	0.510	0.509	0.509	0.508	0.508	0.508	0.507	
70	0.510	0.509	0.509	0.508	0.508	0.508	0.508	
71	0.510	0.509	0.509	0.508	0.508	0.508	0.508	
72	0.510	0.509	0.509	0.509	0.508	0.508	0.508	
73	0.510	0.509	0.509	0.509	0.508	0.508	0.508	
74	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509	0.508	0.508	
75	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509	0.508	0.508	
76	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.508	0.508	
77	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.508	0.508	

		KP						
		31.03	33.04	34.86	35.78	36.90	37.88	38.86
t (sec)	St (m)	St (m)	St (m)	St (m)	St (m)	St (m)	St (m)	St (m)
78	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509	0.508	0.508
79	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509	0.508	0.508
80	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509	0.508	0.508
81	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509	0.508	0.508
82	0.510	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.508	0.508
83	0.510	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509	0.509
84	0.510	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509	0.509
85	0.510	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509	0.509
86	0.511	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509	0.509
87	0.511	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509	0.509
88	0.511	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509	0.509
89	0.511	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509	0.509
90	0.511	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509	0.509
91	0.511	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509	0.509
92	0.511	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509	0.509
93	0.511	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509	0.509
94	0.511	0.510	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509
95	0.511	0.510	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509
96	0.511	0.510	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509
97	0.511	0.510	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509
98	0.511	0.510	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509
99	0.511	0.510	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509
100	0.511	0.510	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509
101	0.511	0.510	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509
102	0.511	0.510	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509
103	0.511	0.510	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509
104	0.511	0.510	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509
105	0.511	0.510	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509
106	0.511	0.510	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509
107	0.511	0.510	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509
108	0.511	0.510	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509
109	0.511	0.510	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509
110	0.511	0.510	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509
111	0.511	0.510	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509
112	0.511	0.510	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509
113	0.511	0.510	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509
114	0.511	0.510	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509
115	0.511	0.510	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509	0.509
116	0.511	0.510	0.510	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509
117	0.511	0.510	0.510	0.510	0.510	0.509	0.509	0.509

Zona 17

	KP				
	157.60	158.71	159.23	159.74	160.19
t (sec)	St (m)	St (m)	St (m)	St (m)	St (m)
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.035	0.037	0.053	0.056	0.171
2	0.067	0.071	0.100	0.105	0.281
3	0.096	0.102	0.140	0.147	0.353
4	0.122	0.129	0.176	0.183	0.399
5	0.146	0.154	0.206	0.215	0.429
6	0.168	0.177	0.233	0.242	0.449
7	0.188	0.198	0.256	0.265	0.461
8	0.206	0.216	0.276	0.286	0.469
9	0.223	0.233	0.294	0.303	0.475
10	0.238	0.248	0.309	0.318	0.478
11	0.251	0.262	0.323	0.331	0.480
12	0.264	0.274	0.334	0.343	0.482
13	0.275	0.286	0.344	0.352	0.483
14	0.285	0.296	0.353	0.361	0.483
15	0.295	0.305	0.361	0.368	0.484
16	0.303	0.313	0.367	0.374	0.484
17	0.311	0.321	0.373	0.380	0.484
18	0.318	0.328	0.378	0.384	0.484
19	0.325	0.334	0.382	0.388	0.484
20	0.330	0.340	0.386	0.392	0.484
21	0.336	0.345	0.389	0.395	0.484
22	0.341	0.349	0.392	0.398	0.484
23	0.345	0.353	0.395	0.400	0.484
24	0.349	0.357	0.397	0.402	0.484
25	0.353	0.361	0.399	0.404	0.484
26	0.356	0.364	0.400	0.405	0.484
27	0.359	0.367	0.402	0.406	0.484
28	0.362	0.369	0.403	0.407	0.484
29	0.364	0.371	0.404	0.408	0.484
30	0.367	0.373	0.405	0.409	0.484
31	0.369	0.375	0.406	0.410	0.484
32	0.371	0.377	0.407	0.410	0.484
33	0.372	0.378	0.407	0.411	0.484
34	0.374	0.380	0.408	0.411	0.484
35	0.375	0.381	0.408	0.412	0.484
36	0.377	0.382	0.409	0.412	0.484
37	0.378	0.383	0.409	0.412	0.484

