

14.60 31/10/02

TUGAS AKHIR (KL 1702)

STUDI PENGARUH SCOURING TERHADAP STABILITAS PIPA GAS BAWAH LAUT KANGEAN-PORONG ZONE I-C



RSKe
665.744
Her
S-1
2001

Disusun Oleh :

HERMAWAN SB
NRP : 4395 100 008

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

2001

PERIODIK	MAIN
31/10/01	
H	
21.4204	

STUDI PENGARUH SCOURING TERHADAP STABILITAS PIPA GAS BAWAH LAUT KANGEAN-PORONG ZONE I-C

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Jurusan Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,



Kupersembahkan Tugas Akhir Ini kepada :

Bapak dan Ibu

Parlan dan Sarmini

Adhik-adhiku Tercinta

Dwi Agustin

Tri Nur Romadhoni

Ginanjar Basuki

Yayank-ku Terkasih

Maharani Eka Sari

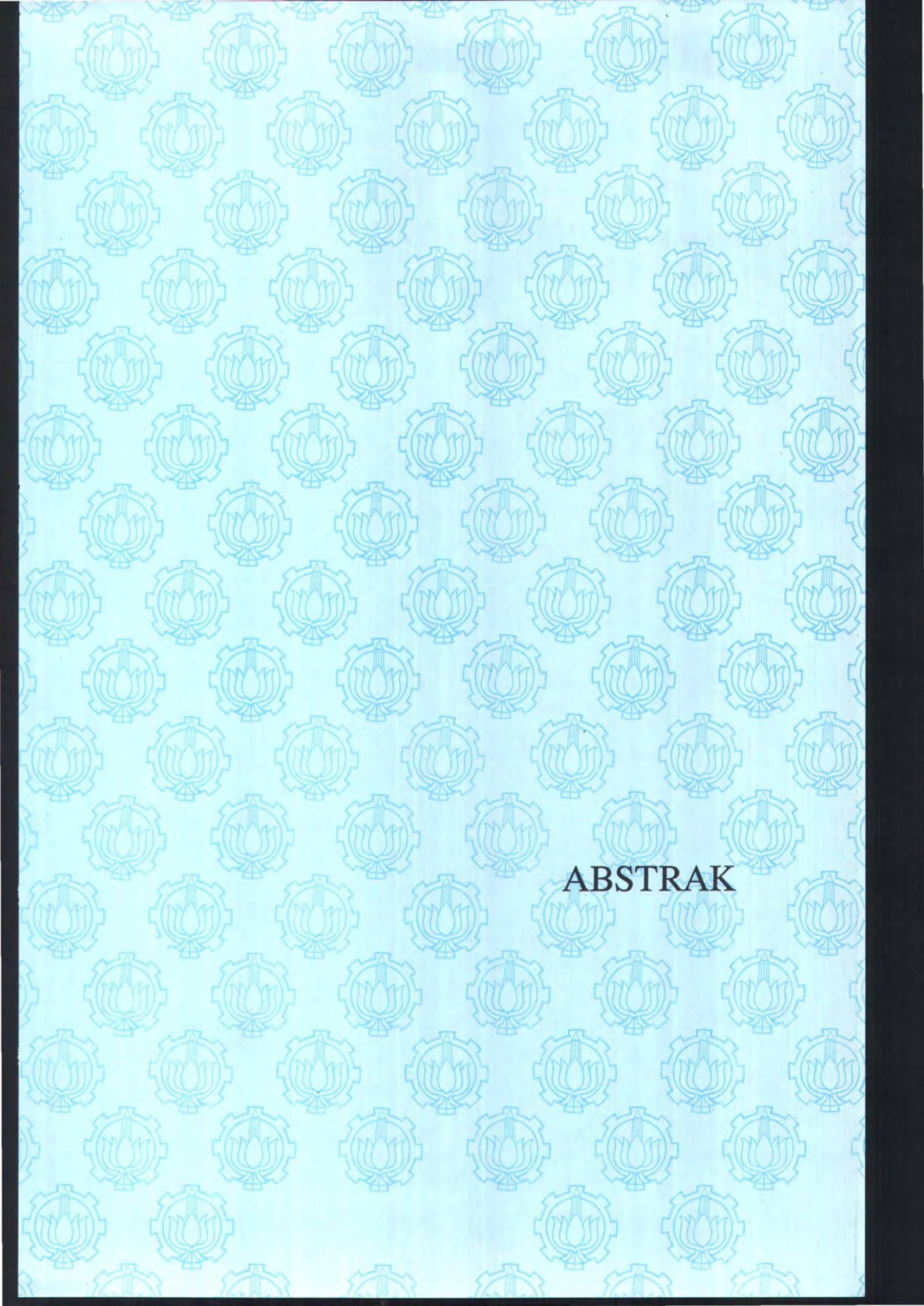
KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Alloh SWT atas rahmat dan hidayah yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **“Studi Pengaruh Scouring Terhadap Stabilitas Pipa Gas Bawah Laut Kangean-Porong Zone I C”**.

Selama menyelesaikan Tugas Akhir ini penulis mendapat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis memberikan ucapan terimakasih yang tulus dan sedalam-dalamnya kepada :

1. Bapak dan Ibu tercinta atas kasih sayang yang telah diberikan kepada anaknya yang bandel ini, dan adhik-adhikku I'in, Doni dan Gibas '*yuk, ... nakal mana sama mas wawan*' ?
2. Bapak Ir. Hasan Ikhwani, MSc. dan Ir. JJ Soedjono, MSc. sebagai dosen pembimbing I dan II atas ilmu yang telah diberikan.
3. Bapak Dr.Ir. Paulus Indiyono, MSc. selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan ITS dan dosen wali, terimakasih bimbingannya selama kuliah.
4. Bapak Dr.Ir. Wahyudi, MSc. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kelautan ITS dan koordinator kerja praktek.
5. Bapak Ir Ekotomo, Senior Manager Trans Java Gas Pipeline atas arahan dan data-data tugas akhir yang telah diberikan.
6. Pak dhe dan Bu dhe Suhartono atas perhatiannya kepada penulis yang jauh dari orang tua, dan Mas Rudi serta Mbak Titik '*ayo cepat selesaikan skipsimu*'



ABSTRAK

ABSTRAK

Scouring yang terjadi pada pipa Trans Java Gas Pipeline di KP 40,9 dan KP 41,2 akan menyebabkan perubahan kecepatan efektif yang bekerja pada pipa sesuai dengan kedalaman arus Yo (undisturb flow depth). Perubahan arus efektif yang bekerja pada pipa akan menyebabkan penurunan stabilitas pipa. Besarnya penurunan stabilitas pipa akibat scouring dengan $Yo = 1$ (Mouselli, 1981) lebih besar dari pada $Yo = 3,8$ (Nanyang, 1991) sebesar 61900,82 newton atau 1,92% untuk KP 40,9 dan 52969,21 newton atau 3,03% untuk KP 41,2. Sedangkan penurunan stabilitas pipa dalam kondisi bentangan kritis yang terjadi akibat scouring dengan $Yo = 1$ (Mouselli, 1981) lebih besar dari pada $Yo = 3,8$ (Nanyang, 1991) sebesar 55113,30 newton atau 12,68% untuk KP 40,9 dan 48496,42 newton atau 10,33% untuk KP 41,2. Penurunan stabilitas pipa juga dipengaruhi adanya bentangan bebas (freespans) akibat scouring. Sehingga untuk mencegah terjadinya penurunan stabilitas pipa yang berlebihan dilakukan perlindungan pipa akibat aktifitas scouring (scour protection). Perlindungan scouring pipa dapat dilakukan dengan rock covered-fascined matress.

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

	Halaman
Abstrak	i
Kata Pengantar	ii
Daftar Isi	iv
Daftar Gambar	vii
Daftar Tabel	ix
Daftar Lampiran	x
Daftar Simbul	xi
BAB I PENDAHULUAN	I-1
I.1 Latar Belakang	I-1
I.2 Perumusan Masalah	I-4
I.3 Tujuan	I-4
I.4 Manfaat	I-5
I.5 Batasan Masalah	I-5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA dan DASAR TEORI	II-1
II.1 Tinjauan Pustaka	II-1
II.2 Landasan Teori	II-2
II.2.1 Gaya-Gaya Hidrodinamis	II-2
II.2.2 Kecepatan Arus yang Bekerja Pada Pipa	II-7
II.2.3 Kecepatan Arus yang Menyebabkan Scouring	II-12
II.2.3 Gaya Berat Pipa Bawah Laut	II-13

II.2.4 Scouring Pada Pipa Bawah Laut	II-15
II.2.5 Stabilitas Pipa Bawah Laut	II-22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN III-1	
III.1 Pengumpulan Data	III-1
III.2 Pengolahan Data	III-3
III.3 Penghitungan Data	III-6
III.4 Analisa Stabilitas Pipa	III-7
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN IV-1	
IV.1 Perhitungan Kecepatan Arus Efektif	IV-2
IV.1.1 Perhitungan kecepatan Arus Steady	IV-2
IV.1.2 Penentuan Teori Gelombang	IV-2
IV.1.3 Penentuan Panjang Gelombang	IV-3
IV.1.4 Perhitungan Kecepatan dan Percepatan Air	IV-5
IV.1.5 Kecepatan Arus Akibat Gelombang	IV-7
IV.1.6 Kecepatan Arus Penyebab Scouring	IV-8
IV.1.7 Kecepatan Arus Efektif Setelah Scouring	IV-9
IV.1.8 Perhitungan Berat Pipa	IV-10
IV.2 Perhitungan Stabilitas Pipa	IV-11
IV.2.1 Stabilitas Pipa Sebelum Scouring	IV-11
IV.2.2 Stabilitas Pipa Setelah Scouring	IV-12
IV.2.3 Stabilitas Pipa dalam Bentangan Kritis	IV-14

IV.3 Perlindungan Pipa Akibat Scouring	IV-22
IV.4 Diskusi	IV-27
BAB V PENUTUP	V-1
V.1 Kesimpulan	V-1
V.2 Saran	V-2

Lampiran Dokumen

Lampiran A

Lampiran B

Lampiran C

Lampiran D

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Harga Koefisien Drag sebagai Fungsi Angka Reynold	II-4
Gambar 2.2	Harga Koefisien Inersia sebagai Fungsi H/D	II-5
Gambar 2.3	Diagram Validitas Teori Gelombang	II-10
Gambar 2.4	Konfigurasi Penampang Melintang Pipa	II-14
Gambar 2.5	Bentuk Vortex Flow penyebab terjadinya scouring	II-18
Gambar 2.6	Variabel-Variabel dilokasi scouring	II-19
Gambar 2.7	Grafik Pengaruh yo/D terhadap q'	II-20
Gambar 2.8	Grafik Diagram Shield	II-21
Gambar 2.9	Grafik Diagram Moudy	II-22
Gambar 2.10	Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Pipa Bawah Laut	II-23
Gambar 3.1	Flow Chart Perhitungan Kecepatan Arus Efektif	III-3
Gambar 3.2	Flow Chart Perhitungan Kecepatan Partikel Air	III-4
Gambar 3.3	Flow Chart Perhitungan ds dan V_{bot}	III-5
Gambar 3.4	Flow Chart Perhitungan Stabilitas Pipa	III-6
Gambar 3.5	Diagram Alir Tugas Akhir	III-7
Gambar 4.1	Perbandingan Beban yang Bekerja pada Pipa Meletak dan pada Pipa yang Mengalami Scouring	IV-13
Gambar 4.2	Grafik Stabilitas Pipa di Zone I C dengan $Yo = 1$	IV-16
Gmabar 4.3	Grafik Stabilitas Pipa di Zone I C dengan $Yo = 3,8$	IV-17
Gambar 4.4	Grafik Stabilitas Pipa di Lokasi Scouring KP 40,9 dengan $Yo = 1$ (Mouselli, 1981)	IV-18

Gambar 4.5	Grafik Stabilitas Pipa di Lokasi Scouring KP 40,9 dengan $Y_o = 3,8$ (Nanyang, 1991)	IV-19
Gambar 4.6	Grafik Stabilitas Pipa di Lokasi Scouring KP 41,2 dengan $Y_o = 1$ (Mouselli, 1981)	IV-20
Gambar 4.7	Grafik Stabilitas Pipa di Lokasi Scouring KP 40,9 dengan $Y_o = 3,8$ (Nanyang, 1981)	IV-21
Gambar 4.8	Gambar Sistem Penimbunan Lubang Scouring	IV-23
Gambar 4.9	Gambar Scour Protection dengan Fascine Mattress	IV-24
Gambar 4.10	Gambar Scour Protection dengan Block Mattress	IV-24
Gambar 4.11	Gambar Scour Protection dengan Cell Mattress	IV-25
Gambar 4.12	Gambar Scour Protection dengan Colcrete Mattress	IV-25
Gambar 4.13	Gambar Scour Protection dengan Stone-Asphalt Mattress	IV-26
Gambar 4.14	Gambar Scour Protection dengan Ballast Mattress	IV-26

DAFTAR TABEL

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tabel Koefisien Hidrodinamis Pipa Lepas Pantai	II-6
Tabel 2.2	Tabel Harga Koefisien Gesek dari Tanah	II-7
Tabel 4.1	Tabel Perhitungan Panjang Gelombang	IV-3
Tabel 4.2	Tabel Iterasi Panjang Gelombang	IV-4
Tabel 4.3	Tabel Hasil Perhitungan V_{bot} dan ds	IV-9
Tabel 4.4	Tabel Hasil Perhitungan V_{eff} Setelah Scouring	IV-10
Tabel 4.5	Tabel Hasil Stabilitas Pipa dalam Kondisi Scouring dengan Variasi Yo	IV-30
Tabel 4.6	Tabel Hasil Stabilitas Pipa dalam Kondisi Bentanga Kritis dengan Variasi Yo	IV-31

DAFTAR LAMPIRAN

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A

- A.1 Data Material Pipa Trans Java Gas Pipeline di Zone I C
- A.2 Peta Kontur Tanah di Lokasi Scouring (KP 40,5 – KP 41,5)
- A.3 Data Bentangan Pipa Akibat Scouring di KP 40,9 dan 41,2
- A.4 Data Grain Distribution di sekitar Lokasi Scouring
- A.5 Data Gelombang dan Arus Kondisi Badai 1 Tahunan
- A.6 Data Gelombang dan Arus Kondisi Badai 100 Tahunan

LAMPIRAN B

- B.1 Perhitungan Arus Steady (*Steady-Current Speed*)
- B.2 Perhitungan Panjang Gelombang
- B.3 Perhitungan Kecepatan dan Percepatan Partikel Air
- B.4 Perhitungan Kecepatan Arus Akibat Gelombang (*Wave-Current Speed*)
- B.5 Perhitungan Kecepatan Arus Efektif yang Bekerja pada Pipa

LAMPIRAN C

- C.1 Perhitungan Kedalaman dan Kecepatan Arus di Lubang Scouring
- C.2 Perhitungan Berat Pipa
- C.3 Perhitungan Bentangan Kritis

LAMPIRAN D

- D.1 Perhitungan Gaya-Gaya Hidrodinamis
- D.2 Tabel Analisa Stabilitas Pipa di KP 40,9 dan 41,2 dengan *Undisturb Flow Depth Yo = 1* (Mouselli, 1981)
- D.3 Tabel Analisa Stabilitas Pipa di KP 40,9 dan 41,2 dengan *Undisturb Flow Depth Yo = 3,8* (Nanyang, 1991)

LAMPIRAN DOKUMEN

Lampiran Presensi Konsultasi Dosen Pembimbing I

Lampiran Presensi Konsultasi Dosen Pembimbing II

Formulir Untuk Maju Ujian Tugas Akhir

DAFTAR NOTASI

B	= Bouyancy
C_d	= Koefisien drag
C_i	= Koefisien inersia
C_l	= Koefisien lift
C_m	= Koefisien massa tambah
d	= Kedalaman perairan
d_{50}	= diameter butiran tanah lolos ayakan 50%
d_s	= Kedalaman scouring
dU/dt	= Percepatan horizontal partikel air
D_o	= Diameter luar pipa
D_t	= Diameter total pipa
f	= Faktor gesekan
F_d	= Gaya drag
F_i	= Gaya inersia
F_l	= Gaya lift
F_r	= Gaya gesek tanah
g	= Percepatan gravitasi
H	= Tinggi gelombang
k	= Angka Gelombang
L	= Panjang gelombang
N	= Gaya normal
q_{bot}	= Debit aliran di lubang scouring
R_e	= Angka Reynold
t_{cc}	= Tebal corrosion coating
t_s	= Tebal baja
t_{wcc}	= Tebal concrete weight coating
T	= Periode gelombang
U_c	= Kecepatan arus efektif kondisi normal
V_a	= Kecepatan arus steady
V_{bot}	= Kecepatan arus di lubang scouring

V_s	= Kecepatan arus efektif di lokasi scouring
V_0	= Kecepatan horizontal pada ketinggihan Y_0
V_w	= Kecepatan arus akibat pengaruh gelombang
W_{con}	= Berat corrosion coating
W_{cwc}	= Berat concrete coating
W_{isi}	= Berat isi pipa
W_s	= Berat baja
W_{sub}	= Stabilitas pipa
W_{tot}	= Berat pipa di udara
Y_0	= Undisturb flow depth
z	= Kedalaman perairan dengan posisi nol pada SWL
α	= Sudut tegak lurus pipa
β	= Sudut pipa terhadap arah utara
γ_{con}	= Berat jenis corrosion coating
γ_{cwc}	= Berat jenis concrete weigh coating
γ_s	= Berat jenis baja
ρ	= Berat jenis air laut
θ	= Kemiringan tanah
μ	= Koefisien gesek tanah
τ_{bot}	= Bed shear stress
τ_{crit}	= Critical shear stress
ν	= Viscositas air laut

BAB I

PENDAHULUAN



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Kebutuhan bahan bakar minyak dan gas semakin tahun semakin bertambah, untuk memenuhi perlu adanya *explorasi* dan *exploitasi* cadangan minyak dan gas bumi dalam jumlah besar, disamping itu juga diperlukan sistem distribusi dan transportasi tepat sehingga dapat menekan harga jualnya. Salah satu sistem transportasi yang efektif untuk mendistribusikan minyak dan gas dari sumur di dasar laut ke *offshore platform* ataupun ke penyimpanan minyak yang terdapat di darat adalah *offshore pipeline*. Untuk mendapatkan suatu sistem transportasi pipa yang baik diperlukan pertimbangan perancangan termasuk analisa stabilitas pipa gas dengan memperhatikan beban lingkungan yang bekerja dan kondisi tanah pada rute/jalur pipa serta posisi peletakan pipa di dasar laut terutama jika dasar laut berupa tanah nonkohesif.

Dalam kondisi operasi pipa yang meletak pada dasar laut tanpa persyaratan tambahan seperti *trenching*, *backfilling* ataupun *anchoring* akan menerima beban lingkungan ataupun beban internal yang ditimbulkan oleh material pipa beserta isinya yang lebih besar daripada pipa yang ditanam. Dengan beragamnya beban yang bekerja pada pipa maka kemungkinan terjadinya gangguan stabilitas (perubahan kedudukan pipa) akan semakin besar. Beban lingkungan yang paling berpengaruh terhadap stabilitas pipa dalam kondisi laut terbuka (*open sea*) adalah kombinasi antara beban arus dan beban gelombang.



Perubahan kedudukan pipa akibat ketidakstabilan ini meliputi pergeseran horizontal di dasar laut ataupun ketidakstabilan vertikal akibat liquifikasi tanah. Disamping itu dengan adanya arus pada dasar laut (*bottom current*) kondisi tanah disekitar pipa akan mengalami *scouring*. Hal ini terjadi karena adanya peningkatan kecepatan lokal dan turbulensi yang menjalar di sekitar pipa tanah akan terangkat dan tergerus dengan kedalaman tertentu. Sehingga timbul bentangan bebas (*freespans*) yang akan menimbulkan gerakan osilasi pipa yang menimbulkan kondisi *fatigue* pada saat tertentu jika frekuensinya melebihi frekuensi natural pipa (Chiew, 1997). Melihat kondisi yang seperti ini perlu adanya analisa stabilitas pipa gas karena pengaruh perubahan posisi pipa yang diakibatkan adanya *scouring* pada pipa (Herbich, 1981).

Analisa *scouring* ini dilakukan dengan menghitung kedalaman maksimal penggerusan dimana pipa masih mampu menahan beban-beban yang bekerja. Dalam analisa ini akan memperhatikan faktor umum yang mempengaruhi seperti :

- Jenis dan tipe arus yang bekerja pada pipa di dasar laut.
- Kondisi dan jenis butiran tanah tempat melekatnya pipa.
- Karakteristik pipa gas meliputi diameter dan jenis pipa yang digunakan.

Disamping itu dalam perhitungan kedalaman *scouring* akan menggunakan formulasi dan langkah-langkah yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu yang berkaitan dengan *scouring* pada pipa (Chiew dengan metode Nanyang Technology University).



Karakteristik pipa gas yang melintasi perairan di sekitar pulau Madura dari *Central Prossesing Point* (CPP) di pulau Pagerungan Besar, kepulauan Kangean sampai *Onshore Receiving Facility* (ORF) di Porong Jawa Timur dengan panjang jalur lepas pantai sepanjang ± 360 km adalah pipa baja (*steel pipe*) API 5L grade X 65 dengan diameter luar 28 inch. Pipa ini dilindungi dengan *corrosion coating* dan beton pemberat (*concrete weight coating*) untuk menambah stabilitas pipa sehingga pipa meletak didasar laut.

Pipa berfungsi untuk menyalurkan gas bumi untuk memenuhi kebutuhan Perusahaan Gas Negara dan bahan bakar bagi Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan Petrokimia (PTK). Posisi pipa gas ini pada kedudukan astronomis bujur $112^08'$ BT sampai $115^09'$ BT dan posisi lintang $7^0 - 7^05'$ LS.

Scouring terjadi pada dua lokasi di Zone 1 C yaitu terjadi di KP 40,9 dan 41,2 dari arah CPP di pulau Pagerungan. Dengan kondisi scouring terakhir (saat pengambilan data) memiliki panjang bentangan bebas (*freespans*) di lokasi KP 40,9 adalah 9,54 m sedangkan dilokasi KP 41,2 dengan panjang 11,95meter.

Untuk itu perlu dilakukan perhitungan stabilitas pipa dalam kondisi pipa tidak meletak di dasar laut akibat terjadinya scouring. Perhitungan stabilitas pipa dengan variasi perubahan kecepatan efektif yang bekerja pada pipa akibat terjadinya scouring dan timbulnya *freespans* pada pipa. Dari sini akan ditarik kesimpulan berapa besarnya pengaruh *scouring* terhadap stabilitas pipa gas tersebut.



I.2 Perumusan Masalah

Kondisi tanah dasar laut di sekitar pipa yang tersusun dari tanah nonkohesif akan memungkinkan terjadi erosi. Adanya erosi tanah akan mengakibatkan adanya perubahan kecepatan arus yang akan mengganggu kestabilan pipa. Melihat kondisi seperti itu maka dalam tugas akhir ini dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut :

1. Kedalaman scouring maksimal di lokasi pipa gas dengan kondisi tanah sesuai dengan data yang diperoleh di masing-masing lokasi scouring.
2. Kondisi kestabilan pipa di dasar laut (*on-bottom stability*) akibat adanya perubahan kecepatan arus yang disebabkan scouring.
3. Perlindungan pipa terhadap scouring yang sesuai dengan jenis penggerusan yang terjadi sehingga bentangan bebas akibat scouring dapat dihindari.

I.3 Tujuan

1. Untuk menghitung kedalaman scouring maksimal pipa dan kecepatan efektif pipa setelah terjadi scouring untuk masing-masing *undisturb flow depth*.
2. Melakukan perhitungan stabilitas pipa akibat adanya *scouring* di lokasi KP 40,9 dan KP 41,2 dari arah Pagerungan.
3. Memberi pilihan jenis *scouring protection* pipa untuk kondisi scouring yang terjadi masing-masing dilokasi.

I.4 Manfaat

Dari pengolahan data diharapkan penghitungan kedalaman scouring dapat dilakukan dengan formulasi yang telah ditentukan (Nanyang Technology



University, 1991) yang selanjutkan dilakukan analisa stabilitas pipa karena pengaruh terjadinya *scouring* di sekitar pipa. Selain kedua manfaat di atas dari analisa dalam tugas akhir ini diharapkan mampu memberikan jenis pilihan dalam melindungi pipa akibat terjadi scouring.

I.5 Batasan Masalah

Dalam analisa tugas akhir ini diberikan batasan-batasan permasalahan sehingga diperoleh pembahasan topik yang spesifik. Adapun batasan itu adalah sebagai berikut :

1. Lokasi scouring terjadi pada Zone I C di KP 40,9 dan KP 41,2 dari *Central Processing Point* (CPP) di pulau Pagerungan Besar dengan panjang bentangan bebas 9,54 meter dan 11,95 meter
2. Pipa pada kondisi meletak pada dasar laut tanpa perlakuan *trenching* atau penimbunan yang lain dan pada kondisi awal yang rata dan datar.
3. Penggunaan data tinggi gelombang dan perhitungan gelombang tidak mempertimbangkan faktor pendangkalan (*shoaling*).
4. Kecepatan arus yang dipakai adalah kecepatan arus efektif yang bekerja pada pipa.
5. Perhitungan kedalaman scouring menggunakan formulasi *Nanyang Technology University* 1991.
6. Perhitungan stabilitas yang digunakan tidak termasuk dalam analisa gempa dan analisa stress.



-
7. Analisa stabilitas dilakukan dengan membandingkan kedalaman arus *undisturb flow depth* $Y_o = 1$ (Mouselli, 1981) dan $Y_o = 3,8$ (Nanyang, 1991).
 8. Dalam pemilihan jenis perlindungan pipa (*scour protection*) tidak memperhatikan aspek ekonomis.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

II.1 Tinjauan Pustaka

Ralson dan Herbich (1968) dalam Herbich (1981) melakukan studi tentang hubungan *scouring* dengan stabilitas pipa bawah laut menyatakan bahwa pipa harus memiliki stabilitas vertikal dan horizontal yang cukup baik untuk menghadapi beban hidrodinamis dan beban lingkungan.

Sejumlah eksperimen tentang *scouring* yang dilakukan oleh Mayer dan Herbich (1970) dalam Herbich (1981) menyimpulkan bahwa:

- kegagalan offshore pipeline akibat cuaca buruk disebabkan oleh penggerusan tanah dan kegagalan pondasi
- pengaruh penggerusan terjadi pada pipa yang terpendam (*buried*) atau terletak di dasar laut (*unburied*) akibat gelombang yang terdapat di *surf zone* pada *coastlines*
- *wave-induced force* disekitar pendaman pipa merupakan parameter yang dominan yang mengakibatkan gerakan dan stabilitas pipa

Pada *surf zone* Mousselli (1981) menyatakan bahwa sedimen di dasar laut akan tererosi , tersuspensi dan terdepositi dimana mekanismenya sangat kompleks dan tergantung dari sifat material sedimen dasar laut yaitu ukuran butiran dan *spesific gravity*



Stabilitas lateral unburied pipeline tergantung karakteristik tanah , pipa dan beban yang bekerja pada pipa tersebut. Beberapa parameter yang dipakai dalam analisa ini dikenal sebagai koefisien stabilitas lateral yaitu : Φ (sudut gesekan tanah), λ (koefisien kohesi atau undrained shear strength), κ (koefisien berat tanah), C_w (ratio gaya hidrodinamik), R_m (kekasaratan permukaan pipa) (Jones, 1976).

Untuk mencegah pengaruh scouring maka dilakukan pemendaman pipa pada kedalaman tertentu di bawah kedalaman erosi sehingga kerusakan pipa akibat bentangan bebas karena *scouring* dapat dihindari yang akan memberikan stabilitas lateral pipa yang baik (Chiew, 1997)

Pertumbuhan rata-rata *scouring*, secara vertikal disebut lubang scouring dan secara horizontal disebut bentangan (*spans*) tergantung pada kondisi lingkungan, tanah dan kondisi dari pipa itu sendiri (Bijker, 1991).

II.2 Landasan Teori

II.2.1 Gaya-Gaya Hidrodinamis

Gaya hidrodinamis yang bekerja, terjadi akibat adanya gerakan relatif antara pipa dengan air di sekitar pipa. Dalam menghitung gaya-gaya hidrodinamis ini digunakan kecepatan dan percepatan relatif partikel air yang disebabkan oleh gelombang dan arus. Dengan asumsi arus merupakan *steady current*, maka percepatan air karena arus sama dengan nol, dan saat terjadinya kesetimbangan



scouring terjadi perubahan kecepatan pada dasar pipa (*bottom current*) yang mempengaruhi gaya hidrodinamis tersebut.

Dalam kasus ini, gaya hidrodinamis yang ditinjau adalah gaya drag dan gaya inersia. Untuk menghitung gaya hidrodinamis tersebut dilakukan penentuan koefisien hidrodinamis yaitu koefisien drag, koefisien inersia dan koefisien lift yang digunakan dalam menghitung gaya tersebut. Dalam kondisi steady flow penentuan koefisien hidrodinamis tersebut akan dipengaruhi oleh beberapa karakteristik berikut : angka Reynold (R_e), angka Keulegan-Carpenter (K_c), kekasaran permukaan pipa, jarak pipa dengan seabed.

Gaya Drag

Gaya drag per satuan panjang dinyatakan dengan formula:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho \cdot C_d \cdot D_t \cdot U_e^2 \quad (\text{DnV, 1986}) \quad (2.1)$$

Dimana : F_d = Gaya persatuan panjang

ρ = Massa jenis air laut (Kg/m^3)

C_d = Koefisien drag

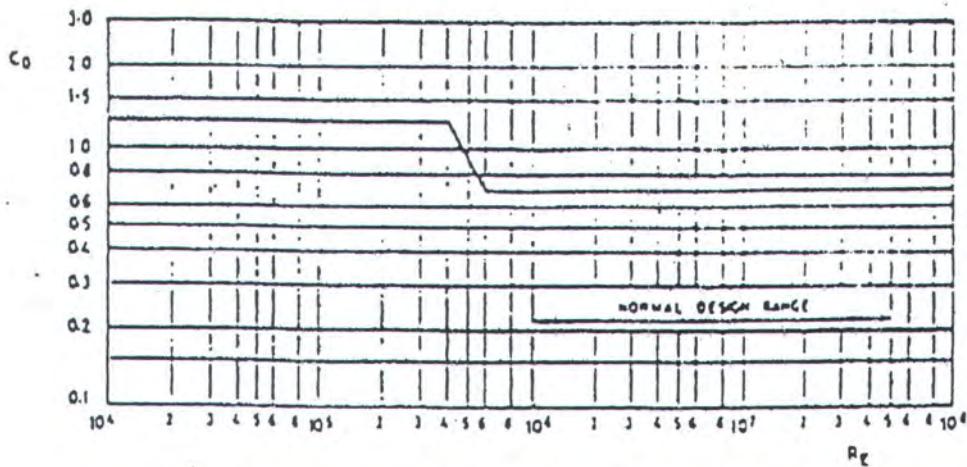
D_t = Diameter Pipa (meter)

U_e = Kecepatan horizontal efektif partikel air (m/det.)

Harga C_d berfariasi antara 0,6 – 2,0 tergantung angka Reynold, kekasaran permukaan dan angka Keulegan-Carpenter. DnV 1986 merekomendasikan



rumusan C_d sebagai fungsi dari kecepatan efektif design seperti yang tercantum dalam gambar berikut :



Gambar 2.1 Harga koefisien drag sebagai fungsi Angka Reynold (DnV, 1986)

Gaya Inersia

Gaya inersia per satuan panjang dinyatakan dalam formula:

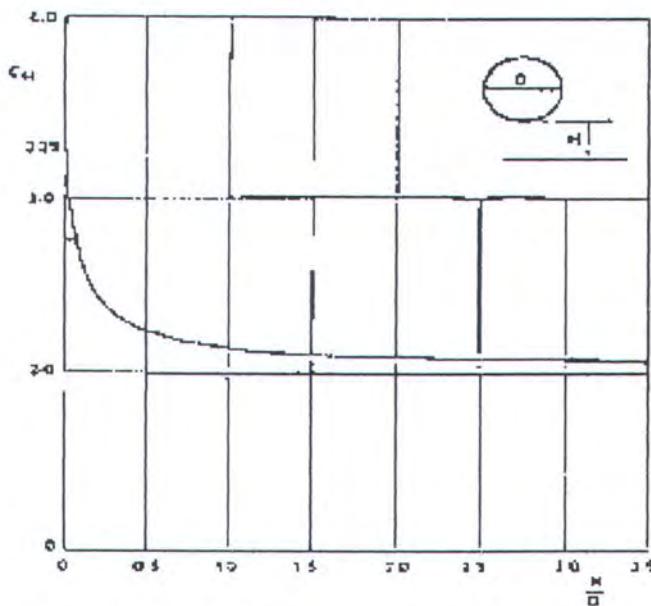
$$F_i = \frac{1}{2} \rho \cdot C_i \cdot (\pi \cdot D_t^2 / 4) \cdot dU / dt \quad (\text{DnV, 1986}) \quad (2.2)$$

dimana: F_i = Gaya inersia persatuan panjang

C_i = Koefisien Inersia

dU/dt = Percepatan horizontal partikel air (m/det^2)

Seperti halnya penentuan C_d harga C_i akan bervariasi tergantung pada Angka Reynold, tetapi untuk kasus dimana ada pengaruh jarak antara pipa dengan dasar laut maka DnV memberikan harga C_i seperti dalam gambar berikut :



Gambar 2.2 Harga koefisien inersia sebagai fungsi dari H/D (DnV, 1986)

Dengan asumsi bahwa $C_i = C_m + 1$, dimana C_m adalah koefisien massa tambah, maka untuk pipa yang meletak di dasar laut ($H/D = 0$), akan diperoleh koefisien inersia = 3.29, sedangkan untuk pipa yang menggantung karena pengaruh *scouring* dapat dihitung sebagai fungsi kedalaman *scouring* terhadap diameter pipa.

