



**TUGAS AKHIR
ME184834**

***ANALISIS FATIGUE FREE SPAN PIPA BAWAH LAUT AKIBAT
PENGARUH VORTEX INDUCED VIBRATION (VIV) DENGAN
SIMULASI COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) ;
STUDI KASUS : EASTERN JAVA GAS PIPELINE (EJGP)***

**IQBAL RUSDAN ARIEF
NRP 0421154000004**

**Dosen Pembimbing:
Irfan Syarif Arief, ST., MT.
Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., M.MT**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA
2019**



TUGAS AKHIR
ME184834

**ANALISIS *FATIGUE FREE SPAN PIPA* BAWAH LAUT AKIBAT
PENGARUH *VORTEX INDUCED VIBRATION (VIV)* DENGAN
SIMULASI COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) ;
STUDI KASUS : EASTERN JAVA GAS PIPELINE (EJGP)**

IQBAL RUSDAN ARIEF
NRP 04211540000004

Dosen Pembimbing:
Irfan Syarif Arief, ST., MT.
Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., M.MT

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA
2019

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BACHELOR THESIS
ME184834

**Fatigue Analysis of Free Span on Offshore Pipeline Due to Vortex
Induced Vibration (VIV) Using Computational Fluid Dynamics (CFD) ;
Case Study : Eastern Java Gas Pipeline (EJGP)**

IQBAL RUSDAN ARIEF
NRP 0421154000004

Supervisor Lecturer :
Irfan Syarif Arief, ST., MT.
Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., M.MT

Department of Marine Engineering
Faculty of Marine Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2019

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS *FATIGUE FREE SPAN PIPA* BAWAH LAUT AKIBAT
PENGARUH *VORTEX INDUCED VIBRATION (VIV)* DENGAN
SIMULASI COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) ;
STUDI KASUS : EASTERN JAVA GAS PIPELINE (EJGP)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Marine Manufacture Design (MMD)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

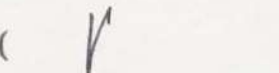
Iqbal Rusdan Arief
NRP. 04211540000004

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Irfan Syarif Arief, ST., MT.
NIP. 1969 1225 1997 02 1001

()

Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., M.MT
NIP. 1959 0410 1987 01 1001

()

SURABAYA
Juli 2019

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS *FATIGUE FREE SPAN PIPA* BAWAH LAUT AKIBAT
PENGARUH *VORTEX INDUCED VIBRATION (VIV)* DENGAN
SIMULASI COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) ;
STUDI KASUS : EASTERN JAVA GAS PIPELINE (EJGP)**

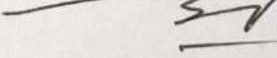
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Marine Manufacture Design (MMD)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Iqbal Rusdan Arief
NRP. 0421154000004

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:


Dr. Eng. M. Badruz Zaman, ST, MT
NIP. 197708022008011007



SURABAYA
Juli 2019

**Fatigue Analysis of Free Span on Offshore Pipeline Due to Vortex Induced Vibration (VIV) Using Computational Fluid Dynamics (CFD) ;
Case Study : Eastern Java Gas Pipeline (EJGP)**

Name : Iqbal Rusdan Arief
NRP : 0421154000004
Supervisor Lecturer : Irfan Syarif Arief, ST., MT.
Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., M.MT

ABSTRACT

One of the main problems that often occurs in subsea piping systems is the Free Span. The free span is susceptible to structural failure, such as fatigue, which is caused by vibrations that occur by vortex shedding or commonly called the vortex induced vibration (VIV) phenomenon. The phenomenon is caused by environmental loads, especially ocean waves and currents, to the gap seabed ratio (e / D) and roughness of the pipe (k / D). In this final project, the free span analysis consists of dynamic free span analysis and fatigue analysis. For calculations from dynamic analysis, the resulting output is the effective length for the cross-flow direction and in-line direction, then the allowable span length from the subsea pipeline will be obtained. The reference used in the dynamic and fatigue analysis of free span is DNV-RP-F105 regarding Free Spanning Pipelines and also dynamic modeling of free span, vortex induced vibration, and stress on pipes using the Computational Fluid Dynamic method. Whereas for fatigue analysis, the calculation is only done with criteria from DNV-RP-C203 to obtain fatigue life (Tlife). After analysis, it was found that the allowable span length in the EJGP pipe allowed was between 24.1578 m - 53,639 m in inline conditions, while the cross flow conditions for the permitted span were between 54.5101 m - 66.54 m. Based on the results of geometry screening carried out on EJGP KP 3 - KP 380 pipes from 181 free span points, 29 free span points need to be analyzed for fatigue and 5 free span points are crucial because they exceed the allowable span length in inline and crossflow conditions, namely at KP 102,650, KP102,840, KP105,176, KP129,961, KP131,914. As a result of Vortex Induced Vibration that occurs in the pipeline, the damage fatigue ratio at 29 pipelines in inline conditions is between 11.20 - 42.91 and 5 points also occur in crossflow conditions between 61.78 - 69.37 then the remaining pipe fatigue life at 29 points in inline conditions is between 2.52 - 9.65 years with 5 points in crossflow conditions between 1.56 - 1.75 years. Based on these results, it is necessary to add a suppression device and correct the length of free span to reduce the impact of vortex induced vibration on the pipe to extend the life of the pipe.

Keywords : Fatigue Life, Vortex Induced Vibration, Free Span, Damage Ratio, Allowable Span.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Bersyukur saya kepada Allah SWT, karena berkat rahmat dan karuniaNya saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “*Analisis Fatigue Free Span Pipa Bawah Laut Akibat Pengaruh Vortex Induced Vibration (VIV) dengan Simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) ; Studi Kasus : Eastern Java Gas Pipeline (EJGP)*”

Tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana (S1) Teknik di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS. Selain itu tugas akhir ini diharapkan dapat dijadikan referensi kedepannya terutama pada kajian pipa bawah laut.

Kemudian dalam proses pengerjaan maupun penulisan tugas akhir ini penulis mendapatkan dukungan dari berbagai pihak oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih khususnya kepada :

1. Kedua orang tua, Kakak dan seluruh anggota keluarga dan teman di Padang yang selalu memberikan semangat dan doa demi kelancaran berjalannya tugas akhir ini.
2. Bapak Irfan Syarif Arief, ST., MT. dan Bapak Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., M.MT selaku dosen pembimbing 1 dan 2 dalam pelaksanaan tugas akhir ini yang banyak memberikan masukan dan pertimbangan dalam pelaksanaan tugas akhir ini.
3. Direktur utama dan jajaran management PT Pertamina Gas yang telah memberi izin dan support data atas dilakukannya tugas akhir ini ini.
4. Bapak Dr. Dhimas Widi Handani ST, M.Sc. selaku dosen wali
5. Teman sekaligus rekan dan keluarga P55 Salvage 15 yang selalu saling mendukung satu sama lain selama proses tugas akhir ini.
6. Member MMD Laboratory yang membantu dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Semoga seluruh perbuatan baik dan amal baik dari semua yang telah membantu diterima oleh Allah SWT. Penulis berharap tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

16 Juli 2019

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	2
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
1.1 Offshore Pipeline	5
2.1 Free Span.....	6
1.2 Analisis Free Span Geometri Pipa Bawah Laut	7
2.2 Analisis Free Span Dinamik Pipa Bawah Laut	8
1.3 Vortex Induced Vibration (VIV)	11
1.4 Analisis Fatigue Pada Pipa Bawah Laut	15
1.5 Computational Fluid Dynamics (CFD).....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Prosedur Penelitian untuk Analisis Dinamik Free Span	21
3.2 Prosedur Penelitian untuk Analisis Kelelahan Free Span	24
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Analisis Data	29
4.2 Analisis Dimensi Pipa	33
4.3 Screening Geometri Free Span Pipa.....	34
4.4 Screening Free Span Dinamik Pipa.....	35
4.5 Pemodelan dan Simulasi Free Span	53
4.6 Respon Model VIV.....	55
4.7 Perhitungan Amplitude Stress.....	58
4.8 Perhitungan Stress Range.....	60
4.9 Pemodelan dan Simulasi Stress Range.....	63
4.10 Analisis Siklus VIV pada Pipa	65
4.11 Analisis Siklus Stress pada Pipa	66
4.12 Akumulasi Nilai Fatigue Damage.....	68

4.13 Perhitungan Fatigue Life.....	71
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	75
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran.....	75
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Jalur EJGP (Final Report ROV Survey Pertagas, 2017).....	2
Gambar 2 Jaringan offshore pipelines (Soegiono, 2007)	5
Gambar 3 Ilustrasi free spanning	6
Gambar 4 Bentuk aliran yang melewati silinder	11
Gambar 5 Respon Model Inline VIV (DNV-RP-F105, 2002).....	14
Gambar 6 Respon Model Crossflow VIV (DNV-RP-F105, 2002)	15
Gambar 7 SN Curve Pipeline With Cathodic Protection (DNV-RP-C203, 2002)	16
Gambar 8 Safety Factor For Fatigue (DNV-RP-F105, 2002)	17
Gambar 9 Geometri Pipa KP 102 - 73 Meter	22
Gambar 10 Setup Pipa KP 102 - 73 Meter	23
Gambar 11 Mesh Pipa KP 102 - 73 Meter.....	23
Gambar 12 Post KP 102 - 73 Meter.....	24
Gambar 13 Geometri Stress Pipa KP 102 - 73 Meter.....	25
Gambar 14 Setup Stress Pipa KP 102 - 73 Meter.....	26
Gambar 15 Mesh Stress Pipa KP 102 - 73 Meter	26
Gambar 16 Post KP Stress 102 - 73 Meter	27
Gambar 17 Posisi Titik Kritis 5 Free Span	50
Gambar 18 Aliran Vr Free Span	54
Gambar 19 Pressure pada Free Span	54
Gambar 20 Pembacaan Respon Model.....	55
Gambar 21 Pemodelan Tegangan	63
Gambar 22 Hasil Pemodelan Stress.....	64
Gambar 23 Pemodelan Siklus Tegangan VIV	65