		KP				
		157.60	158.71	159.23	159.74	160.19
t (sec)	St (m)	St (m)	St (m)	St (m)	St (m)	
38	0.379	0.384	0.409	0.413	0.484	
39	0.380	0.385	0.410	0.413	0.484	
40	0.381	0.386	0.410	0.413	0.484	
41	0.382	0.387	0.410	0.413	0.484	
42	0.382	0.387	0.410	0.413	0.484	
43	0.383	0.388	0.410	0.413	0.484	
44	0.384	0.388	0.411	0.414	0.484	
45	0.384	0.389	0.411	0.414	0.484	
46	0.385	0.389	0.411	0.414	0.484	
47	0.385	0.389	0.411	0.414	0.484	
48	0.386	0.390	0.411	0.414	0.484	
49	0.386	0.390	0.411	0.414	0.484	
50	0.386	0.390	0.411	0.414	0.484	
51	0.387	0.391	0.411	0.414	0.484	
52	0.387	0.391	0.411	0.414	0.484	
53	0.387	0.391	0.411	0.414	0.484	
54	0.387	0.391	0.411	0.414	0.484	
55	0.388	0.391	0.411	0.414	0.484	
56	0.388	0.392	0.411	0.414	0.484	
57	0.388	0.392	0.411	0.414	0.484	
58	0.388	0.392	0.411	0.414	0.484	
59	0.388	0.392	0.411	0.414	0.484	
60	0.388	0.392	0.411	0.414	0.484	
61	0.389	0.392	0.411	0.414	0.484	
62	0.389	0.392	0.411	0.414	0.484	
63	0.389	0.392	0.411	0.414	0.484	
64	0.389	0.392	0.411	0.414	0.484	
65	0.389	0.392	0.411	0.414	0.484	
66	0.389	0.393	0.411	0.414	0.484	
67	0.389	0.393	0.411	0.414	0.484	
68	0.389	0.393	0.411	0.414	0.484	
69	0.389	0.393	0.411	0.414	0.484	
70	0.389	0.393	0.411	0.414	0.484	
71	0.389	0.393	0.411	0.414	0.484	
72	0.389	0.393	0.411	0.414	0.484	
73	0.389	0.393	0.411	0.414	0.484	
74	0.389	0.393	0.411	0.414	0.484	
75	0.389	0.393	0.411	0.414	0.484	
76	0.390	0.393	0.411	0.414	0.484	
77	0.390	0.393	0.411	0.414	0.484	