Gaya Lift

Untuk gaya angkat (*lift Force*) per satuan panjang akan diberikan formulasi seperti dibawah ini:

$$Fl = \frac{1}{2} \rho C_l D_t U_e^2 \quad (\text{DnV, 1986}) \quad (2.3)$$



dimana F_l = Gaya lift persatuan panjang

C_l = Koefisien lift

Untuk keperluan praktis dalam penentuan koefisien-koefisien hidrodinamis dipakai rumusan yang telah diberikan oleh A.H. Mousselli (1981) dalam tabel berikut :

Tabel 2.1 Koefisien hidrodinamis pipa lepas pantai (Mousselli, 1981)

R_e	C_d	C_l	C_i
$R_e < 5 \times 10^4$	1.3	1.5	2.0
$5 \times 10^4 < R_e < 1 \times 10^5$	1.2	1.0	2.0
$1 \times 10^5 < R_e < 2.5 \times 10^5$	$1.5 - (R_e/3) \times 10^{-5}$	$1.2 - (R_e/5) \times 10^{-5}$	2.0
$2.5 \times 10^5 < R_e < 5 \times 10^5$	0.7	0.7	$2.5 - (R_e/5) \times 10^{-5}$
$5 \times 10^5 < R_e$	0.7	0.7	1.5

Dimana :

$$R_e = \frac{U_e \cdot D_t}{\nu} \quad (\text{Dawson, 1983})$$

$$\nu = \text{viskositas air laut} \quad (\text{m}^2/\text{det})$$

Gaya Gesek Lateral

Untuk melawan pengaruh gaya hidrodinamis perlu adanya gaya penahan (*resisting force*) yang bekerja pada tanah dan permukaan pipa agar menahan pergeseran pipa. Besarnya gaya tersebut dinyatakan dalam persamaan:

$$F_r = \mu \cdot N \quad (2.4)$$

Dimana : μ = koefisien gesek

N = Gaya Normal



Harga koefisien tergantung permukaan pelapis pipa dan karakteristik tanah dasar laut. Untuk kondisi praktis besarnya koefisien gesek diberikan dalam bentuk tabel dibawah ini :

Tabel 2.2 Harga koefisien gesek dari tanah (Ghazzaly, 1975)

Jenis Tanah	Koefisien Gesek
Lempung	0.3 – 0.6
Pasir	0.5 – 0.7
Kerikil	0.5

II.2.2 Kecepatan Arus Efektif yang Bekerja pada Pipa

Kecepatan efektif yang bekerja pada pipa merupakan kombinasi dari kecepatan partikel air yang ditimbulkan oleh gaya gelombang dan arus arus steady, yang besarnya akan berkurang seiring kedalaman perairan. Dan dinyatakan dalam rumus:

$$U_e = U_w + V_a \quad (\text{DnV}, 1986) \quad (2.5)$$

Dimana : U_w = Kecepatan partikel air, normal terhadap pipa

V_a = Kecepatan arus *steady*, normal terhadap pipa

Kecepatan Arus Steady

Saat pipa berada di *seabed* akan bekerja arus yang mengalir dalam suatu rentang kecepatan membentuk profil menurut kedalaman perairan. Kecepatan ini merupakan kecepatan efektif arus yang diturunkan dengan mengintegralkan kuadrat dari kecepatan arus yang melintasi pipa dibagi diameter pipa :



$$V_e^2 = \frac{1}{D_t} \int_0^D V^2(y) dy \quad (\text{Mousselli, 1981}) \quad (2.6)$$

Dengan dalil pangkat 1/7 (*1/7 power law*) profil kecepatan arus dapat diperoleh dengan formulasi seperti berikut :

$$\frac{V}{V_0} = \left[\frac{y}{y_0} \right]^{1/7} \quad (\text{Mousselli, 1981}) \quad (2.7)$$

Dimana : V = Kecepatan partikel air pada ketinggian y dari *seabed*
 V_0 = Kecepatan horizontal diukur pada ketinggian y_0 dari *seabed*

Kemudian dilakukan substitusi persamaan (2.7) ke persamaan (2.6) sehingga diperoleh:

$$V_a^2 = 0.778 \cdot V_0 \left[\frac{D_t}{y_0} \right]^{0.286} \quad (\text{Mousselli, 1981}) \quad (2.8)$$

Untuk arus yang datang dengan sudut tertentu, maka perlu diketahui arah sudut datang arus dengan arah normal pipa. Sehingga kecepatan normal pipa dapat dinyatakan :

$$V_{\text{norm}} = V_{\text{abs}} \cos \alpha \quad (2.9)$$

Dimana : V_{norm} = Komponen kecepatan dengan arah normal terhadap pipa
 V_{abs} = Kecepatan absolut



Kecepatan Partikel Air Akibat Gelombang

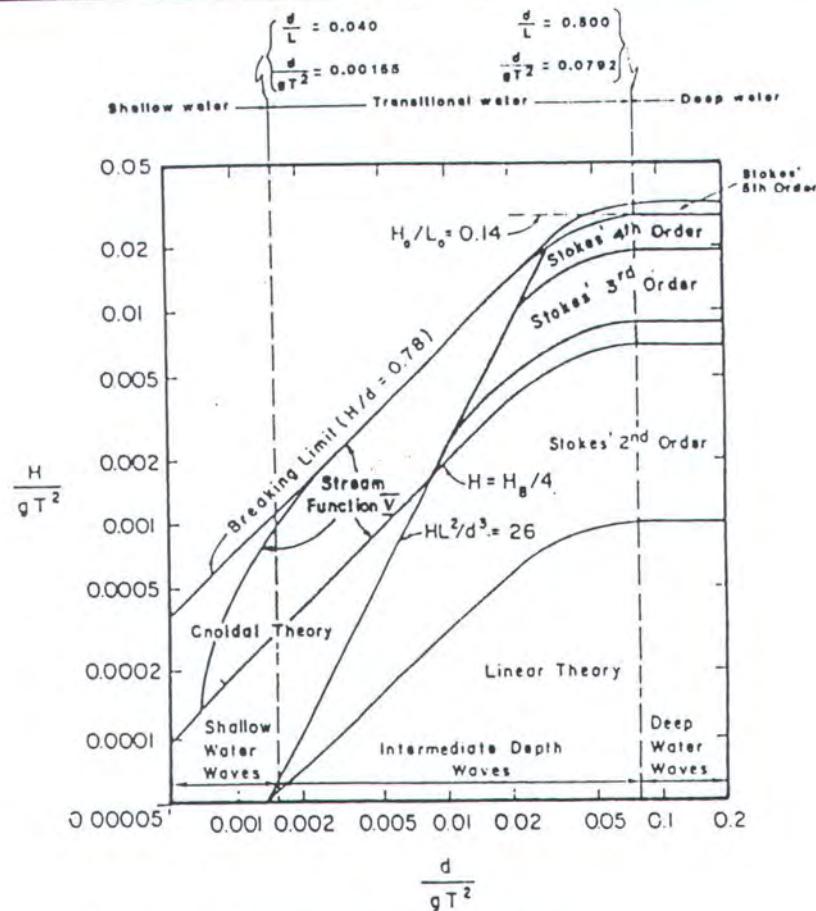
Seperti kecepatan arus steady, kecepatan partikel air akibat gelombang juga akan berkurang seiring kedalaman perairan yang dikenal dengan profil *exponential decay* (Dawson, 1983). Sedangkan besarnya kecepatan partikel air ini dihitung dengan menggunakan teori gelombang yang sesuai.

Penentuan Teori Gelombang

Sampai saat ini teori gelombang dikelompokkan kedalam teori gelombang linier dan teori gelombang non-linier. Teori gelombang linier ini lebih dikenal dengan teori gelombang Airy dan merupakan teori gelombang *sinosoidal*. Teori ini dikembangkan berdasarkan asumsi bahwa tinggi gelombang relatif kecil dibandingkan dengan panjang gelombang ataupun kedalaman perairan.

Untuk keperluan yang lebih teliti digunakan teori gelombang Stokes. Dalam teori Stokes ekspansi potensial kecepatan sebagai parameter tergantung amplitudo dan panjang gelombang. Asumsi dasar yang dipakai teori gelombang ini adalah semua variasi horizontal ditunjukkan dalam deret matematis dan koefisien dari deret ini ditulis sebagai pertambahan parameter yang dikaitkan dengan amplitudo dan panjang gelombang.

Penentuan teori gelombang yang dipakai menggunakan diagram validitas gelombang (*region of Validity*) sesuai kondisi perairan. Diagram validitas ini merupakan fungsi dari perbandingan dari karakteristik gelombang seperti tinggi gelombang (H), kedalaman perairan (d) dan Periode gelombang (T).



REGIONS OF VALIDITY FOR VARIOUS WAVE THEORIES

Gambar 2.3 Diagram validitas teori gelombang (Sarpkaya,1981)

Dari diagram validitas gelombang akan diperoleh jenis teori gelombang yang sesuai untuk kondisi perairan lokasi pipa tersebut. Adapun kecepatan partikel air akibat gelombang dijelaskan dengan teori gelombang yang sesuai (Hsu,1983). Sedangkan untuk memperoleh percepatan partikel air maka kecepatan partikel diturunkan terhadap waktu.

1. Teori gelombang Airy

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh kd} \cos \theta \quad (2.10)$$



$$\frac{du}{dt} = \frac{2\pi^2 H}{T^2} \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh kd} \sin \theta \quad (2.11)$$

2. Teori gelombang Stokes order-2

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh kd} \cos \theta + \frac{3}{4} \frac{(\pi H)^2}{T L} \frac{\cosh 2k(d+z)}{\sinh^4(kd)} \cos 2\theta \quad (2.12)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{2\pi^2 H}{T^2} \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh kd} \sin \theta + \frac{3\pi^2 H}{T^2} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh^4 kd} \sin 2\theta \quad (2.13)$$

3. Teori gelombang Stokes order-5

$$u = C \sum_{n=1}^5 n F_n \cos n\theta \cosh nkS \quad (2.14)$$

$$du/dt = kC^2 \sum_{n=1}^5 n^2 F_n \sin n\theta \cosh nkS \quad (2.15)$$

Nilai variabel panjang gelombang L, dihitung dengan persamaan:

$$L = \frac{g T^2}{2\pi} \tanh 2kd \quad (2.16)$$

Perhitungan panjang gelombang dilakukan secara iteratif karena k dalam tanh mengandung varialbel L. Untuk menentukan nilai L dalam tanh kd maka dihitung dengan persamaan:

$$L = \frac{g T^2}{2\pi} \quad (2.17)$$

Hasil yang diperoleh dari persamaan (2.17) digunakan untuk menghitung L pada persamaan (2.16) dengan melakukan iterasi sampai error yang terkecil.



Perhitungan panjang gelombang juga dapat dilakukan dengan cara pengklasifikasikan jenis perairan berdasar perbandingan nilai d/L . Untuk kondisi *deep water* nilai $d/L > 0.5$, untuk kondisi perairan menengah $0.05 < d/L < 0.5$ dan untuk kondisi *shallow water* $d/L < 0.05$. Nilai L untuk kondisi *deep water* dihitung dengan persamaan (2.15), sedangkan untuk kondisi *shallow water* dan kondisi *intermediate* digunakan persamaan:

$$L = L_0 [\tanh(2kd)]^{0.5} \quad (2.18)$$

$$\text{dimana : } L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$$

II.2.3 Kecepatan Arus yang Menyebabkan scouring

Scouring disebabkan arus yang mengenai sedimen di bawah pipa cukup besar dan kondisi material sedimen tanah yang mudah tererosi. Arus yang menyebabkan scouring merupakan penjumlahan dari arus steady (*steady current*) dan arus yang disebabkan oleh gelombang *wave current* (Herbich, 1981). Sehingga diberikan formulasi:

$$V_s = V_a + V^* \quad (2.19)$$

dimana: V_a = Kecepatan arus steady

V^* = Kecepatan arus akibat gelombang (*wave current*)

Kecepatan Arus Akibat Gelombang

Kecepatan arus akibat gelombang (*wave current speed*) juga mengikuti pola eksponensial decay. Besarnya kecepatan arus akibat pada kedalaman tertentu dapat dihitung dengan formulasi yang diberikan oleh Kinsman 1965:



$$V^* = k^2 \cdot a^2 \cdot c \cdot e^{2kd} \quad (2.20)$$

dimana :

$$k = \frac{2\pi}{L} \quad : \text{angka gelombang}$$

$$c = \frac{L}{T} \quad : \text{kecepatan gelombang}$$

$$\delta = \frac{H}{L} \quad : \text{wave steepness}$$

Parameter gelombang yang digunakan dalam perhitungan kecepatan arus akibat gelombang sesuai dengan teori gelombang yang dipakai. Dengan memasukkan koefisien gelombang kedalam persamaan diatas maka diperoleh persamaan kecepatan arus yang bekerja didasar laut:

$$V^* = \pi^2 \cdot \delta^2 \cdot c \cdot e^{2kd} \quad (2.21)$$

Gaya Gesek Lateral

Untuk melawan pengaruh gaya hidrodinamis perlu adanya gaya penahan (*resisting force*) yang bekerja pada tanah dan permukaan pipa agar menahan pergeseran pipa. Besarnya gaya tersebut dinyatakan dalam persamaan:

$$F_r = \mu \cdot N \quad (2.22)$$

Dimana : μ = koefisien gesek

N = Gaya Normal



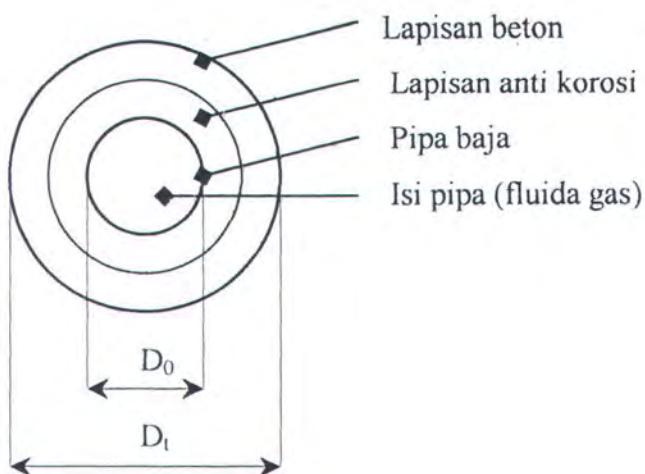
Harga koefisien tergantung permukaan pelapis pipa dan karakteristik tanah dasar laut. Untuk kondisi praktis besarnya koefisien gesek diberikan dalam bentuk tabel dibawah ini :

Tabel 2.2 Harga koefisien gesek dari tanah (Ghazzaly, 1975)

Jenis Tanah	Koefisien Gesek
Lempung	0.3 – 0.6
Pasir	0.5 – 0.7
Kerikil	0.5

II.2.3 Gaya Berat Pipa Bawah Laut

Perhitungan berat dari sebuah pipa dapat dilakukan dengan menjumlah berat masing-masing komponen penyusunnya. Berat komponen itu meliputi berat pipa baja itu sendiri, berat isi pipa berat lapisan anti korosi, berat lapisan beton, yang dijelaskan dalam gambar penampang pipa gas



Gambar 2.4 Konfigurasi penampang melintang pipa gas (Helliwel, 1981)



Berat total pipa dihitung dengan formula yang diberikan oleh Helliwel, 1981 adalah sebagai berikut :

$$W_{\text{tot}} = W_{\text{baja}} + W_{\text{cc}} + W_{\text{isi}} + W_{\text{cwc}} \quad (2.23)$$

Dengan

W_{baja} = Berat pipa baja

$$= \gamma_s \left[\frac{1}{4} \pi D_0^2 - \frac{1}{4} \pi (D_0 - 2t_s)^2 \right] \quad (2.24)$$

W_{cc} = Berat lapisan anti korosi

$$= \gamma_{\text{cc}} \left[-\frac{1}{4} \pi D_0^2 + \frac{1}{4} \pi (D_0 + 2t_{\text{cc}})^2 \right] \quad (2.25)$$

W_{isi} = Berat isi pipa

$$= \gamma_g \left[\frac{1}{4} \pi (D_0 - 2t_s)^2 \right] \quad (2.26)$$

W_{cwc} = Berat lapisan beton

$$= 1.05 \gamma_{\text{cwc}} \left[\frac{1}{4} \pi (D_0 + 2t_{\text{cc}} + 2t_{\text{cwc}})^2 - \frac{1}{4} \pi (D_0 - 2t_s)^2 \right] \quad (2.27)$$

Dimana :

D_0 = Diameter luar pipa baja (meter)

D_t = Diameter total pipa gas (meter)

t_s = Tebal pipa baja (meter)

t_{cc} = tebal lapisan anti korosi (meter)

t_{cwc} = tebal lapisan beton (meter)

γ_s = berat jenis pipa baja (N/m^3)

γ_g = berat jenis gas isi pipa (N/m^3)

γ_{cc} = berat jenis lapisan anti korosi (N/m^3)



$$\gamma_{cwc} = \text{berat jenis lapisan beton} \quad (\text{N/m}^3)$$

$$\rho = \text{berat jenis air laut} \quad (\text{N/m}^3)$$

Untuk menghitung berat pipa didalam air dilakukan dengan mengurangi berat total pipa dengan bouyancy yang dirumuskan:

$$B = 0,25 \times \pi \times D_t \times \rho \quad (2.28)$$

Sehingga berat pipa didalam air dirumuskan dengan :

$$W_{sub} = W_{tot} - B \quad (2.29)$$

II.2.4 Scouring pada Pipa Bawah Laut

Jenis dan Mekanisme Scouring

Mekanisme *scouring* yang terjadi pada pipa digambarkan bahwa pipa merupakan halangan yang menyebabkan terjadinya perubahan pola dan arah aliran partikel air. Aliran yang timbul merupakan aliran turbulen yang akan menggerakan butiran material tanah sebagai proses dari penggerusan (Herbich, 1981). Rintangan yang berupa pipa juga akan menimbulkan diversifikasi aliran disekitar pipa. Hal ini tergantung pada kekasaran pipa, jenis aliran, dan angka Reynold.

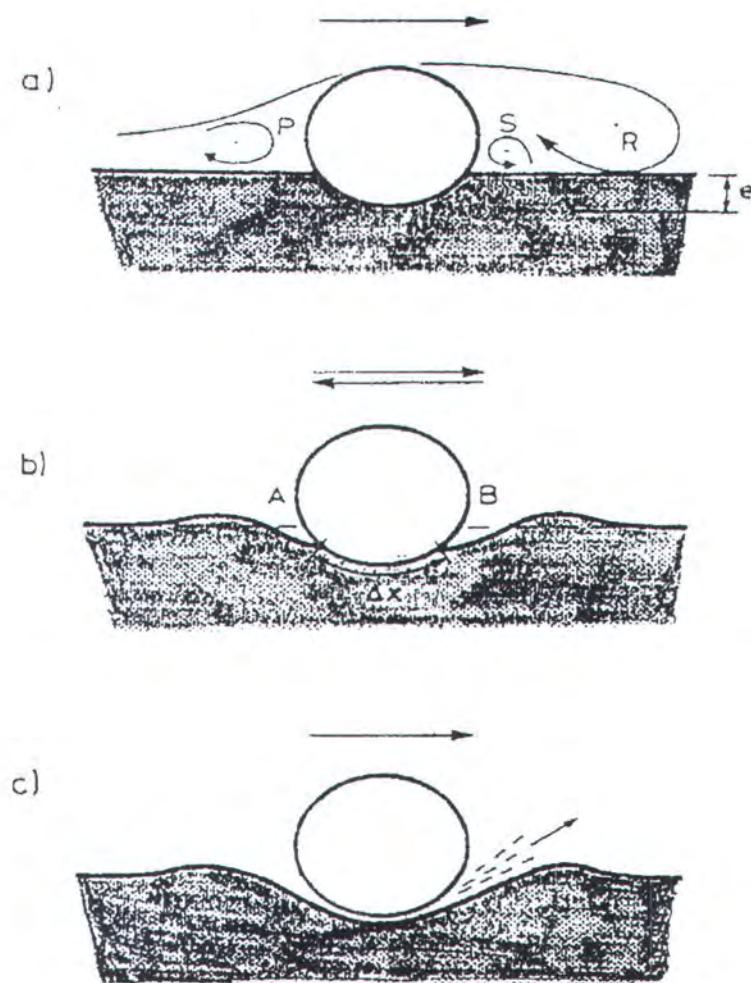
Proses terbentuknya scouring pada kondisi arus tetap (*steady current*) dapat dijelaskan sebagai perilaku *vortex flow* pada instalasi pipa bawah laut. *Vortex flow* ini merupakan aliran irrational dengan kecepatan yang arahnya memutar. Perilaku *vortex flow* ini akan menghasilkan tiga jenis *scouring* yang berbeda yang terjadi pada pipa (Chiew, 1997), dan dijelaskan sebagai berikut:



- a. *Luft scour*, terjadi pada *upstream* (bagian pipa yang berhadapan dengan arah aliran) pipa akibat formulasi eddy pada *upstream* pipa.
- b. *Lee-wake scour*, penggerusan ini terjadi pada bagian *downstream* pipa karena aliran melewati pipa yang menyebabkan terjadinya turbulensi pada bagian tersebut. *Vortex flow* akan menggerus dari arah bagian belakang struktur yang berlawanan dengan arah datangnya aliran.
- c. *Tunnel scour*, terjadi dibawah pipa dan merupakan pengaruh dari perubahan kecepatan aliran di bawah pipa. Dan akan berlangsung sampai terjadi kesetimbangan yaitu besarnya gaya geser dan aliran turbulen tidak mampu membawa material sedimen.

Untuk memperoleh pemahaman yang tepat maka dijelaskan dengan gambar dua dimensional dari ketiga jenis *vortex flow* yang bekerja pada pipa bawah laut. *Vortex P* yang terjadi pada bagian muka pipa (*upstream*) akan menghasilkan aliran *eddy* dan erosi yang terbentuk adalah *tuff erosion*. Sedangkan *Vortex R* yang terjadi pada *downstream* disebabkan oleh pemisahan aliran dan peningkatan kecepatan aliran. Jenis erosi yang dihasilkan pada kondisi aliran seperti ini adalah *lee-wake scour*.

Ketika kedua *vortex* (*vortex P* dan *R*) terjadi secara bersamaan, pipa akan mengalami *tunnel scour* pada bagian bawah dan jenis gerusan ini merupakan faktor utama terjadinya *scouring*. *Tunnel scour* tersebut bekerja pada arah yang tegak lurus dengan kecepatan aliran partikel air (*bottom current*) sehingga berpengaruh besar terhadap stabilitas pipa.



Gambar 2.5 Bentuk vortex flow penyebab terjadinya scouring

(Chiew,1991)

Kecepatan Arus di lubang Scouring dan Kedalaman Scouring (Formulasi Nanyang Technologi University 1991)

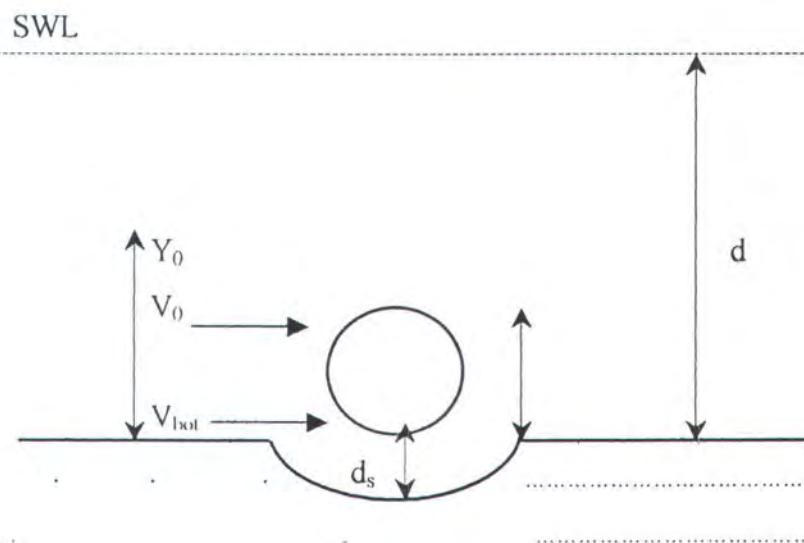
Untuk memprediksi kedalaman *scouring* pipa dapat digunakan formulasi yang telah diberikan oleh peneliti-peneliti terdahulu. Adapun dalam tugas akhir ini menggunakan formulasi dari Nanyang Technologi University 1991 yang



dilakukan oleh Chiew tahun 1991. Dalam perhitungan kedalaman maksimal scouring dengan metode ini didasarkan pada kondisi :

1. *Clear-water condition*, pada kondisi ini tidak terjadi transpor sedimen pada bagian *upstream* di lokasi scouring dan *undisturb shear stress* sama dengan *critical shear stress* untuk *entrainment sediment*.
2. Scouring terjadi dalam kondisi *unndirectional current* akan memberikan *shear stress*.

Saat lubang scouring terbentuk diantara pipa dan dasar laut, aliran akan terpisah ke dalam dua bagian yaitu pada bagian atas pipa dan aliran yang melewati *scour hole* yang dikenal dengan *gap flow*. Aliran ini dipengaruhi oleh undisturbed flow depth y_0 , diameter pipa dan kedalaman scouring.



Gambar 2.6 Variabel-variabel di lokasi scouring

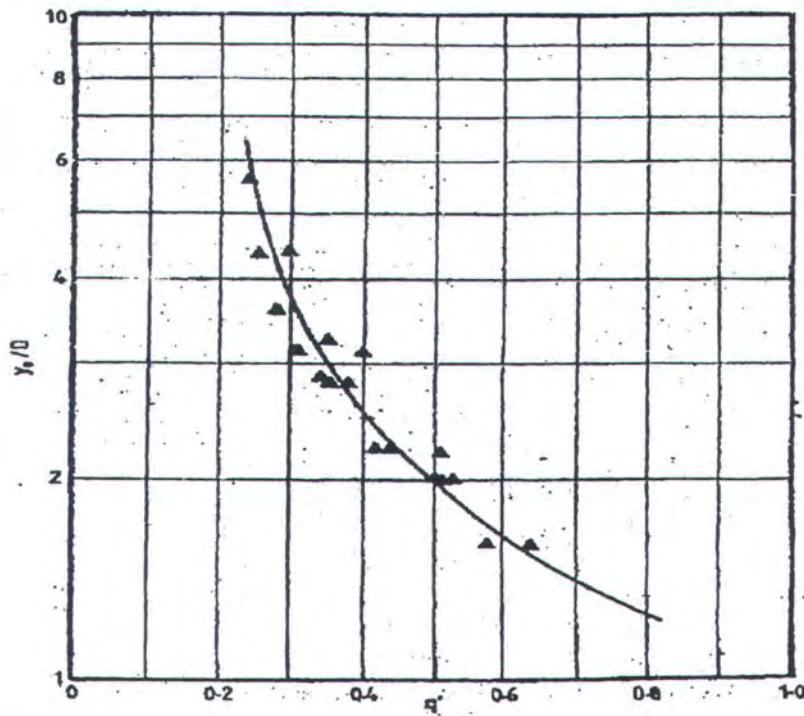
Undisturbed flow merupakan aliran bebas (*free stream*) yaitu daerah yang tidak dipengaruhi oleh viskositas fluida yang dapat menyebabkan terjadinya



boundary layer pada pipa (Le Mehaute, 1927). Sehingga pengertian *undisturbed flow depth* adalah suatu kedalaman aliran arus yang dihitung dari seabed yang mana aliran tersebut terbebas dari pengaruh efek viscositas fluida yang dapat menyebabkan terjadinya boundary layer disekitar pipa.

Perhitungan kedalaman scouring dilakukan dengan mengasumsikan nilai kedalaman scouring (d_s)_{est}, terlebih dahulu dengan membandingkan harga y_0/D dan q' (gambar 2.7). Nilai q' merupakan rasio q_{bot} dan q_o . Setelah parameter-parameter di atas diketahui maka dilakukan kecepatan rata-rata aliran dibawah pipa dengan formulasi yang diberikan Chiew, 1991:

$$V_{bot} = \frac{q_{bot}}{(d_s)_{est}} \quad (2.30)$$



Gambar 2.7 Grafik Pengaruh y_0/D terhadap q' (Chiew, 1991)



Bed shear stress pada lubang scouring dihitung dengan formula:

$$\tau_{bot} = \frac{f \rho V_{bot}^2}{8} \quad (2.31)$$

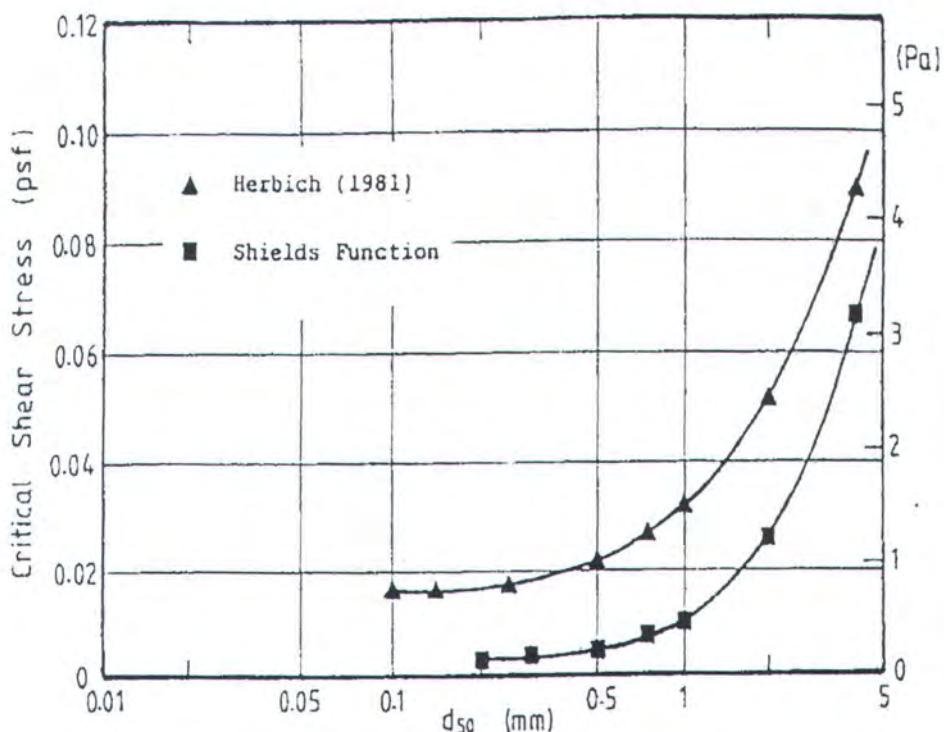
dimana : q_{bot} = debit aliran pada scour hole

$(d_s)_{est}$ = asumsi kedalaman scouring

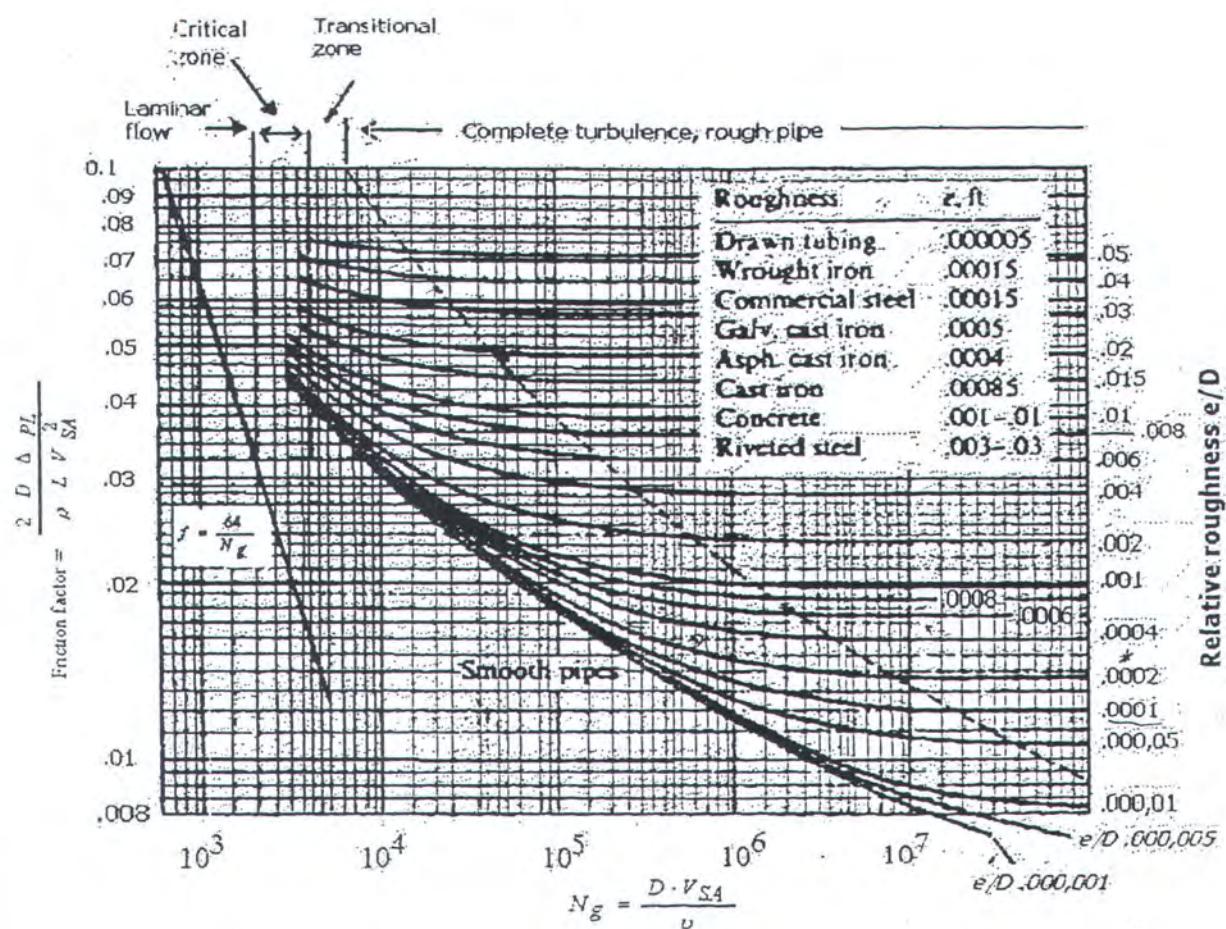
ρ = densitas fluida

f = faktor gesekan diperoleh dari gambar 2.9 diagram Moody

Kemudian dilakukan iterasi antara *bed shear stress* dengan *critical shear stress*, dimana besarnya *shear stress* diperoleh dari diagram shield pada gambar berikut:



Gambar 2.8 Diagram Shield (Chiew, 1997)



Gambar 2.9 Diagram Moudy (Chiew, 1997)

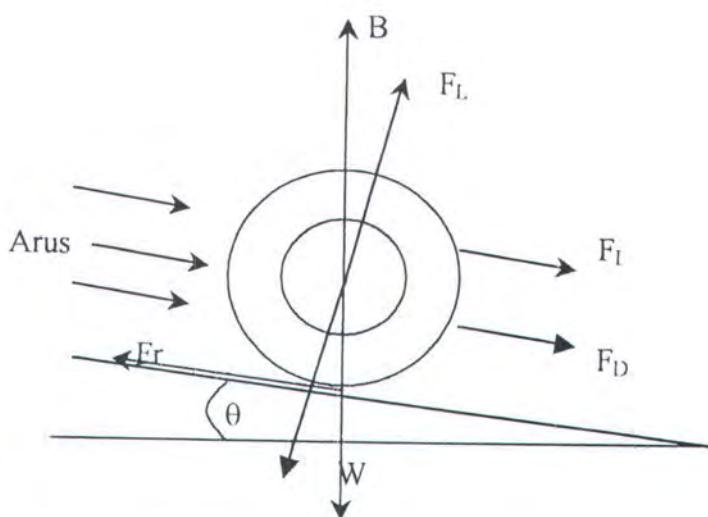
Dari perhitungan kedalaman scouring maksimal diperoleh komponen kecepatan arus di lubang scouring yang dikenal dengan V_{hol} . Dengan menggunakan persamaan 1/7 Power Law seperti dalam persamaan (2.6 dan 2.7) dengan mengubah kondisi batas integral diperolah kecepatan efektif yang bekerja pada pipa di lokasi scouring seperti persamaan berikut:

$$V_{eff}^2 = \frac{7 V_0^2}{9 D_i Y_0^{0.286}} \left[(d_s + D_i)^{1.286} - (d_s)^{1.286} \right] \quad (2.32)$$



II.2.3 Stabilitas Pipa bawah laut

Pertimbangan yang dipakai untuk menghitung stabilitas pipeline untuk memastikan bahwa gaya horizontal (*drag force*) karena aliran aliran air di sekitar pipa tidak melebihi tahanan gesek yang dapat menyebabkan gerakan dari pipa (Halliwell, 1986) disamping itu juga memperhitungkan gaya gaya vertikal seperti yang di gambarkan di bawah ini



Gambar 2.10 Gaya yang bekerja pada pipa bawah laut (Mousselli, 1981)

dimana :

W = berat total pipa

F_D = gaya drag pipa karena aliran fluida

F_L = gaya lift pipa karena aliran fluida

N = reaksi normal antara pipa dengan tanah

μ = koefisien gesekan antara pipa dengan tanah

Fr = gaya gesek yang bekerja melawan beban horizontal

θ = Kemiringan tanah di lokasi pipa

BAB III

METODE PENELITIAN

**BAB III****METODOLOGI PENELITIAN**

Langkah-langkah dalam penggerjaan tugas akhir dapat dikelompokkan menjadi lima tahap. Antar tahap terjadi keterikatan dan dilakukan secara berurutan. Langkah-langkah pelaksanaan Penelitian

1. Pengumpulan Data

2. Pengolahan Data

- Analisa kecepatan arus efektif yang bekerja pada pipa
- Analisa scouring (kedalaman lubang scouring dan V_{bol})

3. Perhitungan Data

- Analisa stabilitas pipa
- Analisa perlindungan pipa terhadap scouring

4. Analisa Perhitungan

5. Menarik Kesimpulan dari Analisa dan Pembahasan

III.1 Pengumpulan Data

Data diperoleh dari PT TRANS JAVA GAS PIPELINE dalam *East Java Gas Pipeline Report (Design/Engineering Report)*. Data tersebut berupa data primer yang langsung dapat dipakai dan data sekunder yang perlu diolah terlebih dahulu dengan formulasi tertentu. Komponen-komponen data yang digunakan adalah sebagai berikut :



1. Data Pipa

Berupa diameter, tebal dinding dan *densitas* dari komponen penyusun pipa yang berupa : pipa baja, lapisan anti korosi dan *concrete coating*. Disamping itu densitas dan temperatur gas yang merupakan isi dari pipa gas tersebut. Jalur pipa yang ditinjau pada Zone I C dengan lokasi scouring di KP 40,9 dan 41,2 dari pulau Pagerungan. Pada kondisi terakhir pengambilan data panjang freespans adalah 9,54 m dan 11,95 m.

2. Data Perairan

- Kecepatan *steady current* merupakan kecepatan arus yang diperoleh dari penjumlahan *tidal current*, *geostrophic current*, *wind drift current*. Kecepatan arus ini dihitung pada ketinggian 1 meter diatas dasar laut dengan menggunakan formulasi *1/7th power law* dan arah tegak lurus pipa
- Tinggi dan Periode Gelombang Significan dalam kondisi badai seratus tahunan pada Zone I C, variabel parameter gelombang akan mempengaruhi arus yang bekerja pada pipa.

3. Data Tanah

- Klasifikasi tanah pada tiap zone untuk menentukan konsistensi tanah (C) dan berat unit kering tanah yang digunakan dalam analisa stabilitas.
- Diameter butiran dengan persentase lolos 50% (D_{50}) dari PT Rinjanisakti Jayatama salah satu subkontraktor dalam East Java Gas Pipeline Project tahun 1991.



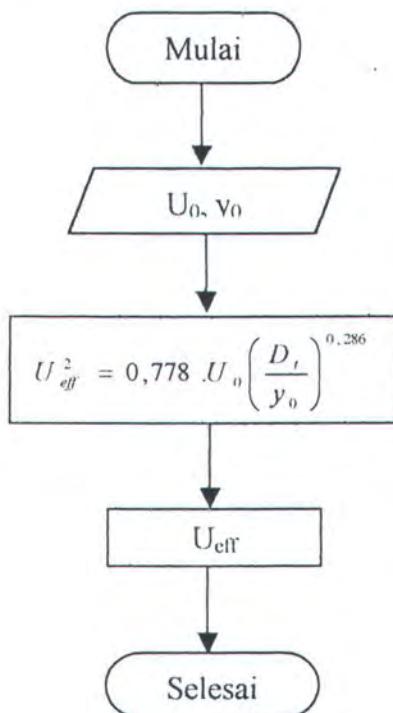
- Data kontur dasar laut di lokasi meletaknya pipa di sepanjang pulau Pagerungan sampai Porong Jawa Timur

III.2 Pengolahan Data

Dari data-data yang diperoleh dilakukan perhitungan, sehingga data tersebut dapat digunakan dalam formulasi yang ditentukan dalam analisa. Perhitungan tersebut meliputi :

1. Perhitungan Kecepatan Arus Steady

Kecepatan arus steady dihitung dengan formulasi *1/7th power law* dengan dan dihitung pada ketinggian y_1 dari dasar laut. Adapun langkah-langkah perhitungan dijelaskan dalam gambar 3.1

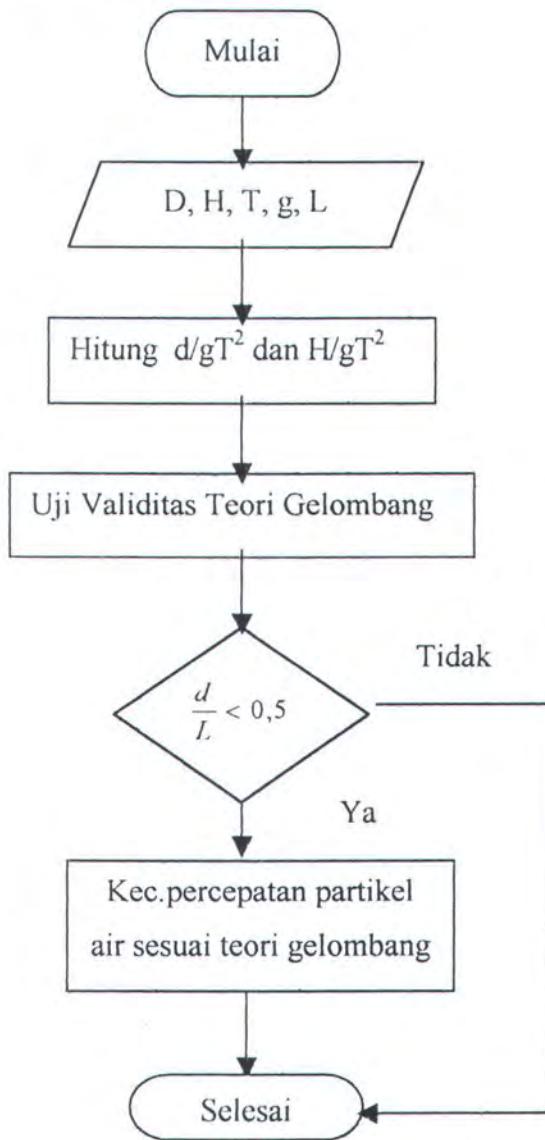


Gambar 3.1 Perhitungan Arus Efektif yang Bekerja pada Pipa



2. Perhitungan Kecepatan Partikel

Dalam perhitungan kecepatan partikel air dilakukan dengan terlebih dahulu melakukan iterasi panjang gelombang (L), kemudian dengan data tinggi gelombang H, periode gelombang T dan kedalaman d, digunakan pada *region validity of wave theory* (d/gT^2 dan H/gT^2). Setelah diperoleh teori gelombang yang dipakai maka kemudian dilakukan perhitungan kecepatan arus sesuai dengan teori gelombang yang dipakai.

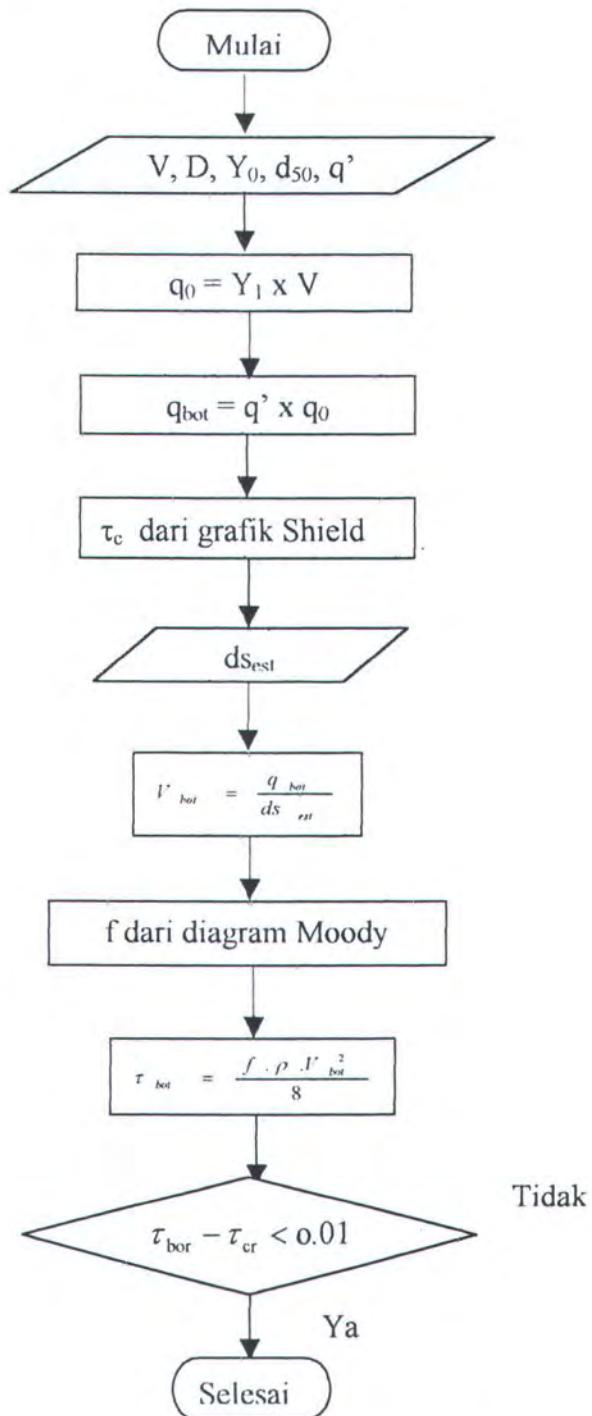


Gambar 3.2 Flow Chart Perhitungan Panjang Gelombang



3. Perhitungan Scouring Maximal dengan Formulasi Nanyang Technology University 1991.

Perhitungan scouring dengan metode Nanyang technology University 1991 dilakukan dengan langkah-langkah seperti dalam flow chart di bawah ini :

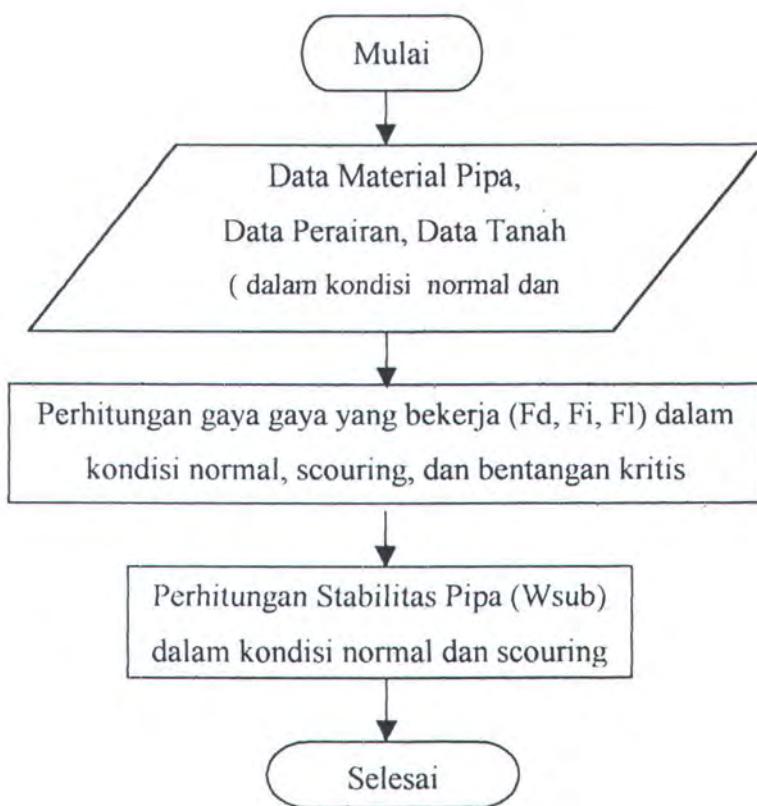


Gambar 3.3 Flow Chart Perhitungan Kedalaman Scouring dan V_{bot}



III.3 Perhitungan Data

Dari data sekunder yang diperoleh, dilakukan perhitungan analisa stabilitas pipa dalam kondisi normal. Selanjutnya dilakukan perhitungan stabilitas pipa setelah terjadinya penggerusan dan dalam kondisi bentangan kritis dengan memperhatikan adanya perubahan kecepatan arus dan terjadinya bentangan bebas. Untuk lebih jelasnya diberikan diagram alir



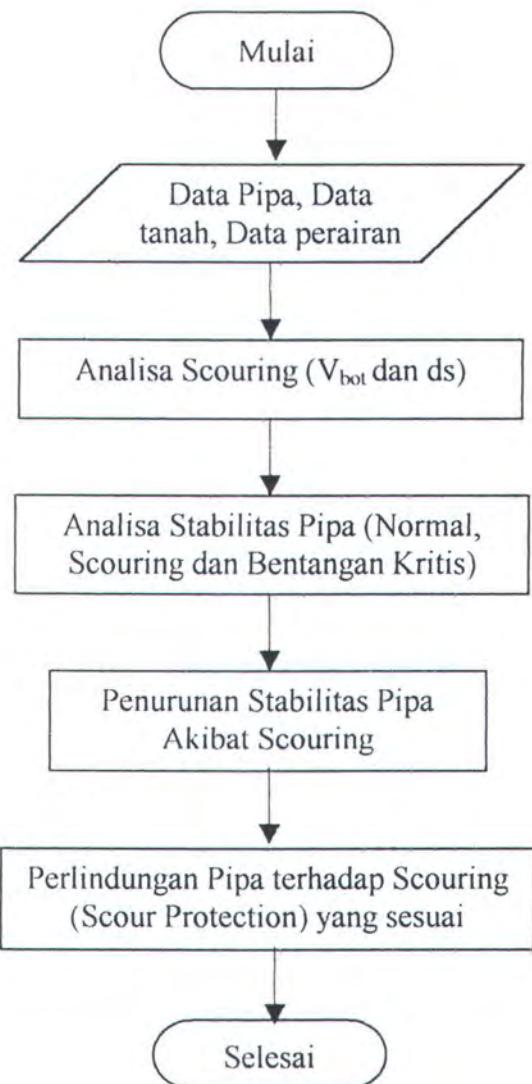
Gambar 3.4 Flow Chart Perhitungan Stabilitas Pipa

III.4 Analisa Stabilitas

Analisa ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh scouring terhadap stabilitas pipa. Dengan menggunakan variasi komponen arus dan panjang bentangan



bebas yang terjadi akibat scouring. Kemudian dilakukan pemilihan jenis perlindungan scouring pipa (*scouring protection*) yang sesuai, sehingga pipa akan dari pengaruh bentangan bebas yang terjadi akibat scouring.



Gambar 3.5 Diagram Alir Tugas Akhir

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

**BAB IV****ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Perubahan kecepatan arus efektif yang bekerja pada pipa yang terjadi akibat scouring akan menimbulkan kestabilan pipa berkurang. Kecepatan efektif yang bekerja pada pipa merupakan penjumlahan kecepatan arus *steady current* dan kecepatan partikel air akibat gelombang, sedangkan kecepatan efektif yang bekerja pada pipa setelah terjadi *scouring* merupakan formulasi kecepatan arus di dasar pipa (V_{bot}).

Kecepatan arus efektif yang bekerja pada pipa ini akan mempengaruhi besarnya gaya-gaya hidrodinamis terjadi pada pipa sehingga menimbulkan perubahan kestabilan pipa. Dalam menghitung stabilitas, spesifikasi pipa yang digunakan adalah sebagai berikut :

Jenis Pipa	:	API 5L X-65
Diameter Pipa Baja	:	0,711 meter
Tebal Pipa Baja	:	0,0159 meter
Tebal Lapisan Anti Coating	:	0,005 meter
Tebal Lapisan Beton	:	0,01143 meter
Diameter Total	:	0,9496 meter
Umur Pipa	:	30 tahun
Lokasi Scouring	:	Kilometer Point 40,9 dan Kilometer Point 41,2

Data-data pipa Trans Java Gas Pipeline yang lain dilihat dalam lampiran A.



IV.1 Kecepatan Arus Efektif yang Bekerja pada Pipa.

IV.1.1 Kecepatan Arus Steady (steady current)

Kecepatan arus dari data lingkungan didapat melalui survey data pada ketinggian 1 meter di atas *seabed* dan arah arus tegak lurus pipa, sehingga dalam menghitung kecepatan arus efektif yang bekerja pada pipa menggunakan formulasi 1/7 tidal power yang dijelaskan dalam Bab II :

$$U_a^2 = 0.778.U_0 \left[\frac{D_t}{y_0} \right]^{0.286}$$

Dengan U_0 merupakan kecepatan yang bekerja pada kedalaman y_0 yang besarnya 1 meter dan D_t adalah diameter total pipa sebesar 0,9496 meter. Sehingga kecepatan arus steady sebesar 0,8318 m/s untuk lokasi KP 40,9 dan 0,7750 m/s untuk lokasi KP 41,2 dari arah Pulau Pagerungan. Perhitungan kecepatan arus steady efektif selengkapnya dapat dilihat dalam Lampiran B.1.

IV.1.2 Penentuan Teori Gelombang

Penentuan teori gelombang dilakukan dengan memasukkan parameter gelombang kedalam diagram validitas teori gelombang pada Gambar II.5.

Parameter gelombang yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tinggi gelombang H = 6,0 meter

Kedalaman perairan d = 19,3 meter

Periode gelombang T = 7,7 detik

Percepatan gravitasi g = 9,81 m/det²



Dari parameter gelombang diperoleh nilai

$$\frac{H}{gT^2} = \frac{6,0}{9,81 \times 7,7^2} = 0,01032$$

$$\frac{d}{gT^2} = \frac{19,3}{9,81 \times 7,7^2} = 0,03318$$

kemudian dari hasil persamaan diatas dilakukan plot diagram validitas teori gelombang dan diperoleh teori gelombang Stokes 2nd.

IV.1.3 Penentuan Panjang Gelombang

Dari data-data yang telah diketahui maka panjang gelombang dapat dihitung dengan melihat kondisi perairan *deep water* dan *shallow water* dilokasi perairan tersebut.

Tabel 4.1 Perhitungan Panjang Gelombang di Zone I C

Kondisi Perairan	Panjang Gelombang	D/L	Keterangan
Deep Water	$L = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi} = 92,617$	$0,2084 < 0,5$	Tidak memenuhi
Shallow Water	$L = T\sqrt{gd} = 105,95$	$0,1690 > 0,05$	Tidak memenuhi

Dari tabel diketahui bahwa kondisi perairan di lokasi scouring merupakan perairan menengah sehingga dilakukan iterasi panjang gelombang dengan L_{awal}

$$L_{awal} = L_0 \sqrt{\tanh(2kd)} = 92,617 \text{ meter}$$

dimana : $L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$

$$= \frac{9,81 \times 7,7^2}{2\pi}$$

$$= 92,617 \text{ meter.}$$



Parameter gelombang diberikan formulasi:

$$k = \frac{2\pi}{L}$$

$$\theta = \frac{2\pi t}{T}$$

untuk kondisi awal diberikan nilai tanh (2kd) = 1, sehingga panjang gelombang untuk iterasi awal L_{awal} sama dengan L_0 .

Karena persamaan panjang gelombang mengandung L, maka untuk mendekati harga sesungguhnya digunakan teknik iterasi terhadap persamaan tersebut. Adapun hasil iterasi dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 4.2 Iterasi Panjang Gelombang

L_1	Error	Iterasi
92,6170	-	-
86,0858	6,5312	Continue
87,2301	1,1443	Continue
87,0332	0,1970	Continue
87,0672	0,0340	Continue
87,0613	0,0059	Continue
87,0623	0,0010	Stop

Sehingga nilai panjang gelombang untuk kondisi perairan pada lokasi yang ditinjau adalah sebesar 87,0623 meter.



Panjang gelombang yang diketahui digunakan untuk menentukan klasifikasi perairan. Parameter yang digunakan adalah perbandingan kedalaman (d) dan panjang gelombang (L). Dengan ketentuan bahwa:

$$\frac{d}{L} > 0,5 \quad : \quad \text{Perairan dalam}$$

$$0,05 > \frac{d}{L} > 0,5 \quad : \quad \text{Perairan menengah}$$

$$\frac{d}{L} > 0,05 \quad : \quad \text{Perairan dangkal}$$

Kemudian nilai d dan L hasil iterasi dimasukan dan diperoleh nilai $d/L = 0,2217$, Sehingga perairan di lokasi terjadinya scouring merupakan perairan menengah.

IV.1.4 Perhitungan Kecepatan dan Percepatan Partikel Air

Besarnya partikel air akibat gelombang menurut teori gelombang Stokes 2nd diformulasikan sebagai berikut :

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh ks}{\sinh kd} \cos \theta + \frac{3}{4} \frac{(\pi H)^2}{T L} \frac{\cosh 2ks}{\sinh^4(kd)} \cos 2\theta$$

Koordinat vertikal $s = d + z$, dihitung dari dasar laut dengan arah positif ke atas.

Jika $s = 0$ maka posisi didasar laut, sedangkan $s = d$ berada di *still water level*.

Penghitungan kecepatan arus dilakukan pada ketinggihan 1 meter diatas dasar laut ($s = d + z = 1$ meter) dan dilakukan dalam kondisi maksimum.

Harga u akan mencapai maksimal apabila harga $\cos \theta$ dan $\cos 2\theta$ sama dengan 1 atau nilai t = 0. Setelah kecepatan arus pada ketinggian 1 meter dari dasar laut



diketahui, kemudian dilakukan perhitungan kecepatan partikel air efektif dengan formulasi 1/7 power law :

$$U_w^2 = 0.778 \cdot U_0 \left[\frac{D_t}{Y_0} \right]^{0.286}$$

Dengan U_0 adalah kecepatan partikel air pada ketinggihan $Y_0 = 1$ meter, sedangkan D_t = diameter total pipa. Kemudian dilakukan perhitungan kecepatan partikel efektif yang tegak lurus dengan pipa. Besarnya sudut yang tegak lurus pipa dihitung dengan:

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

dimana: β = sudut pipa terhadap arah utara besarnya 118°

φ = sudut gelombang terhadap arah utara yang akan berubah di sepanjang route pipa.

Sehingga besarnya kecepatan arus efektif yang tegak lurus pipa adalah :

$$U_w = U_w \cos \alpha$$

Besarnya kecepatan partikel efektif tegak lurus pipa akibat gelombang untuk KP 40,9 adalah $0,0017$ m/det. dan di KP 41,2 adalah $0,00035$ m/det, sedangkan perhitungan selengkapnya dalam Lampiran B.3.

Sehingga kecepatan arus total efektif yang mengenai pipa (tegak lurus) merupakan penjumlahan kecepatan arus steady (*steady current*) dan kecepatan partikel air akibat gelombang.

$$U_{eff} = U_a + U_w$$

U_a = Kecepatan arus steady efektif yang bekerja tegak lurus pipa

U = Kecepatan partikel air efektif yang tegak lurus pipa.



Perhitungan selengkapnya dalam Lampiran B.4, dan dari lampiran tersebut besarnya arus yang bekerja pada pipa KP 40,9 adalah 0,8335 m/s, sedangkan di KP 41,2 adalah 0,7754 m/det.

Besarnya percepatan partikel air menurut teori gelombang Stokes 2nd dirumuskan dalam peramaan :

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{2\pi^2 H}{T^2} \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh kd} \cdot \sin \theta + \frac{3\pi^2 H}{T^2} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh^4 kd} \sin 2\theta$$

Besarnya nilai $\theta = \frac{2\pi t}{T}$ maka untuk $t = 0$ maka $\sin \theta$ dan $\sin 2\theta = 0$. Sehingga percepatan partikel air juga mempunya nilai kosong.

IV.1.5 Kecepatan Arus Akibat Gelombang (*Waves Current Speed*)

Besarnya kecepatan arus karena gelombang pada kedalaman tertentu dapat dihitung dengan formulasi dalam Kinsman (1965):

$$U^* = \pi^2 \cdot \delta^2 \cdot c \cdot e^{2kd}$$

dimana:

$$\delta = \frac{H}{L} \quad : \text{wave steepness}$$

$$c \quad : \text{celerity}$$

Kecepatan gelombang (*celerity*) dalam teori gelombang Stokes 2nd diformulasikan dengan persamaan berikut:

$$c^2 = c_0^2 \left[1 + \left(\frac{\pi H}{L} \right)^2 \left\{ \frac{9 - 9 \cosh^2 kd + 8 \cosh^4 kd}{8 \sinh^4 kd} \right\} \right].$$



$$c_0 = \frac{gT}{2\pi} \tanh kd$$

Setelah nilai panjang gelombang diketahui dalam perhitungan sebelumnya maka besarnya kecepatan arus akibat gelombang pada kedalaman tertentu dapat dihitung. Besarnya *wave speed current* di KP 40,9 adalah 0.0433 m/det dan di KP 41,2 adalah 0.0255 m/det. Perhitungan kecepatan arus akibat gelombang dapat dilihat dalam lampiran B.4.

IV.1.6 Kecepatan Arus Penyebab Scouring

Penggerusan material sediman disekitar pipa disebabkan oleh arus. Komponen arus yang bekerja adalah *steady current speed* dan *wave current speed* sehingga diformulasikan dengan persamaan :

$$V = U^* + U_a$$

dimana :

U^* = Kecepatan arus akibat gelombang (*wave current speed*)

U_a = Kecepatan arus steady efektif

Sehingga besarnya kecepatan arus penyebab terjadinya scouring

Lokasi scouring KP 40,9

$$V = 0,0433 + 0,8318$$

$$= 0,8751 \text{ m/det}^2$$

Lokasi scouring KP 41,2

$$V = 0,0255 + 0,7750$$

$$= 0,8005 \text{ m/det}^2$$



IV.1.7 Kecepatan Arus Efektif Setelah Scouring

Adanya penggerusan akan menimbulkan perubahan kecepatan arus yang bekerja pada pipa di lokasi *scouring*. Perhitungan besarnya kecepatan arus yang bekerja pada pipa diperoleh dari kecepatan arus pada lubang *scouring* (V_{bot}) saat terjadi kesetimbangan kedalaman maximal *scouring* (ds_{max}).

Perhitungan scouring dilakukan dalam dua nilai *undisturb flow depth* $Y_0 = 1\text{ m}$ dengan acuan Mouselli 1981 dan $Y_0 = 3,8\text{ m}$ pada acuan Chiew 1991. Semakin besar Y_0 maka kecepatan arus dilubang *scouring* akan bertambah begitu juga terjadi peningkatan kedalaman *scouring*. Hal ini dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Kecepatan Arus di Lubang *scouring* dan Kedalaman Maximal *scouring*

Undisturb Flow Depth (meter)	V_{bot} (m/det)		ds_{max} (meter)	
	KP 40,9	KP 41,2	KP 40,9	KP 41,2
$Y_0 = 1,0$	0,7028	0,6424	0,97	0,82
$Y_0 = 3,8$	0,7449	0,6654	1,25	1,04

Arus efektif yang bekerja pada pipa setelah terjadi kesetimbangan *scouring* dihitung dengan formulasi :

$$V_s^2 = \frac{7 \cdot V_0^2}{9 \cdot D_t Y_0^{0,286}} \left[(d_s + D_t)^{1,286} - (d_s)^{1,286} \right]$$

dimana :

V_0 = kecepatan arus di lubang *scouring* (V_{bot})

d_s = kedalaman maximal *scouring*



Dari persaman diatas kecepatan arus efektif yang bekerja pada pipa akan meningkat dengan bertambahnya kecepatan arus dilubang *scouring*. Disamping itu kecepatan efektif pipa juga dipengaruhi oleh kedalaman lubang *scouring* dan diameter totol dari pipa. Kecepatan efektif yang bekerja dilokasi *scouring* diberikan dalam tabel berikut:

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Kecepatan Efektif Setelah Terjadi *Scouring*

Undisturb Flow Depth (meter)	V_{bot} (m/det)		V_{eff} (m/det)	
	KP 40,9	KP 41,2	KP 40,9	KP 41,2
$Y_0 = 1,0$	0,7028	0,6424	0,7449	0,6700
$Y_0 = 3,8$	0,7449	0,6654	0,7790	0,7010

Sedangkan perhitungan kecepatan arus dan kedalaman maksimal *scouring* selengkapnya terdapat dalam lampiran C.1

IV.1.7 Perhitungan Berat Pipa

Berat pipa di dalam air merupakan berat total pipa di udara dikurangi dengan besarnya gaya bouyancy akibat pipa tercelup di dalam air. Sehingga berat pipa dirumuskan dengan :

$$W_{sub} = W_{tot} - B$$

Berat total pipa merupakan penjumlahan berat komponen penyusun pipa tersebut (berat pipa baja, berat lapisan anti korosi, berat gas isi pipa dan berat *concrete coating*). Berat total pipa dihitung dalam lampiran C.3 adalah 1649,467 N/m. Sedangkan gaya Bouyancy adalah 805,913 N/m. Sehingga berat pipa di dalam air:



$$\begin{aligned}W_{\text{sub}} &= 1649,467 - 805,913 \\&= 663,554 \text{ N/m.}\end{aligned}$$

IV. 2 Perhitungan Stabilitas Pipa

Analisa stabilitas pipa akibat *scouring* ditinjau dalam kondisi bentangan bebas, bentangan kritis dan sebagai pembanding juga dilakukan dalam kondisi normal (sebelum terjadi *scouring*). Perhitungan stabilitas pipa ini menggunakan variasi perubahan kecepatan arus efektif dan panjang bentangan pipa karena pengaruh terjadinya *scouring*. Sehingga mempengaruhi besarnya gaya-gaya yang bekerja pada pipa.

Dalam perhitungan stabilitas, gaya-gaya hidrodinamis yang bekerja pada pipa dibedakan menjadi dua kelompok yaitu gaya yang bekerja pada daerah *scouring* dan di daerah normal (pipa meletak di *seabed*).