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Klasifikasi Respon Free Span (DNV-RP-F105, 2002)	8
Tabel 2 Data Desain Pipa (Data Survey EJGP 28' Offshore Pipeline 2017)	29
Tabel 3 Data Coating Pipa (Data Survey EJGP 28' Offshore Pipeline 2017)	30
Tabel 4 Data Air Laut (Data Survey EJGP 28' Offshore Pipeline 2017)	30
Tabel 5 Data Arus dan Gelombang Air Laut (Data Survey EJGP 28' Offshore Pipeline 2017)	31
Tabel 6 Data Arus dan Gelombang Air Laut (Data Survey EJGP 28' Offshore Pipeline 2017)	32
Tabel 7 Hasil Screening Geometri Pipa	34
Tabel 8 Perhitungan Frekuensi Natural Pipa	37
Tabel 9 Perhitungan Reduced Velocity Pipa	40
Tabel 10 Perhitungan Panjang Span pada Kondisi Inline	43
Tabel 11 Perhitungan Panjang Span pada Kondisi Crossflow	47
Tabel 12 Screening Dinamik Free Span	50
Tabel 13 Validasi Hitungan dan Meshing Free Span	54
Tabel 14 Hasil Respon Model Amplitude Inline VIV	55
Tabel 15 Hasil Respon Model Amplitude Crossflow VIV	57
Tabel 16 Hasil Perhitungan Amplitude Stress	58
Tabel 17 Hasil Perhitungan Stress Range Inline	60
Tabel 18 Hasil Perhitungan Stress Range Crossflow	62
Tabel 19 Validasi Hitungan dan Meshing Stress Pipa	64
Tabel 20 Hasil Perhitungan Nilai Siklus Kegagalan Tegangan Inline	66
Tabel 21 Hasil Perhitungan Nilai Siklus Kegagalan Tegangan Crossflow	68
Tabel 22 Hasil Perhitungan Nilai Fatigue Damage Inline	69
Tabel 23 Hasil Perhitungan Nilai Fatigue Damage Crossflow	71
Tabel 24 Hasil Perhitungan Nilai Fatigue Life Inline	72
Tabel 25 Hasil Perhitungan Nilai Fatigue Life Inline	74

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Produksi gas tahun 2018 meningkat drastis dibandingkan dengan tahun sebelumnya, tercatat hingga 28 februari 2018 sudah mencapai angka 7.806 MMSCFD (SKK Migas). Pun begitu juga dengan pemanfaatan gas bumi tercatat mencapai 93% baik untuk industry, ekspor, rumah tangga dan lainnya. Meningkatnya kebutuhan akan gas membuat produsen gas harus cepat mengirimkan gas dari hulu ke hilir. Transportasi gas memegang peranan penting melalui jaringan yang sudah dimiliki.

Transportasi gas dari hulu ke hilir saat ini masih menggunakan jaringan pipa yang ada di darat maupun dibawah laut. Namun, karena medan yang dilalui oleh saluran pipa sangat beragam, yaitu mulai dari dalam laut, dataran rendah, lembah, dan di dalam tanah, maka dalam pengoperasiannya akan banyak ditemukan berbagai macam persoalan, baik persoalan kelelahan (*fatigue*), korosi (*corrosion*), maupun retak (*crack*). Dari ketiga jenis permasalahan yang biasa dialami pipa, maka keretakan menjadi persoalan yang sangat diperhatikan karena efek lanjutannya bisa mengakibatkan kebocoran dan ledakan (Tawekkal, 2010).

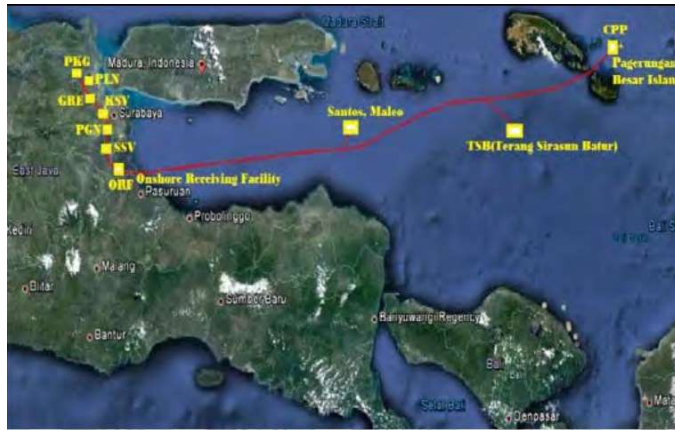
Dalam pipeline offshore yaitu beban statis dan dinamis. Beban statik dipengaruhi oleh tegangan yang terjadi karena berat pipa di bawah laut (*submerged weight*), tekanan, dan tumpuan, sedangkan beban dinamik dipengaruhi oleh arus dan gelombang laut yang dapat menyebabkan vibrasi atau getaran. Ada fenomena sekunder yang dapat menyebabkan getaran dengan frekuensi sangat signifikan. Fenomena sekunder tersebut disebut fenomena pelepasan vorteks (*vortex shedding*) dan getaran akibat peristiwa ini disebut getaran akibat vorteks (*vortex-induced vibration*).

Fenomena *VIV* terjadi akibat terbentuknya vortex di belakang pipa yang membelakangi arah aliran arus yang membentur pipa sehingga berdampak pada tekanan di area belakang pipa menjadi lebih kecil dibandingkan di area depan pipa

sehingga menyebabkan terjadinya vibrasi. Vibrasi yang terbentuk ini akan menyebabkan terjadinya kelelahan (*fatigue*) pada pipa (Prayoga, 2013).

Analisa *VIV* dapat dibantu dengan simulasi komputer menggunakan teknologi *CFD* (*Computational Fluid Dynamics*), simulasi ini telah terintegrasi dengan parameter-parameter yang biasa ditemui pada disain pipe

line system menyangkut aspek teknis konstruksi dan gaya-gaya luar oleh lingkungan pada sistem.



Gambar 1 Jalur EJGP (Final Report ROV Survey Pertagas, 2017)

Saat ini *east java gas pipeline* mengalami masalah dengan penurunan dasar laut yang mengakibatkan free span dan perlu dipetakan kembali jaringan pipa mana saja yang mengalaminya. Selain itu Pada tanggal 11 Oktober 2018 Pukul 01:44 WIB telah terjadi Gempa Bumi 61 Km Timur Laut Situbondo – Jawa Timur dengan Magnitudo sebesar 6.4 SR pada Koordinat 7.42 LS - 114.47 BT. Gempa terjadi pada kedalaman 10 Km dibawah permukaan laut. Jarak terdekat pipa gas EJGP (*East Java Gas Pipeline*) adalah 20 Km dari Pusat Gempa. Hal tersebut dapat juga berpengaruh kepada terjadinya free span pada pipa EJGP (*East Java Gas Pipeline*).

Atas kejadian tersebut, maka perlu dilakukan tinjauan terhadap panjang free span yang terjadi apakah melebihi dari panjang free span yang diizinkan, dan juga perlu untuk diketahui titik-titik mana saja dari pipa EJGP (*East Java Gas Pipeline*) yang berpeluang terjadi kegagalan akibat adanya free span. Selain itu dengan adanya fenomena sekunder *vortex induced vibration (VIV)* juga menambah dampak pada kegagalan pipa EJGP (*East Java Gas Pipeline*) akibat beban terus-menerus yang diterima oleh pipa, perlu adanya analisis terkait *damage* yang diakibatkan dan estimasi dari umur operasi pipa EJGP (*East Java Gas Pipeline*) berdasarkan beban yang diterima akibat fenomena *vortex induced vibration (VIV)*.

Pada tugas akhir ini, akan dilakukan analisis terhadap panjang free span dinamik pada pipa EJGP (*East Java Gas Pipeline*) yang diizinkan dan juga untuk mengetahui titik-titik yang krusial untuk dilakukan koreksi terhadap

panjang free span. Dan juga akan dilakukan analisis terkait kelelahan pipa dan estimasi sisa umur operasi pipa akibat *vortex induced vibration (VIV)* dengan metode *computational fluid dynamic (CFD)* sehingga dapat memudahkan dalam upaya mempertahankan keamanan dari operasi pipa EJGP (*East Java Gas Pipeline*).

1.2 Rumusan Masalah

Dari pemaparan latar belakang diatas, maka permasalahan dari pelaksanaan tugas akhir ini adalah :

1. Berapa panjang allowable span dinamik maksimum yang diizinkan untuk pipa bawah laut EJGP (*East Java Gas Pipeline*) dan jumlah titik krusial free span yang melebihi batas allowable span dinamik maksimum yang diizinkan?
2. Berapa umur kelelahan dan rasio damage konstruksi pipa bawah laut EJGP (*East Java Gas Pipeline*) pada kondisi free span akibat pengaruh Vortex Induced Vibration (VIV) ?

1.3 Tujuan

Tujuan tugas akhir ini antara lain adalah :

1. Menentukan Panjang allowable span dinamik maksimum yang diizinkan untuk pipa bawah laut EJGP (*East Java Gas Pipeline*) dan jumlah titik yang krusial free span yang melebihi batas allowable span dinamik maksimum yang diizinkan
2. Menentukan umur kelelahan free span dan rasio damage konstruksi pipa bawah laut EJGP (*East Java Gas Pipeline*) akibat pengaruh Vortex Induced Vibration (VIV)

1.4 Batasan Masalah

Beberapa batasan yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini, yaitu :

1. Perhitungan hanya pada analisis dinamis free span dan fatigue saja, dan pada kondisi operasi saja di pipa bawah laut EJGP (*East Java Gas Pipeline*)

2. Operating Condition : perhitungan berdasarkan pipa yang telah korosi, terisi dengan produk, periode 100 tahun dan temperature pada saat pengoperasian. Berat pipa berdasarkan pipa baru.
3. Analisis stabilitas dan pengaruh scouring dari pipa dan free span diabaikan
4. Validasi Dynamic analysis dan fatigue analysis menggunakan code DNV-RP-105 dan DNV C-203
5. Tidak mengkaji beban yang berasal dari internal pipa
6. Tidak mengkaji nilai ekonomis
7. Pemodelan VIV dan fatigue menggunakan simulasi CFD

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat tugas akhir ini, yaitu :

1. Teknik Sistem Perkapalan FTK- ITS mendapatkan referensi baru dalam penelitian *fatigue* terhadap pipa bawah laut akibat pengaruh *VIV* yang mengalami free span
2. Dari segi analisis dinamis dan kelelahan dari free span, penulis dapat membuktikan analisis free span yang dilakukan untuk arah in-line maupun arah cross-flow mendapatkan pengaruh *VIV* (*vortex induced vibration*) sehingga terjadi vibrasi dan menyebabkan kelelahan atau tidak berdasarkan screening yang telah ditetapkan (sesuai dengan code DNV-RP-F105 mengenai *Free Span Pipelines*) dengan pemodelan CFD, dan menunjukkan langkah yang sesuai dalam mencari umur kelelahan apabila salah satu arah yang dianalisis mengalami kegagalan.
3. PT. Pertamina Gas EJA mendapatkan analisis data titik pipa bawah laut yang melebihi batas free span maksimal yang diizinkan untuk kemudian melakukan rektifikasi pipa gas bawah laut dan juga mendapatkan umur fatigue dari pipa bawah laut yang dimiliki Pertagas EJA