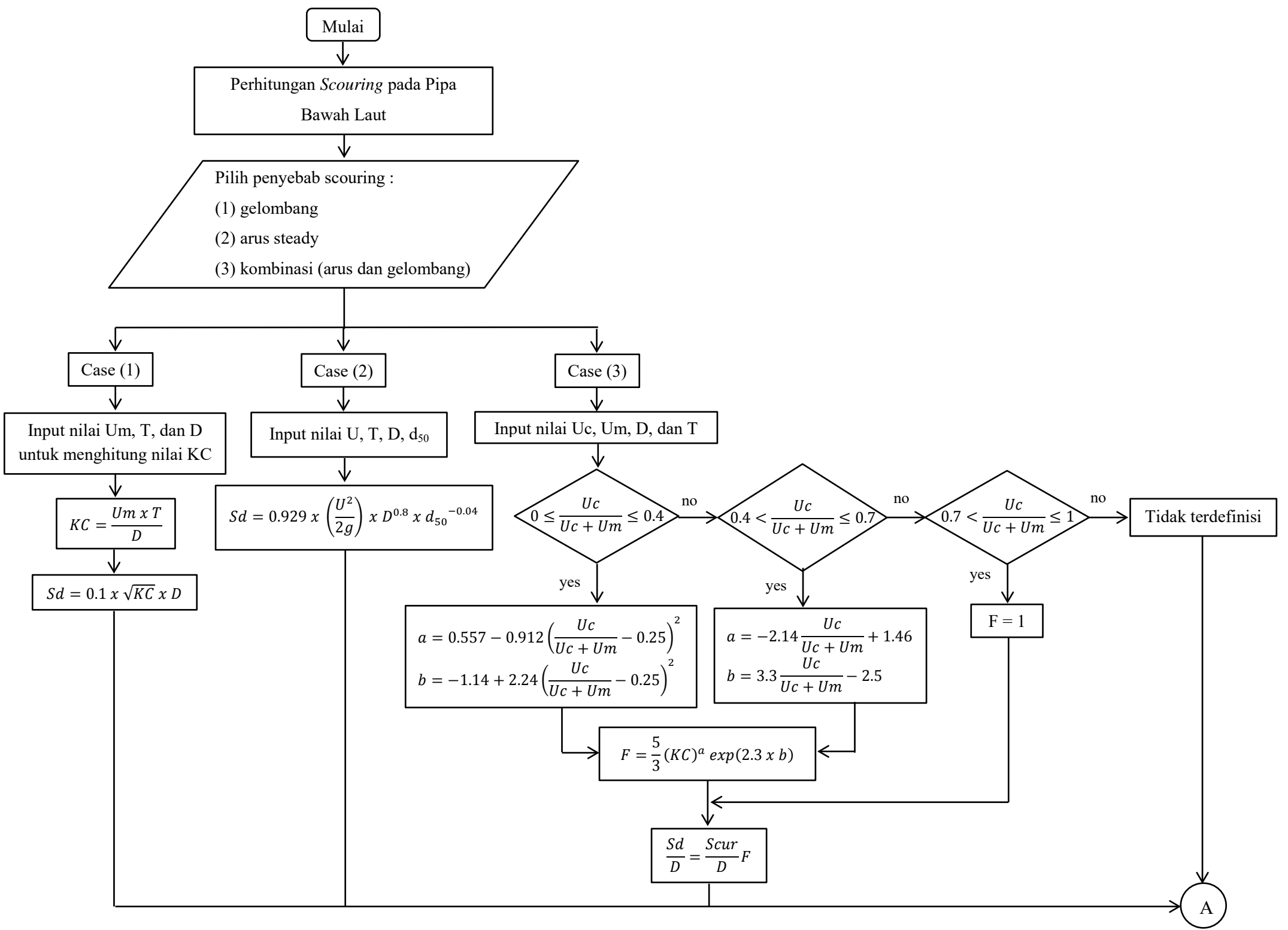
		KP				
		157.60	158.71	159.23	159.74	160.19
t (sec)	St (m)	St (m)	St (m)	St (m)	St (m)	
78	0.390	0.393	0.411	0.414	0.484	
79	0.390	0.393	0.411	0.414	0.484	
80	0.390	0.393	0.411	0.414	0.484	
81	0.390	0.393	0.411	0.414	0.484	
82	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
83	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
84	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
85	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
86	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
87	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
88	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
89	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
90	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
91	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
92	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
93	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
94	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
95	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
96	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
97	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
98	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
99	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
100	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
101	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
102	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
103	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
104	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
105	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
106	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
107	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
108	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
109	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
110	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
111	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
112	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
113	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
114	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
115	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
116	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	
117	0.390	0.393	0.412	0.414	0.484	