IV.2.1 Stabilitas Pipa Sebelum Scouring

Dalam perhitungan stabilitas pipa sebelum terjadi *scouring*, besarnya gaya yang bekerja pada pipa adalah dalam kondisi meletak di dasar laut. Sehingga kecepatan efektif yang digunakan adalah kecepatan efektif pipa sebelum *scouring*, yang merupakan penjumlahan kecepatan arus steady dan kecepatan partikel air.

Perhitungan stabilitas pipa sebelum terjadi *scouring* menggunakan formulasi :

$$W_{\text{sub}} = \frac{Fd + Fi + \mu Fl}{\mu \cdot \cos \theta + \sin \theta} \quad \text{untuk dasar laut rata maka } \theta = 0$$



$$W_{sub} = F_l + \frac{F_d + F_i}{\mu}$$

dimana : F_l = Gaya angkat (Newton)

F_d = Gaya drag (Newton)

F_i = Gaya inersia (Newton)

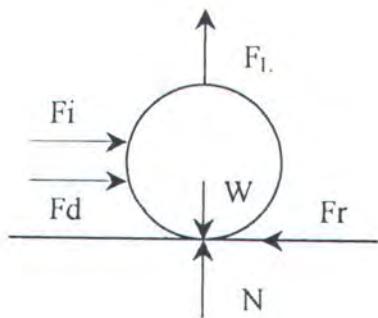
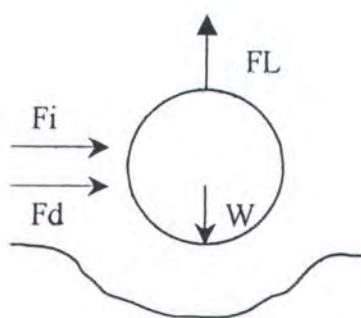
μ = Koefisien gesek antara pipa dengan seabed

Koefisien hidrodinamis yang dipakai dalam perhitungan stabilitas mengacu pada ketentuan yang diberikan oleh Mouselli 1981 seperti dalam Bab II. Sedangkan besarnya koefisien gesek antara pipa dan *seabed* untuk kondisi tanah *sandy-clay* adalah 0,6. Perhitungan stabilitas sebelum scouring terdapat dalam lampiran D.

IV.2.2 Stabilitas Pipa dalam Kondisi Scouring

Kecepatan efektif pipa yang dipakai dalam perhitungan gaya-gaya hidrodinamis di daerah scouring merupakan kecepatan efektif yang diperoleh dari kecepatan arus di lubang *scouring* (V_{bot}), seperti dalam Lampiran C.1 (Perhitungan Scouring dengan Metode Nanyang Technology University 1991).

Dalam perhitungan stabilitas besarnya gaya hidrodinamis juga akan berubah dengan adanya *freespans* yang terjadi. Kondisi terakhir *freespan* dilokasi scouring KP 40,9 adalah 9,54 meter dan dilokasi KP 41,2 adalah 11,95 meter. Dengan semakin panjang bentangan bebas (*freespans*) yang terjadi akibat *scouring* maka besarnya gaya hidrodinamis yang bekerja di lokasi *scouring* akan semakin kecil. Penurunan gaya-gaya hidrodinamis akan menyebabkan penurunan stabilitas pipa di lokasi tersebut .

Pipa meletak di *seabed*Pipa kondisi *scouring*

Gambar 4.1 Beban-beban yang bekerja pada pipa dalam kondisi scouring dan meletak didasar laut

Sehingga persamaan stabilitas pipa merupakan penjumlahan gaya-gaya yang bekerja di daerah *scouring* dan gaya yang bekerja pada pipa yang meletak di *seabed* disekitar lokasi *scouring*. Besarnya stabilitas pipa diformulasikan dengan menguraikan gaya-gaya yang bekerja pada kedua lokasi tersebut.

$$W_{\text{sub}} = \frac{F_{d_n} + F_{d_s} + F_{i_n} + F_{i_s}}{\mu} + F_{l_n} + F_{l_s}$$

dimana : F_{l_n} = Gaya angkat pipa kondisi meletak di *seabed* (Newton)

F_{l_s} = Gaya angkat pipa kondisi *scouring* (Newton)

F_{d_n} = Gaya drag pipa kondisi meletak di *seabed* (Newton)

F_{d_s} = Gaya drag pipa kondisi *scouring* (Newton)

F_{i_n} = Gaya inersia pipa kondisi meletak di *seabed* (Newton)

F_{i_s} = Gaya inersia pipa kondisi *scouring* (Newton)

L_s = Panjang bentangan akibat *scouring* (meter)

μ = Koefisien gesek antara pipa dengan *seabed*



Hasil perhitungan stabilitas dalam kondisi *scouring* untuk masing masing *undisturb flow depth* dapat dilihat dalam Lampiran D

IV.2.3 Stabilitas Pipa dalam Kondisi Bentangan Kritis

Bentangan kritis adalah panjang maksimal bentangan pipa akibat scouring sehingga mulai terjadinya getaran pada pipa yang menimbulkan *vortex shedding*. Panjang bentangan kritis di lokasi *scouring* KP 40,9 adalah 36,35 m dan di KP 41,2 adalah 40,8 m. Perhitungan panjang bentangan kritis dilakukan dalam Lampiran C.3.

Perhitungan stabilitas dalam kondisi ini menggunakan variabel kecepatan arus efektif setelah *scouring*. Sehingga akan diperoleh stabilitas minimal pipa yang mampu menahan pipa sehingga tidak terjadinya getaran yang menyebabkan *vortex shedding* akibat pipa mengalami *scouring*. Stabilitas pipa dalam kondisi bentangan bebas dirumuskan dengan persamaan:

$$W_{\text{sub}} = \frac{F_{d_n} + F_{d_{cr}} + F_{i_n} + F_{i_{cr}}}{\mu} + F_{l_n} + F_{l_{cr}}$$

dimana : $F_{l_{cr}}$ = Gaya angkat pipa kondisi bentangan kritis (Newton)

$F_{d_{cr}}$ = Gaya drag pipa kondisi bentangan kritis (Newton)

$F_{i_{cr}}$ = Gaya inersia pipa kondisi bentangan kritis (Newton)

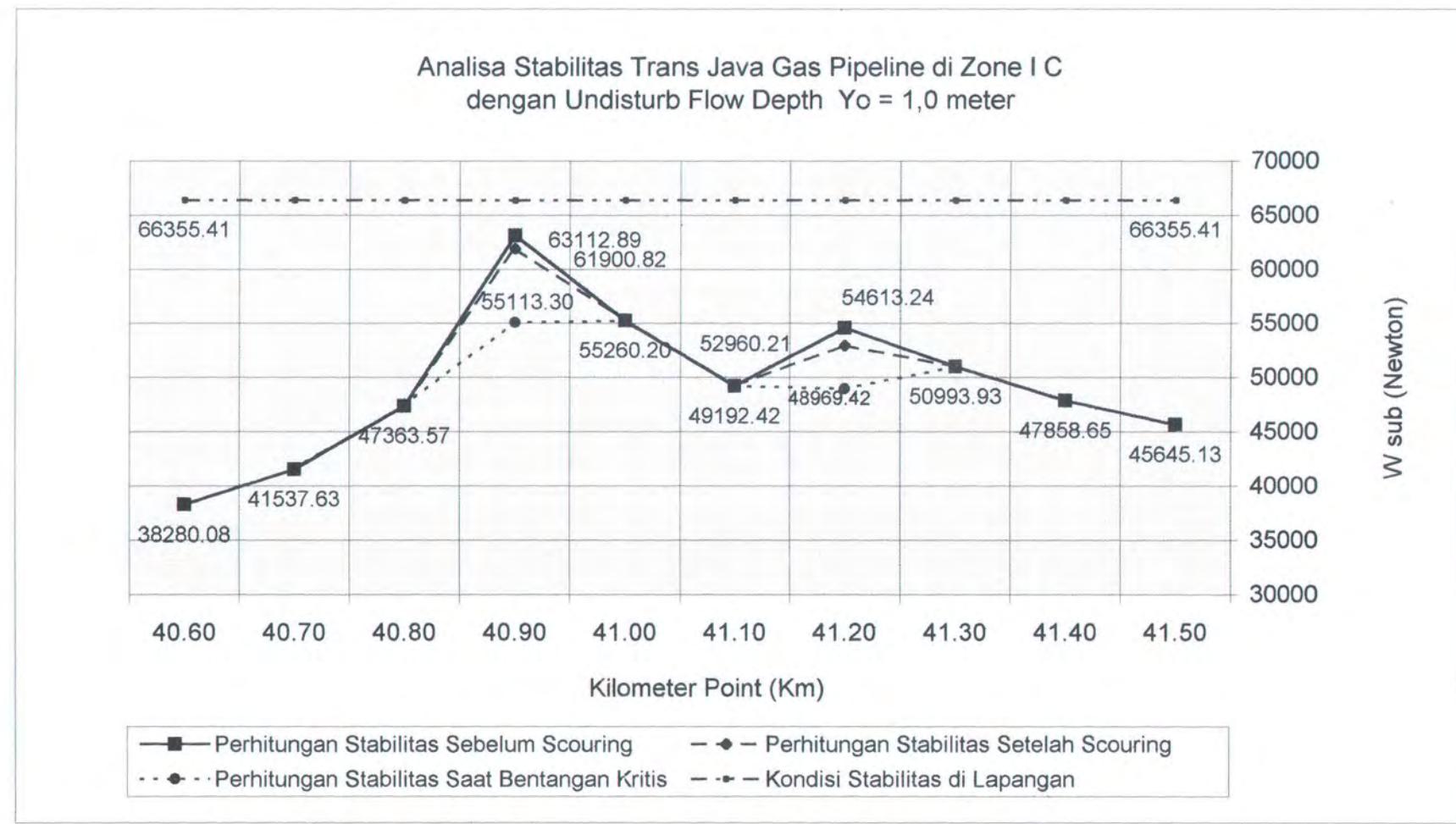
L_{cr} = Panjang bentangan kritis akibat *scouring* (meter)

μ = Koefisien gesek antara pipa dengan seabed



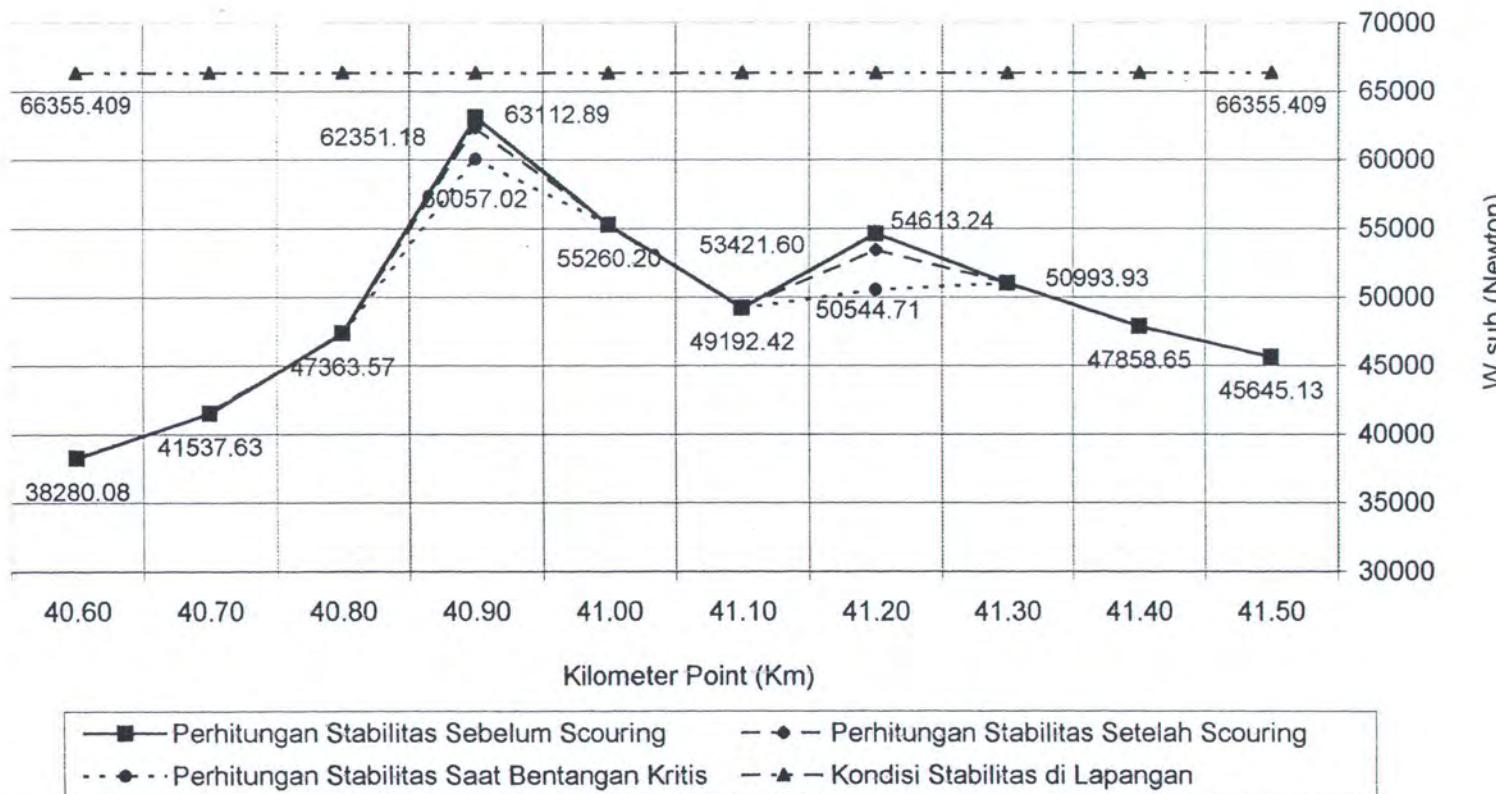
Perhitungan stabilitas pipa dalam kondisi bentangan kritis merupakan penjumlahan gaya disepanjang bentangan kritis yang diakibatkan oleh *scouring* dan gaya pada pipa yang meletak di dasar laut disekitar scouring. Hasil perhitungan stabilitas pipa dalam kondisi bentangan kritis akibat *scouring* untuk tiap-tiap *undisturb flow depth* dapat dilihat dalam Lampiran D

Dari ketiga perhitungan stabilitas pipa (sebelum *scouring*, setelah *scouring* dan bentangan kritis) dapat disusun grafik yang menunjukkan stabilitas pipa dalam arah lateral. Kondisi tersebut ditentukan besarnya gaya-gaya hidrodinamis dan kondisi stabilitas pipa di lapangan (berat pipa).

Gambar 4.2 Grafik Stabilitas Pipa di Zone I C dengan $Y_0 = 1$ (Mouselli, 1981)



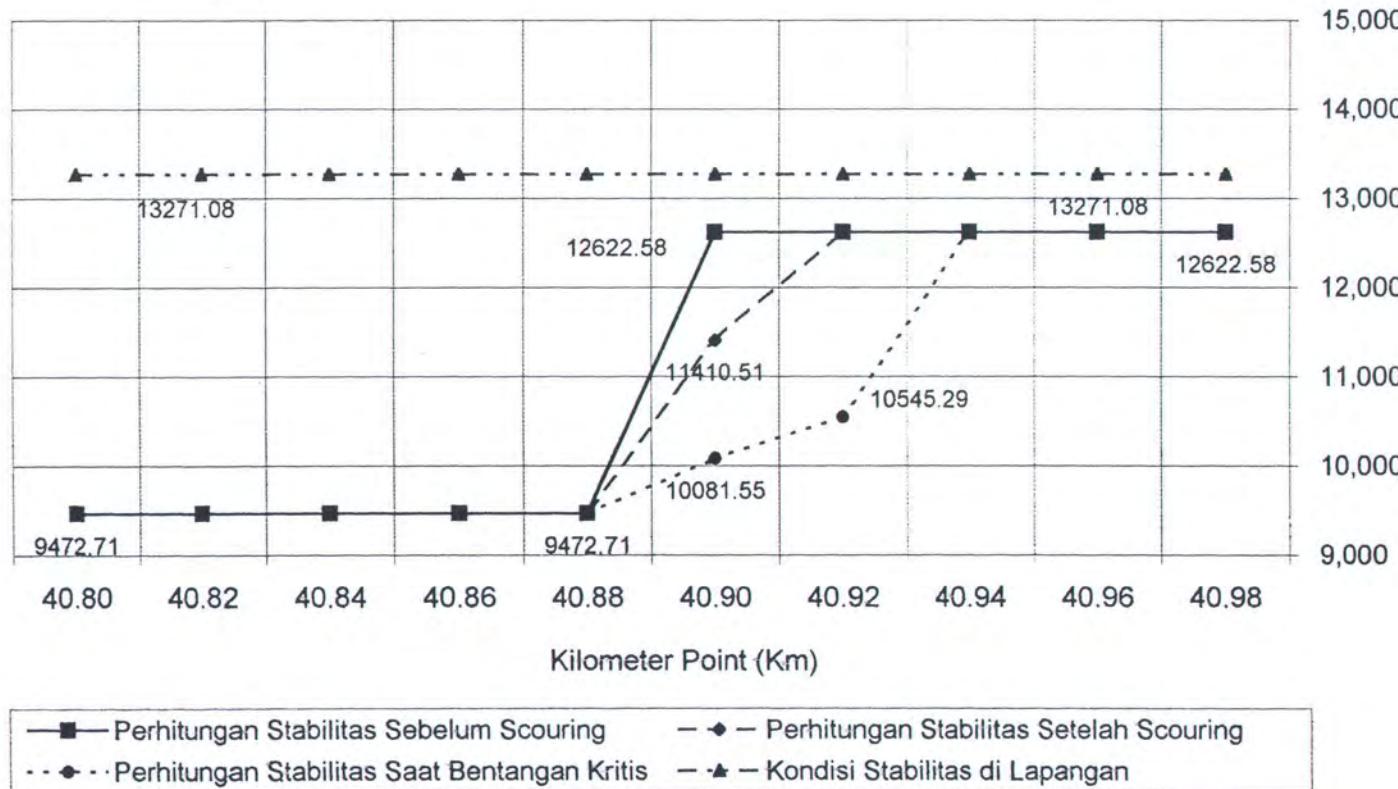
Analisa Stabilitas Trans Java Gas Pipeline di Zone I C
dengan Undisturb Flow Depth Yo = 3,8 meter



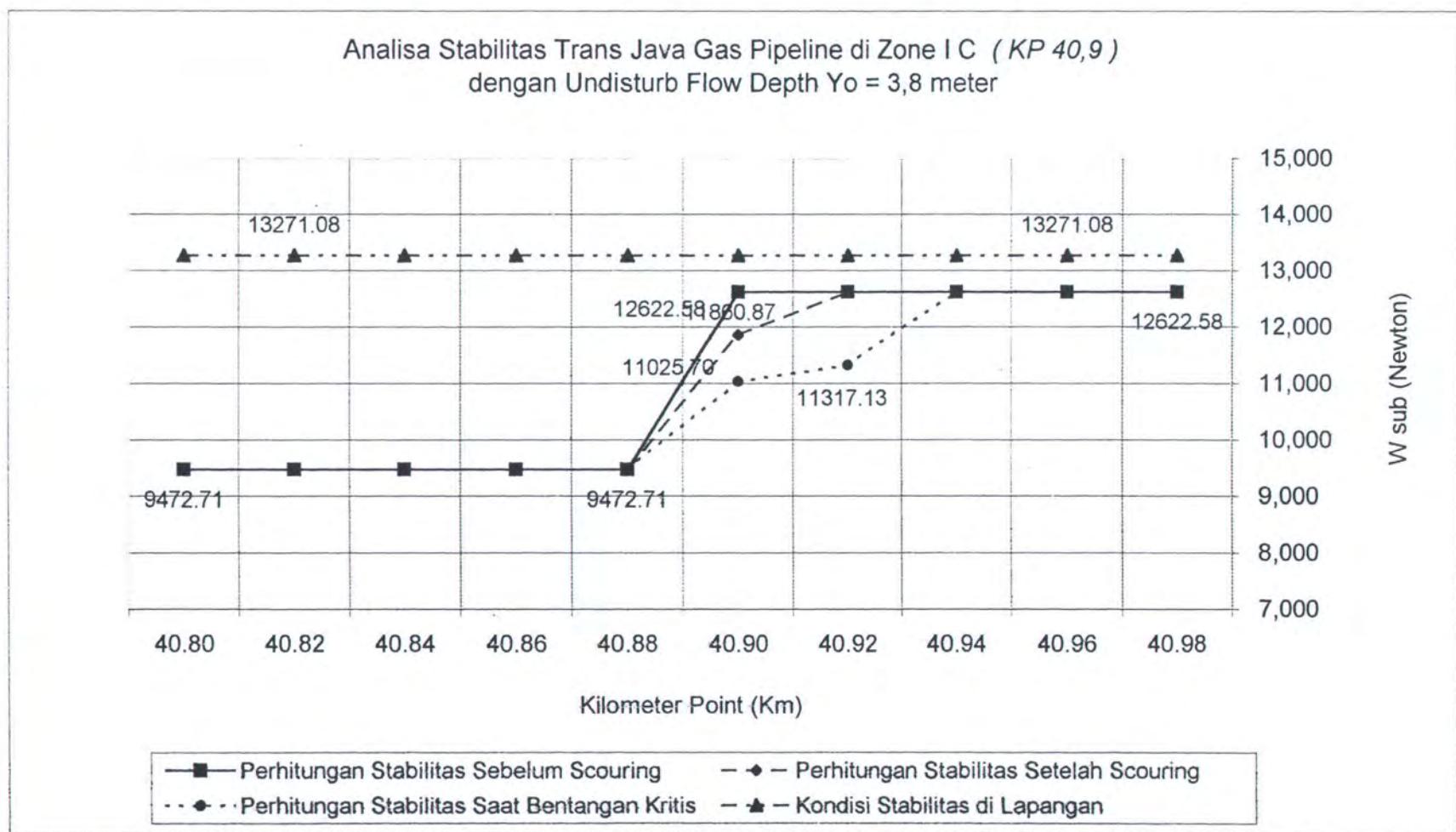
Gambar 4.3 Grafik Stabilitas Pipa di Zone I C dengan Yo = 3,8 (Nanyang, 1991)



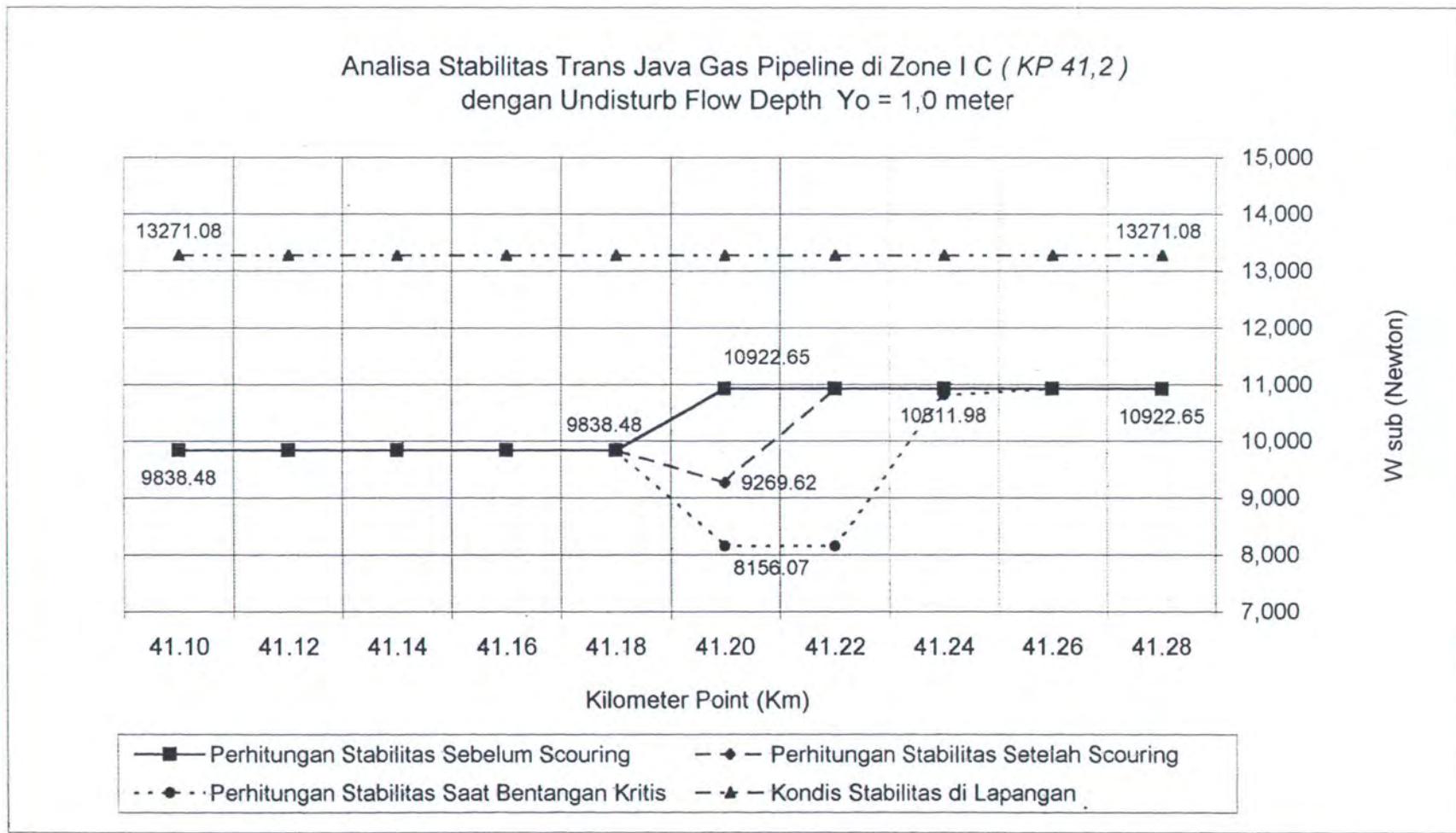
Analisa Stabilitas Trans Java Gas Pipeline di Zone I C (KP 40,9)
dengan Undisturb Flow Depth $Y_0 = 1,0$ meter

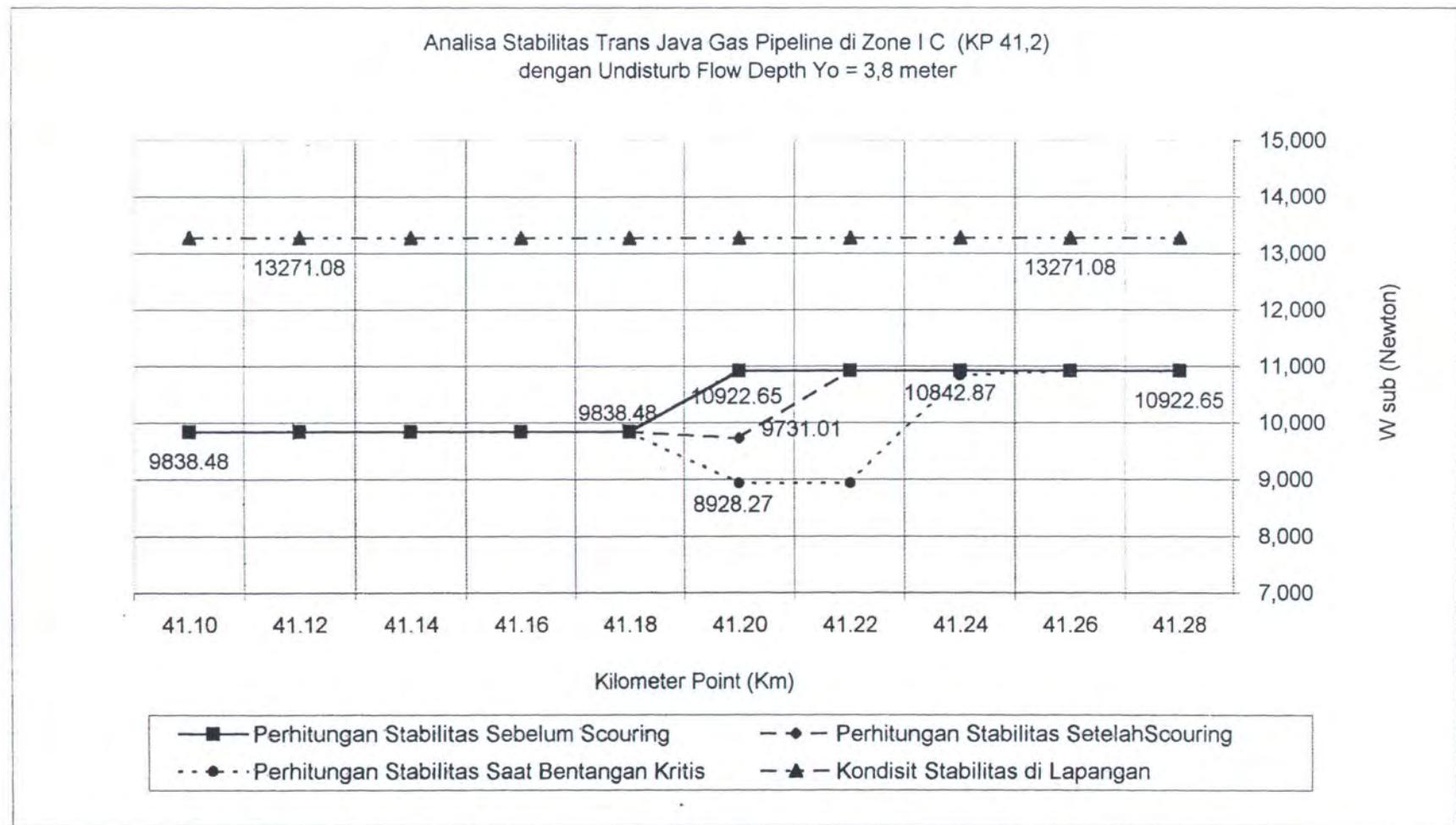


Gambar 4.4 Grafik Stabilitas Pipa di Lokasi Scouring KP 40,9 dengan $Y_0 = 1$ (Mouselli, 1981)



Gambar 4.5 Grafik Stabilitas Pipa di Lokasi Scouring KP 40,9 dengan Yo = 3,8 (Nanyang, 1991)

Gambar 4.6 Grafik Stabilitas Pipa di Lokasi Scouring KP 41,2 dengan $Y_0 = 1$ (Mouselli,1981)



Gambar 4.7 Grafik Stabilitas Pipa di Lokasi Scouring KP 41,2 dengan Yo = 3,8 (Nanyang, 1991)



IV. 3 Perlindungan Pipa akibat Scouring

Bentangan bebas yang terjadi akibat scouring dapat menimbulkan *stress* yang berlebihan pada pipa yang dapat menyebabkan retaknya beton pemberat (*concrete coating*). Sehingga berat total pipa akan berkurang yang akan berpengaruh pada kestabilan pipa (Helliwel, 1986). Untuk mencegah berkurangnya kestabilan pipa maka dilakukan perlindungan yang tepat di sepanjang pipa terutama di bagian yang mengalami bentangan bebas.

Perlindungan pipa umumnya dilakukan dengan memendam pipa pada kedalaman tertentu. Pemendaman pipa dilokasi yang terjadi *scouring* terlebih dahulu dengan menutup lubang *scouring* dengan material tertentu (pasir atau tanah urugan). Kemudian permukaan pipa ditutup batu atau pelindung yang lain, sehingga gerusan susulan dapat dihindari.

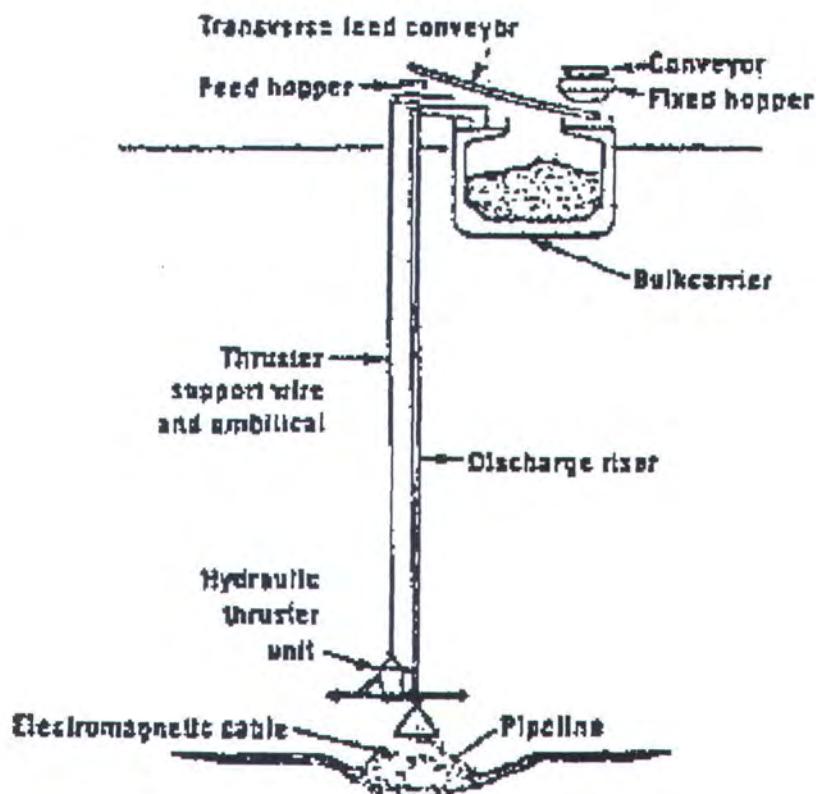
Perlindungan Pipa dengan Pemendaman

Di daerah dengan aktifitas penggerusan yang tinggi terutama di surf zone, *rock cover* merupakan cara perlindungan pipa yang efektif untuk mencegah menjalarnya bentangan bebas akibat scouring. Disamping itu *rock cover* dapat menambah stabilitas pipa yang berkurang akibat aktifitas *scouring*. Perlindungan ini dilakukan dengan menimbun batu didaerah yang tergerus, kemudian melapisi permukaan pipa dengan *rock cover*.