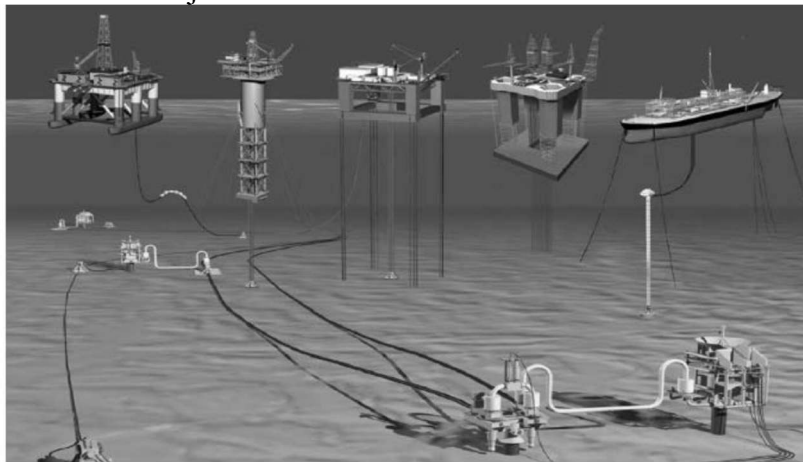
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Offshore Pipeline

2.1.1 Pengertian Umum

Eksplorasi minyak lepas pantai (off shore) membutuhkan jaringan instalasi yang disebut Pipe Line System. Pipeline merupakan jaringan instalasi pipa bawah laut yang digunakan untuk mengalirkan fluida mentah (dalam hal ini bisa berupa minyak atau gas alam) dari riser menuju production plan di darat untuk pengolahan lebih lanjut



Gambar 2 Jaringan offshore pipelines (Soegiono, 2007)

2.1.2 Parameter Penting Dalam Disain Pipeline System

Parameter-parameter yang diperhatikan dalam perancangan Pipeline ini menyangkut parameter konstruksi teknis untuk ketepatan instalasi pada lingkungan yang ada. Bagian tersebut antara lain tebal dinding (wall thickness) pipa, pemilihan material pipa dan bangunan penjang (material selection), peninjauan rute yang (route survey), pemilihan rute yang efektif (route selection), data lingkungan (environmental data), perlindungan katodik (cathodic protection) terhadap korosi, kestabilan pada permukaan bawah laut (onbottom stability), analisis tekuk (buckling analysis), ekspansi termal (thermal expansion), analisis lelah (fatigue analysis), dan analisis terhadap bagian pipa rentang bebas (span analysis).

2.2 Free Span

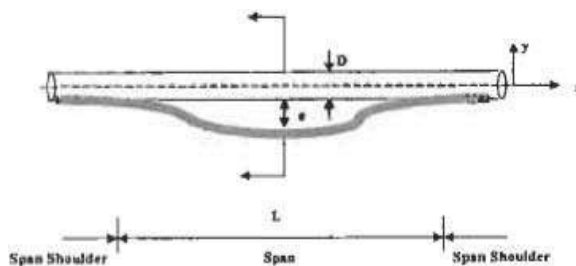
2.2.1 Pengertian

Free Span (rentang bebas) adalah hal yang tidak bias dihindarkan dalam instalasi pipa bawah laut. Span yang dimaksudkan adalah bagian pipa yang tidak tertumpu oleh sea bed (dasar laut) atau konstruksi pendukung. Secara harfiah span adalah rentangan, dalam hubungannya dengan pipeline, span adalah rentang dimana terdapat bagian pipeline yang tidak tertumpu atau tidak ada support konstruksi dibawahnya . Pipeline span dapat terjadi ketika kontak antara pipeline dan dasar laut (seabed) hilang. Jarak antara pipeline dan span tersebut disebut gap. Panjang span didefinisikan sebagai panjang pipa yang tidak mengalami kontak fisik dengan support construction (konstruksi pendukung, dalam hal ini sea bed ataupun bungenan penumpu) dari dua tumpuan (span shoulder) dimana terdapat gap yang kontinyu.

2.2.2 Penyebab Free Span

Penyebab terjadinya span pada pipeline bawah laut antara lain :

- Kontur dasar laut yang tidak rata.
- Perubahan topologi dasar laut, seperti erosi/sand wave
- Bangunan support sebagai tumpuan pipeline (berupa bangunan support khusus dari baja atau beton dan bias berupa konstruksi sederhana dari karung pasir atau balok tumpuan).



Gambar 3 Ilustrasi free spanning
(Sumber:P. Albert, Alexander. 2011)

2.2.3 Pengaruh Span Pada Ketahanan Pipeline

Kasus terjadinya kerusakan karena Free Spanning pernah tercatat terjadi di pipa eksplorasi bawah laut di Teluk Babi, Kuba 1982 serta semenanjung

Malvinas di Argentina pada tahun 1979 yang mengakibatkan kebocoran pada sambungan ruas pipa dan mengakibatkan polusi minyak di tempat tersebut. Awalnya kecelakaan tersebut ditengarai akibat adanya sabotase dari pihak tertentu, setelah diselidiki terungkap fakta yang mengejutkan ketika saat itu terjadi badai laut dan arus laut mengakibatkan pelepasan vortex shedding yang selaras dengan natural frequency (frekuensi alami dari panjang span pipa) sehingga dalam waktu panjang mengakibatkan retakan pada sambungan pipa dan akhirnya terjadi kebocoran. Hal lain yang mungkin terjadi akibat resonansi dari frekuensi pelepasan vorteks yang mendekati frekuensi alami pipa adalah kegagalan lelah (fatigue failure) pada pipa dan menyebabkan retak (crack) pada lapisan beton yang melapisi pipa (concrete coating). Crack yang merambat dapat menyebabkan concrete coating terlepas yang tentu saja menyebabkan korosi hebat akibat kerusakan skala mikroskopis permukaan baja dan kontak langsung dengan air laut yang korosif.

2.2.4 Kondisi Perhitungan Panjang Span

Kondisi yang menjadi patokan dalam analisis free span ini antara lain

- Operating Condition : perhitungan berdasarkan pips yang telah korosi, terisi dengan produk, periode 100 tahun dan temperature pada saat pengoperasian. Berat pipa berdasarkan pipa baru.

2.4 Analisis Free Span Geometri Pipa Bawah Laut

2.4.1 Klasifikasi respon pipa pada free span

L/D	Jenis Respon
L/D < 30	Amplifikasi dinamik sangat kecil
	Secara umum, analisis fatigue tidak perlu dilakukan. Beban lingkungan dianggap tidak signifikan untuk menyebabkan respon dinamik pipa dan VIV tidak akan terjadi.
30 < L/D < 100	Respon didominasi oleh perilaku balok (beam)
	Merupakan tipikal panjang span untuk kondisi operasi Frekuensi natural sensitif terhadap kondisi batas dan gaya aksial efektif.

100 < L/D < 200	Respon didominasi oleh perilaku kombinasi balok dan kabel
	Keadaan yang relevan untuk free span pada <i>uneven seabed</i> untuk sementara. Frekuensi natural sensitif terhadap kondisi batas, gaya aksial efektif, termasuk defleksi awal dan kekakuan geometrik.
L/D > 200	Respon didominasi oleh perilaku kabel
	Keadaan relevan untuk pipa berdiameter kecil pada kondisi sementara. Frekuensi natural dipengaruhi oleh bentuk terdefleksi dan gaya aksial efektif.

Tabel 1 Klasifikasi Respon Free Span (DNV-RP-F105, 2002)

Berdasarkan klasifikasi respon free span, maka perlu dilakukan terlebih dahulu analisis free span secara geometri dengan membandingkan panjang free span dengan diameter pipa sehingga apabila tidak memenuhi syarat secara geometri maka perlu dilanjutkan pada analisis free span secara dinamik.

2.5 Analisis Free Span Dinamik Pipa Bawah Laut

Analisis free span secara dinamik harus terlebih dahulu melalui perhitungan dengan beberapa parameter sebagai berikut untuk mendapatkan panjang free span yang diizinkan pada kondisi inline maupun crossflow :

2.5.1 Parameter kestabilan

Parameter kestabilan digunakan untuk menentukan amplitudo maksimum getaran. Parameter kestabilan didefinisikan sebagai berikut :

$$K_s = \frac{2 m_e \delta}{\rho D^2}$$

dimana:

K_s = parameter kestabilan

m_e = massa efektif per satuan panjang

δ = logarithmic decrement dari peredaman ρ = kerapatan massa air laut

D = diameter luar pipa

2.5.2 Massa efektif

Massa efektif pipa adalah total dari masa pipa termasuk *coating*, masa fluida dalam pipa dan masa air laut yang dipindahkan oleh pipa. Dapat ditulis dalam persamaan matematis sebagai berikut :

$$m_e = m_p + m_f + m_a$$

Keterangan :

m_e : massa efektif per satuan panjang (kg/m)

m_p : massa pipa termasuk *coating* per satuan panjang (kg/m)

m_f : massa fluida dalam pipa per satuan panjang (kg/m)

ma : massa yang di tambahkan per satuan panjang (kg/m)

2.5.3 Frekuensi Natural Pipa

Frekuensi natural pipa digunakan sebagai acuan kecepatan dari aliran disekitar pipa. Untuk mendapatkan frekuensi natural dari pipa didapatkan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$f_n = \frac{C_a}{2n} \times \left(\frac{E \times I}{M_e \times L_{span}^4} \right) \quad (\text{Guo, Boyun 2005})$$

Dimana :

C_a = Koefisien Kondisi Batas Free Span

E = Modulus Young (Pa)

I = Momen Inersia (m⁴)

M_e = Massa Efektif (kg/m)

L_{span} = Panjang Freespan

2.5.4 Reduced Velocity

Reduced Velocity digunakan sebagai acuan untuk mendapatkan amplitude VIV dalam respon model dan juga dalam penentuan panjang free span yang diizinkan. Untuk mendapatkan Reduced Velocity dari pipa didapatkan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V_r = \frac{U_c}{f_n \times D}$$

Dimana :

U_c = Total Kecepatan Arus

f_n = Frekuensi Natural

D = Diamter Total Pipa

2.5.5 Panjang Span pada Kondisi Inline

Untuk mendapatkan maksimum span yang diizinkan pada kondisi inline dari pipa didapatkan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$L_c = \left(\frac{C_a}{f_n \times 2n} \right)^{1/2} \times \left(\frac{E \times I}{m_e} \right)^{1/2} \quad (\text{Guo, Boyun 2005})$$

Dimana :