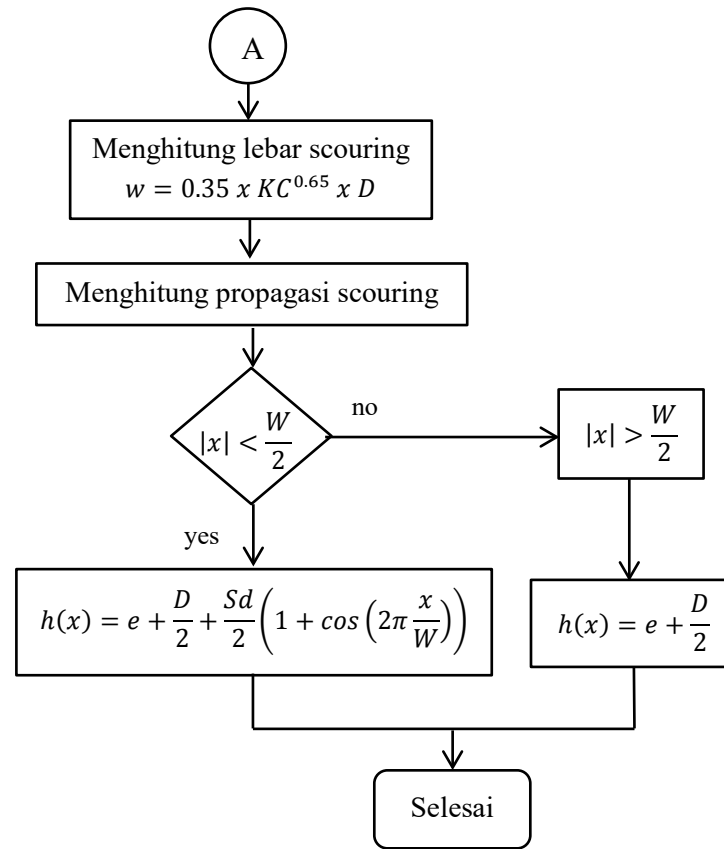
Time Scale Scouring pada Zona 1 KP 9.15 dengan Variasi OD

t (sec)	Diameter				
	28 in	30 in	32 in	34 in	36 in
	St (m)				
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.101	0.094	0.088	0.082	0.077
2	0.183	0.172	0.162	0.152	0.144
3	0.249	0.236	0.223	0.212	0.201
4	0.303	0.288	0.275	0.262	0.251
5	0.346	0.332	0.318	0.305	0.293
6	0.380	0.367	0.355	0.342	0.330
7	0.408	0.397	0.385	0.373	0.361
8	0.431	0.421	0.410	0.399	0.388
9	0.449	0.441	0.432	0.422	0.411
10	0.464	0.457	0.449	0.441	0.431
11	0.476	0.471	0.464	0.457	0.449
12	0.486	0.482	0.477	0.471	0.463
13	0.493	0.491	0.487	0.482	0.476
14	0.500	0.499	0.496	0.492	0.487
15	0.505	0.505	0.503	0.501	0.497
16	0.509	0.510	0.509	0.508	0.505
17	0.512	0.514	0.515	0.514	0.512
18	0.515	0.517	0.519	0.519	0.518
19	0.517	0.520	0.523	0.523	0.523
20	0.519	0.523	0.526	0.527	0.528
21	0.520	0.525	0.528	0.530	0.531
22	0.521	0.526	0.530	0.533	0.535
23	0.522	0.528	0.532	0.535	0.538
24	0.523	0.529	0.533	0.537	0.540
25	0.523	0.529	0.535	0.539	0.542
26	0.524	0.530	0.536	0.540	0.544
27	0.524	0.531	0.537	0.542	0.546
28	0.524	0.531	0.537	0.543	0.547
29	0.525	0.532	0.538	0.543	0.548
30	0.525	0.532	0.538	0.544	0.549
31	0.525	0.532	0.539	0.545	0.550
32	0.525	0.533	0.539	0.545	0.551
33	0.525	0.533	0.540	0.546	0.551
34	0.525	0.533	0.540	0.546	0.552
35	0.525	0.533	0.540	0.546	0.552
36	0.526	0.533	0.540	0.547	0.553
37	0.526	0.533	0.540	0.547	0.553