Penimbunan di daerah tergerus dilakukan dengan meletakan batu hingga menutupi seluruh lubang *scouring*. Peletakan batu ke lubang scouring ini



dilakukan dengan bantuan kapal bulk carrier/*dumping vessel* yang menggunakan riser untuk mencurahkan batu. Agar tepat dalam pencurahan batu ke lubang scouring maka riser dilengkapi dengan *thruster* sehingga posisi riser tepat mengarah ke lubang scouring.



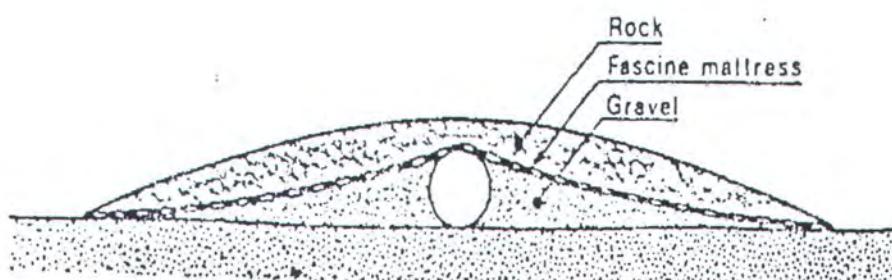
Gambar 4.8 Sistem Penimbunan Lubang scouring (Helliwel, 1986)

Untuk memperkuat perlindungan pipa maka permukaan pipa ditutupi dengan batu yang disusun dalam beberapa lapisan (mattres) dan juga material lain sebagai penguat, yang kemudian dikenal sebagai jenis-jenis *rock cover mattres*. Adapun design dari matress yang sering dipakai dalam melindungi pipa akibat scouring adalah :



- *Rock-Covered Fascine Mattress*

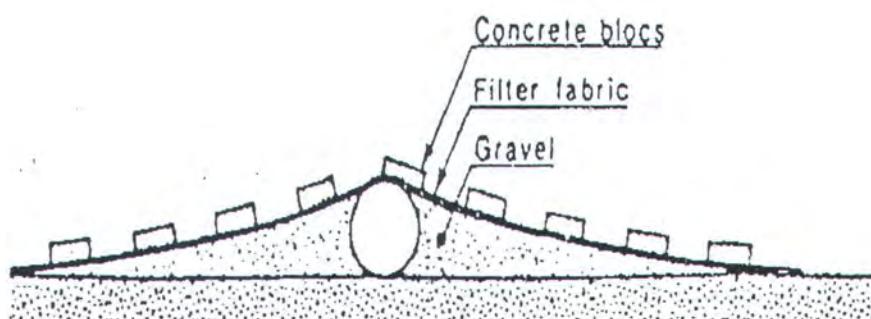
Perlindungan yang aman dilakukan dengan terlebih dahulu menutup pipa dengan gravel atau tanah kemudian dilapisi mattress yang terdiri dari *synthetic filter fabric* dan *natural fascine* sebagai penguat *mattress*. Untuk menyeimbangkan *mattress* maka lapisan paling atas dari struktur ditutup dengan batu.



Gambar 4.9. Scour Protection dengan Fascine Mattress

- *Block Mattress*

Struktur pelindung ini terdiri dari lapisan gravel atau tanah yang ditutup dengan *block mattress*, yang tersusun *heavy synthetic filter fabric* dan *concrete block*. Antar material struktur diikat dengan pengikat sintetis.

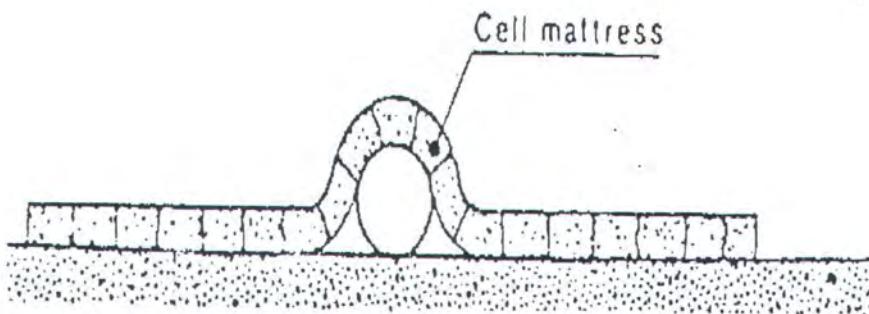


Gambar 4.10. Scour Protection secara Block Mattress



- *Cells Mattres*

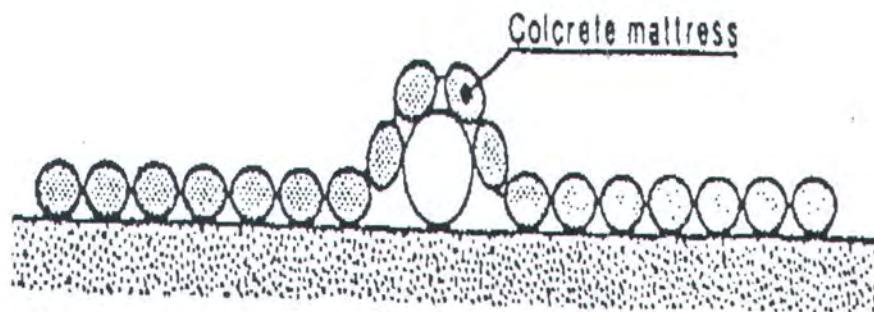
Cells mattress tersusun dari keranjang keranjang yang berisi tanah atau gravel yang kemudian diikat menjadi struktur pelindung pipa. Berat dari struktur mendekati 2000 ton/m².



Gambar 4.11. Scour Protection dengan Cell Mattress

- *Colcrete Mattress*

Merupakan modifikasi dari cells mattress dengan mengisi keranjang dengan *colloid mortal (colcrete)* disamping gravel dan tanah.

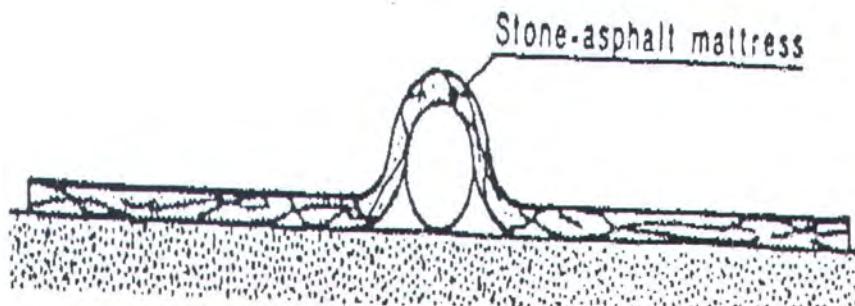


Gambar 4.12 Scour Protection dengan Colcrete Mattress



- *Stone-Asphalt Mattress*

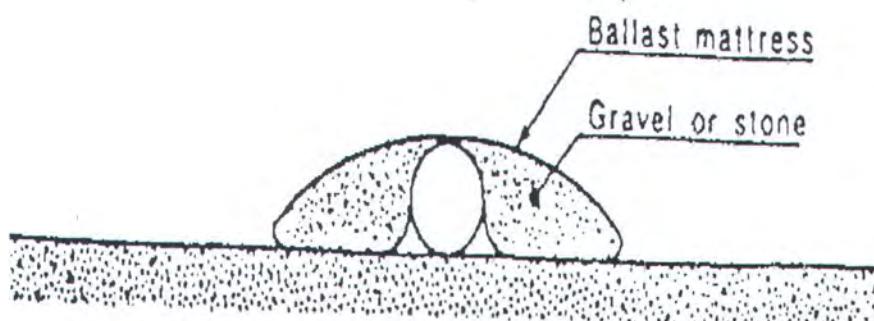
Struktur pelindung ini terdiri dari *synthetic filter fabric*, campuran aspal dan batu, baja penguat. Campuran aspal dan batu berfungsi sebagai ballas.



Gambar 4.13 Scour Protection secara Stones-Asphalt Mattress

- *Ballast Mattress*

Merupakan konsruksi yang terdiri *heavy synthetic fiber-woven mattress*, lipatan ganda yang beisi pasir atau gravel.



Gambar 4.14. Scour Protection dengan Ballast Mattress



Dari keenam *rock cover metres* diatas yang paling memungkinkan digunakan untuk perlindungan *scouring* di lokasi scouring di KP 40,9 dan KP 41,2 untuk pipa Trans Java Gas Pipeline adalah *rock cover fascine mattres*. Perlindungan scouring jenis ini tidak memerlukan akurasi dalam pemasangan alat proteksi. Untuk mendapatkan perlindungan yang maksimal, maka dalam pencurahan batu ke lubang scouring dapat dilakukan seperti dalam gambar 4.8.

Untuk meningkatkan nilai ekonomis perlindungan *scouring* dengan *rock cover fascine mattres* dapat dilakukan dengan mengganti lapisan mattres yang dipakai dengan *inverse filter* yang terdiri dari *fine base material* dan *coarse filter material*. Kemudian dilakukan penutupan dengan batu-batuhan (*rock cover*) diatas mattres tersebut. Lapisan *inverse filter* ini juga berfungsi untuk mencegah batu-batuhan menembus dasar laut.

IV.4 Diskusi

Arus yang signifikan bekerja pada pipa merupakan arus *steady*, hal ini dapat dilihat dalam Lampiran Data Arus (Lampiran A.3). Sedangkan kecepatan partikel air yang disebabkan karena gelombang (*wave current speed*) hampir mendekati nol. Penggunaan arus dalam perhitungan *scouring* merupakan penjumlahan kecepatan arus steady efektif dan kecepatan arus akibat gelombang (*wave speed current*). Sedangkan perhitungan stabilitas pipa sebelum *scouring* merupakan arus efektif yang bekerja pada pipa.



Untuk mengefektifkan arus yang bekerja pada pipa menggunakan formulasi 1/7 Power Law. Arus yang diperoleh dari data arus steady dan perhitungan partikel air merupakan arus yang diukur 1 meter dari dasar laut. Penggunaan formulasi 1/7 Power Law dipengaruhi oleh diameter pipa (D_t), posisi pipa di tanah (meletak atau *freespans* akibat scouring) dan ketinggian pengukuran arus Y_0 (*undisturb flow depth*).

Kecepatan arus di lubang *scouring* (V_{bot}) diperoleh dari perhitungan kedalaman *scouring* maximal (Chiew, 1991). Nilai V_{bot} akan meningkat dengan bertambahnya *undisturb flow depth*. Hal ini dapat dijelaskan bahwa dengan bertambahnya Y_0 akan memperbesar nilai kecepatan di lubang *scouring*, yang diperoleh dari perbandingan debit aliran di lubang *scouring* dan kedalaman *scouring*. Kecepatan dilubang *scouring* (V_{bot}) digunakan untuk menghitung kedalaman *scouring* maksimal (ds) dan kecepatan efektif pipa setelah terjadi *scouring* (V_{eff}).

Dalam menghitung kedalaman *scouring* (ds), kecepatan arus di lubang digunakan untuk menghitung tegangan geser pada lubang *scouring* sehingga dengan semakin besar V_{bot} akan memperbesar tegangan geser dilubang *scouring*. Hal ini berarti bahwa aliran aliran pada lubang akan megerus lebih banyak material seabed hingga mencapai harga kesetimbangan kedalaman maksimal *scouring*. Keseimbangan kedalaman maximal *scouring* diartikan bahwa dalam kondisi tersebut tidak terjadi penggerusan material kembali oleh V_{bot} . Sehingga kecepatan



arus dilubang *scouring* (V_{bot}) dalam kondisi kesetimbangan kedalaman *scouring* merupakan V_{bot} maximal.

Kecepatan arus di lubang *scouring* (V_{bot}) dalam kondisi kesetimbangan maksimal *scouring* digunakan untuk menghitung kecepatan efektif pipa setelah terjadi *scouring* (V_{eff}). Besarnya kecepatan efektif yang bekerja pada pipa akan bertambah dengan meningkatnya kedalaman *scouring* (ds) dan *undisturb flow depth* (Yo). Kecepatan efektif setelah *scouring* diperoleh dengan formulasi 1/7 Power Law dari variabel arus dilubang *scouring* (V_{bot}), kedalaman *scouring* (ds), *undisturb flow depth* (Yo) dan diameter total pipa

Berkurangnya kecepatan efektif dilokasi *scouring* dan adanya bentangan bebas (*freespans*) akibat *scouring* akan menimbulkan penurunan gaya-gaya yang bekerja pada pipa. Disamping itu adanya lubang *scouring* dengan kedalaman (ds) akan mengakibatkan penurunan koefisien inersia sehingga terjadi penurunan gaya inersia yang bekerja pada pipa. Penurunan gaya-gaya yang bekerja pada pipa mengakibatkan berkurangnya stabilitas pipa.

Stabilitas pipa di lokasi *scouring* dengan bentangan bebas 9,54 meter untuk KP 40,9 dan 11,95 meter untuk lokasi 41,2 akan menurun dibanding stabilitas pipa dalam kondisi normal (tidak terjadi *scouring*). Besarnya penurunan stabilitas pipa dalam kondisi *scouring* untuk tiap-tiap undisturb flow depth diberikan dalam tabel berikut.



Tabel 4.5 Perubahan Stabilitas Pipa di lokasi *Scouring* dengan variasi *Undisturb Flow Depth* (Y_o)

Y_o (meter)	Kilometer Point	Berat Pipa (N/m)	W_{sub_n} (Newton)	W_{sub_s} (newton)	Penurunan Stabilitas (%)
$Y_o = 1.$ (Mouselli)	KP = 40,9	66355,41	63112,89	61900,82	1,92 %
	KP = 41,2	66355,41	54613,24	52960,21	3,03 %
$Y_o = 3,8.$ (Nanyang)	KP = 40,9	66355,41	63112,89	62351,18	1,21 %
	KP = 41,2	66355,41	54613,24	53421,60	2,18 %

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa semakin besar kedalaman *scouring* maka stabilitas pipa akan semakin menurun. Sehingga perhitungan stabilitas dengan $Y_o = 3,8$ (Nanyang) memiliki stabilitas lebih baik dibanding stabilitas pipa dengan perhitungan $Y_o = 1$ (Mouselli), hal ini karena kecepatan arus efektif yang bekerja pada $Y_o = 3,8$ lebih besar dibanding arus efektif yang bekerja pada $Y_o = 1$

Stabilitas pipa ini akan terus menurun hingga terjadi bentangan kritis, dimana pengaruh *vortex shedding* akan menyebabkan terjadinya osilasi pipa. Dalam perhitungan stabilitas, osilasi pipa harus dihindari dengan memenuhi aturan yang diberikan DnV 1996 yaitu frekuensi *fortex shedding* lebih kecil dari 70% frekuensi natural pipa ($f_v < 0,7 f_n$).

Panjang bentangan kritis dihitung dengan formulasi dalam Lampiran Perhitungan Bentangan Kritis (Lampiran C.3). Variabel yang mempengaruhi penghitungan bentangan kritis adalah kekakuan pipa, kondisi tumpuan pipa, massa efektif pipa, kecepatan efektif arus di lokasi *scouring* dan diameter pipa. Dan diperoleh nilai



bentangan kritis untuk KP 40,9 adalah 36,35 meter dan di lokasi KP 41,2 adalah 40,8 meter. Untuk kondisi *lifetime* Trans Java Gas Pipeline selama 30 tahun, bentangan pipa yang terjadi akibat scouring masih dibawah bentangan kritis pipa sebesar 34,44 meter untuk KP 40,9 dan 38,67 meter untuk KP 41,2 (Lampiran C.4 Peramalan Panjang Bentangan Bebas Pipa).

Bertambahnya bentangan bebas, hingga mencapai bentangan kritis akan menyebabkan gaya-gaya yang bekerja di lokasi *scouring* semakin panjang. Sehingga stabilitas pipa dalam kondisi bentangan kritis akan lebih kecil dari stabilitas sebelum *scouring*. Penurunan stabilitas pipa dalam kondisi bentangan kritis diberikan dalam tabel berikut:

Tabel 4.6 Perubahan Stabilitas Pipa di lokasi Scouring dengan Variasi
Undisturb Flow Depth (Yo) dan dalam Kondisi Bentangan Kritis

Yo (meter)	Kilometer Point	Berat Pipa (N/m)	W _{subn} (N/m)	W _{subcr} (N/m)	Penurunan Stabilitas (%)
Yo = 1 (Mouselli)	KP = 40,9	66355,41	63112,89	55113,30	12,68 %
	KP = 41,2	66355,41	54613,24	48696,42	10,33 %
Yo = 3,8 (Nanyang)	KP = 40,9	66355,41	63112,89	60057,02	4,84 %
	KP = 41,2	66355,41	54613,24	50544,71	7,45 %

Dalam kondisi bentangan kritis penurunan stabilitas disebabkan karena panjang bentangan bebas (*freespans*) yang terjadi lebih panjang dari kondisi *scouring*. Sehingga gaya-gaya hidrodinamis yang bekerja di lokasi *scouring* lebih panjang. Disamping itu kecepatan arus efektif yang bekerja dilokasi bentangan kritis tersebut juga mempengaruhi stabilitas pipa.



Perlindungan pipa terhadap scouring (*scour protection*) juga dapat dilakukan oleh aktifitas scouring sendiri, yaitu dengan memberi *spoiler*. *Spoiler* ini merupakan material tambahan yang diberikan pada permukaan pipa dengan sudut tertentu. Dengan alat ini diharapkan material yang tergerus dapat menutupi lubang scouring itu sendiri. Tapi penggunaan spoiler sebagai *scour protection* jarang dipakai hanya sebatas percobaan di laboratorium (Chiew, 1991)

BAB V

PENUTUP



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa dalam Bab IV terhadap pipa di lokasi *scouring* yang menjadi obyek analisa tugas akhir ini, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Kedalaman *scouring* maksimal terjadi saat kecepatan arus dilubang *scouring* (V_{bot}) tidak mampu menggerus sedimen lebih banyak. Kondisi ini terjadi saat *bed shear stress* sama dengan *critical shield stress* dari sedimen. Nilai kedalaman *scouring* akan bertambah dengan meningkatnya *undisturb flow depth* (Y_0). Penggunaan $Y_0 = 1$ mengacu pada Mouselli 1981 sedangkan penggunaan $Y_0 = 3,8$ mengacu pada Nanyang 1991. Sehingga diperoleh kedalaman *scouring* maximal di KP 40,9 dengan $Y_0 = 1$ adalah 0,97 meter dan $Y_0 = 3,8$ adalah 1,25 meter. Sedangkan besarnya kedalaman *scouring* maximal di KP 41,2 dengan $Y_0 = 1$ adalah 0,82 meter dan $Y_0 = 3,8$ adalah 1,04 meter. Saat terjadi *scouring* akan timbul arus dilubang *scouring* (V_{bot}), sehingga terjadi perubahan kecepatan arus efektif yang bekerja pada. Besarnya kecepatan arus efektif di lokasi *scouring* ini akan meningkat dengan bertambahnya kedalaman *scouring*.
2. Penurunan kecepatan efektif yang bekerja pada pipa di lokasi *scouring* akan mempengaruhi stabilitas pipa, dengan berkurangnya gaya-gaya hidrodinamis yang bekerja pada pipa. *Scouring* dengan panjang *freespan* seperti kondisi



terakhir pengambilan data (9,54 meter dan 11,95 meter) mempunyai stabilitas pipa yang baik yaitu di KP 40,9 sebesar 61900,82 newton sedangkan di KP 41,2 sebesar 52960,21 newton untuk $Y_0 = 1$ (Mouselli, 1981). Kondisi tersebut masih memenuhi stabilitas syarat berat pipa sebesar 66355,40 newton.

3. Untuk menghindari bentangan kritis yang terjadi akibat *scouring* maka dilakukan perlindungan *scouring*. Perlindungan *scouring* untuk lokasi seperti kasus dalam tugas akhir ini menggunakan *rock cover* yang dilengkapi dengan *mattress* pelindung tambahan sehingga dapat menambah stabilitas pipa. Dari keenam *mattress* yang diberikan metode perlindungan *scouring* dengan *rock covered fascine matress* adalah yang terbaik.

V.2 SARAN

Keteletian dalam penghitungan stabilitas pipa akibat *scouring* dengan metode dipakai penulis sangat dipengaruhi oleh kecepatan arus di lubang *scouring* dan juga kondisi tanah dilokasi *scouring*. Untuk memperoleh tingkat akurasi perhitungan yang tinggi maka diperlukan kedua data tersebut secara aktual.

Untuk peneliti berikutnya disarankan agar menggunakan data kecepatan arus dilubang *scouring* dari survey yang telah dilakukan dilokasi *scouring* sehingga akan diperoleh perhitungan stabilitas pipa akibat *scouring* yang lebih baik. Disamping itu dalam perlindungan *scouring* (*scour protection*) peneliti dapat melakukan analisa pemakaian *spoiler* sebagai pelindung pipa di daerah yang rawan terjadi *scouring*.



DAFTAR PUSTAKA

- Bijker, 1991 "Scour Induced Freespans". **Offshore Technology Conference**, OTC CDROM no 6762.
- Chiew, Y.M. 1997. "Pipeline Scour". **Submarine Pipeline Technology Seminar**, Singapore, 14 & 15 August.
- Dawson, T.H. 1983. **Offshore Structural Engineering**, Prentice Hall Inc.
- Det Norske Veritas, 1986. **Rules For Design Construction and Inspection of Submarine Pipeline and Pipeline Risers**
- Det Norske Veritas, 1996. **Rules For Submarine Pipeline Systems**
- Ghazzaly, O.I 1975 "Experimental Investigation of Pipeline Stability in Very Soft Clay" **Offshore Technology Conference**. OTC paper no. 2277
- Halliwell, A.R. 1986 **An Introduction To Offshore Pipeline**, Lecture Notes, University Cork, GB
- Herbich, J.B. 1981 **Offshore Pipeline Design Elements**, Texas A&M University College Station, Texas.
- Hsu, T.H. 1984. **Applied Offshore Structural Engineering**, Gulf Publishing Company,
- Jones, W. 1976. "On-bottom Pipeline Stability in Steady Water Current" **Offshore Technology Conference**, OTC paper 2598. 763 – 778
- Kinsman, B. 1965. **Wind Waves**. Dover Publication, Inc. New York
- Le Mehaute, B. 1927 **An Introduction to Hydrodynamics and Water Waves**. Springer-Verlag



Mousselli, A.H. 1981 **Offshore Pipeline Design, Analysis, and Method**, Penn

Well Publishing Company

Sarpkaya, T. 1981. **Mechanics of Wave Force on Offshore Structures**, Van

Nostrand Reinhold Co.

Trans Java Gas Pipeline. 1992 "Design Basis for Offshore Pipeline"

Design/Engineering Report

LAMPIRAN A

- | | |
|--------------|--|
| LAMPIRAN A.1 | DATA TEKNIS PIPA TRANS JAVA GAS PIPELINE |
| LAMPIRAN A.2 | DATA GELOBANG DAN ARUS |
| LAMPIRAN A.3 | PETA KONTUR TANAH LOKASI SCOURING |
| LAMPIRAN A.4 | DATA SCOURING |
| LAMPIRAN A.5 | GRAIN DISTRIBUTION |

LAMPIRAN A

- LAMPIRAN A.1 DATA TEKNIS PIPA TRANS JAVA GAS
PIPELINE**
- LAMPIRAN A.2 DATA GELOBANG DAN ARUS**
- LAMPIRAN A.3 PETA KONTUR TANAH LOKASI SCOURING**
- LAMPIRAN A.4 DATA SCOURING**
- LAMPIRAN A.5 GRAIN DISTRIBUTION**

LAMPIRAN A.1

Data Teknis Pipa

Dari Trans Java Gas Pipeline

DATA TEKNIS MATERIAL PIPA
(EJGPS-SP-DGB-1-001)

Pipeline Data

1. Steel Pipe

Outside Diameter : 28 inchi
Thickness : 0.625 inchi
Steel Specification : API 5L X65
Yield Strength : 4570 kg/cm²

2. Corrosion Coating

Material : Asphalt Enamel
Thickness : 1.5 mm
Densitas : 1300 kg/m³
Cut Back Length : 228 mm

3. Field Joint Coating

Material : Self-adhesive tape
Material : Asphalt Mastic
Density : 1900 kg/m³

4. Concrete Coating

Density : 3210 kg/m³
Thickness : 4.5 inchi
Cut Back Length : 305 mm

Design Life : 30 years

Cathodic Protection : Sacrificial Anode Bracelet

Data Operasional

1. Internal Pressure

Design Operating Pressure : 141 kg/cm²

Hydrotest Pressure : 176 kg/cm²

Maximum Operating Pressure : 127 kg/cm²

2. Operating Temperature

Maximum Operating Temperature : 49.0 °C

Minimum Operating Temperature : 23.9 °C

3. Product Density

Minimum Gas Density : 0 kg/m³

Maximum Gas Density : 121 kg/m³

LAMPIRAN A.2

Data Arus dan Gelombang dalam Kondisi Badai

Dari A.H. Glenn and Associates

TABLE 9 : 1 YEAR STORM MAXIMUM AND SIGNIFICANT WAVE AND CURRENT OCEANOGRAPHIC
DATA FOR PIPELINE STABILITY ANALYSIS NORMAL TO PIPELINE : EAST JAVA GAS PIPELINE :
HAZARD PIPELINE SECTION AT KILOMETER POINT (KP 40.6 TO KP 41.5)

Kilometer Point Pipeline Route ¹	Water Depth ² (Meters)	Maximum Wave Height (m)	Significant Wave Height (m)	Maximum Wave Periode (sec)	Significant Wave Periode (m)	Direction of Wave Approach ³	Max. Net Steady Current Velocity ⁴ 1 Meter Above Bottom (m/sec)
40.6	10.3	3.1	2.0	6.2	5.6	190	0.64
40.7	11.6	3.1	2.0	6.2	5.6	190	0.65
40.8	13.8	3.1	2.0	6.2	5.6	182	0.69
40.9	15.9	3.1	2.0	6.2	5.9	182	0.76
41.0	17.9	3.1	2.0	6.2	5.9	182	0.73
41.1	19.2	3.4	2.4	6.4	5.9	188	0.78
41.2	19.3	3.4	2.4	6.4	6.1	188	0.80
41.3	18.1	3.4	2.4	6.4	6.1	175	0.82
41.4	17.8	3.4	2.7	6.4	6.1	175	0.74
41.5	16.4	3.4	2.7	6.4	6.1	175	0.71

Note : 1. Kilometer point as supplied by Nippon Steel Corporation.

2. Water depths are Lowest Astronomical Tide depths.

3. Direction of wave approach given as azimuth direction .

4. Net steady current is vector sum of the tidal, geostrophic and wind drift current components normal to pipeline.

TABLE 10 : 100 YEAR STORM MAXIMUM AND SIGNIFICANT WAVE AND CURRENT OCEANOGRAPHIC
DATA FOR PIPELINE STABILITY ANALYSIS NORMAL TO PIPELINE : EAST JAVA GAS PIPELINE :
HAZARD PIPELINE SECTION AT KILOMETER POINT (KP 40.6 TO KP 41.5)

Kilometer Point Pipeline Route ¹	Water Depth ² (Meters)	Maximum Wave Height (m)	Significant Wave Height (m)	Maximum Wave Periode (sec)	Significant Wave Periode (m)	Direction of Wave Approach ³	Max. Net Steady Current Velocity ⁴ 1 Meter Above Bottom (m/sec)
40.6	10.3	5.6	2.2	7.4	6.6	190	0.72
40.7	11.6	5.6	2.2	7.4	6.6	190	0.76
40.8	13.8	5.6	2.2	7.4	6.6	182	0.82
40.9	15.9	5.6	2.2	7.4	6.7	182	0.95
41.0	17.9	5.6	2.2	7.4	6.7	182	0.89
41.1	19.2	6.0	2.8	7.7	6.7	188	0.84
41.2	19.3	6.0	2.8	7.7	7.0	188	0.88
41.3	18.1	6.0	2.8	7.7	7.0	175	0.86
41.4	17.8	6.0	3.0	7.7	7.0	175	0.83
41.5	16.4	6.0	3.0	7.7	7.0	175	0.81

Note : 1. Kilometer point as supplied by Nippon Steel Corporation.

2. Water depths are Lowest Astronomical Tide depths.

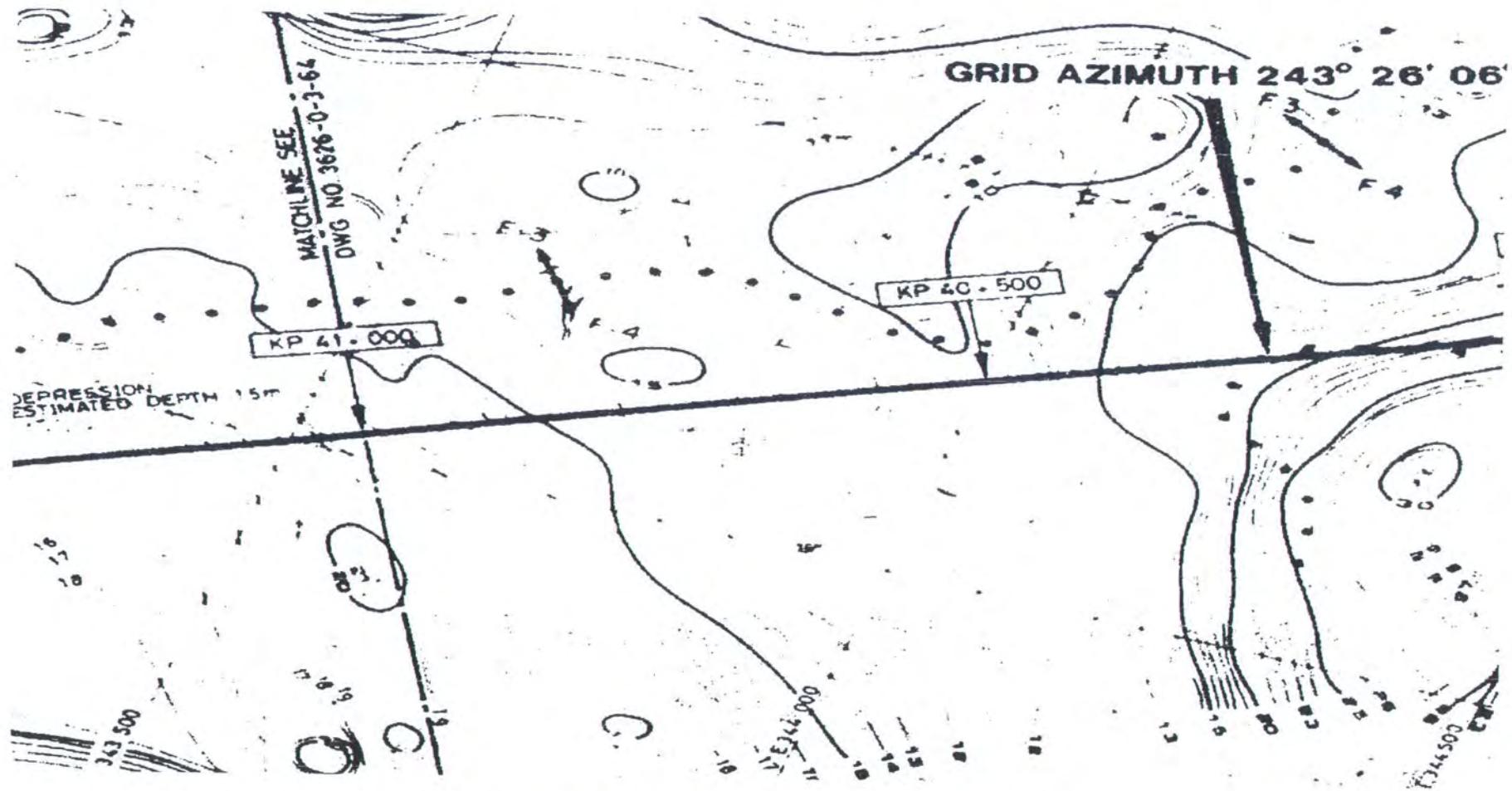
3. Direction of wave approach given as azimuth direction .