C_a = Koefisien Tumpuan = 9.87

f_n = Frekuensi Natural

E = Modulus Young Pipa

I = Moment Inersia Pipa

M_e = Massa Efektif Pipa

2.5.6 Panjang Span pada Kondisi CrossFlow

Untuk mendapatkan maksimum span yang diizinkan pada kondisi crossflow dari pipa didapatkan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Lc = ((Ca \times Vr \times D_{tot} / Uc \times 2n)^{1/2} \times (E \times I / m_e)^{1/2})^{1/2}$$

(Guo, Boyun 2005)

Dimana :

- Ca = Koefisien Tumpuan = 9.87
- fn = Frekuensi Natural
- E = Modulus Young Pipa
- I = Moment Inersia Pipa
- Me = Massa Efektif Pipa
- Vr = Reduction Velocity
- Dtot = Diameter Total Pipa
- Uc = Total Kecepatan Arus

2.6 Vortex Induced Vibration (VIV)

2.6.1 Pengertian

a) Menurut B. Stappenbelt, F. Lalji dan G. Tan dari University of Western Australia, VIV adalah fenomena interaksi antara struktur dan aliran dimana struktur tereksitasi oleh gaya yang diakibatkan oleh vortices (pusaran-pusaran) yang terlepas secara bergantian dari ujung benda bluff.

b) Menurut F.Fossati dan G.Fichera dari University of Catania Italia, VIV adalah mode utama (primary mode) dari interaksi antara fluida dan struktur untuk struktur benda bluff.

c) Menurut Andy Sworn dari British Petroleum, VIV adalah sebuah respon resonansi dari sebuah struktur karena beban pelepasan vorteks yang teratur

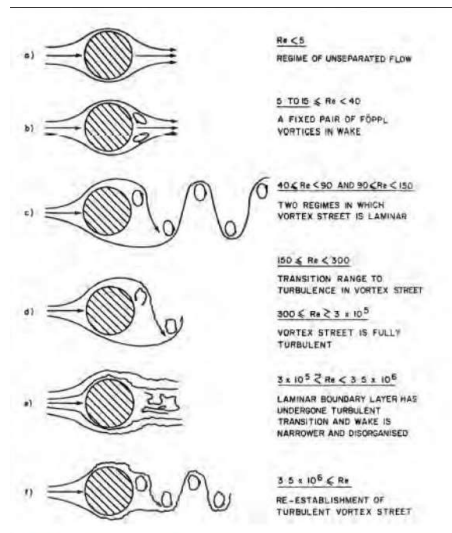
Jadi dapat disimpulkan bahwa *Vorteks-induced vibration (VIV)* merupakan getaran yang diakibatkan oleh fenomena sekunder dari interaksi antara fluida dan struktur pipa. fenomena sekunder tersebut dinamakan fenomena pelepasan vorteks. VIV pada struktur bawah laut, khususnya *pipeline*, merupakan faktor penting yang mempengaruhi semua tahap pengembangan *offshore structure*, dalam hal ini *pipeline*, baik konseptual, perancangan, analysis, konstruksi, dan *monitoring*.

2.6.2 Parameter VIV

Parameter yang berhubungan dengan analisis VIV antara lain :

2.6.2.1 Bilangan Reynolds

Renould number (Re) merupakan nilai tak berdimensi yang mengidentifikasi jenis aliran fluida. Semakin kecil nilai reynold number maka jenis aliran yang terbentuk cenderung laminar sedangkan semakin besar nilai reynold number maka aliran yang akan terbentuk adalah turbulenta.



Gambar 4 Bentuk aliran yang melewati silinder
(Sumber:Koushan, Kamran. 2009)

2.6.2.2 Bilangan Strouhal

Bilangan Strouhal didefinisikan sebagai berikut:

$$S_t = \frac{f_s D}{U}$$

Dimana :

S_t = bilangan Strouhal

f_s = frekuensi pelepasan vorteks (vortex shedding), yaitu frekuensi dimana pasangan-pasangan pusaran (pairs of vortices) terlepas dari pipeline.

D = diameter luar pipa

U = kecepatan aliran pada arah normal terhadap sumbu pipa

2.6.2.3 Kecepatan Tereduksi (*Reduced Velocity*)

Reduced velocity adalah kecepatan arus yang berkurang pada lokasi terjadinya VIV. nilai VR dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$V_r = \frac{U}{f_n D}$$

dimana:

V_r = kecepatan tereduksi (*reduced velocity*)

U = kecepatan aliran pada arah normal terhadap sumbu pipa

f_n = frekuensi alami pipa D = diameter luar

pipa

2.6.2.4 Parameter Kestabilan (Stability Parameter)

Parameter kestabilan digunakan untuk menentukan amplitudo maksimum getaran. Parameter kestabilan didefinisikan sebagai berikut :

$$K_s = \frac{2 m_e \delta}{\rho D^2}$$

dimana:

K_s = parameter kestabilan

m_e = massa efektif per satuan panjang

δ = logarithmic decrement dari peredaman

ρ = kerapatan massa air laut

D = diameter luar pipa

2.6.3 Jenis-jenis VIV

Getaran yang merupakan jenis dari getaran akibat pelepasan vorteks atau biasa disebut VIV adalah antara lain :

- a) getaran sejajar arah aliran fluida (*in-line*)
- b) getaran tegak lurus arah aliran fluida (*cross-flow*)

Getaran *in-line* dipengaruhi oleh gaya *drag* (gaya tahan) sedangkan getaran *cross-flow* dipengaruhi gaya *lift* (gaya angkat). Karakteristik masing-masing getaran tersebut tergantung dari besaran V_r . Getaran *in-line* terjadi pada $1 < V_r < 3,5$ dan getaran *cross flow* terjadi pada $2 < V_r < 16$. Pada getaran *in-line*, pelepasan vorteks masih bersifat simetris pada $1 < V_r < 2,2$ dan bersifat bolak-balik pada $V_r > 2,2$. Pada getaran *cross-flow*, permulaan dari getaran *cross-flow* terjadi pada $2 < V_r < 3$, amplitudo getaran mulai naik pada $3 < V_r < 5$, lalu

amplitudo getaran akan mencapai maksimum pada $5 < Vr < 7$, dan amplitudo getaran akan menurun pada $7 < Vr < 16$.

2.6.4 Fenomena Lock-In

Jika kecepatan aliran terus dinaikkan sampai $Vr = 5$, frekuensi pelepasan vortex ternyata tidak lagi mengikuti hubungan frekuensi Strouhal yaitu:

$$\frac{f_v}{f_n} = S_i \frac{U}{Df_n} = S_i Vr, \text{ dengan } St = 0,198 (\approx 0,2),$$

tapi mulai mengikuti atau seolah terkunci di sekitar frekuensi alami sistem-nya. Hal ini terjadi pada rentang sekitar $5 < Vr < 7$. Fenomena ini bermakna bahwa pada rentang nilai Vr tsb, mekanisme pelepasan vorteks tidak lagi dikontrol oleh hukum Strouhal seperti diatas, melainkan dipengaruhi oleh getaran silinder itu sendiri. Pemisahan vorteks paksa berinteraksi dengan getaran silinder sebelum vorteks terlepas, dan terjadi pada frekuensi yang sama dengan frekuensi getaran silinder, bukan pada frekuensi Strouhal. Fenomena inilah yang dikenal sebagai lock-in. Pada beberapa literatur, sering juga disebut sebagai “resonance”, “synchronization”, atau “wake capture”. Dalam rentang lock-in ini, tiga frekuensi saling berdekatan yaitu berturut-turut frekuensi getaran silinder, frekuensi pelepasan vorteks (vortex-shedding) dan frekuensi alami sistem ($f = f_v = f_n$). Pada kondisi lock-in ini juga, pelepasan vorteks, selanjutnya gaya lift, akan beresilasi serempak dengan gerakan silinder.

2.6.5 Respon Model

Pemodelan respon amplitudo adalah model empirik yang berguna untuk mencari besar amplitudo respon VIV steady state maximum sebagai fungsi dasar hidrodinamika dan parameter struktur. Pemodelan respon ini dilakukan untuk kondisi sebagai berikut :

- In-line VIV untuk arus steady dan kondisi arus dominan

- Cross-flow VIV yang disebabkan gerakan arah in-line
- Cross-flow VIV untuk arus steady dan kombinasi gelombang dan arus.

Dalam respon model ini, analisis in-line dan cross-flow VIV dilakukan terpisah. Kontribusi kerusakan yang dari first & second in-line instability region dalam kondisi arus dominan dianalisis secara implisit dalam model in-line. Respon amplitudo bergantung pada beberapa parameter hidrodinamika dan data lingkungan, yaitu :

- Reduced velocity, VR
- Bilangan Keulegan-Carpenter, KC

Besar range tegangan dari *in-line* VIV adalah sebagai berikut :

$$S_{IL} = 2 A_{IL} \left(\frac{A_{\gamma}}{D} \right) \psi_{\alpha,IL} \gamma_{IL} \quad (2.55)$$

Keterangan :

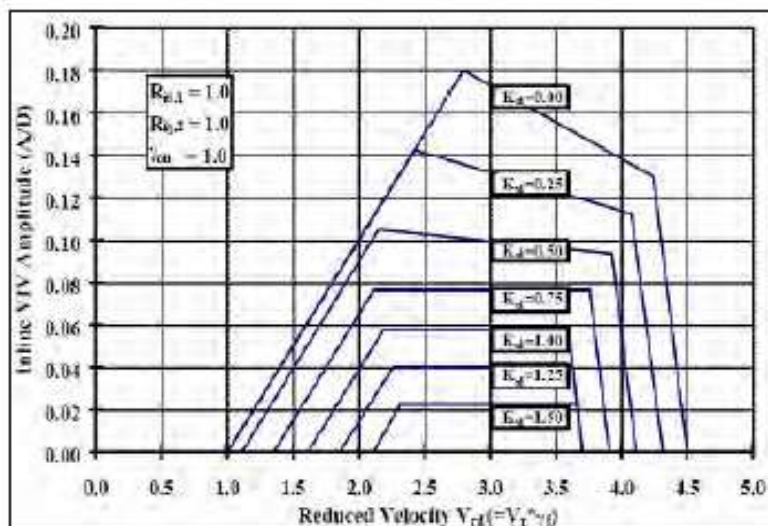
S_{IL} : stress range pada arah *in-line* VIV (N/m^2)

A_{IL} : unit amplitude stress, tegangan yang dilakukan unit diameter dari mode bentuk defleksi *in-line* (N/m^2)

$\psi_{\alpha,IL}$: faktor koreksi untuk rasio kecepatan aliran arus

γ_{IL} : faktor keamanan untuk *in-line* VIV

A_{γ}/D : amplitudo maksimum dari vibrasi pada arah *in-line* VIV



Gambar 5 Respon Model Inline VIV (DNV-RP-F105, 2002)