	Diameter				
	28 in	30 in	32 in	34 in	36 in
t (sec)	St (m)				
38	0.526	0.533	0.540	0.547	0.553
39	0.526	0.533	0.541	0.547	0.554
40	0.526	0.533	0.541	0.547	0.554
41	0.526	0.533	0.541	0.548	0.554
42	0.526	0.533	0.541	0.548	0.554
43	0.526	0.533	0.541	0.548	0.554
44	0.526	0.534	0.541	0.548	0.554
45	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
46	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
47	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
48	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
49	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
50	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
51	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
52	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
53	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
54	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
55	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
56	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
57	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
58	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
59	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
60	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
61	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
62	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
63	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
64	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
65	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
66	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
67	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
68	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
69	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
70	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
71	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
72	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
73	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
74	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
75	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
76	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555
77	0.526	0.534	0.541	0.548	0.555

LAMPIRAN E
Algoritma Pemrograman





Syntax pada Program Scilab

```
function []=scourpro()
    disp("=====[satuan dalam SI]=====")
    disp("Pilih penyebab terjadinya scouring :)")
    disp("1 gelombang reguler")
    disp("2 arus steady")
    disp("3 kombinasi gelombang dan arus")
    itype=input("")
    select itype,
case 1 then
    um=input("kecepatan orbital gelombang = ")
    t=input("periode gelombang = ")
    d=input("diameter pipa = ")
    eps=input("e = ")
    kc=(um*t)/d
    sd=0.1*(kc^0.5)*d
    w=0.35*(kc^0.65)*d;
    printf("kedalaman scouring pada pipa = %2.3f",sd)
    printf(" dan lebar scouring pada pipa = %2.3f",w)
    disp("    x        h(x)")
    W=2*w
    xinc=W/40
    x=(-2)*w-xinc
    for i=1:60
        x=x+xinc
        if [x]<W/2 then
            h=-(eps+(d/2)+((sd/2)*(1+cos(2*%pi*(x/W)))));
            disp([x,h])
        else
            h=-(eps+(d/2));
            disp([x,h])
        end
    end
case 2 then
    um=input("kecepatan orbital gelombang = ")
    t=input("periode gelombang = ")
    u=input("kecepatan efektif arus = ")
    d=input("diameter pipa = ")
    di=input("diameter butiran = ")
    eps=input("e = ")
    kc=(um*t)/d
    g=9.81
    sd=0.929*(u^2/(2*g))*(d^0.8)*(di^(-0.04))
    w=0.35*(kc^0.65)*d;
    printf("kedalaman scouring pada pipa = %2.3f",sd)
    printf(" dan lebar scouring pada pipa = %2.3f",w)
    disp("    x        h(x)")
    W=2*w
    xinc=W/40
    x=(-2)*w-xinc
    for i=1:60
        x=x+xinc
        if [x]<W/2 then
            h=-(eps+(d/2)+((sd/2)*(1+cos(2*%pi*(x/W)))));
            disp([x,h])
        else
            h=-(eps+(d/2));
            disp([x,h])
        end
    end
case 3 then
    um=input("kecepatan orbital gelombang = ")
```

```

t=input("periode gelombang = ")
uc=input("kecepatan arus = ")
d=input("diameter pipa = ")
di=input("diameter butiran = ")
eps=input("e = ")
g=9.81
kc=(um*t)/d
ucm=uc/(uc+um)
if ucm>=0 & ucm<=0.4 then
    a=0.557-(0.912*((ucm-0.25)^2))
    b=-1.14+(2.24*((ucm-0.25)^2))
    f=(5/3)*(kc^a)*(exp(2.3*b))
    sdc=0.929*(((uc^2)/(2*g))^0.26)*(d^0.78)*(di^(-0.04))
    sd=(sdc/d)*f*d
    w=0.35*(kc^0.65)*d;
    printf("kedalaman scouring pada pipa = %2.3f",sd)
    printf(" dan lebar scouring pada pipa = %2.3f",w)
    disp("    x        h(x)")
    W=2*w
    xinc=W/40
    x=(-2)*w-xinc
    for i=1:60
        x=x+xinc
        if [x]<W/2 then
            h=-(eps+(d/2)+((sd/2)*(1+cos(2*%pi*(x/W)))));
            disp([x,h])
        else
            h=-(eps+(d/2));
            disp([x,h])
        end
    end
end
elseif ucm>0.4 & ucm<=0.7 then
    a=(-2.14)*ucm+1.46
    b=(3.3*ucm)-2.5
    f=(5/3)*(kc^a)*(exp(2.3*b))
    sdc=0.929*(((uc^2)/(2*g))^0.26)*(d^0.78)*(di^(-0.04))
    sd=(sdc/d)*f*d
    w=0.35*(kc^0.65)*d;
    printf("kedalaman scouring pada pipa = %2.3f",sd)
    printf(" dan lebar scouring pada pipa = %2.3f",w)
    disp("    x        h(x)")
    W=2*w
    xinc=W/40
    x=(-2)*w-xinc
    for i=1:60
        x=x+xinc
        if [x]<W/2 then
            h=-(eps+(d/2)+((sd/2)*(1+cos(2*%pi*(x/W)))));
            disp([x,h])
        else
            h=-(eps+(d/2));
            disp([x,h])
        end
    end
end
elseif ucm>0.7 & ucm<=1 then
    f=1
    sdc=0.929*(((uc^2)/(2*g))^0.26)*(d^0.78)*(di^(-0.04))
    sd=(sdc/d)*f*d
    w=0.35*(kc^0.65)*d;
    printf("kedalaman scouring pada pipa = %2.3f",sd)
    printf(" dan lebar scouring pada pipa = %2.3f",w)
    disp("    x        h(x)")
    W=2*w
    xinc=W/40