4. Net steady current is vector sum of the tidal, geostrophic and wind drift current components normal to pipeline.

LAMPIRAN A.3

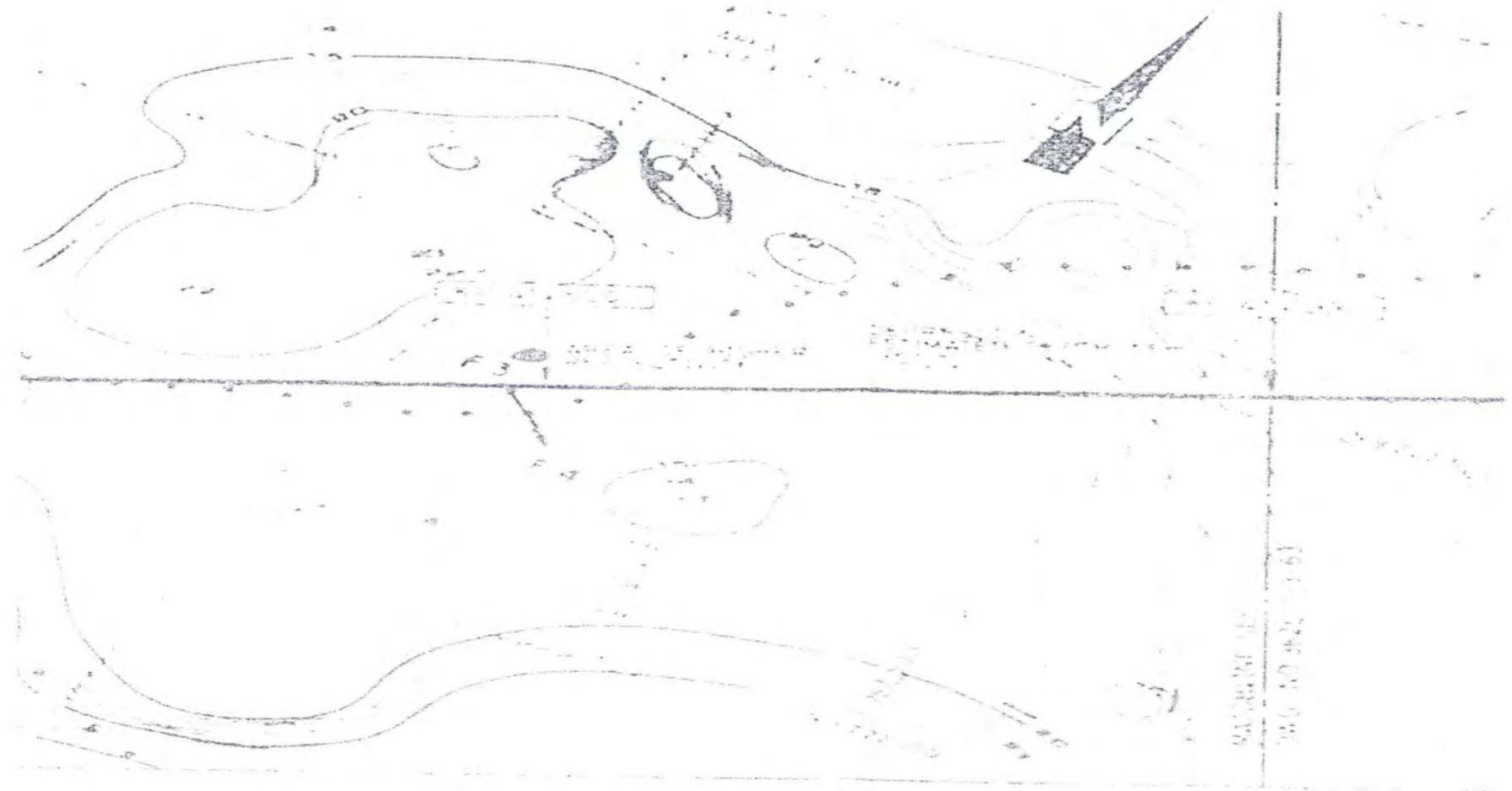
Peta Kontur Tanah Lokasi Scouring

Dari PT Pratama Widya



Peta Kontur di Lokasi Trans Java Gas Pipeline KP 40,5

(Pipeline Alignment Sheet, Drawing No. 3626-0-3-63, oleh PT Rekajasindo Binaabadi)



Peta Kontur di Lokasi Trans Java Gas Pipeline KP 41

(Pipeline Alignment Sheet, Drawing No. 3626-0-3-64, oleh PT Rekajasindo Binaabadi)

LAMPIRAN A.4

Data Scouring

Dari Trans Java Gas Pipeline

DOCUMENT NO. EJGPS-SP-DGP-1-001	REV. NO. 3	PAGE NO. 12 OF 20
------------------------------------	---------------	----------------------

Length of Spans at Scouring Location

Kilometer Point 40,9 and 41,2

Kilometer Point 40,9		Kilometer Point 41,2	
Month	Span Length (m)	Month	Span Length (m)
July 1995	0.71	November 1994	0.94
November 1995	1.34	March 1995	1.88
March 1996	2.42	July 1995	2.52
July 1996	3.04	November 1995	3.24
November 1996	3.83	March 1996	4.13
March 1997	4.97	July 1996	4.83
July 1997	5.36	November 1996	5.54
November 1997	5.95	March 1997	6.48
March 1998	6.68	July 1997	7.11
July 1998	7.14	November 1997	7.78
November 1998	7.66	March 1998	8.66
March 1999	8.57	July 1998	9.09
July 1999	9.02	November 1998	9.81
November 1999	9.54	March 1999	10.78
		July 1999	11.43
		November 1999	11.95

PROJECT :

PORONG - PAGERUNGAN

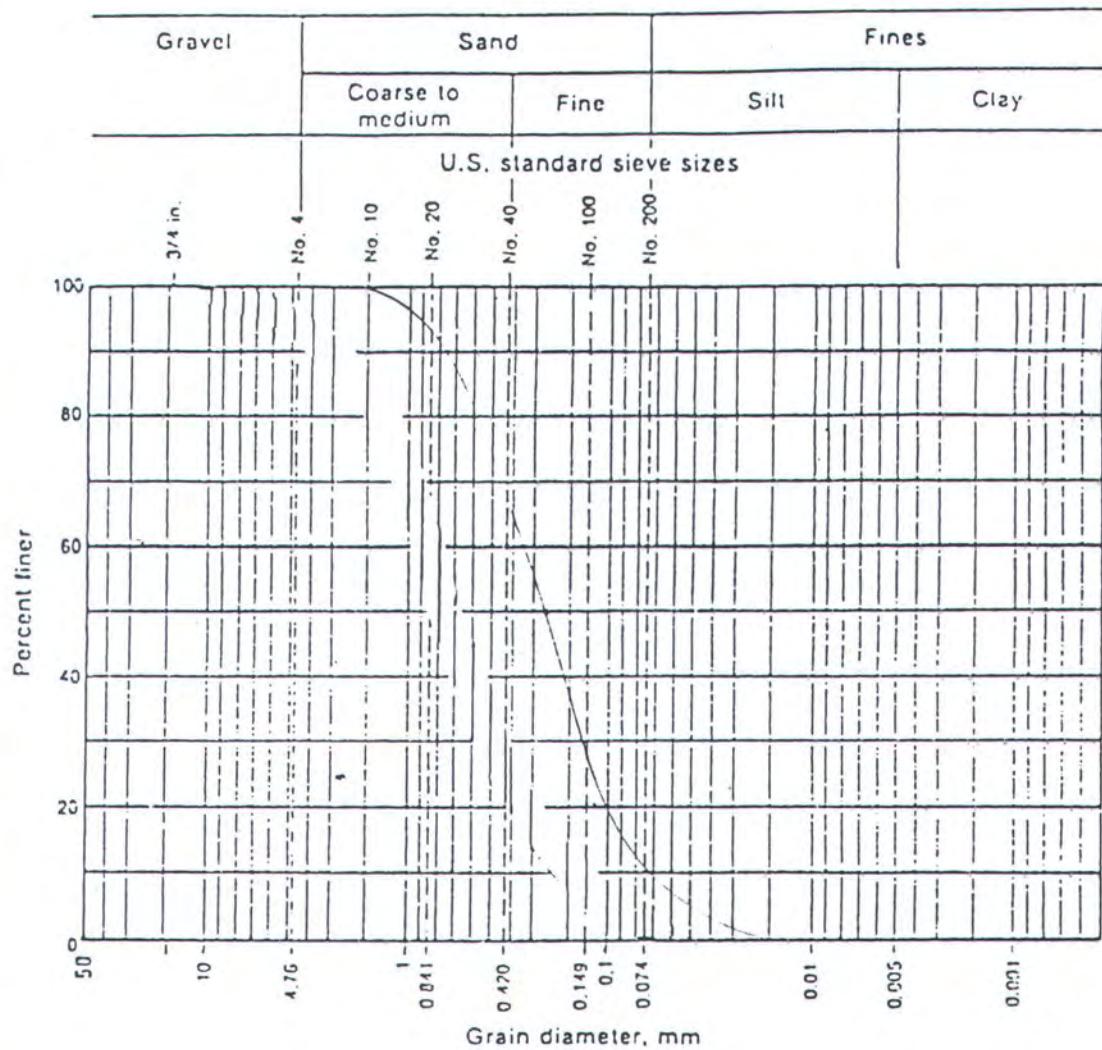
LAMPIRAN A.5

Grain Distribution

Dari Pratama Widya Engineering Service

GRAIN SIZE DISTRIBUTION

PROJECT : NSC – PORONG – PAGERUNGAN
LOCATION : N 9 222 400 BORING NO : 11
 E 343 650 DEPTH OF SAMPLE : 10.5
TESTED BY : DATE OF TESTING : NOV. 1991



$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 10,000 \quad [\text{COEFISIENT OF UNIFORMITY}]$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = 1,276 \quad [\text{COEFISIENT OF CURVATURE}]$$

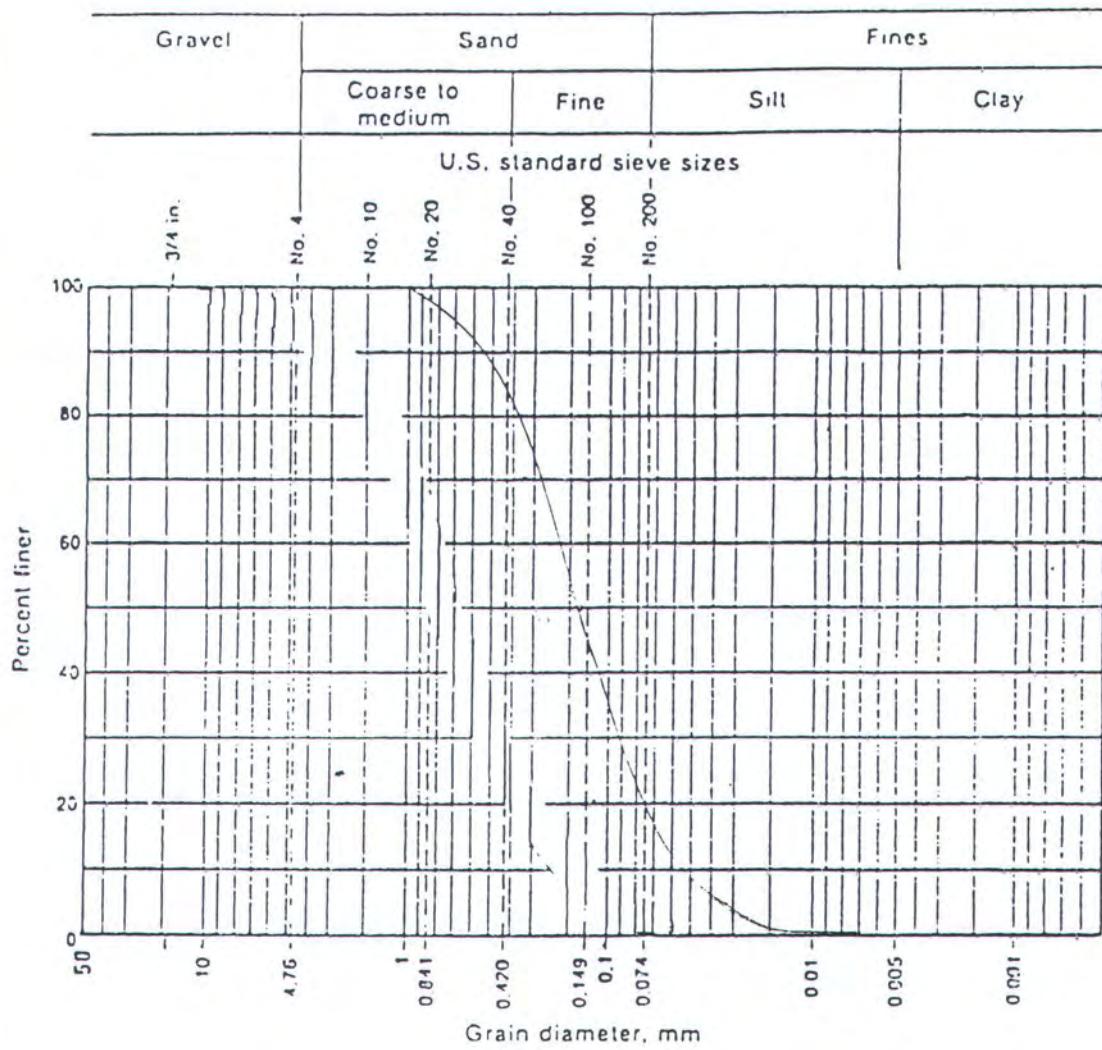
PROJECT:
[PORONG – PAGERUNGAN]



P.T. Pratama Widya
ENGINEERING SERVICES

GRAIN SIZE DISTRIBUTION

PROJECT : NSC – PORONG – PAGERUNGAN
 LOCATION : N 9 222 400 E 343 350
 TESTED BY :
 BORING NO : 14
 DEPTH OF SAMPLE : 10.5
 DATE OF TESTING : NOV. 1991



$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 6,308 \quad [\text{COEFISIENT OF UNIFORMITY}]$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = 0,890 \quad [\text{COEFISIENT OF CURVATURE}]$$

PROJECT:
 [PORONG – PAGERUNGAN]



P.T. Pratama Widya
 ENGINEERING SERVICES

LAMPIRAN B.

LAMPIRAN B.1 PERHITUNGAN KECEPATAN ARUS STEADY

LAMPIRAN B.2 PERHITUNGAN PANJANG GELOMBANG

LAMPIRAN B.3 PERHITUNGAN KECEPATAN DAN PERCEPATAN

PARTIKEL AIR

LAMPIRAN B.4 PERHITUNGAN KECEPATAN ARUS AKIBAT
GELOMBANG

LAMPIRAN B.5 PERHITUNGAN KECEPATAN ARUS EFEKTIF

LAMPIRAN B.

- LAMPIRAN B.1 PERHITUNGAN KECEPATAN ARUS STEADY**
- LAMPIRAN B.2 PERHITUNGAN PANJANG GELOMBANG**
- LAMPIRAN B.3 PERHITUNGAN KECEPATAN DAN
PERCEPATAN PARTIKEL AIR**
- LAMPIRAN B.4 PERHITUNGAN KECEPATAN ARUS AKIBAT
GELOMBANG**
- LAMPIRAN B.5 PERHITUNGAN KECEPATAN ARUS EFEKTIF**

LAMPIRAN B.1

Perhitungan Kecepatan Arus Steady

Lampiran B.1

Perhitungan Kecepatan Arus Effektif (Steady Current)

Kecepatan arus dalam kondisi steady akan membentuk profil eksponensial menurut kedalaman perairan. Perhitungan kecepatan arus efektif dilakukan dengan mengintegralkan kuadrat dari kecepatan arus yang melintasi pipa dibagi dengan diameter pipa.

$$V_c^2 = \frac{1}{D_t} \int_0^D V_0^2(y) dy$$

Dengan dalil pangkat 1/7 power law akan diperoleh formulasi kecepatan arus efektif

$$\frac{V}{V_0} = \left[\frac{y}{y_0} \right]^{1/7}$$

Sehingga kecepatan arus efektif dirumuskan :

$$V_a^2 = \frac{7}{9} V_0^2 \left[\frac{D_t}{y_0} \right]^{1/7}$$

$$V_a^2 = 0.778 V_0^2 \left[\frac{D_t}{y_0} \right]^{0.286}$$

Dimana V_0 = kecepatan arus steady pada ketinggihan y_0 dari dasar laut

y_0 = ketinggihan arus steady dihitung dari 1 meter dari dasar laut

D_t = diameter total pipa = 0,9496 meter

Arus steady current efektif dalam kondisi operasi 1 tahunan

K.P. Route	Water Depth (meter)	Wave Height (m)	Wave Period (detik)	Steady Current Velocity (m/det)	V eff (m/det)
40.60	10.30	3.10	6.20	0.64	0.5603
40.70	11.60	3.10	6.20	0.65	0.5691
40.80	13.80	3.10	6.20	0.69	0.6041
40.90	15.90	3.10	6.20	0.76	0.6654
41.00	17.90	3.10	6.20	0.73	0.6391
41.10	19.20	3.40	6.40	0.78	0.6829
41.20	19.30	3.40	6.40	0.80	0.7004
41.30	18.10	3.40	6.40	0.82	0.7179
41.40	17.80	3.40	6.40	0.74	0.6479
41.50	16.40	3.40	6.40	0.71	0.6216

Arus steady current efektif dalam kondisi operasi 100 tahunan

K.P. Route	Water Depth (meter)	Wave Height H (m)	Wave Period T (detik)	Steady Current Velocity (m/det)	V eff (m/det)
40.60	10.30	5.60	7.40	0.72	0.6304
40.70	11.60	5.60	7.40	0.76	0.6654
40.80	13.80	5.60	7.40	0.82	0.7179
40.90	15.90	5.60	7.40	0.95	0.8318
41.00	17.90	5.60	7.40	0.89	0.7792
41.10	19.20	6.00	7.70	0.84	0.7355
41.20	19.30	6.00	7.70	0.88	0.7749
41.30	18.10	6.00	7.70	0.86	0.7492
41.40	17.80	6.00	7.70	0.83	0.7258

LAMPIRAN B.2

Perhitungan Panjang Gelombang

Lampiran B.2

Perhitungan Panjang Gelombang untuk Data 100 Tahunan

KP Route	Water Depth d (m)	Wave Height H (m)	Wave Period T (detik)	H/gT ²	d/gT ²
40.60	10.30	5.60	7.40	0.01042	0.01917
40.70	11.60	5.60	7.40	0.01042	0.02159
40.80	13.80	5.60	7.40	0.01042	0.02569
40.90	15.90	5.60	7.40	0.01042	0.02960
41.00	17.90	5.60	7.40	0.01042	0.03332
41.10	19.20	6.00	7.70	0.01032	0.03301
41.20	19.30	6.00	7.70	0.01032	0.03318
41.30	18.10	6.00	7.70	0.01032	0.03112
41.40	17.80	6.00	7.70	0.01032	0.03060
41.50	16.40	6.00	7.70	0.01032	0.02820

Perhitungan panjang gelombang dengan data data gelombang :

$$\begin{aligned} H &= 5.600 \text{ m} \\ d &= 17.9 \text{ m} \\ T &= 7.4 \text{ detik} \\ g &= 9.81 \text{ m/s}^2 \\ \pi &= 3.14 \end{aligned}$$

Dari perbandingan H/t^2 dan d/t^2 dalam grafik *range validity of Wave theory* diperoleh bahwa teori yang digunakan adalah teori gelombang Stokes 2nd order

$$\begin{aligned} g T^2 / 2\pi &= 85.5407 \text{ m} \\ d/L &= 0.20926 < 0.5 \quad (\text{tidak memenuhi syarat deep water}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T (g.d)^{0.5} &= 98.0602 \text{ m} \\ d/L &= 0.18254 > 0.05 \quad (\text{tidak memenuhi syarat shallow water}) \end{aligned}$$

Maka klasifikasi perairannya merupakan intermediate, dimana:

$$L = L_0 [\tanh(2kd)]^{0.5}$$

$$L_0 = g T^2 / 2\pi$$

Asumsi awal : $\tanh kd = 1$ dengan error iterasi 0.4% (Chakrabarti 1987)

$$\text{Maka } L \text{ awal} = 85.5407 \text{ m}$$

$$k = 2\pi / L$$

Iterasi untuk menentukan panjang gelombang

L	ERROR	PROCESS
85.5407	-	-
79.5721	5.9686	Continue
80.6113	1.0392	Continue
80.4335	0.1777	Continue
80.4640	0.0305	Continue
80.4588	0.0052	Continue
80.4597	0.0009	Stop

Jadi Panjang gelombang = 80.4500 meter

Perhitungan panjang gelombang dengan data data gelombang :

$$\begin{aligned} H &= 6.000 \text{ m} \\ d &= 19.3 \text{ m} \\ T &= 7.7 \text{ detik} \\ g &= 9.81 \text{ m/s}^2 \\ \pi &= 3.14 \end{aligned}$$

Dari perbandingan H/t^2 dan d/t^2 dalam grafik *range validity of Wave theory* diperoleh bahwa teori yang digunakan adalah teori gelombang Stokes 2nd order

$$\begin{aligned} g T^2 / 2\pi &= 92.6170 \text{ m} \\ d/L &= 0.20839 < 0,5 \quad (\text{tidak memenuhi syarat deep water}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T (g.d)^{0.5} &= 105.9507 \text{ m} \\ d/L &= 0.16895 > 0,05 \quad (\text{tidak memenuhi syarat shallow water}) \end{aligned}$$

Maka klasifikasi perairannya merupakan intermediate, dimana:

$$L = L_0 [\tanh(2kd)]^{0.5}$$

$$L_0 = g T^2 / 2\pi$$

Asumsi awal : $\tanh kd = 1$ dengan error iterasi 0.4% (Chakrabarti 1987)

$$\text{Maka } L \text{ awal} = 92.6170 \text{ m}$$

$$k = 2\pi / L$$

Iterasi untuk menentukan panjang gelombang

L	ERROR	PROCESS
92.6170	-	-
86.0858	6.5312	Continue
87.2301	1.1443	Continue
87.0332	0.1970	Continue
87.0672	0.0340	Continue
87.0613	0.0059	Continue
87.0623	0.0010	Stop

Jadi panjang gelombang 87.06 meter

LAMPIRAN B.3

Perhitungan Kecepatan dan Percepatan Partikel Air

Lampiran B.3

Perhitungan Kecepatan dan Percepatan Partikel air

Perhitungan kecepatan partikel air menggunakan teori gelombang stokes order 2 sesuai dengan perbandingan H/gt^2 dan d/gt dalam grafik validitas gelombang (*region of validity*). Adapun beberapa formulasi parameter Teori Gelombang Stokes order 2 adalah sebagai berikut :

$$\sim \text{Kecepatan Partikel Air} \quad u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh kd} \cos \theta + \frac{3}{4} \frac{(\pi H)^2}{T L} \frac{\cosh 2k(d+z)}{\sinh^4(kd)} \cos 2\theta$$

$$\sim \text{Percepatan Partikel Air} \quad \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{2\pi^2 H}{T^2} \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh kd} \cdot \sin \theta + \frac{3\pi^2 H}{T^2} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh^4 kd} \sin 2\theta$$

Catatan

- * Koordinat vertikal $s = d + z$ dihitung dari dasar laut dengan arah positif ke atas.
Jika $s = 0$, maka posisi didasar laut, sedangkan $s = d$ berada di still water level (SWL) dalam perhitungan arus $s = 1$ meter diatas dasar laut.
- * Dalam penghitungan kecepatan arus efektif yang bekerja pada pipa dihitung dengan formulasi 1/7 Power Law.

$$V_{eff}^z = 0.778 \cdot V_0 \left[\frac{D_t}{y_n} \right]^{0.286}$$

dimana : V_0 = kecepatan arus akibat gelombang

y_0 = $z + d = 1$ meter

D_t = 0.9496 meter

- * Perhitungan arus efektif akibat gelombang yang tegak lurus pipa

$$V_{w_{eff}} = V_{eff} \cos \alpha$$

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

dimana : V_{eff} = kecepatan efektif arus yang disebabkan oleh gelombang

α = sudut normal terhadap pipa

β = sudut pipa terhadap arah utara

φ = sudut gelombang terhadap arah utara

Perhitungan kecepatan partikel air dalam kondisi operasi 1 tahunan

K.P. Route	Water Depth (meter)	Wave Height H (m)	Wave Period T (detik)	Wave Velocity m/det	Efektif Wave Velocity
40.60	10.30	3.10	6.20	0.0001441	0.01051
40.70	11.60	3.10	6.20	0.0000386	0.00544
40.80	13.80	3.10	6.20	0.0000042	0.00179
40.90	15.90	3.10	6.20	0.0000005	0.00062
41.00	17.90	3.10	6.20	0.0000001	0.00022
41.10	19.20	3.40	6.40	0.0000000	0.00016
41.20	19.30	3.40	6.40	0.0000000	0.00015
41.30	18.10	3.40	6.40	0.0000001	0.00027
41.40	17.80	3.40	6.40	0.0000001	0.00032
41.50	16.40	3.40	6.40	0.0000005	0.00063

Direction of Wave North Approach	Direction to Normal Pipe	Wave Velocity normal to pipe	Wave Acceleration	Wave acceleration normal to pipe
190	18	0.006940	0.0000	0.0000
190	18	0.003593	0.0000	0.0000
182	26	0.001155	0.0000	0.0000
182	26	0.000399	0.0000	0.0000
182	26	0.000145	0.0000	0.0000
188	20	0.000065	0.0000	0.0000
188	20	0.000062	0.0000	0.0000
175	33	0.000004	0.0000	0.0000
175	33	0.000004	0.0000	0.0000
175	33	0.000008	0.0000	0.0000

Perhitungan kecepatan partikel air dalam kondisi operasi 100 tahunan

K.P. Route	Kedalaman (meter)	Wave Height H (m)	Wave Period T (detik)	Wave Velocity m/det	Efektif Wave Wave
40.60	10.30	5.60	7.40	0.0010503	0.028374
40.70	11.60	5.60	7.40	0.0003485	0.016344
40.80	13.80	5.60	7.40	0.0000539	0.006426
40.90	15.90	5.60	7.40	0.0000091	0.002636
41.00	17.90	5.60	7.40	0.0000017	0.001128
41.10	19.20	6.00	7.70	0.0000010	0.000896
41.20	19.30	6.00	7.70	0.0000010	0.000860
41.30	18.10	6.00	7.70	0.0000026	0.001403
41.40	17.80	6.00	7.70	0.0000033	0.001585
41.50	16.40	6.00	7.70	0.0000103	0.002806

Direction of Wave North Approach	Direction to Normal Pipe	Wave Velocity normal to pipe	Wave Acceleration	Wave acceleration normal to pipe
190	18	0.0187361	0.00000	0.00000
190	18	0.0107923	0.00000	0.00000
182	26	0.0041571	0.00000	0.00000
182	26	0.0017053	0.00000	0.00000
182	26	0.0007299	0.00000	0.00000
188	20	0.0003655	0.00000	0.00000
188	20	0.0003509	0.00000	0.00000
175	33	0.0000186	0.00000	0.00000
175	33	0.0000210	0.00000	0.00000
175	33	0.0000372	0.00000	0.00000

LAMPIRAN B.4

Perhitungan Kecepatan Arus Akibat Gelombang

Lampiran B.4

Perhitungan Arus Karena Gelombang (wave-current) Efektif

Kecepatan arus akibat gelombang (wave current speed) pada kedalaman tertentu dihitung dengan formulasi Kinsman :

$$U^* = k^2 \left(\frac{H}{L} \right)^2 \cdot c e^{2kd}$$

dimana :

Angka Gelombang

$$k = \frac{2\pi}{L}$$

Kecepatan Gelombang (celerity)

$$c = \frac{L}{T}$$

Panjang gelombang diperoleh dari perhitungan iterasi panjang gelombang

$$L = \frac{g T^2}{2\pi} (\tanh kd)^{0.5}$$

Perhitungan kecepatan arus karena gelombang dalam kondisi operasi 1 tahunan

K.P. Route	Water Depth d (meter)	Wave Height H (m)	Wave Period T (detik)	Celerity c (m)	Wave Current m/det
40.60	10.30	3.10	6.20	9.47581	0.02876
40.70	11.60	3.10	6.20	9.47581	0.02178
40.80	13.80	3.10	6.20	9.47581	0.01361
40.90	15.90	3.10	6.20	9.47581	0.00869
41.00	17.90	3.10	6.20	9.47581	0.00567
41.10	19.20	3.40	6.40	6.57344	0.00429
41.20	19.30	3.40	6.40	6.57344	0.00420
41.30	18.10	3.40	6.40	6.57344	0.00543
41.40	17.80	3.40	6.40	6.57344	0.00579
41.50	16.40	3.40	6.40	6.57344	0.00781

Perhitungan kecepatan arus karena gelombang dalam kondisi operasi 100 tahunan

K.P. Route	Kedalaman (meter)	Wave Height H (m)	Wave Period T (detik)	Celerity c (m)	Wave Current m/det
40.60	10.30	5.60	7.40	10.87162	0.10402
40.70	11.60	5.60	7.40	10.87162	0.08491
40.80	13.80	5.60	7.40	10.87162	0.06023
40.90	15.90	5.60	7.40	10.87162	0.04339
41.00	17.90	5.60	7.40	10.87162	0.03175
41.10	19.20	6.00	7.70	11.30649	0.02592
41.20	19.30	6.00	7.70	11.30649	0.02552
41.30	18.10	6.00	7.70	11.30649	0.03078
41.40	17.80	6.00	7.70	11.30649	0.03225
41.50	16.40	6.00	7.70	11.30649	0.04013

LAMPIRAN B.5

Perhitungan Kecepatan Arus Efektif

Lampiran B.5

Perhitungan Kecepatan Arus Efektif yang Bekerja pada Pipa Dasar Laut

Kecepatan arus efektif yang bekerja pada pipa merupakan penjumlahan kecepatan arus dalam kondisi steady current dan kecepatan arus akibat gelombang (wave current) dalam arah tegak lurus pipa untuk kondisi badai (storm condition) 10 tahunan dan 100 tahunan

$$U_e = V_w + V_a$$

Dimana : V_w = kecepatan arus akibat gelombang , normal terhadap pipa

V_a = kecepatan arus steady, normal terhadap pipa

Arus efektif dalam kondisi operasi 1 tahunan

K.P. Route	Water Depth (meter)	Wave Height H (m)	Wave Period T (detik)	Steady Current (meter/det)	Wave Velocity (meter/det)	Arus efektif (meter/det)
40.60	10.30	3.10	6.20	0.5603	0.0069399	0.5672
40.70	11.60	3.10	6.20	0.5691	0.0035927	0.5727
40.80	13.80	3.10	6.20	0.6041	0.0011551	0.6053
40.90	15.90	3.10	6.20	0.6654	0.0003988	0.6658
41.00	17.90	3.10	6.20	0.6391	0.0001448	0.6392
41.10	19.20	3.40	6.40	0.6829	0.0000653	0.6830
41.20	19.30	3.40	6.40	0.7004	0.0000621	0.7005
41.30	18.10	3.40	6.40	0.7179	0.0000036	0.7179
41.40	17.80	3.40	6.40	0.6479	0.0000042	0.6479
41.50	16.40	3.40	6.40	0.6216	0.0000084	0.6216

Arus efektif dalam kondisi operasi 100 tahunan

K.P. Route	Water Depth (meter)	Wave Height H (m)	Wave Period T (detik)	Steady Current (meter/det)	Wave Velocity (meter/det)	Arus efektif (meter/det)
40.60	10.30	5.60	7.40	0.6304	0.0187361	0.6491
40.70	11.60	5.60	7.40	0.6654	0.0107923	0.6762
40.80	13.80	5.60	7.40	0.7179	0.0041571	0.7221
40.90	15.90	5.60	7.40	0.8318	0.0017053	0.8335
41.00	17.90	5.60	7.40	0.7792	0.0007299	0.7799
41.10	19.20	6.00	7.70	0.7355	0.0003655	0.7359
41.20	19.30	6.00	7.70	0.7750	0.0003509	0.7754
41.30	18.10	6.00	7.70	0.7492	0.0000186	0.7492
41.40	17.80	6.00	7.70	0.7258	0.0000210	0.7258
41.50	16.40	6.00	7.70	0.7088	0.0000372	0.7088

LAMPIRAN C

LAMPIRAN C.1

PERHITUNGAN SCOURING

LAMPIRAN C.2

PERHITUNGAN BERAT PIPA

LAMPIRAN C.3

PERHITUNGAN PERHITUNGAN BENTANGAN

KRITIS PIPA

LAMPIRAN C

LAMPIRAN C.1 PERHITUNGAN SCOURING

LAMPIRAN C.2 PERHITUNGAN BERAT PIPA

LAMPIRAN C.3 PERHITUNGAN PERHITUNGAN BENTANGAN

KRITIS PIPA

LAMPIRAN C.1

Perhitungan Kedalaman dan Kecepatan Arus di Lubang
Scouring dengan Metode Nanyang 1991

**Perhitungan Scouring dengan Metode Nanyang Technology University 1991
di Kilometer Point 40,9**

Data yang diperlukan:

1. Diameter total pipa	$D = 0.9496$ meter
2. Kecepatan efektif arus	$V_{eff} = 0.8751$ m/s
3. Massa jenis air laut	$\rho = 1025.00$ g/m ³
4. Viscositas air laut	$\nu = 8.5E-07$ m ² /det
5. Diameter butiran tanah	$d_{s0} = 0.00018$ m
6. Kedalaman aliran (flow depth)	$Y_0 = 1.00$ m

Data yang diperoleh dari grafik:

- Nilai q' diperoleh dari grafik sebagai fungsi Y_0/D
- Nilai faktor gesekan f diperoleh dari diagram Moody
- Nilai critical shear stress (τ_{cr}) diperoleh dari diagram Shield

Formulasi yang dipakai dalam perhitungan :

~ Bed shear stress di lubang scour

$$\tau_{bot} = \frac{f \cdot \rho \cdot V_{bot}^2}{8}$$

~ Kecepatan aliran di dasar scour

$$V_{bot} = \frac{q_{bot}}{(d_s)_{est}}$$

~ Angka Reynold

$$Re = \frac{V_{bot} \times (d_s)_{est}}{\nu}$$

Analisa perhitungan kedalaman scouring dengan formulasi Nanyang 1991

$$\sim q' = Y_0/D = q_{bot}/q_0 \\ 1.00 \quad \text{dari diagram diperoleh untuk nilai } Y_0/D = 1.00 \text{ maka } q' = 0.82$$

$$\sim q_0 = Y_0 \times V_{eff}$$

$$0.83 \text{ m}^2/\text{det}$$

$$\text{maka nilai } q_{bot} = 0.6817 \text{ m}^2/\text{det}$$

$$\sim d_s = 0.97 \text{ meter}$$

$$\sim V_{bot} = \frac{q_{bot}}{(d_s)_{est}} = 0.7028 \text{ m/s}$$

$$\sim V_{eff} = \frac{7.3 \cdot u^2}{9 \cdot D_s \cdot Y_0^{0.286}} \left[(d_s + D_s)^{0.286} - (d_s)^{0.286} \right]$$

$$V_{eff} = \frac{0.5549}{0.7449}$$

$$\sim \text{Kekasaran Relatif} = \frac{d_{s0}}{(d_s)_{est}} \\ = 0.00019$$

$$\sim \text{Angka Reynold} = \frac{V_{bot} \times (d_s)_{est}}{\nu}$$

$$= 8.02E+05$$

$$\sim \text{Faktor gesekan } f = 0.0142$$

$$\sim \text{Bed shear stress} = \tau_{bot} = \frac{f \cdot \rho \cdot V_{bot}^2}{8}$$

$$= 0.86890 \text{ pa}$$

$$\sim \text{Critical shear stress} = 0.86800 \text{ pa}$$

**Perhitungan Scouring dengan Metode Nanyang Technology University 1991
di Kilometer Point 40,9**

Data yang diperlukan:

1. Diameter total pipa	$D = 0.9496$ meter
2. Kecepatan efektif arus	$U_{eff} = 0.8751$ m/s
3. Massa jenis air laut	$\rho = 1025.00$ g/m ³
4. Viscositas air laut	$\nu = 8.5E-07$ m ² /det
5. Diameter butiran tanah	$d_{50} = 0.00018$ m
6. Kedalaman aliran (flow depth)	$Y_o = 3.80$ m

Data yang diperoleh dari grafik:

1. Nilai q' diperoleh dari grafik sebagai fungsi Y_o/D
2. Nilai faktor gesekan f diperoleh dari diagram Moody
3. Nilai critical shear stress (τ_{cr}) diperoleh dari diagram Shield

Formulasi yang dipakai dalam perhitungan :

~ Bed shear stress di lubang scour

$$\tau_{bot} = \frac{f \cdot \rho \cdot V_{bot}^2}{8}$$

~ Kecepatan aliran di dasar scour

$$V_{bot} = \frac{q_{bot}}{(d_s)_{est}}$$

~ Angka Reynold

$$Re = \frac{V_{bot} \times (d_s)_{est}}{\nu}$$

Analisa perhitungan kedalaman scouring dengan formulasi Nanyang 1991

$$\sim q' = Y_o/D = q_{bot}/q_o$$

4.00 dari diagram diperoleh untuk nilai $Y_o/D = 4.00$ maka $q' = 0.28$

$$\sim q_o = Y_o \times V_{eff}$$

$$3.33 \text{ m}^2/\text{det}$$

$$\text{maka nilai } q_{bot} = 0.9311 \text{ m}^2/\text{det}$$

$$\sim d_s = 1.25 \text{ meter}$$

$$\sim V_{bot} = \frac{q_{bot}}{(d_s)_{est}} = 0.7449 \text{ m/s}$$

$$\sim V_{eff}^2 = \frac{7 \cdot V_o^2}{9 \cdot D \cdot Y_o^{0.286}} \left[(d_s + D_t)^{1.286} - (d_s)^{1.286} \right]$$

$$= 0.6069$$

$$V_{eff} = 0.7790 \text{ m/s}$$

$$\sim \text{Kekasaran Relatif} = \frac{d_{50}}{(d_s)_{est}} = 0.00015$$

$$\sim \text{Angka Reynold} = \frac{V_{bot} \times (d_s)_{est}}{\nu}$$

$$= 1.10E+06$$

$$\sim \text{Faktor gesekan } f = 0.0126$$

$$\sim \text{Bed shear stress} = \tau_{bot} = \frac{f \cdot \rho \cdot V_{bot}^2}{8}$$

$$= 0.86620 \text{ pa}$$

$$\sim \text{Critical shear stress} = 0.86800 \text{ pa}$$

Perhitungan Scouring dengan Metode Nanyang Technology University 1991
di Kilometer Point 41,2

Data yang diperlukan:

1. Diameter total pipa	$D = 0.9496$ meter
2. Kecepatan efektif arus	$U_{eff} = 0.8005$ m/s
3. Massa jenis air laut	$\rho = 1025.00$ g/m ³
4. Viscositas air laut	$\nu = 8.5E-07$ m ² /det
5. Diameter butiran tanah	$d_{50} = 0.00033$ m
6. Kedalaman aliran (flow depth)	$Y_o = 1.00$ m

Data yang diperoleh dari grafik:

1. Nilai q' diperoleh dari grafik sebagai fungsi Y_o/D
2. Nilai faktor gesekan f diperoleh dari diagram Moody
3. Nilai critical shear stress (τ_{cr}) diperoleh dari diagram Shield

Formulasi yang dipakai dalam perhitungan :

~ Bed shear stress di lubang scour

$$\tau_{bot} = \frac{f \cdot \rho \cdot V_{bot}^2}{8}$$

~ Kecepatan aliran di dasar scour

$$V_{bot} = \frac{q_{bot}}{(d_s)_{est}}$$

~ Angka Reynold

$$Re = \frac{V_{bot} \times (d_s)_{est}}{\nu}$$

Analisa perhitungan kedalaman scouring dengan formulasi Nanyang 1991

$$\sim q' = Y_o/D = q_{bot}/q_o \\ 1.00 \quad \text{dari diagram diperoleh untuk nilai } Y_o/D = 1.00 \text{ maka } q' = 0.82$$

$$\sim q_o = Y_o \times V_{eff}$$

$$0.76 \text{ m}^2/\text{det}$$

$$\text{maka nilai } q_{bot} = 0.6236 \text{ m}^2/\text{det}$$

$$\sim d_s = 0.820 \text{ meter}$$

$$\sim V_{bot} = \frac{q_{bot}}{(d_s)_{est}} = 0.6424 \text{ m/s}$$

$$\sim V_{eff}^2 = \frac{7 \cdot V_o^2}{9 \cdot D \cdot Y_o^{0.286}} \left[(d_s + D)_{0.286} - (d_s)_{0.286} \right] \\ = 0.4489$$

$$V_{eff} = 0.6700 \text{ m/s}$$

$$\sim \text{Kekasaran Relatif} = \frac{d_{50}}{(d_s)_{est}} \\ = 0.00040$$

$$\sim \text{Angka Reynold} = \frac{V_{bot} \times (d_s)_{est}}{\nu} \\ = 7.34E+05$$

$$\sim \text{Faktor gesekan } f = 0.0154$$

$$\sim \text{Bed shear stress} = \tau_{bot} = \frac{f \cdot \rho \cdot V_{bot}^2}{8}$$

$$= 0.90510 \text{ pa}$$

$$\sim \text{Critical shear stress} = 0.90250 \text{ pa}$$

Perhitungan Scouring dengan Metode Nanyang Technology University 1991
di Kilometer Point 41,2

Data yang diperlukan:

1. Diameter total pipa	$D = 0.9496$ meter
2. Kecepatan efektif arus	$U_{eff} = 0.8005$ m/s
3. Massa jenis air laut	$\rho = 1025.00$ g/m ³
4. Viscositas air laut	$\nu = 8.5E-07$ m ² /det
5. Diameter butiran tanah	$d_{50} = 0.00033$ m
6. Kedalaman aliran (flow depth)	$Y_0 = 3.80$ m

Data yang diperoleh dari grafik:

1. Nilai q' diperoleh dari grafik sebagai fungsi Y_0/D
2. Nilai faktor gesekan f diperoleh dari diagram Moody s
3. Nilai critical shear stress (τ_{cr}) diperoleh dari diagram Shield

Formulasi yang dipakai dalam perhitungan :

~ Bed shear stress di lubang scour

$$\tau_{bot} = \frac{f \cdot \rho \cdot V_{bot}^2}{8}$$

~ Kecepatan aliran di dasar scour

$$V_{bot} = \frac{q_{bot}}{(d_s)_{est}}$$

~ Angka Reynold

$$Re = \frac{V_{bot} \times (d_s)_{est}}{\nu}$$

Analisa perhitungan kedalaman scouring dengan formulasi Nanyang 1991

~ $q' = Y_0/D = q_{bot}/q_0$

4.00 dari diagram diperoleh untuk nilai $Y_0/D = 4.00$ maka $q' = 0.28$

~ $q_0 = Y_0 \times V_{eff}$

3.04 m²/det

maka nilai $q_{bot} = 0.8517$ m²/det

~ $d_s = 1.04$ meter

~ $V_{bot} = \frac{q_{bot}}{(d_s)_{est}} = 0.6654$ m/s

~ $V_{eff}^2 = \frac{7 \cdot V_0^2}{9 \cdot D_t Y_0^{0.286}} \left[(d_s + D_t)^{1.286} - (d_s)^{1.286} \right]$
 $= 0.4915$

$V_{eff} = 0.7010$ m/s

~ Kekasaran Relatif = $\frac{d_{50}}{(d_s)_{est}}$
 $= 0.00031$

~ Angka Reynold = $\frac{V_{bot} \times (d_s)_{est}}{\nu}$

= 1.00E+06

~ Faktor gesekan $f = 0.0132$

~ Bed shear stress = $\tau_{bot} = \frac{f \cdot \rho \cdot V_{bot}^2}{8}$

= 0.89970 pa

~ Critical shear stress = 0.90250 pa

LAMPIRAN C.2

Perhitungan Berat Pipa

Perhitungan Berat Pipa Gas

Perhitungan berat pipa tercelup (W_{sub}) di air merupakan berat total pipa di udara di kurangi bouyancy .Berat total pipa di udara (berat pipa baja, concrete coating, corrosion coating dan berat fluida isi pipa). Dimana formulasi komponen berat adalah

~ Berat Pipa Baja

$$W_{baja} = \gamma_s \left[\frac{1}{4} \pi D_0^2 - \frac{1}{4} \pi (D_0 - 2t_s)^2 \right]$$

$$= 137.5713 \text{ N/m}$$

~ Berat Fluida dalam Pipa

$$W_{isi} = \gamma_g \left[\frac{1}{4} \pi (D_0 - 2t_s)^2 \right]$$

$$= 43.850 \text{ N/m}$$

~ Berat Corrosion Coating

$$W_{corr} = \gamma_{cc} \left[-\frac{1}{4} \pi D_0^2 + \frac{1}{4} \pi (D_0 + 2t_{cc})^2 \right]$$

$$= 14.912 \text{ N/m}$$

~ Berat Concrete coating

$$W_{con} = 1.05 \gamma_{cwc} \left[\frac{1}{4} \pi (D_0 + 2t_{cc} + 2t_{cwc})^2 - \frac{1}{4} \pi (D_0 - 2t_{cs})^2 \right]$$

$$= 1273.134 \text{ N/m}$$

Sehingga berat total pipa adalah :

$$W_{tot} = W_{baja} + W_{isi} + W_{corr} + W_{con}$$

$$= 1469.467 \text{ N/m}$$

Untuk bentangan 100 meter maka = 146946.70 Newton

~ Gaya Bouyancy

$$B = \rho \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot D_t^2$$

$$= 805.9129 \text{ N/m}$$

Untuk bentangan 100 meter maka = 80591.291

Maka besarnya berat pipa tercelup di air

$$W_{sub} = W_{tot} - B$$

$$= 663.554 \text{ N/m} \quad 13271.082 \quad 66355.41$$

Nilai dari variabel dalam perhitungan berat

D_o =	0.7112 m	γ_s =	7848.7 N/m ³
D_t =	0.9496 m	γ_g =	121 N/m ³
t_s =	0.0159 m	γ_{cc} =	1300 N/m ³
t_{cc} =	0.0015 m	γ_{cwc} =	3210 N/m ³
t_{wc} =	0.1397 m	ρ =	1025 N/m ³

LAMPIRAN C.3

Perhitungan Bentangan Kritis Pipa

Lampiran C.3

Perhitungan Bentangan Kritis Pipa di KP 40,9

- ~ Frekuensi osilasi akibat vortex shedding

$$f_v = \frac{S_t V_{eff}}{D_t} \\ = 0.157 \text{ hz}$$

- ~ Kecepatan efektif yang bekerja pada bentangan bebas pipa akibat scouring

$$V_{eff}^2 = \frac{7 V_{bot}^2}{9 D_t Y_0^{0.286}} \left[(d_s + D_t)^{1.286} - (d_s)^{1.286} \right] \\ = 0.7449 \text{ m/det}$$

dimana (diperoleh dari perhitungan scouring) :

St = 0.2	C1 = 9.87
Veff = 0.7449 m/det	Ls = 9.54 meter
Dt = 0.9496 m	E = 2.10E+09 N/m ²
Vbot = 0.7028 m/det	I = 0.0307 m ⁴
ds = 0.97 m	Me = 1920.246 kg/m
Yo = 1.0 m	

- ~ Frekuensi natural

$$fn = \frac{C_1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{E \cdot I}{M \cdot e \cdot L_s^4}} \\ = 3.164 \text{ hz} \\ 0.7 fn = 2.215 \text{ hz}$$

- ~ Persyaratan terjadinya osilasi pipa akibat bentangan bebas

$$fv < 0.7 fn \text{ memenuhi}$$

maka pipa tidak mengalami osilasi akibat bentangan bebas

- ~ Momen inersia struktur pipa

$$I = \frac{\pi \cdot (R^4 - r^4)}{4} \quad \text{dimana :} \quad R = 0.4784 \text{ m} \\ = 0.0307 \text{ m}^4 \quad r = 0.3396 \text{ m} \\ Ca = 1 \\ rho = 1025 \\ Mtot = 1156.174 \text{ kg/m}$$

- ~ Massa tambah pipa

$$M_a = 0.25 \cdot \rho \cdot \pi \cdot D_t \cdot C_a \\ = 764.072 \text{ kg/m}$$

- ~ Massa efektif pipa adalah

$$Me = Mtot + Ma \\ = 1920.246 \text{ kg/m}$$

- ~ Reduced Velocity (Vr)

$$V_r = \frac{V_{eff}}{f_n D_t} \\ = 0.2479$$

- ~ Panjang Kritis (Lcr)

$$L_{cr} = \left[\frac{C_1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{EI}{M_e}} \cdot \frac{D_t \cdot V_r}{V_{eff}} \right]^{0.5} \\ = 36.35 \text{ m}$$

Perhitungan Bentangan Kritis Pipa di KP 40,9

- ~ Frekuensi osilasi akibat vortex shedding

$$f_s = \frac{S_r V_{eff}}{D_t}$$

$$= 0.157 \quad \text{hz}$$

- ~ Kecepatan efektif yang bekerja pada bentangan bebas pipa akibat scouring

$$V_{eff}^2 = \frac{7 V_{bot}^2}{9 D_t Y_0^{0.286}} \left[(d_s + D_t)^{1.286} - (d_s)^{1.286} \right]$$

$$= 0.7449 \quad \text{m/det}$$

dimana (diperoleh dari perhitungan scouring) :

St = 0.2	C1 = 9.87
Veff = 0.7449 m/det	Ls = 9.54 meter
Dt = 0.9496 m	E = 2.10E+09 N/m ²
Vbot = 0.7028 m/det	I = 0.0307 m ⁴
ds = 1.25 m	Me = 1920.246 kg/m
Yo = 3.80 m	

- ~ Frekuensi natural

$$fn = \frac{C_1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{EI}{Mc \cdot I_s^4}}$$

$$= 3.164 \text{ hz}$$

$$0.7 fn = 2.215 \text{ hz}$$

- ~ Persyaratan terjadinya osilasi pipa akibat bentangan bebas

$$fv < 0.7 fn \quad \text{memenuhi}$$

maka pipa tidak mengalami osilasi akibat bentangan bebas

~ Momen inersia struktur pipa

$$I = \frac{\pi (R^4 - r^4)}{4} \quad \text{dimana :}$$

$$= 0.0307 \quad \text{m}^4 \quad R = 0.4784 \text{ m}$$

$$r = 0.3396 \text{ m}$$

$$Ca = 1$$

$$\rho = 1025$$

~ Massa tambah pipa

$$M_{tot} = 1156.174 \text{ kg/m}$$

$$M_a = 0.25 \cdot \rho \cdot \pi \cdot D_t \cdot C_a$$

$$= 764.072 \quad \text{kg/m}$$

~ Massa efektif pipa adalah

$$Me = M_{tot} + Ma$$

$$= 1920.246 \quad \text{kg/m}$$

- ~ Reduced Velocity (Vr)

$$V_r = \frac{V_{eff}}{f_s D_t}$$

$$= 0.2479$$

- ~ Panjang Kritis (Lcr)

$$L_{cr} = \left[\frac{C_1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{EI}{Mc}} \cdot \frac{D_t \cdot V_r}{V_{eff}} \right]^{0.5}$$

$$= 36.35 \text{ m}$$

Perhitungan Bentangan Kritis Pipa di KP 41,2

- ~ Frekuensi osilasi akibat vortex shedding

$$f_s = \frac{S_r V_{eff}}{D_r}$$

$$= 0.1477 \text{ Hz}$$

- ~ Kecepatan efektif yang bekerja pada bentangan bebas pipa akibat scouring

$$V_{eff}^2 = \frac{7 V_{bot}^2}{9 D_r Y_0^{0.286}} \left[(d_s + D_r)^{1.286} - (d_s)^{1.286} \right]$$

$$= 0.7010 \text{ m/det}$$

dimana (diperoleh dari perhitungan scouring) :

$St = 0.2$	$C_1 = 9.87$
$V_{eff} = 0.7010 \text{ m/det}$	$L_s = 11.95 \text{ meter}$
$D_t = 0.9496 \text{ m}$	$E = 2.10E+09 \text{ N/m}^2$
$V_{bot} = 0.6654 \text{ m/det}$	$M_e = 1920.246 \text{ kg/m}$
$d_s = 1.04 \text{ m}$	$I = 0.0307 \text{ m}^4$
$Y_0 = 3.80 \text{ m}$	

- ~ Frekuensi natural

$$f_n = \frac{C_1}{2\pi} \sqrt{\frac{E \cdot I}{M_e \cdot L_s^4}}$$

$$= 2.017 \text{ Hz}$$

$$0.7 f_n = 1.4116 \text{ Hz}$$

- ~ Persyaratan terjadinya osilasi pipa akibat bentangan bebas

$$f_s < 0.7 f_n \text{ memenuhi}$$

maka pipa tidak mengalami osilasi akibat bentangan bebas

- ~ Momen inersia struktur pipa

$$I = \frac{\pi (R^4 - r^4)}{4}$$

$$= 0.0307 \text{ m}^4$$

dimana	$R = 0.4784 \text{ m}$
	$r = 0.3396 \text{ m}$
	$C_a = 1$
	$\rho = 1025$
	$M_{tot} = 1156.174 \text{ kg/m}$

- ~ Massa tambah pipa

$$M_a = 0.25 \cdot \rho \cdot \pi \cdot D_t \cdot C_a$$

$$= 764.072 \text{ kg/m}$$

- ~ Massa efektif pipa adalah

$$M_e = M_{tot} + M_a$$

$$= 1920.246 \text{ kg/m}$$

- ~ Reduced Velocity (V_r)

$$V_r = \frac{V_{eff}}{f_n D_r}$$

$$= 0.3661$$

- ~ Panjang Kritis (L_{cr})

$$L_{cr} = \left[\frac{C_1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{EI}{M_e}} \cdot \frac{D_t \cdot V_r}{V_{eff}} \right]^{0.5}$$

$$= 40.8 \text{ m}$$

Perhitungan Bentangan Kritis Pipa di KP 41,2

- ~ Frekuensi osilasi akibat vortex shedding

$$f_v = \frac{S_v V_{eff}}{D_t}$$

$$= 0.1411 \text{ Hz}$$

- ~ Kecepatan efektif yang bekerja pada bentangan bebas pipa akibat scouring

$$V_{eff}^2 = \frac{7 V_{bot}^2}{9 D_t Y_0^{0.286}} \left[(d_s + D_t)^{1.286} - (d_s)^{1.286} \right]$$

$$= 0.6700 \text{ m/det}$$

dimana (diperoleh dari perhitungan scouring) :

$St = 0.2$	$C_1 = 9.87$
$V_{ef} = 0.6700 \text{ m/det}$	$L_s = 11.95 \text{ meter}$
$D_t = 0.9496 \text{ m}$	$E = 2.10E+09 \text{ N/m}^2$
$V_{bot} = 0.6424 \text{ m/det}$	$M_e = 1920.246 \text{ kg/m}$
$d_s = 0.82 \text{ m}$	$I = 0.0307 \text{ m}^4$
$Y_0 = 1.0 \text{ m}$	

- ~ Frekuensi natural

$$f_n = \frac{C_1}{2\pi} \sqrt{\frac{E \cdot I}{M_e \cdot L_s^4}}$$

$$= 2.017 \text{ Hz}$$

$$0.7 f_n = 1.4116 \text{ Hz}$$

- ~ Persyaratan terjadinya osilasi pipa akibat bentangan bebas

$$f_s < 0.7 f_n \text{ memenuhi}$$

maka pipa tidak mengalami osilasi akibat bentangan bebas

- ~ Momen inersia struktur pipa

$$I = \frac{\pi (R^4 - r^4)}{4} \quad \text{dimana}$$

$$= 0.0307 \text{ m}^4$$

$R = 0.4784 \text{ m}$
$r = 0.3396 \text{ m}$
$Ca = 1$
$\rho = 1025$
$M_{tot} = 1156.174 \text{ kg/m}$

- ~ Massa tambah pipa

$$M_a = 0.25 \cdot \rho \cdot \pi \cdot D_t \cdot C_a$$

$$= 764.072 \text{ kg/m}$$

- ~ Massa efektif pipa adalah

$$M_e = M_{tot} + M_a$$

$$= 1920.246 \text{ kg/m}$$

- ~ Reduced Velocity (V_r)

$$V_r = \frac{V_{eff}}{f_n D_t}$$

$$= 0.3499$$

- ~ Panjang Kritis (L_{cr})

$$L_{cr} = \left[\frac{C_1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{EI}{M_e}} \cdot \frac{D_t \cdot V_r}{V_{eff}} \right]^{0.5}$$

$$= 40.8 \text{ m}$$

LAMPIRAN D

LAMPIRAN D.1 PERHITUNGAN GAYA-GAYA HIDRODINAMIS

LAMPIRAN D.2 TABEL ANALISA STABILITAS PIPA

LAMPIRAN D

LAMPIRAN D.1 PERHITUNGAN GAYA-GAYA HIDRODINAMIS

LAMPIRAN D.2 TABEL ANALISA STABILITAS PIPA

LAMPIRAN D.1

**Perhitungan Gaya-Gaya Hidrodinamis yang Bekerja
Pada Pipa Bawah Laut**

Perhitungan Gaya drag di lokasi scouring

Gaya Drag Pada KP 40,9 dari Pagerungan

~ Gaya drag untuk bentangan bebas 9,54 meter

$$Fd = \frac{1}{2} \rho \cdot C_d \cdot D_t \cdot U_e \cdot I \cdot U_e \cdot I$$

$$= 189.029 \quad \text{N/m}$$

$$= 1803.337 \quad \text{N}$$

dimana :

$$Us = 0.7449 \text{ m/det}$$

$$Yo = 1.0 \text{ m}$$

$$ds = 0.97 \text{ m}$$

$$Cd = 0.70$$

$$Dt = 0.9496 \text{ m}$$

$$\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$$

$$Ls = 9.54 \text{ m}$$

~ Gaya drag untuk pipa yang meletak

$$Fd = \frac{1}{2} \rho \cdot C_d \cdot D_t \cdot U_e \cdot I \cdot U_e \cdot I$$

$$= 236.673 \quad \text{N/m}$$

$$= 21409.470 \quad \text{N}$$

dimana :

$$Cd = 0.70$$

$$Dt = 0.9496 \text{ m}$$

$$Ue = 0.8335 \text{ m/det}$$

$$\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$$

$$L = 90.46 \text{ m}$$

Jadi Gaya drag yang bekerja pada pipa di KP 40,9

$$= 23212.807 \text{ Newton}$$

Gaya Drag Pada KP 41,2 dari Pagerungan

~ Gaya drag untuk bentangan bebas 11,95 meter

$$Fd = \frac{1}{2} \rho \cdot C_d \cdot D_t \cdot U_e \cdot I \cdot U_e \cdot I$$

$$= 152.926 \quad \text{N/m}$$

$$= 1827.469 \quad \text{N}$$

dimana :

$$Us = 0.6700 \text{ m/det}$$

$$Yo = 1.0 \text{ m}$$

$$ds = 0.82 \text{ m}$$

$$Cd = 0.70$$

$$Dt = 0.9496 \text{ m}$$

$$\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$$

$$Ls = 11.95 \text{ m}$$

~ Gaya drag untuk pipa yang meletak

$$Fd = \frac{1}{2} \rho \cdot C_d \cdot D_t \cdot U_e \cdot I \cdot U_e \cdot I$$

$$= 204.800 \quad \text{N/m}$$

$$= 18032.608 \quad \text{N}$$

dimana :

$$Cd = 0.70$$

$$Dt = 0.9496 \text{ m}$$

$$Ue = 0.7754 \text{ m/det}$$

$$\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$$

$$L = 88.05 \text{ m}$$

Jadi Gaya drag yang bekerja pada pipa di KP 41,2 sebesar

$$= 19860.078 \text{ Newton}$$

Perhitungan Gaya drag di lokasi scouring

Gaya Drag Pada KP 40,9 dari Pagerungan

~ Gaya drag untuk bentangan kritis 36,35 meter

$$Fd = \frac{1}{2} \rho \cdot C_d \cdot D_t \cdot U_e \cdot I \cdot U_e \cdot I$$

$$= 189.029 \quad \text{N/m}$$

$$= 6871.206 \quad \text{N}$$

dimana :

$$Us = 0.7449 \text{ m/det}$$

$$Yo = 0.95 \text{ m}$$

$$ds = 0.97 \text{ m}$$

$$Cd = 0.70$$

$$Dt = 0.9496 \text{ m}$$

$$\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$$

$$Lcr = 36.35 \text{ m}$$

~ Gaya drag untuk pipa yang meletak

$$Fd = \frac{1}{2} \rho \cdot C_d \cdot D_t \cdot U_e \cdot I \cdot U_e \cdot I$$

$$= 204.800 \quad \text{N/m}$$

$$= 13035.497 \quad \text{N}$$

dimana :

$$Cd = 0.70$$

$$Dt = 0.9496 \text{ m}$$

$$Ue = 0.7754 \text{ m/det}$$

$$\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$$

$$L = 63.6500 \text{ m}$$

Jadi Gaya drag yang bekerja pada pipa di KP 40,9

$$= 19906.703 \text{ Newton}$$

Gaya Drag Pada KP 41,2 dari Pagerungan

~ Gaya drag untuk bentangan kritis 40,80 meter

$$Fd = \frac{1}{2} \rho \cdot C_d \cdot D_t \cdot U_e \cdot I \cdot U_e \cdot I$$

$$= 152.926 \quad \text{N/m}$$

$$= 6239.394 \quad \text{N}$$

dimana :

$$Us = 0.6700 \text{ m/det}$$

$$Yo = 0.95 \text{ m}$$

$$ds = 0.82 \text{ m}$$

$$Cd = 0.70$$

$$Dt = 0.9496 \text{ m}$$

$$\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$$

$$Lcr = 40.80 \text{ m}$$

~ Gaya drag untuk pipa yang meletak

$$Fd = \frac{1}{2} \rho \cdot C_d \cdot D_t \cdot U_e \cdot I \cdot U_e \cdot I$$

$$= 204.800 \quad \text{N/m}$$

$$= 12124.139 \quad \text{N}$$

dimana :

$$Cd = 0.70$$

$$Dt = 0.9496 \text{ m}$$

$$Ue = 0.7754 \text{ m/det}$$

$$\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$$

$$L = 59.2000 \text{ m}$$

Jadi Gaya drag yang bekerja pada pipa di KP 41,2

$$= 18363.532 \text{ Newton}$$

Perhitungan Gaya Lift di lokasi Scouring

Gaya lift Pada KP 40,9 dari Pagerungan

~ Gaya lift untuk bentangan bebas 9,54 meter

$$Fl = \frac{1}{2} \rho \cdot C_l \cdot D_t \cdot U_e^2$$

$$= 189.029 \quad \text{N/m}$$

$$= 1803.337 \quad \text{N}$$

dimana :

$$Us = 0.7449 \text{ m/det}$$

$$Yo = 0.95 \text{ m}$$

$$ds = 0.97 \text{ m}$$

$$Cl = 0.70$$

$$Dt = 0.9496 \text{ m}$$

$$\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$$

$$Ls = 9.54 \text{ m}$$

~ Gaya lift untuk pipa yang meletak

$$Fl = \frac{1}{2} \rho \cdot C_l \cdot D_t \cdot U_e^2$$

$$= 236.673 \quad \text{N/m}$$

$$= 21409.470 \quad \text{N}$$

dimana :

$$Cl = 0.70$$

$$Dt = 0.9496 \text{ m}$$

$$Ue = 0.8335 \text{ m/det}$$

$$\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$$

$$L = 90.46 \text{ m}$$

Jadi Gaya lift yang bekerja pada pipa di KP 40,9

$$= 23212.807 \text{ Newton}$$

Gaya lift Pada KP 41,2 dari Pagerungan

~ Gaya lift untuk bentangan bebas 11,95 meter

$$Fl = \frac{1}{2} \rho \cdot C_l \cdot D_t \cdot U_e^2$$

$$= 152.926 \quad \text{N/m}$$

$$= 1827.469 \quad \text{N}$$

dimana :

$$Us = 0.6700 \text{ m/det}$$

$$Yo = 0.95 \text{ m}$$

$$ds = 0.82 \text{ m}$$

$$Cl = 0.70$$

$$Dt = 0.9496 \text{ m}$$

$$\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$$

$$Ls = 11.95 \text{ m}$$

~ Gaya lift untuk pipa yang meletak

$$Fl = \frac{1}{2} \rho \cdot C_l \cdot D_t \cdot U_e^2$$

$$= 204.800 \quad \text{N/m}$$

$$= 18032.608 \quad \text{N}$$

dimana :

$$Cl = 0.70$$

$$Dt = 0.9496 \text{ m}$$

$$Ue = 0.7754 \text{ m/det}$$

$$\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$$

$$L = 88.05 \text{ m}$$

Jadi Gaya lift yang bekerja pada pipa di KP 41,2

$$= 19860.078 \text{ Newton}$$

Perhitungan Gaya Lift di lokasi Scouring

Gaya lift Pada KP 40,9 dari Pagerungan

~ Gaya lift untuk bentangan kritis 36,35 meter

$$Fl = \frac{1}{2} \rho \cdot C_L \cdot D_t \cdot U_e^2$$

$$= 189.029 \quad \text{N/m}$$

$$= 6871.206 \quad \text{N}$$

dimana :

$$U_e = 0.7449 \text{ m/det}$$

$$Y_o = 0.95 \text{ m}$$

$$ds = 0.97 \text{ m}$$

$$C_L = 0.70$$

$$D_t = 0.9496 \text{ m}$$

$$\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$$

$$L_{cr} = 36.35 \text{ m}$$

~ Gaya lift untuk pipa yang meletak

$$Fl = \frac{1}{2} \rho \cdot C_L \cdot D_t \cdot U_e^2$$

$$= 236.673 \quad \text{N/m}$$

$$= 15064.258 \quad \text{N}$$

dimana :

$$C_L = 0.70$$

$$D_t = 0.9496 \text{ m}$$

$$U_e = 0.8335 \text{ m/det}$$

$$\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$$

$$L = 63.6500 \text{ m}$$

Jadi Gaya lift yang bekerja pada pipa di KP 40,9

$$= 21935.464 \text{ Newton}$$

Gaya lift Pada KP 41,2 dari Pagerungan

~ Gaya lift untuk bentangan kritis 40,8 meter

$$Fl = \frac{1}{2} \rho \cdot C_L \cdot D_t \cdot U_e^2$$

$$= 152.926 \quad \text{N/m}$$

$$= 6239.394 \quad \text{N}$$

dimana :

$$U_e = 0.6700 \text{ m/det}$$

$$Y_o = 0.95 \text{ m}$$

$$ds = 0.82 \text{ m}$$

$$C_L = 0.70$$

$$D_t = 0.9496 \text{ m}$$

$$\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$$

$$L_{cr} = 40.80 \text{ m}$$

~ Gaya lift untuk pipa yang meletak

$$Fl = \frac{1}{2} \rho \cdot C_L \cdot D_t \cdot U_e^2$$

$$= 204.800 \quad \text{N/m}$$

$$= 12124.139 \quad \text{N}$$

dimana :

$$C_L = 0.70$$

$$D_t = 0.9496 \text{ m}$$

$$U_e = 0.7754 \text{ m/det}$$

$$\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$$

$$L = 59.2000 \text{ m}$$

Jadi Gaya lift yang bekerja pada pipa di KP 41,2

$$= 18363.532 \text{ Newton}$$

**Analisa Stabilitas Pipa Trans Java Gas Pipeline
dalam Bentangan Kritis (Lcr) dengan Yo =1 meter di Zone IC**

K.P. Route	Water Depth (meter)	Kecepatan arus (m/det)	Percepatan arus (m/det ²)	Re	W _{tot} (Newton)	B (Newton)	W _{syarat} (Newton)
40.60	10.30	0.6491	0.000	7.25E+05	146946.701	80591.29	66355.4094
40.70	11.60	0.6762	0.000	7.55E+05	146946.701	80591.29	66355.4094
40.80	13.80	0.7221	0.000	8.07E+05	146946.701	80591.29	66355.4094
40.90	15.90	0.7449	0.000	8.32E+05	146946.701	80591.29	66355.4094
41.00	17.90	0.7799	0.000	8.71E+05	146946.701	80591.29	66355.4094
41.10	19.20	0.7359	0.000	8.22E+05	146946.701	80591.29	66355.4094
41.20	19.30	0.6700	0.000	7.49E+05	146946.701	80591.29	66355.4094
41.30	18.10	0.7492	0.000	8.37E+05	146946.701	80591.29	66355.4094
41.40	17.80	0.7258	0.000	8.11E+05	146946.701	80591.29	66355.4094
41.50	16.40	0.7088	0.000	7.92E+05	146946.701	80591.29	66355.4094