Besar *range* tegangan yang diakibatkan *cross-flow* VIV akibat kombinasi arus dan gelombang dituliskan oleh persamaan berikut ini :

$$S_{CF} = 2 A_{CF} \left(\frac{A_z}{D} \right) R_k \gamma_s \quad (2.72)$$

Keterangan :

S_{CF} : *stress range* pada arah *cross-flow* VIV (N/m^2)

A_{CF} : *unit amplitude stress*, tegangan yang dilakukan unit diameter dari mode bentuk defleksi *cross-flow* (N/m^2)

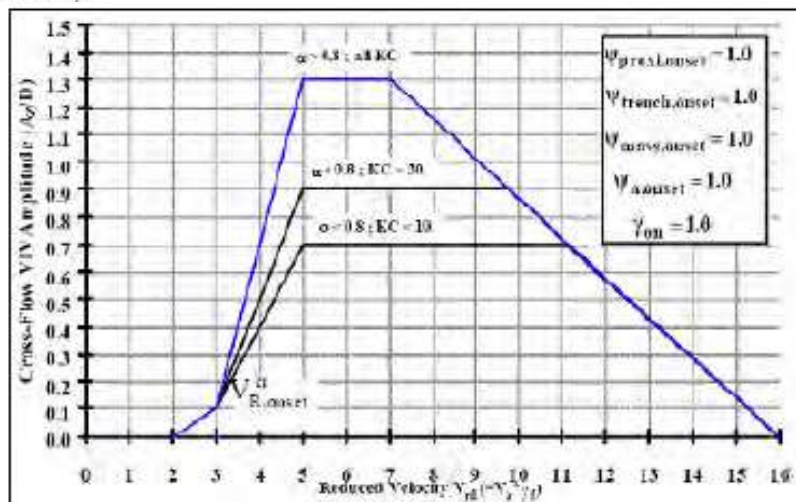
R_k : faktor reduksi amplitude akibat adanya *damping/redaman*

γ_s : faktor keamanan untuk *range* tegangan

A_z/D : amplitudo vibrasi pada arah *cross-flow* VIV

Besar amplitudo maksimum dari vibrasi arah *cross-flow* yang didefinisikan sebagai A_z/D untuk kondisi kombinasi arus dan gelombang.

Besar standar deviasi dari amplitudo vibrasi arah *cross-flow* adalah



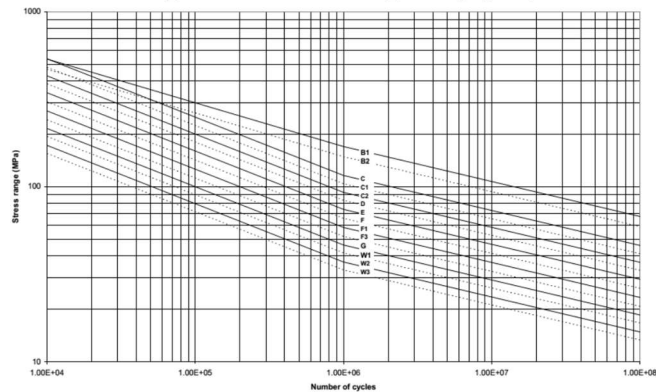
Gambar 6 Respon Model Crossflow VIV (DNV-RP-F105, 2002)

2.7 Analisis *Fatigue* Pada Pipa Bawah Laut

2.7.1 Analisis Siklus *Stress* pada Pipa

Perhitungan nilai siklus kegagalan tegangan didapat berdasarkan DNV RP C 203 dengan perhitungan berikut :

$N_i = A/S^m$
 Dimana :
 $A = 10^{16.32}$ (log a = 16.32, DNV C203)
 $S =$ Total Tegangan pada pipa
 $m =$ Eksponen SN Curve pada pipa (m=5, DNV C203)



Gambar 7 SN Curve Pipeline With Cathodic Protection (DNV-RP-C203, 2002)

2.7.2 Akumulasi Nilai Fatigue Damage

Untuk mendapatkan nilai fatigue damage dari pipa didapatkan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$D_{fat} = \sum n_i/N_i$$

Dimana :

$N_i =$ Jumlah Siklus Kegagalan Tegangan pada pipa

$n_i =$ Jumlah Siklus Kegagalan VIV

2.7.3 Perhitungan Fatigue Life

Untuk mendapatkan fatigue life dari pipa didapatkan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$T_{Life} = T_{exp} / D_{fat} \times \eta$$

Dimana :

$T_{exp} =$ adalah estimasi waktu life time design / waktu operasi pipa terkena load (27 Tahun :EJGP)

$D_{fat} =$ Damage accumulation

$\eta =$ safety factor for fatigue

2.7.4 Safety Factor Fatigue

Safety factor fatigue digunakan untuk perhitungan stress range dan juga penentuan sisa umur operasi pipa bawah laut.

Safety factor	Safety Class		
	Low	Normal	High
η	1.0	0.5	0.25
γ_k	1.0	1.15	1.30
γ_s	1.3		
$\gamma_{m, II}$	1.1		
$\gamma_{m, CF}$	1.2		

Gambar 8 Safety Factor For Fatigue (DNV-RP-F105, 2002)

2.8 Computational Fluid Dynamics (CFD)

Computational Fluid Dynamics (CFD) didefinisikan sebagai suatu cara yang digunakan untuk memprediksi fenomena fluida seperti aliran, perpindahan panas, reaksi kimia dan fenomena fluida yang berhubungan dengan persamaan matematika. Dalam domain, itu akan dibagi menjadi banyak bagian secara terperinci kemudian diformulasikan oleh komputer untuk menghasilkan karakter fluida sesuai dengan output yang ingin kita ketahui seperti kecepatan, suhu, tekanan, perpindahan panas, dan gaya.

Siklus desain yang mahal dan memakan waktu, CFD membantu desainer untuk mengoptimalkan desain dengan mensimulasikan beberapa konsep dan skenario untuk membuat penilaian. Proses simulasi CFD terdiri dari tiga elemen utama, yaitu pre-processor, solver dan post processor.

1) Pra-Prosesor

Langkah pra-prosesor ini mencakup mulai dari mendesain objek atau domain untuk disimulasikan dan memasukkan nilai aliran masalah ke program CFD dan mengubahnya menjadi situasi yang sesuai dengan bentuk solver. Salah satu input dibuat dengan mendefinisikan kondisi batas yang diterapkan pada inlet dan outlet

2) Pemecah

Solver mencakup tahap proses komputer untuk menghitung setiap iterasi di banyak bagian sesuai dengan konfigurasi mesh yang direncanakan dan nilai parameter input.

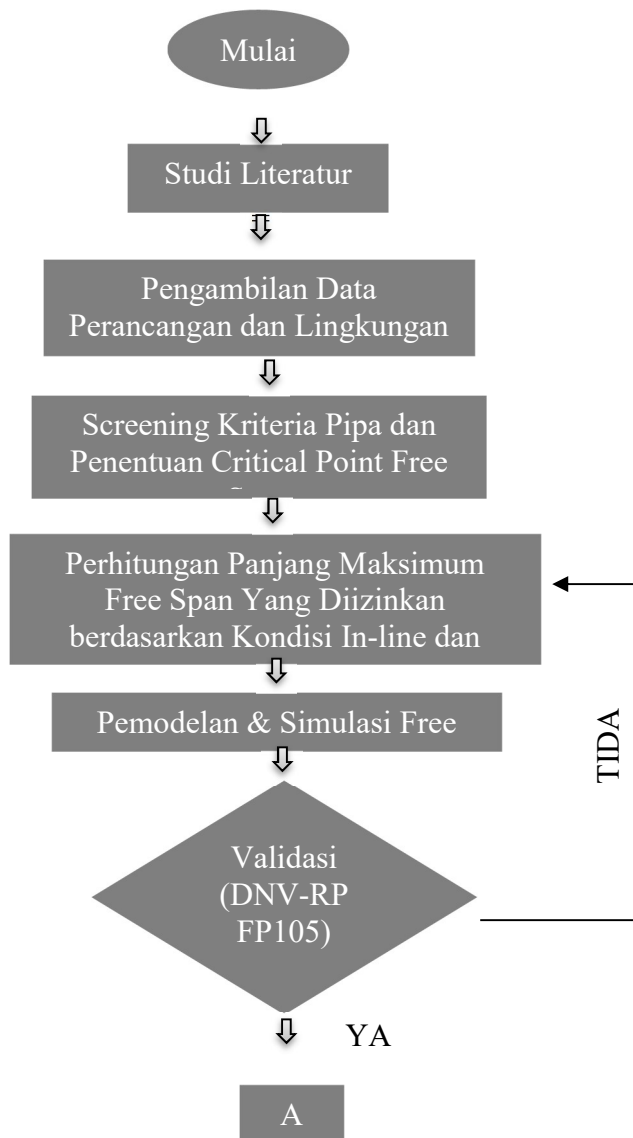
3) Post Processor

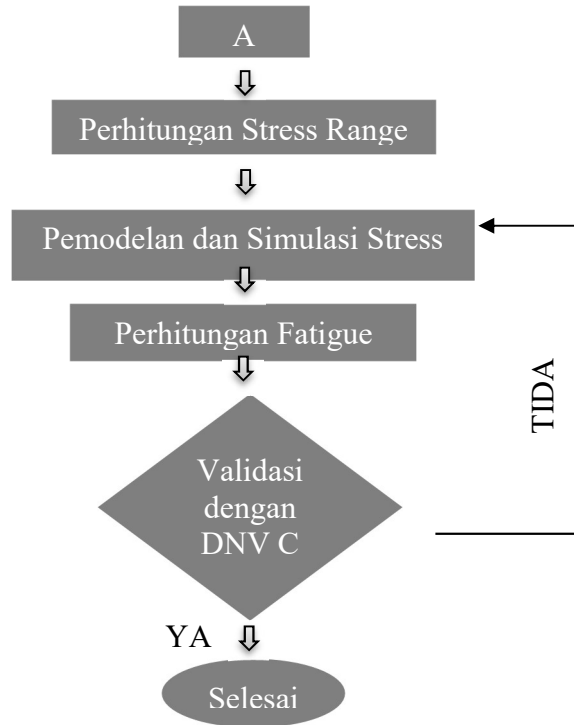
Post processing adalah tahap akhir dengan memvisualisasikan hasil formulasi perhitungan komputer sesuai dengan output yang diharapkan. Visualisasi dapat ditampilkan sebagai gambar 2 dimensi dan 3 dimensi, animasi, dan sebagainya.