```

```
x=(-2)*w)-xinc
for i=1:60
    x=x+xinc
    if [x]<W/2 then
        h=-(eps+(d/2)+((sd/2)*(1+cos(2*%pi*(x/W)))));
        disp([x,h])
    else
        h=-(eps+(d/2));
        disp([x,h])
    end
end
else disp("nilai tidak terdefinisi")
end
else disp("pilihan tidak terdefinisi")
end
endfunction
```

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari analisa dan pembahasan pada bab sebelumnya, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

- Kedalaman *scouring* terbesar berada di zona 1 tepatnya pada KP 4.72 yakni sebesar 0.637 m. Lebar *scouring* terbesar juga terjadi pada titik tersebut, yakni sebesar 3.138 m. Kedalaman dan lebar *scouring* semakin kecil apabila kedalaman air juga semakin kecil. Berbeda apabila diameter pipa diperbesar, kedalaman *scouring* akan semakin besar pula.
- Laju propagasi *scouring* paling cepat ada di Zona 1 pada KP 4.72, yakni dalam 10 detik sudah mencapai penggerusan maksimal. Sementara laju propagasi *scouring* paling lama berada pada KP 36.9 di zona 3, yakni setelah 116 detik *scouring* mencapai kedalaman maksimal. Dengan memberi variasi diameter pipa, maka waktu *scouring* menuju keadaan setimbang juga akan berubah. Karena semakin besar diameter pipa menyebabkan semakin besar pula kedalaman *scouring*, maka waktu yang dibutuhkan *scouring* untuk menuju tahap setimbang akan lebih lama.
- *Scouring* tidak terjadi apabila pipa terkubur sepenuhnya (sempurna), yakni nilai e (*gap ratio*) sama besar dengan ukuran diameter pipa dan/atau lebih besar dari ukuran diameter pipa tersebut. Diameter pipa berpengaruh terhadap profil *scouring*. Semakin besar diameter pipa, kedalaman gerusan semakin besar, begitu pula dengan lebar *scour*. Pada kondisi yang sama (d , U_m dan U_c sama), nilai T^* dan St akan berbeda apabila besarnya ukuran pipa (diameter) diubah. Semakin besar diameter pipa, nilai St semakin kecil sehingga waktu yang dibutuhkan agar terjadi gerusan maksimal juga semakin lama. Profil 2D *scouring*, yakni lebar dan kedalaman *scouring*, juga dipengaruhi oleh besarnya e (*gap ratio*). Semakin meningkatnya nilai e/D , maka kedalaman *scour* akan menurun.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya adapun beberapa hal yang dapat menjadi pertimbangan :