K.P. Route	F _{d_{cr}} (Newton)	F _{d_{tot}} (Newton)	F _{i_{cr}} (Newton)	F _{i_{tot}} (Newton)	F _{l_{cr}} (Newton)	F _{l_{tot}} (Newton)	W _{sub} (Newton)
40.60	0	14355.030	0.000	0.000	0	14355.030	38280.080
40.70	0	15576.612	0.000	0.000	0	15576.612	41537.632
40.80	0	17761.339	0.000	0.000	0	17761.339	47363.570
40.90	6871.206	19906.703	0.000	0.000	6871.206	21935.464	55113.303
41.00	0	20722.574	0.000	0.000	0	20722.574	55260.198
41.10	0	18447.159	0.000	0.000	0	18447.159	49192.424
41.20	6239.394	18363.532	0.000	0.000	6239.394	18363.532	48969.420
41.30	0	19122.723	0.000	0.000	0	19122.723	50993.929
41.40	0	17946.994	0.000	0.000	0	17946.994	47858.652
41.50	0	17116.922	0.000	0.000	0	17116.922	45645.126

Analisa Stabilitas Pipa Trans Java Gas Pipeline
dalam Kondisi Scouring (Ls) dengan Yo = 1 meter di Zone IC

K.P. Route	Water Depth (meter)	Kecepatan arus (m/det)	Percepatan arus (m/det ²)	Re	Wtot (Newton)	B (Newton)	Wsyarat (Newton)
40.60	10.30	0.6491	0.000	7.25E+05	146946.701	80591.29	66355.4094
40.70	11.60	0.6762	0.000	7.55E+05	146946.701	80591.29	66355.4094
40.80	13.80	0.7221	0.000	8.07E+05	146946.701	80591.29	66355.4094
40.90	15.90	0.7449	0.000	8.32E+05	146946.701	80591.29	66355.4094
41.00	17.90	0.7799	0.000	8.71E+05	146946.701	80591.29	66355.4094
41.10	19.20	0.7359	0.000	8.22E+05	146946.701	80591.29	66355.4094
41.20	19.30	0.6700	0.000	7.49E+05	146946.701	80591.29	66355.4094
41.30	18.10	0.7492	0.000	8.37E+05	146946.701	80591.29	66355.4094
41.40	17.80	0.7258	0.000	8.11E+05	146946.701	80591.29	66355.4094
41.50	16.40	0.7088	0.000	7.92E+05	146946.701	80591.29	66355.4094

K.P. Route	F _d _s (Newton)	F _d _{tot} (Newton)	F _i _s (Newton)	F _i _{tot} (Newton)	F _l _s (Newton)	F _l _{tot} (Newton)	W _{sub} (Newton)
40.60	0	14355.030	0.000	0.000	0	14355.030	38280.080
40.70	0	15576.612	0.000	0.000	0	15576.612	41537.632
40.80	0	17761.339	0.000	0.000	0	17761.339	47363.570
40.90	1803.337	23212.807	0.000	0.000	1803.337	23212.807	61900.820
41.00	0	20722.574	0.000	0.000	0	20722.574	55260.198
41.10	0	18447.159	0.000	0.000	0	18447.159	49192.424
41.20	1827.469	19860.078	0.000	0.000	1827.469	19860.078	52960.208
41.30	0	19122.723	0.000	0.000	0	19122.723	50993.929
41.40	0	17946.994	0.000	0.000	0	17946.994	47858.652
41.50	0	17116.922	0.000	0.000	0	17116.922	45645.126

Analisa Stabilitas Trans Java Gas Pipeline di Zone I C (KP 40,9)
dengan Undisturb Flow Depth Y0 = 1,0 meter

K.P. Route	Vn (m/det)	Vs (m/det)	Percepatan partikel	Fd normal (Newton)	Fd scouring (Newton)	Fd kritis (Newton)	Fi normal (Newton)	Fi scouring (Newton)	Fi kritis (Newton)
40.80	0.7221	0.7221	0.000	3552.268	3552.268	3552.268	0.000	0.000	0.000
40.82	0.7221	0.7221	0.000	3552.268	3552.268	3552.268	0.000	0.000	0.000
40.84	0.7221	0.7221	0.000	3552.268	3552.268	3552.268	0.000	0.000	0.000
40.86	0.7221	0.7221	0.000	3552.268	3552.268	3552.268	0.000	0.000	0.000
40.88	0.7221	0.7221	0.000	3552.268	3552.268	3552.268	0.000	0.000	0.000
40.90	0.8335	0.7449	0.000	4733.467	4278.940	3780.581	0.000	0.000	0.000
40.92	0.8335	0.8335	0.000	4733.467	4733.467	3954.483	0.000	0.000	0.000
40.94	0.8335	0.8335	0.000	4733.467	4733.467	4733.467	0.000	0.000	0.000
40.96	0.8335	0.8335	0.000	4733.467	4733.467	4733.467	0.000	0.000	0.000
40.98	0.8335	0.8335	0.000	4733.467	4733.467	4733.467	0.000	0.000	0.000

K.P. Route	Vn (m/det)	Vs (m/det)	Percepatan partikel	Fl normal (Newton)	Fl scouring (Newton)	Fl kritis (Newton)	Wsub n (Newton)	Wsub s (Newton)	Wsub cr (Newton)
40.80	0.7221	0.7221	0.000	3552.2678	3552.2678	3552.2678	9472.714	9472.714	9472.71405
40.82	0.7221	0.7221	0.000	3552.2678	3552.2678	3552.2678	9472.714	9472.714	9472.71405
40.84	0.7221	0.7221	0.000	3552.2678	3552.2678	3552.2678	9472.714	9472.714	9472.71405
40.86	0.7221	0.7221	0.000	3552.2678	3552.2678	3552.2678	9472.714	9472.714	9472.71405
40.88	0.7221	0.7221	0.000	3552.2678	3552.2678	3552.2678	9472.714	9472.714	9472.71405
40.90	0.8335	0.7449	0.000	4733.4668	4278.9403	3780.5811	12622.578	11410.508	10081.5496
40.92	0.8335	0.8335	0.000	4733.4668	4733.4668	3954.4827	12622.578	12622.578	10545.2873
40.94	0.8335	0.8335	0.000	4733.4668	4733.4668	4733.4668	12622.578	12622.578	12622.5781
40.96	0.8335	0.8335	0.000	4733.4668	4733.4668	4733.4668	12622.578	12622.578	12622.5781
40.98	0.8335	0.8335	0.000	4733.4668	4733.4668	4733.4668	12622.578	12622.578	12622.5781

Analisa Stabilitas Trans Java Gas Pipeline di Zone I C (KP 41,2)
dengan Undisturb Flow Depth Y0 = 1,0 meter

K.P. Route	Vn (m/det)	Vs (m/det)	Percepatan partikel	Fd normal (Newton)	Fd scouring (Newton)	Fd kritis (Newton)	Fi normal (Newton)	Fi scouring (Newton)	Fi kritis (Newton)
41.10	0.7359	0.7359	0.000	3689.432	3689.432	3689.432	0.000	0.000	0.000
41.12	0.7359	0.7359	0.000	3689.432	3689.432	3689.432	0.000	0.000	0.000
41.14	0.7359	0.7359	0.000	3689.432	3689.432	3689.432	0.000	0.000	0.000
41.16	0.7359	0.7359	0.000	3689.432	3689.432	3689.432	0.000	0.000	0.000
41.18	0.7359	0.7359	0.000	3689.432	3689.432	3689.432	0.000	0.000	0.000
41.20	0.7754	0.6700	0.000	4095.993	3476.107	3058.526	0.000	0.000	0.000
41.22	0.7754	0.7754	0.000	4095.993	4095.993	3058.526	0.000	0.000	0.000
41.24	0.7754	0.7754	0.000	4095.993	4095.993	4054.494	0.000	0.000	0.000
41.26	0.7754	0.7754	0.000	4095.993	4095.993	4095.993	0.000	0.000	0.000
41.28	0.7754	0.7754	0.000	4095.993	4095.993	4095.993	0.000	0.000	0.000

K.P. Route	Vn (m/det)	Vs (m/det)	Percepatan partikel	Fl normal (Newton)	Fl scouring (Newton)	Fl kritis (Newton)	Wsub n (Newton)	Wsub s (Newton)	Wsub cr (Newton)
41.10	0.7359	0.7359	0.000	3689.4318	3689.4318	3689.4318	9838.485	9838.485	9838.48477
41.12	0.7359	0.7359	0.000	3689.4318	3689.4318	3689.4318	9838.485	9838.485	9838.48477
41.14	0.7359	0.7359	0.000	3689.4318	3689.4318	3689.4318	9838.485	9838.485	9838.48477
41.16	0.7359	0.7359	0.000	3689.4318	3689.4318	3689.4318	9838.485	9838.485	9838.48477
41.18	0.7359	0.7359	0.000	3689.4318	3689.4318	3689.4318	9838.485	9838.485	9838.48477
41.20	0.7754	0.6700	0.000	4095.9928	3476.1066	3058.5263	10922.648	9269.618	8156.07009
41.22	0.7754	0.7754	0.000	4095.9928	4095.9928	3058.5263	10922.648	10922.648	8156.07009
41.24	0.7754	0.7754	0.000	4095.9928	4095.9928	4054.4942	10922.648	10922.648	10811.9844
41.26	0.7754	0.7754	0.000	4095.9928	4095.9928	4095.9928	10922.648	10922.648	10922.6475
41.28	0.7754	0.7754	0.000	4095.9928	4095.9928	4095.9928	10922.648	10922.648	10922.6475

Table Analisa Stabilitas Pipa dengan $Y_0 = 3,8$

Lampran D.3

Perhitungan Gaya drag di lokasi scouring

1. Gaya Drag Pada KP 40,9 dari Pagerungan

~ Gaya drag untuk bentangan bebas 9,54 meter

$$Fd = \frac{1}{2} \rho C_d D_t U_e I U_e I$$

$$= 206.732 \text{ N/m}$$

$$= 1972.222 \text{ N}$$

dimana :

$$U_s = 0.7790 \text{ m/det}$$

$$Y_o = 3.8 \text{ m}$$

$$d_s = 1.25 \text{ m}$$

$$C_d = 0.70$$

$$D_t = 0.9496 \text{ m}$$

$$\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$$

$$L_s = 9.54 \text{ m}$$

~ Gaya drag untuk pipa yang meletak

$$Fd = \frac{1}{2} \rho C_d D_t U_e I U_e I$$

$$= 236.673 \text{ N/m}$$

$$= 21409.470 \text{ N}$$

dimana :

$$C_d = 0.70$$

$$D_t = 0.9496 \text{ m}$$

$$U_e = 0.8335 \text{ m/det}$$

$$\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$$

$$L = 90.46 \text{ m}$$

Jadi Gaya drag yang bekerja pada pipa di KP 40,9

$$= 23381.693 \text{ Newton}$$

2. Gaya Drag Pada KP 41,2 dari Pagerungan

~ Gaya drag untuk bentangan bebas 11,95 meter

$$Fd = \frac{1}{2} \rho C_d D_t U_e I U_e I$$

$$= 167.405 \text{ N/m}$$

$$= 2000.491 \text{ N}$$

dimana :

$$U_s = 0.7010 \text{ m/det}$$

$$Y_o = 3.8 \text{ m}$$

$$d_s = 1.04 \text{ m}$$

$$C_d = 0.70$$

$$D_t = 0.9496 \text{ m}$$

$$\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$$

$$L_s = 11.95 \text{ m}$$

~ Gaya drag untuk pipa yang meletak

$$Fd = \frac{1}{2} \rho C_d D_t U_e I U_e I$$

$$= 204.800 \text{ N/m}$$

$$= 18032.608 \text{ N}$$

dimana :

$$C_d = 0.70$$

$$D_t = 0.9496 \text{ m}$$

$$U_e = 0.7754 \text{ m/det}$$

$$\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$$

$$L = 88.05 \text{ m}$$

Jadi Gaya drag yang bekerja pada pipa di KP 41,2 sebesar

$$= 20033.099 \text{ Newton}$$

Perhitungan Gaya drag di lokasi scouring

Gaya Drag Pada KP 40,9 dari Pagerungan

~ Gaya drag untuk bentangan kritis 36,35 meter

$$Fd = \frac{1}{2} \rho C_d D_t U_e I U_e I$$

$$\begin{aligned} &= 206.732 \text{ N/m} \\ &= 7514.705 \text{ N} \end{aligned}$$

dimana :

$$\begin{aligned} Us &= 0.7790 \text{ m/det} \\ Yo &= 3.8 \text{ m} \\ ds &= 1.25 \text{ m} \\ Cd &= 0.70 \\ Dt &= 0.9496 \text{ m} \\ \rho &= 1025 \text{ Kg/m}^3 \\ Lcr &= 36.35 \text{ m} \end{aligned}$$

~ Gaya drag untuk pipa yang meletak

$$\begin{aligned} Fd &= \frac{1}{2} \rho C_d D_t U_e I U_e I \\ &= 236.673 \text{ N/m} \\ &= 15064.258 \text{ N} \end{aligned}$$

dimana :

$$\begin{aligned} Cd &= 0.70 \\ Dt &= 0.9496 \text{ m} \\ Ue &= 0.8335 \text{ m/det} \\ \rho &= 1025 \text{ Kg/m}^3 \\ L &= 63.65 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi Gaya drag yang bekerja pada pipa di KP 40,9

$$= 22578.963 \text{ Newton}$$

Gaya Drag Pada KP 41,2 dari Pagerungan

~ Gaya drag untuk bentangan kritis 40,80 meter

$$Fd = \frac{1}{2} \rho C_d D_t U_e I U_e I$$

$$\begin{aligned} &= 167.405 \text{ N/m} \\ &= 6830.128 \text{ N} \end{aligned}$$

dimana :

$$\begin{aligned} Us &= 0.7010 \text{ m/det} \\ Yo &= 3.8 \text{ m} \\ ds &= 1.04 \text{ m} \\ Cd &= 0.70 \\ Dt &= 0.9496 \text{ m} \\ \rho &= 1025 \text{ Kg/m}^3 \\ Lcr &= 40.80 \text{ m} \end{aligned}$$

~ Gaya drag untuk pipa yang meletak

$$\begin{aligned} Fd &= \frac{1}{2} \rho C_d D_t U_e I U_e I \\ &= 204.800 \text{ N/m} \\ &= 12124.139 \text{ N} \end{aligned}$$

dimana :

$$\begin{aligned} Cd &= 0.70 \\ Dt &= 0.9496 \text{ m} \\ Ue &= 0.7754 \text{ m/det} \\ \rho &= 1025 \text{ Kg/m}^3 \\ L &= 59.20 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi Gaya drag yang bekerja pada pipa di KP 41,2

$$= 18954.266 \text{ Newton}$$

Perhitungan Gaya lift di lokasi scouring

1. Gaya lift Pada KP 40,9 dari Pagerungan

~ Gaya lift untuk bentangan bebas 9,54 meter

$$Fl = \frac{1}{2} \rho \cdot C_l \cdot D_t \cdot U_e^2$$

$$= 206.732 \quad \text{N/m}$$

$$= 1972.222 \quad \text{N}$$

dimana :

$$Us = 0.7790 \text{ m/det}$$

$$Yo = 3.8 \text{ m}$$

$$ds = 1.25 \text{ m}$$

$$Cl = 0.70$$

$$Dt = 0.9496 \text{ m}$$

$$\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$$

$$Ls = 9.54 \text{ m}$$

~ Gaya lift untuk pipa yang meletak

$$Fl = \frac{1}{2} \rho \cdot C_l \cdot D_t \cdot U_e^2$$

$$= 236.673 \quad \text{N/m}$$

$$= 21409.470 \quad \text{N}$$

dimana :

$$Cl = 0.70$$

$$Dt = 0.9496 \text{ m}$$

$$Ue = 0.8335 \text{ m/det}$$

$$\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$$

$$L = 90.46 \text{ m}$$

Jadi Gaya lift yang bekerja pada pipa di KP 40,9

$$= 23381.693 \text{ Newton}$$

2. Gaya lift Pada KP 41,2 dari Pagerungan

~ Gaya lift untuk bentangan bebas 11,95 meter

$$Fl = \frac{1}{2} \rho \cdot C_l \cdot D_t \cdot U_e^2$$

$$= 167.405 \quad \text{N/m}$$

$$= 2000.491 \quad \text{N}$$

dimana :

$$Us = 0.7010 \text{ m/det}$$

$$Yo = 3.8 \text{ m}$$

$$ds = 1.04 \text{ m}$$

$$Cl = 0.70$$

$$Dt = 0.9496 \text{ m}$$

$$\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$$

$$Ls = 11.95 \text{ m}$$

~ Gaya lift untuk pipa yang meletak

$$Fl = \frac{1}{2} \rho \cdot C_l \cdot D_t \cdot U_e^2$$

$$= 204.800 \quad \text{N/m}$$

$$= 18032.608 \quad \text{N}$$

dimana :

$$Cl = 0.70$$

$$Dt = 0.9496 \text{ m}$$

$$Ue = 0.7754 \text{ m/det}$$

$$\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$$

$$L = 88.05 \text{ m}$$

Jadi Gaya lift yang bekerja pada pipa di KP 41,2

$$= 20033.099 \text{ Newton}$$

Perhitungan Gaya lift di lokasi scouring

Gaya lift Pada KP 40,9 dari Pagerungan

~ Gaya lift untuk bentangan kritis 36,35 meter

$$Fl = \frac{1}{2} \rho \cdot C_l \cdot D_t \cdot U_e^2$$

$$= 202.508 \quad \text{N/m}$$

$$= 7361.152 \quad \text{N}$$

dimana :

$$Us = 0.7710 \text{ m/det}$$

$$Yo = 3.8 \text{ m}$$

$$ds = 1.25 \text{ m}$$

$$Cl = 0.70$$

$$Dt = 0.9496 \text{ m}$$

$$\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$$

$$Lcr = 36.35 \text{ m}$$

~ Gaya lift untuk pipa yang meletak

$$Fl = \frac{1}{2} \rho \cdot C_l \cdot D_t \cdot U_e^2$$

$$= 236.673 \quad \text{N/m}$$

$$= 15064.258 \quad \text{N}$$

dimana :

$$Cl = 0.70$$

$$Dt = 0.9496 \text{ m}$$

$$Ue = 0.8335 \text{ m/det}$$

$$\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$$

$$L = 63.65 \text{ m}$$

Jadi Gaya lift yang bekerja pada pipa di KP 40,9

$$= 22425.410 \text{ Newton}$$

Gaya lift Pada KP 41,2 dari Pagerungan

~ Gaya lift untuk bentangan kritis 40,8 meter

$$Fl = \frac{1}{2} \rho \cdot C_l \cdot D_t \cdot U_e^2$$

$$= 167.405 \quad \text{N/m}$$

$$= 6830.128 \quad \text{N}$$

dimana :

$$Us = 0.7010 \text{ m/det}$$

$$Yo = 3.8 \text{ m}$$

$$ds = 1.04 \text{ m}$$

$$Cl = 0.70$$

$$Dt = 0.9496 \text{ m}$$

$$\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$$

$$Lcr = 40.80 \text{ m}$$

~ Gaya lift untuk pipa yang meletak

$$Fl = \frac{1}{2} \rho \cdot C_l \cdot D_t \cdot U_e^2$$

$$= 204.800 \quad \text{N/m}$$

$$= 12124.139 \quad \text{N}$$

dimana :

$$Cl = 0.70$$

$$Dt = 0.9496 \text{ m}$$

$$Ue = 0.7754 \text{ m/det}$$

$$\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$$

$$L = 59.20 \text{ m}$$

Jadi Gaya lift yang bekerja pada pipa di KP 41,2

$$= 18954.266 \text{ Newton}$$

Analisa Stabilitas Pipa Trans Java Gas Pipeline
dalam Kondisi Scouring dengan $Y_o = 3,8$ meter di Zone IC

K.P. Route	Water Depth (meter)	Arus efektif (meter/det)	Percepatan partikel air	Re	W tot (Newton)	B (Newton)	Wtot (Newton)
40.60	10.30	0.6491	0.000	7.25E+05	146946.701	80591.291	66355.409
40.70	11.60	0.6762	0.000	7.55E+05	146946.701	80591.291	66355.409
40.80	13.80	0.7221	0.000	8.07E+05	146946.701	80591.291	66355.409
40.90	15.90	0.7790	0.000	8.70E+05	146946.701	80591.291	66355.409
41.00	17.90	0.7799	0.000	8.71E+05	146946.701	80591.291	66355.409
41.10	19.20	0.7359	0.000	8.22E+05	146946.701	80591.291	66355.409
41.20	19.30	0.7010	0.000	7.83E+05	146946.701	80591.291	66355.409
41.30	18.10	0.7492	0.000	8.37E+05	146946.701	80591.291	66355.409
41.40	17.80	0.7258	0.000	8.11E+05	146946.701	80591.291	66355.409
41.50	16.40	0.7088	0.000	7.92E+05	146946.701	80591.291	66355.409

K.P. Route	F _{d_s} (Newton)	F _{d_tot} (Newton)	F _{i_s} (Newton)	F _{i_tot} (Newton)	F _{l_s} (Newton)	F _{l_tot} (Newton)	W _{sub} (Newton)
40.60	0	14355.030	0.000	0.000	0	14355.030	38280.0795
40.70	0	15576.612	0.000	0.000	0	15576.612	41537.6320
40.80	0	17761.339	0.000	0.000	0	17761.339	47363.5702
40.90	1972.222	23381.693	0.000	0.000	1972.222	23381.693	62351.1807
41.00	0	20722.574	0.000	0.000	0	20722.574	55260.1979
41.10	0	18447.159	0.000	0.000	0	18447.159	49192.4239
41.20	2000.491	20033.099	0.000	0.000	2000.491	20033.099	53421.5979
41.30	0	19122.723	0.000	0.000	0	19122.723	50993.9290
41.40	0	17946.994	0.000	0.000	0	17946.994	47858.6519
41.50	0	17116.922	0.000	0.000	0	17116.922	45645.1260

Analisa Stabilitas Pipa Trans Java Gas Pipeline
dalam Bentangan Kritis (Lcr) dengan $Y_0 = 3,8$ meter di Zone IC

K.P. Route	Water Depth (meter)	Arus efektif (meter/det)	Percepatan partikel air	Re	W tot (Newton)	B (Newton)	Wsyarat (Newton)
40.60	10.30	0.6491	0.000	7.25E+05	146946.701	80591.291	66355.409
40.70	11.60	0.6762	0.000	7.55E+05	146946.701	80591.291	66355.409
40.80	13.80	0.7221	0.000	8.07E+05	146946.701	80591.291	66355.409
40.90	15.90	0.7790	0.000	8.70E+05	146946.701	80591.291	66355.409
41.00	17.90	0.7799	0.000	8.71E+05	146946.701	80591.291	66355.409
41.10	19.20	0.7359	0.000	8.22E+05	146946.701	80591.291	66355.409
41.20	19.30	0.7010	0.000	7.83E+05	146946.701	80591.291	66355.409
41.30	18.10	0.7492	0.000	8.37E+05	146946.701	80591.291	66355.409
41.40	17.80	0.7258	0.000	8.11E+05	146946.701	80591.291	66355.409
41.50	16.40	0.7088	0.000	7.92E+05	146946.701	80591.291	66355.409

K.P. Route	F_{d_s} (Newton)	$F_{d_{tot}}$ (Newton)	F_{i_s} (Newton)	$F_{i_{tot}}$ (Newton)	F_{l_s} (Newton)	$F_{l_{tot}}$ (Newton)	W_{sub} (Newton)
40.60	0	14355.030	0.000	0.000	0	14355.030	38280.0795
40.70	0	15576.612	0.000	0.000	0	15576.612	41537.6320
40.80	0	17761.339	0.000	0.000	0	17761.339	47363.5702
40.90	7514.705	22578.963	0.000	0.000	7361.152	22425.410	60057.0155
41.00	0	20722.574	0.000	0.000	0	20722.574	55260.1979
41.10	0	18447.159	0.000	0.000	0	18447.159	49192.4239
41.20	6830.128	18954.266	0.000	0.000	6830.128	18954.266	50544.7102
41.30	0	19122.723	0.000	0.000	0	19122.723	50993.9290
41.40	0	17946.994	0.000	0.000	0	17946.994	47858.6519
41.50	0	17116.922	0.000	0.000	0	17116.922	45645.1260

Analisa Stabilitas Trans Java Gas Pipeline di Zone I C (40,9)
dengan Undisturb Flow Depth Y0 = 3,8 meter

KP Route	Vn m/det	Vs m/det	Percepatan partikel	Fd Normal Newton	Fd scouring Newton	Fd kritis Newton	Fi Normal Newton	Fi scouring Newton	Fi kritis Newton
40.80	0.7221	0.7221	0.000	3552.268	3552.268	3552.268	0.000	0.000	0.000
40.82	0.7221	0.7221	0.000	3552.268	3552.268	3552.268	0.000	0.000	0.000
40.84	0.7221	0.7221	0.000	3552.268	3552.268	3552.268	0.000	0.000	0.000
40.86	0.7221	0.7221	0.000	3552.268	3552.268	3552.268	0.000	0.000	0.000
40.88	0.7221	0.7221	0.000	3552.268	3552.268	3552.268	0.000	0.000	0.000
40.90	0.8335	0.7790	0.000	4733.467	4447.826	4134.638	0.000	0.000	0.000
40.92	0.8335	0.8335	0.000	4733.467	4733.467	4243.925	0.000	0.000	0.000
40.94	0.8335	0.8335	0.000	4733.467	4733.467	4733.467	0.000	0.000	0.000
40.96	0.8335	0.8335	0.000	4733.467	4733.467	4733.467	0.000	0.000	0.000
40.98	0.8335	0.8335	0.000	4733.467	4733.467	4733.467	0.000	0.000	0.000

KP Route	Vn m/det	Vs m/det	Percepatan partikel	Fl Normal Newton	Fl scouring Newton	Fl kritis Newton	Wsub n Newton	Wsub s Newton	Wsub cr Newton
40.80	0.7221	0.7221	0.000	3552.268	3552.268	3552.268	9472.714	9472.714	9472.714
40.82	0.7221	0.7221	0.000	3552.268	3552.268	3552.268	9472.714	9472.714	9472.714
40.84	0.7221	0.7221	0.000	3552.268	3552.268	3552.268	9472.714	9472.714	9472.714
40.86	0.7221	0.7221	0.000	3552.268	3552.268	3552.268	9472.714	9472.714	9472.714
40.88	0.7221	0.7221	0.000	3552.268	3552.268	3552.268	9472.714	9472.714	9472.714
40.90	0.8335	0.7790	0.000	4733.467	4447.826	4134.638	12622.578	11860.87	11025.702
40.92	0.8335	0.8335	0.000	4733.467	4733.467	4243.925	12622.578	12622.578	11317.132
40.94	0.8335	0.8335	0.000	4733.467	4733.467	4733.467	12622.578	12622.578	12622.578
40.96	0.8335	0.8335	0.000	4733.467	4733.467	4733.467	12622.578	12622.578	12622.578
40.98	0.8335	0.8335	0.000	4733.467	4733.467	4733.467	12622.578	12622.578	12622.578

Analisa Stabilitas Trans Java Gas Pipeline di Zone I C (41,2)
dengan Undisturb Flow Depth Y0 = 3,8 meter

KP Route	Vn m/det	Vs m/det	Percepatan partikel	Fd Normal Newton	Fd scouring Newton	Fd kritis Newton	Fi Normal Newton	Fi scouring Newton	Fi kritis Newton
41.10	0.7359	0.7359	0.000	3689.432	3689.432	3689.432	0.000	0.000	0.000
41.12	0.7359	0.7359	0.000	3689.432	3689.432	3689.432	0.000	0.000	0.000
41.14	0.7359	0.7359	0.000	3689.432	3689.432	3689.432	0.000	0.000	0.000
41.16	0.7359	0.7359	0.000	3689.432	3689.432	3689.432	0.000	0.000	0.000
41.18	0.7359	0.7359	0.000	3689.432	3689.432	3689.432	0.000	0.000	0.000
41.20	0.7754	0.7010	0.000	4095.993	3649.128	3348.102	0.000	0.000	0.000
41.22	0.7754	0.7754	0.000	4095.993	4095.993	3348.102	0.000	0.000	0.000
41.24	0.7754	0.7754	0.000	4095.993	4095.993	4066.077	0.000	0.000	0.000
41.26	0.7754	0.7754	0.000	4095.993	4095.993	4095.993	0.000	0.000	0.000
41.28	0.7754	0.7754	0.000	4095.993	4095.993	4095.993	0.000	0.000	0.000

KP Route	Vn m/det	Vs m/det	Percepatan partikel	Fi Normal Newton	Fi scouring Newton	Fi kritis Newton	Wsub n Newton	Wsub s Newton	Wsub cr Newton
41.10	0.7359	0.7359	0.000	3689.432	3689.432	3689.432	9838.4848	9838.485	9838.485
41.12	0.7359	0.7359	0.000	3689.432	3689.432	3689.432	9838.4848	9838.485	9838.485
41.14	0.7359	0.7359	0.000	3689.432	3689.432	3689.432	9838.4848	9838.485	9838.485
41.16	0.7359	0.7359	0.000	3689.432	3689.432	3689.432	9838.4848	9838.485	9838.485
41.18	0.7359	0.7359	0.000	3689.432	3689.432	3689.432	9838.4848	9838.485	9838.485
41.20	0.7754	0.7010	0.000	4095.993	3649.128	3348.102	10922.648	9731.008	8928.271
41.22	0.7754	0.7754	0.000	4095.993	4095.993	3348.102	10922.648	10922.648	8928.271
41.24	0.7754	0.7754	0.000	4095.993	4095.993	4066.077	10922.648	10922.648	10842.872
41.26	0.7754	0.7754	0.000	4095.993	4095.993	4095.993	10922.648	10922.648	10922.648
41.28	0.7754	0.7754	0.000	4095.993	4095.993	4095.993	10922.648	10922.648	10922.648

LAMPIRAN DUKUMEN

Lampiran Presensi Konsultasi Dosen Pembimbing I

Formulir Untuk Maju Ujian Tugas Akhir

LAMPIRAN DUKUMEN

Lampiran Presensi Konsultasi Dosen Pembimbing I

Lampiran Presensi Konsultasi Dosen Pembimbing II

Formulir Untuk Maju Ujian Tugas Akhir



LEMBAR PRESENSI KONSULTASI TUGAS AKHIR

NAMA MAHASISWA : Hermawan S B
NOMOR POKOK : 4395.100.008
DOSEN PEMBIMBING I : Ir. Hasan Ikhwani, MSc
TUGAS DIMULAI :
TUGAS SELESAI :
JUDUL TUGAS AKHIR : Studi Pengaruh Scouring terhadap Stabilitas Pipa Gas Bawah Laut Kangean-Porong

NO	TANGGAL	KONSULTASI MENGENAI	TANDA TANGAN DOSEN PEMBIMBING
1	20 - 3 - 2000	1 bulan pertama	
2	18 - 4 - 2000	Bab 1 & 2 & 3	
3	10 - 5 - 2000	Perhitungan scouring	
4	12 - 6 - 2000	Perhitungan Stabilitas	
5	22 - 9 - 2000	Perhitungan arus efekti	
6	01 - 10 - 2000	Perhitungan arus scouring	
7	14 - 10 - 2000	Analisa stabilitas	
8	18 - 10 - 2000	Bab IV	
9	24 - 10 - 2000	Bab V Kompleulan	
10	28 - 10 - 2000	Lampiran	

Catatan : Lembar Presensi Konsultasi ini harus ditunjukkan pada saat ujian tugas akhir



DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS-Sukolilo, Surabaya 60111 Telp./Fak. 5928105, 5994251 Psw. 1104 - 1105

LEMBAR PRESENSI KONSULTASI TUGAS AKHIR

NAMA MAHASISWA : Hermawan S B
NOMOR POKOK : 4395.100.008
DOSEN PEMBIMBING II : Ir. JJ Soedjono, MSc
TUGAS DIMULAI :
TUGAS SELESAI :
JUDUL TUGAS AKHIR : Studi Pengaruh Scouring terhadap Stabilitas Pipa
Transport Gas Kangean-Porong

NO	TANGGAL	KONSULTASI MENGENAI	TANDA TANGAN DOSEN PEMBIMBING
1	21-3-2020	Velocity & Friction Bottom	
2	19-4-2020	Bab I, II, III	
3	11-6-2020	Pisik Larie	
4	21-9-2020	Bab IV	
5	4-10-2020	Analisa	
6		Kesimpulan & Saran & belum	
7	23-10-2020	Abstrak Ref, all	
8	27-10-2020	Penyelesaian	
9		disertasi penyelesaian	
10			

Catatan : Lembar Presensi Konsultasi ini harus ditunjukkan pada saat ujian tugas akhir



DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS-Sukolilo, Surabaya 60111 Telp./Fak. 5928105.

FORMULIR EVALUASI KEMAJUAN UJIAN TUGAS AKHIR

Setelah mengevaluasi kemajuan yang telah dicapai oleh:

Nama : Hermawan SB

NRP : 4395 100 008

Judul TA : Studi Pengaruh Scouring terhadap Stabilitas Pipa Gas
Bawah Laut Kangean Porong Zone IC

Masa berlaku SK TA : 26 Januari – 26 Juni 2000

Maka kami dosen pembimbing dari mahasiswa tersebut mengijinkan untuk mengikuti ujian Tugas Akhir (P-3) yang dilaksanakan pada tanggal 30 – 31 Oktober 2000.

Surabaya,

26/10/2000

Dosen Pembimbing I

Ir Hasan Ikhwani, MSc.

NIP. 132 048 145

Dosen Pembimbing II

Ir JJ Soedjono, MSc.

NIP. 130 359 270