(Halaman sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Penulis mendeskripsikan alur penelitian dengan metode flow chart dengan alur sebagai berikut :





Gambar 3.1 Flow chart pengerjaan penelitian

Pengerjaan penelitian ini terbagi dalam 2 tahapan, tahapan pertama yaitu untuk menentukan panjang span dinamik maksimum yang diizinkan dengan pemodelan dan simulasi CFD dan juga menentukan titik lokasi kritis dari pipa bawah laut yang mengalami free span berdasarkan hasil screening pipa bawah laut. Tahapan kedua yaitu mendapatkan stress range dengan perhitungan dan dibandingkan dengan pemodelan stress melalui simulasi struktural kemudian didapatkan fatigue life. Kemudian setelah itu ditariklah beberapa kesimpulan untuk panjang maksimum free span dinamik yang diizinkan dan juga fatigue life dari pipa bawah laut yang mengalami free span akibat *Vortex Induced Vibration (VIV)*.

3.1 Prosedur Penelitian untuk Analisis Dinamik Free Span

Adapun prosedur penelitian dalam melakukan analisis dinamik free span adalah sebagai berikut :

1. Melakukan Pengumpulan dan Pengolahan Data

Langkah pertama yang dilakukan dalam analisis ini adalah mengumpulkan data-data yang berhubungan dalam perhitungan analisis ini, seperti data karakteristik pipa dan data lingkungan seperti data tanah, gelombang, arus, dan sebagainya, termasuk panjang span yang didapatkan secara statik pada analisis sebelumnya.

2. Menentukan Boundary Condition (Kondisi Batas)

Langkah selanjutnya adalah menentukan kondisi batas yang telah ditetapkan oleh DNV-RP-F105 yang diantaranya adalah safety factor (baik dari untuk kriteria screening maupun untuk kriteria fatigue analysis), kriteria respon pipa, koefisien kondisi ujung span.

3. Melakukan Screening Geometri terhadap Free Span

Screening Geometri dilakukan berdasarkan aturan DNV RP FP 105 dengan membandingkan panjang dari free span dengan diameter dari pipa. Dari perbandingan akan diketahui nilai $L/D < 30$ atau $30 < L/D < 100$. Hasil screening geometri akan menunjukkan titik mana saja yang akan dilakukan perhitungan free span secara dinamik dan juga penentuan panjang span yang diizinkan.

4. Menghitung Parameter untuk Analisis Dinamik Free Span

Setelah melakukan screening geometri pada pipa berdasarkan aturan DNV RP FP 105, selanjutnya melakukan perhitungan terhadap parameter-parameter yang dijadikan dalam analisis dinamik free span yaitu massa pipa, frekuensi natural dari pipa, reduction velocity dari pipa, kemudian parameter kestabilan dari pipa.

5. Melakukan Perhitungan Panjang Free Span Efektif

Pada tahapan ini, kita hanya melakukan perhitungan Panjang efektif dari span untuk kondisi dinamis. Nantinya, dari kedua kondisi tadi dilihat dan

dibandingkan, kemudian yang nilainya yang paling kecil diantara keduanya dijadikan sebagai allowable span untuk kondisi dinamis.

6. Melakukan Screening Dinamik Free Span dan Penentuan Titik Krusial

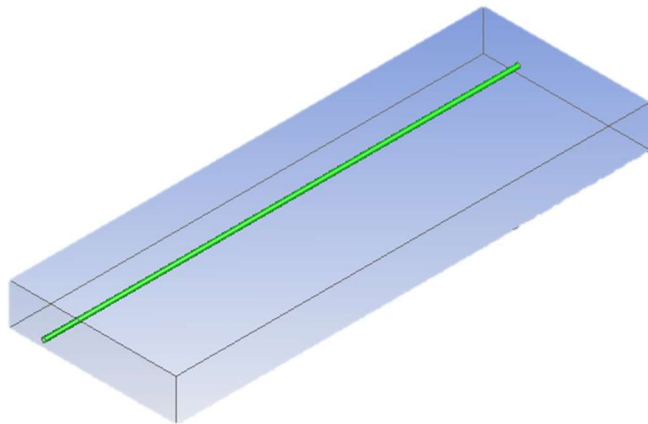
Berdasarkan DNV-RP-F105, screening dinamik dilakukan pada pipa yang tidak lulus screening geometri. Dengan membandingkan panjang aktual free span pada kondisi inline maupun crossflow dengan panjang free span yang diizinkan pada kondisi inline dan crossflow. Penentuan titik krusial dilakukan pada pipa yang gagal melalui screening dinamik baik pada kondisi inline maupun crossflow.

7. Melakukan Pemodelan dan Simulasi Free Span dengan Computational Fluid Dynamics (CFD)

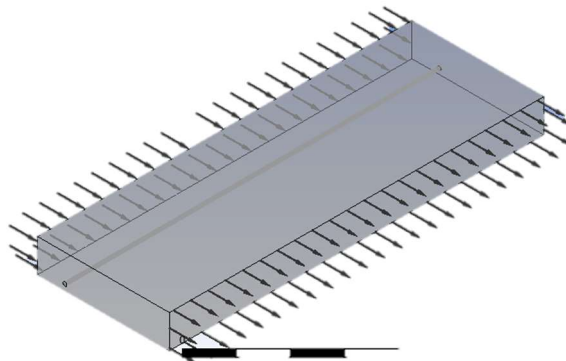
Proses simulasi CFD dilakukan pada pipa yang tidak gagal pada screening dinamik dan juga memiliki panjang free span terpanjang. Simulasi CFD terdiri dari tiga elemen utama, yaitu pre-processor, solver dan post processor.

a) Pra-Prosesor

Langkah pra-prosesor ini mencakup mulai dari mendesain objek atau domain untuk disimulasikan dan memasukkan nilai aliran masalah ke program CFD dan mengubahnya menjadi situasi yang sesuai dengan bentuk solver. Salah satu input dibuat dengan mendefinisikan kondisi batas yang diterapkan pada inlet dan outlet.



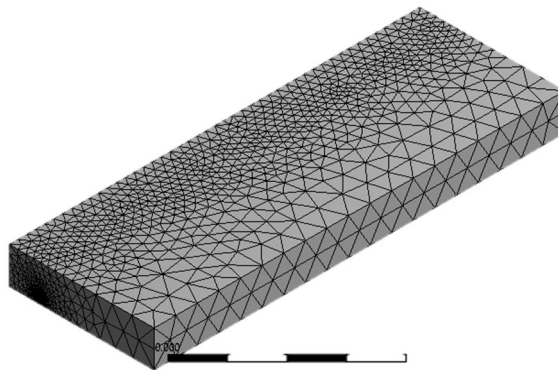
Gambar 9 Geometri Pipa KP 102 - 73 Meter



Gambar 10 Setup Pipa KP 102 - 73 Meter

b) Pemecah

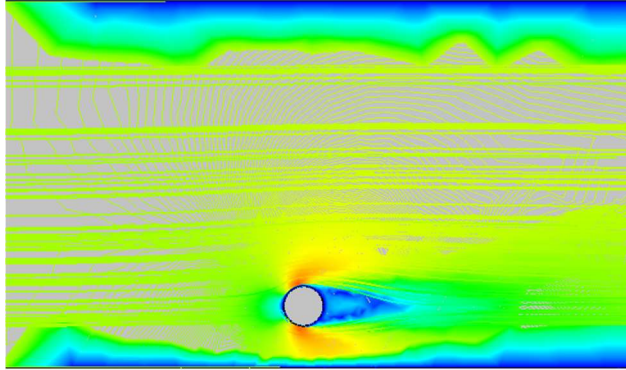
Solver mencakup tahap proses komputer untuk menghitung setiap iterasi di banyak bagian sesuai dengan konfigurasi mesh yang direncanakan dan nilai parameter input.



Gambar 11 Mesh Pipa KP 102 - 73 Meter

c) Post Processor

Post processing adalah tahap akhir dengan memvisualisasikan hasil formulasi perhitungan komputer sesuai dengan output yang diharapkan. Visualisasi dapat ditampilkan sebagai gambar 2 dimensi dan 3 dimensi, animasi, dan sebagainya. Pada bagian ini didapat Velocity Reduction yang menabrak pipa dan juga Velocity Reduction dibelakang pipa yang berguna untuk analisis vortex induced vibration nantinya untuk pembacaan respon model dari VIV.



Gambar 12 Post KP 102 - 73 Meter

8. Melakukan Validasi Simulasi Free Span

Validasi dari hasil simulasi menggunakan perhitungan rumus velocity reduction dari DNV RP FP 105. Kemudian untuk validasi software dilakukan dengan sizing ketika mesh dengan membandingkan nodes dan element pada sizing tertentu.

3.2 Prosedur Penelitian untuk Analisis Kelelahan Free Span

Tahapan-tahapan perhitungan umur fatigue menggunakan DNV-RP-F105 adalah sebagai berikut.

1. Pengumpulan Data Perhitungan Span Dari Analisis Free Span Dinamis dan Pemodelan Free Span

Pada tahapan ini, kita melakukan pengumpulan data-data karakteristik maupun hasil perhitungan yang berasal dari analisis sebelumnya, seperti fundamental natural frequency, dan parameter stabilitas dalam perancangan yang perlukan dalam analisis fatigue. Dan juga hasil velocity reduction dibelakang pipa juga didapat frekuensi dari vortex shedding yang terjadi pada pipa untuk dimasukkan sebagai parameter perhitungan selanjutnya.

2. Melakukan Perhitungan Rentang Tegangan (Stress Range)

Langkah selanjutnya adalah melakukan beberapa penghitungan parameter awal untuk menghitung nilai dari rentang tegangan (stress range) seperti faktor reduksi dari turbulensi arah aliran, unit stress amplitude, dan

amplitudo maksimum dari respon VIV. Nilai dari velocity reduction terhadap pipa dimasukkan kedalam grafik V_r dengan amplitude pada respon model VIV pada kondisi inline maupun crossflow. Setelah itu nilai amplitude dimasukkan dalam perhitungan amplitude stress kemudian dilakukan perhitungan stress berdasarkan nilai amplitude stress yang sudah didapat sebelumnya.