- Belum banyak penelitian untuk mendapatkan formulasi perhitungan *scouring* pada pipa kondisi *in-trench*, maka dari itu diharapkan adanya penelitian untuk memperoleh formulasi yang akurat untuk perhitungan *scouring* pada pipa kondisi *in-trench*.
- Pemodelan matematis dapat menggunakan program lain selain scilab agar penelitian seputar *scouring* lebih banyak dilakukan. Selain itu pengembangan pada *graphic user interface* (GUI) program yang digunakan sebaiknya lebih ditingkatkan untuk mempermudah visualisasi *scouring*.
- Parameter yang digunakan sebagai variasi untuk analisa *scouring* dapat berupa parameter penyebab atau yang mempengaruhi *scouring* selain diameter pipa dan e (*gap ratio*), seperti kecepatan arus atau kecepatan gelombang dan periode gelombang, sehingga dapat dibandingkan serta dianalisa fenomena *scouring* pada satu tempat dengan yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

ASME/ANSI B36.10M : Pipe Schedule

Cheng, Liang, et al. (2014). 3D Scour Below Pipelines Under Waves And Combined Waves And Currents. *Coastal Engineering*. (83) : 137-149.

Chiew, Y. M. 1997. Prediction Of Maximum *Scour* Depth at Submarine Pipelines. *J. Hydraulic Engineering*. ASCE, Vol. 117, No. 4, 452-466.

CERC. 1984. *Shore Protection Manual*. US Army Coastal Engineering Research Center. Washington

De Sonnevill, B, et al. (2008). *Scour* Reduction by Collars Around Offsjore Monopiles. *Proceeding ICSE*, Vol. 5, No. 05, 460-470.

Dogan, Mustafa and Arisoy, Yalcin. (2015). *Scour* Regime Effects on the *Time scale* Of Wave Below Submerged Pipes. *Ocean Engineering*. (104) : 673-679.

Etemad-Shahidi, A.; Yasa, R.; Kazeminezhad, M. H. 2010 . P rediction of wave-induced scour depth under submarine pipelines using machine learning approach. *Applied Ocean Reserch* (2010). doi:10.1016/j.apor.2010.11.002

Kiziloz, Burak, et al. (2013). Scour Below Submarine Pipelines Under Irreguler Wave Attack. *Coastal Engineering*. (79) : 1-8.

Kjeldsen, S. P., Gjorsvik, O., Bringager, K. G. And Jacobsen, J. (1973): Local Scour Near Offshore Pipelines. *Second International Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions*, Conf. Reykjavik, 308-331.

Leeuwenstein, W., Bijker, E. A., Peerbolte, E.B. and Wind, H. G. (1985): The Natural Self-Burial Of Submarine Pipelines. *Proc. 4th International Conf. on Behavior Of Offshore Structures (BOSS)*, Elsevier Science Publishers, vol. 2, 717-728.