3. Pemodelan dan Analisis Stress

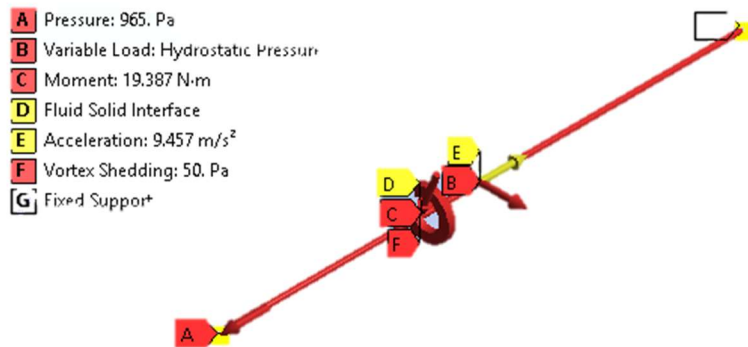
Pemodelan dari stress pada pipa ini menggunakan simulasi struktur pipa dengan menginput data beban yang sudah didapat dari data tekanan didalam pipa, arus yang menabrak pipa dan pada pemodelan ini digunakan fixed constraint pada ujung-ujung pipa. Simulasi Struktur pipa terdiri dari tiga elemen utama, yaitu pre-processor, solver dan post processor.

a) Pra-Prosesor

Langkah pra-prosesor ini mencakup mulai dari mendesain objek atau domain untuk disimulasikan dan memasukkan nilai aliran masalah ke program dan mengubahnya menjadi situasi yang sesuai dengan bentuk solver. Salah satu input dibuat dengan mendefinisikan kondisi batas yang diterapkan pada inlet dan outlet.



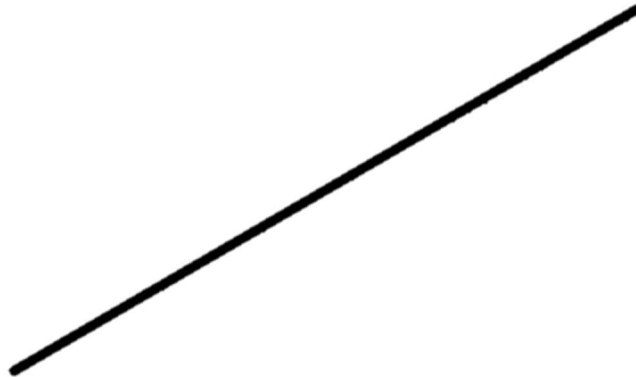
Gambar 13 Geometri Stress Pipa KP 102 - 73 Meter



Gambar 14 Setup Stress Pipa KP 102 - 73 Meter

b) Pemecah

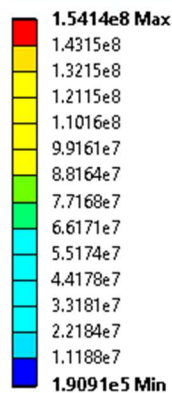
Solver mencakup tahap proses komputer untuk menghitung setiap iterasi di banyak bagian sesuai dengan konfigurasi mesh yang direncanakan dan nilai parameter input.



Gambar 15 Mesh Stress Pipa KP 102 - 73 Meter

c) Post Processor

Post processing adalah tahap akhir dengan memvisualisasikan hasil formulasi perhitungan komputer sesuai dengan output yang diharapkan. Visualisasi dapat ditampilkan sebagai gambar 2 dimensi dan 3 dimensi, animasi, dan sebagainya. Pada bagian ini didapat total stress yang terjadi pada pipa dan juga jumlah probabilitas kejadian beban *vortex induced vibration* pada pipa yang nantinya akan digunakan untuk perhitungan *fatigue*.



Gambar 16 Post KP Stress 102 - 73 Meter

4. Melakukan Perhitungan Umur Kelelahan

Setelah didapatkan total stress yang diakibatkan vortex induced vibration maka didapat juga total siklus kemungkinan terjadinya VIV pada pipa yang disimulasikan. Perlu diketahui bahwa tujuan dari analisis ini adalah untuk mendapatkan umur kelelahan (fatigue life) dari free span yang kita tinjau. Namun disini, kita memerlukan data kemungkinan kejadian dari rentang tegangan yang terjadi, karena untuk kondisi ini, stress yang mengenai span itu berfluktuasi sehingga menimbulkan rentang dari tegangan minimum hingga tegangan maksimum. Dan hal ini bisa kita dapatkan ketika kita memiliki data persebaran kejadian dari data lingkungan, misalnya data arus yang dominan mengenai pipa. Dan kemudian akan didapat damage dari pipa dengan membandingkan nilai peluang kejadian siklus viv dengan peluang kejadian siklus stress. Kejadian siklus stress didapat dari rumus DNV RP C203 sesuai dengan rentang stress pada kategori pipeline dengan proteksi katodik berdasarkan SN Curve yang ada.

5. Validasi Simulasi Stress Range menggunakan hitungan DNV RP FP 105

Untuk validasi dari stress yang didapat dari simulasi struktur digunakan perhitungan total stress range sesuai dengan rumus DNV RP FP 105.

6. Pembuatan Kesimpulan dan Penyusunan Laporan

Setelah didapatkan panjang maksimum free span dinamik yang diizinkan dan sudah dipetakan titik-titik kritis pada pipa bawah laut EJGP. Dan juga telah

didapatkan respon VIV akibat free span dan juga dimodelkan dengan software didapatkan nilai stress dari pipa yang free span kemudian di hitung untuk mendapatkan fatigue life dari pipa tersebut kemudian dibuat laporan penelitian

BAB IV
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

4.1.1 Data Pipa

a. Properti Pipa

Berikut merupakan data property dari pipa Eastern Java Gas Pipeline yang ditampilkan pada Tabel 2

Tabel 2 Data Desain Pipa (Data Survey EJGP 28' Offshore Pipeline 2017)

Data Pipa				
Deskripsi	Nilai	Satuan	Nilai	Satuan
Steel Grade	API 5L-X65			
Pipeline Route	Pagerungan - Porong			
Outside Diameter (D0)	28	inch	0.7112	m
Wall Thickness	0.65	inch	0.01651	m
Length	370	km	370000	m
Corrosion Allowance	Nil	mm	Nil	m
Steel Density	490	lbs./ft ³	7849.0471	kg/m ³
Young's Modulus Steel	20900000	psi	1.441E+11	Pa
Thermal Ekpansion Coeff.	1.17E-05	1/°C	-	-
SMYS	65000	psi	448159224	Pa
SMTS	77000	psi	530896312	Pa
Poisson Ratio	0.3	-	-	-
Design Maximum Pressure	2000	psi	13789515	Pa
Marine Growth	0	mm	0	m

Service	GAS			
Content Density	6.24	lbs./ft ³	121	kg/m ³

b. Data Coating dan Concrete Pipa

Berikut merupakan data coating dan concrete dari pipa Eastern Java Gas Pipeline yang ditampilkan pada Tabel 3

Tabel 3 Data Coating Pipa (Data Survey EJGP 28' Offshore Pipeline 2017)

Data Coating & Concrete Pipa				
Deskripsi	Nilai	Satuan	Nilai	Satuan
Material Anti-Corrosion Coating	Asphalt Enamel			
Anti-Corrosion Coating Thickness	5	mm	0.005	m
Concrete Coating Thickness	44.45	mm	0.04445	m
Anti-Corrosion Coating Density	1300	kg/m ³	-	-
Concrete Coating Density	3043	kg/m ³	-	-

4.1.2 Data Lingkungan

a. Data Air Laut

Berikut merupakan data air laut pada jalur pipa Eastern Java Gas Pipeline yang ditampilkan pada Tabel 4

Tabel 4 Data Air Laut (Data Survey EJGP 28' Offshore Pipeline 2017)

Deskripsi	Nilai	Satuan
Seawater Density	1025	kg/m ³
Seawater Kinematics Viscosity	1.02E-06	m ² /s

Sea Bed Water Temperature	23.9	°C
---------------------------	------	----

b. Data Arus dan Gelombang Laut

Berikut merupakan data arus dan gelombang air laut pada jalur pipa Eastern Java Gas Pipeline yang ditampilkan pada Tabel 5

Tabel 5 Data Arus dan Gelombang Air Laut (Data Survey EJGP 28' Offshore Pipeline 2017)

Wave and Current Data				
Deskripsi	Nilai			Satuan
	Design Basis 1 Years	Design Basis 100 Years	Design Basis 100 Years + PTK Data 2017	
Significant Wave Height, Hs	2.6	4.3	10.4	m
Significant Wave Period, Ts	6.5	8.7	7.9	sec
Current Velocity				
90% Water Depth	0.7	0.8	0.977	m/s
100 % Water Depth	0.6	0.7	0.769	m/s
Seawater Kinematics Viscosity	1.02E-06			m ² /s
Maximum Water Depth	100			m
Minimum Water Depth	50			m

c. Data Kondisi Tanah

Berikut merupakan data kondisi tanah bawah laut pada jalur pipa Eastern Java Gas Pipeline yang ditampilkan pada Tabel 6

Tabel 6 Data Arus dan Gelombang Air Laut (Data Survey EJGP 28'
Offshore Pipeline 2017)

Soil Properties		
KP		Soil Description
From	To	
0	13.6	Yellowish grey carbonate fine SAND with shell and coral fragments
13.6	22	Very soft light brown silty/sandy CLAY
22	42	Yellowish grey/brown fine to coarse SAND with progressively increasing amount of gravel (shell and coral fragments)
42	45	Very soft light brown sandy CLAY
45	66	Greenish grey silty/clayey fine to coarse SAND, with occasionally traces of gravel
66	72	White greenish grey silty/clayey fine to medium SAND (0 - 0.6m) overlying dark brown clayey SILT
72	78	White and greenish grey silty/clayey fine to coarse SAND with shell fragments
78	87	White and greenish grey silty/clayey fine to coarse SAND (<1m) overlying clayey SILT
87	110	Very soft to soft greenish grey sandy CLAY, overlain with greenish grey silty SAND at KP 92
110	121	Greenish grey silty/clayey fine to coarse SAND
121	135	Very soft greenish grey sandy CLAY
135	160	Very soft dark grey greenish CLAY, occasionally overlain with greenish grey silty SAND or SILT (<0.6m)

160	165	Fine SAND (0.6m) with traces of coarse sand and gravel, overlying coralline SAND
165	350	Very soft to soft grey/green CLAY with occasionally scattered shell fragments

4.2 Analisis Dimensi Pipa

Salah satu parameter awal dalam menganalisis dinamis free span yaitu dimensi pipa. Berikut merupakan data analisis dari dimensi pipa Eastern Java Gas Pipeline. Data awal untuk dianalisis yaitu diameter pipa, tebal coating, dan tebal dari concrete pipa.