- Nugraha, Muhammad Catur. 2012. *Analisis Pengaruh Scouring pada Pipa Bawah Laut (Studi Kasus Pipa Gas Transmisi SSWJ Jalur Pipa Gas Labuhan Maringgai-Muara Bekasi*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, FTK-ITS.Surabaya.
- Nugroho, Adi. 2011. *Analisa Scouring Pipa Bawah Laut Kodeco Jalur Poleng-Gresik Dengan Variasi Tipe Tanah*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, FTK-ITS. Surabaya.
- Mouselli, A. H. (1981). *Offshore Pipeline Design Analysis and Methods*. Penwell Book. Oklahoma.
- Offshore Standard DnV OS F101. 2012. Submarine Pipeline Systems.
- Recommended Practice DnV RP F105. 2002. Free Spanning Pipelines.
- Sasongko, Setia B. 2010. *Metode Numerik dengan Scilab*. Andi Yogyakarta.
- Sumer, B. Mutlu, dan Jorgen, Fredsoe. 2002. *The Mechanics Of Scour In The Marine Environment*. World Scientific : Denmark.
- Suntoyo. 2014. *Modul Ajar : Mekanika dan Teknologi Transportasi Sedimen*. Surabaya
- Triatmodjo, Bambang. 1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset : Yogyakarta.
- Yang, Bing, et al (2013). The Experimental Study on Local Scour Around a Circular Pipe Undergoing Vortex-Induced Vibration in Steady Flow. *Journal of marine Science and Technology Vol. 21 No. 3 : 250-257*.
- Westerhorstmann, Joseph Henry. 1988. *The Effect of Pipe Spacing on Marine Pipeline Scour*. Thesis. Master of Science Ocean Engineering. Texas A&M University.
- Y. Mao, (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.

Yasa, R. (2011). Prediction of the Scour Depth under Submarine Pipelines-in Wave Condition. *Journal of Coastal Research ICS2011 (Proceedings)* (64) : 627-630.

BIODATA PENULIS



Minati Pebriantina lahir di Malang pada tanggal 16 Februari 1993. Merupakan anak pertama dan mempunyai seorang adik laki-laki yang sedang menempuh tahun ketiga di SMK. Penulis menempuh pendidikan awal di MI Al-Ma'arif 12 Ardimulyo-Singosari, kemudian lanjut ke Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Singosari. Penulis memutuskan untuk masuk ke sekolah menengah kejuruan untuk

memperbanyak ilmu. Penulis terdaftar sebagai siswi SMK Negeri 8 Malang di jurusan TKJ (Teknik Komputer dan Jaringan). Melalui tes tulis penerimaan bersamaan, penulis diterima di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2012. Selama menjadi mahasiswa, penulis mengikuti berbagai kegiatan kampus. Dimulai dengan menjadi *volunteer* untuk ITS Mengajar, kemudian penulis bergabung dengan BSO IECC BEM ITS selama 2 kepengurusan, yakni 2013/2014 dan 2014/2015. Selain itu, penulis juga aktif di Unit Kegiatan Mahasiswa CLICK ITS sebagai pengurus selama periode 2013/2014 dan periode 2014/2015. Dalam bidang kepanitiaan, selain menjadi panitia program kerja selama bergabung dengan BSO IECC BEM ITS, penulis juga menjadi panitia OCEANO (Ocean Engineering Exhibition and Competition) 2013 dan OCEANO 2014, serta bergabung dengan panitia Pelayaran Iptek dari BEM FTK untuk acara Pelayaran Iptek 2014. Penulis berkesempatan melakukan kerja praktek selama 2 bulan di PT Mitraartha Gema Pertiwi, sebuah perusahaan swasta yang bergerak di bidang inspeksi, berlokasi di Perak, Surabaya. Pada akhir masa studi, penulis mengambil Tugas Akhir dengan tema analisa *scouring* pada *subsea pipeline* kondisi *in-trench*.

Contact Person :

minati.pebriantina@gmail.com