$$\begin{aligned} OD_{\text{pipe}} &= 0.7112 \text{ m} \\ T_{\text{coating}} &= 0.005 \text{ m} \\ T_{\text{concrete}} &= 0.04445 \text{ m} \end{aligned}$$

a. Diameter Total Pipa (D_{tot})

$$\begin{aligned} D_{\text{tot}} &= \text{Diameter Luar Pipa} + (2 \times \text{ketebalan coating}) + (2 \times \text{ketebalan concrete}) \\ &= 0.8101 \text{ m} \end{aligned}$$

b. Diameter Dalam Pipa (D_t)

$$\begin{aligned} D_t &= \text{Diameter Luar Pipa} - (2 \times \text{ketebalan coating}) + (2 \times \text{ketebalan concrete}) \\ &= 0.7901 \text{ m} \end{aligned}$$

c. Luas Internal Pipa (A_i)

$$\begin{aligned} A_i &= n \cdot (D_t)^2 / 4 \\ &= 0.490043 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

d. Luas Total Pipa (A_t)

$$\begin{aligned} A_t &= n \cdot (D_t^4 - D_{\text{tot}}^4) / 4 \\ &= 0.032171 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

e. Momen Inersia Concrete (I_c)

$$\begin{aligned} I_c &= n \cdot (D_t^4 - D_{\text{tot}}^4) / 64 \\ &= 0.002011 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

f. Momen Inersia Pipa
(I_t)

$$I_t = \frac{n \cdot (D_t^4 + D_{tot}^4)}{64}$$

$$= 0.04025 \text{ m}^4$$

4.3 Screening Geometri Free Span Pipa

Screening Geometri Pipa dilakukan menggunakan standar DNV RP 105 dengan membandingkan panjang free span pipa dengan diameter dari pipa. Berikut hasil screening pipa geometri menggunakan perbandingan $L/D < 30$ pada table 7

Tabel 7 Hasil Screening Geometri Pipa

No	Freespan Reference	KP		Actual Length from Profiler	Diameter of Pipe	L/D	Max Span Height	Screening Level 2?
		Start	End					
	Freespan #6 KP49.026	48.988	49.073					
1		48.987	49.037	50.00	0.7112	70	0.58	Yes
	Freespan #9 KP50.096	50.025	50.122					
2		50.059	50.116	57.00	0.7112	80	0.41	Yes
	Freespan #10 KP50.731	50.700	50.790					
3		50.697	50.748	51.00	0.7112	72	0.65	Yes
	Freespan #12 KP50.881	50.858	50.904					
4		50.857	50.907	50.00	0.7112	70	0.34	Yes
	Freespan #13 KP51.036	51.019	51.064					
5		51.067	51.118	51.00	0.7112	72	0.37	Yes
	Freespan #27 KP75.636	75.573	75.704					
6		75.618	75.675	56.99	0.7112	80	0.62	Yes
	Freespan #39 KP95.614	95.591	95.644					
7		95.590	95.649	59.00	0.7112	83	0.40	Yes

	Freespan #40 KP95.687	95.685	95.757					
8		95.707	95.757	50.00	0.7112	70	0.36	Yes
	Freespan #62 KP102.650	102.580	102.679					
9		102.609	102.682	73.00	0.7112	103	0.73	Yes
	Freespan #64 KP102.840	102.799	102.882					
10		102.794	102.860	65.94	0.7112	93	1.36	Yes
	Freespan #81 KP104.903	104.901	104.944					
11		104.884	104.937	53.00	0.7112	75	0.74	Yes
	Freespan #83 KP105.176	105.152	105.213					
12		105.152	105.215	63.01	0.7112	89	0.77	Yes
	Freespan #97 KP116.689	116.657	116.739					
13		116.654	116.704	49.99	0.7112	70	0.68	Yes
	Freespan #98 KP119.898	119.880	119.927					
14		119.878	119.928	50.00	0.7112	70	1.13	Yes
	Freespan #100 KP123.060	123.039	123.088					
15		123.038	123.091	52.99	0.7112	75	0.85	Yes
	Freespan #106 KP126.059	126.026	126.107					
16		125.987	126.036	49.00	0.7112	69	0.88	Yes

Untuk hasil lebih lengkapnya akan dilampirkan pada lampiran 1. Hasil yang didapat dari 181 titik yang di screening geometri, didapat 29 titik yang gagal melalui screening ini. Dapat di analisis bawah untuk screening geometri bahwa semakin panjang free span, maka semakin besar nilai L/D yang menyebabkan gagal dalam screening geometri ini.

4.4 Screening Free Span Dinamik Pipa

Untuk melakukan screening free span pipa secara dinamik ada beberapa variable yang harus di analisis dan hasilnya akan dijadikan inputan untuk

screening pipa secara dinamis. Adapun beberapa variable yang harus di analisis yaitu massa efektif pipa, natural frekuensi pipa, stability parameter, frekuensi vortex shedding dan reduced velocity.

4.4.1 Massa Efektif Pipa

Perhitungan Massa Struktur Pipa

$$M_d = n/4 \times D_{tot} \times \text{massa jenis}$$

$$= 515.1657 \text{ kg/m}$$

$$N = 3.14$$

$$D_{tot} = 0.8101 \text{ M} \quad \text{Diameter Total Pipa}$$

$$\text{massa jenis} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Perhitungan Massa Pipa Tambahan (M_a)

$$M_a = n/4 \times D_{tot} \times \text{massa jenis}$$

$$= 528.0448 \text{ kg/m}$$

$$N = 3.14$$

$$D_{tot} = 0.8101 \text{ M} \quad \text{Diameter Total Pipa}$$

$$\text{massa jenis} = 1025 \text{ kg/m}^3$$

Perhitungan Massa Pipa Efektif (M_e)

$$M_e = \text{Massa Pipa Tercelup } (M_d) + \text{Massa Pipa Tambahan } (M_a)$$

$$= 1043.21 \text{ kg/m}$$

Dari hasil perhitungan massa efektif pipa didapat sebesar 1043.21 kg/m

4.4.2 Frekuensi Natural Pipa

Untuk mendapatkan frekuensi natural dari pipa didapatkan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$F_n = \frac{C_a}{2n} \times \left(\frac{E \times I}{M_e \times L_{span}^4} \right)$$

Dimana :

$$C_a = \text{Koefisien Kondisi Batas Free Span (9.87)}$$

$$E = \text{Modulus Young (Pa)}$$

$$I = \text{Momen Inersia (m}^4\text{)}$$

	KP95.687								
8		50.00	0.71 12	70	20700 00000 00	0.040 25	9.87	1043. 2100	1.7 766
	Freespan #62 KP102.650								
9		73.00	0.71 12	10 3	20700 00000 00	0.040 25	9.87	1043. 2100	0.8 335
	Freespan #64 KP102.840								
10		65.94	0.71 12	93	20700 00000 00	0.040 25	9.87	1043. 2100	1.0 215
	Freespan #81 KP104.903								
11		53.00	0.71 12	75	20700 00000 00	0.040 25	9.87	1043. 2100	1.5 812
	Freespan #83 KP105.176								
12		63.01	0.71 12	89	20700 00000 00	0.040 25	9.87	1043. 2100	1.1 187
	Freespan #97 KP116.689								
13		49.99	0.71 12	70	20700 00000 00	0.040 25	9.87	1043. 2100	1.7 773
	Freespan #98 KP119.898								
14		50.00	0.71 12	70	20700 00000 00	0.040 25	9.87	1043. 2100	1.7 766
	Freespan #100 KP123.060								
15		52.99	0.71 12	75	20700 00000 00	0.040 25	9.87	1043. 2100	1.5 818
	Freespan #106 KP126.059								
16		49.00	0.71 12	69	20700 00000 00	0.040 25	9.87	1043. 2100	1.8 499
	Freespan #110 KP127.027								
17		48.99	0.71 12	69	20700 00000 00	0.040 25	9.87	1043. 2100	1.8 506
	Freespan #115 KP128.363								
18		53.00	0.71 12	75	20700 00000 00	0.040 25	9.87	1043. 2100	1.5 812
	Freespan #120 KP129.961								

19		66.00	0.71 12	93	20700 00000 00	0.040 25	9.87	1043. 2100	1.0 196
	Freespan #121 KP130.085								
20		52.00	0.71 12	73	20700 00000 00	0.040 25	9.87	1043. 2100	1.6 426
	Freespan #123 KP131.860								
21		53.00	0.71 12	75	20700 00000 00	0.040 25	9.87	1043. 2100	1.5 812
	Freespan #124 KP131.914								
22		65.00	0.71 12	91	20700 00000 00	0.040 25	9.87	1043. 2100	1.0 513
	Freespan #128 KP139.334								
23		58.98	0.71 12	83	20700 00000 00	0.040 25	9.87	1043. 2100	1.2 768
	Freespan #169 KP193.645								
24		57.99	0.71 12	82	20700 00000 00	0.040 25	9.87	1043. 2100	1.3 208
	Freespan #172 KP198.369								
25		54.00	0.71 12	76	20700 00000 00	0.040 25	9.87	1043. 2100	1.5 232
	Freespan #177 KP213.573								
26		52.00	0.71 12	73	20700 00000 00	0.040 25	9.87	1043. 2100	1.6 426
	Freespan #179 KP214.758								
27		49.99	0.71 12	70	20700 00000 00	0.040 25	9.87	1043. 2100	1.7 773
	Freespan #180 KP215.194								
28		56.00	0.71 12	79	20700 00000 00	0.040 25	9.87	1043. 2100	1.4 163
29	Freespan #181 KP233.97	49.00	0.71 12	69	20700 00000 00	0.040 25	9.87	1043. 2100	1.8 499

Berdasarkan hasil nilai natural frekuensi tiap free span, maka dapat disimpulkan bahwa panjang free span berpengaruh terhadap frekuensi natural dari pipa itu sendiri.

4.4.3 Stability Parameter

Untuk mendapatkan Stability Parameter dari pipa didapatkan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$K_s = (4 \times M_e \times \text{Damping Ratio}) / \text{Massa Jenis Seawater} \times \text{Diameter luar pipa}$$

Dimana :

$$M_e = \text{Massa Efektif (kg/m)}$$

$$\text{Damping ratio} = 0.03$$

Untuk perhitungan stability parameter pada pipa pada Freespan #6 KP49.026 sebagai berikut :

$$K_s = (4 \times 1043.21 \text{ kg/m} \times 0.03) / 1025 \text{ kg/m}^3 \times 0.8101 \text{ m}$$

Karena diameter pipa tidak ada perbedaan maka didapat nilai $K_s = 0.19$

4.4.4 Reduced Velocity

Untuk mendapatkan Reduced Velocity dari pipa didapatkan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V_r = U_c / f_n \times D$$

Dimana :

$$U_c = \text{Total Kecepatan Arus}$$

$$f_n = \text{Frekuensi Natural}$$

$$D = \text{Diameter Total Pipa}$$

Untuk perhitungan Reduced Velocity pipa pada Freespan #6 KP49.026 sebagai berikut :

$$V_r = 0.997 / 1.7766 \times 0.8101$$

$$= 0.6778 \text{ m/s}$$

Berikut Hasil Perhitungan Reduced Velocity pada pipa di tiap free span pada table 9

Tabel 9 Perhitungan Reduced Velocity Pipa

No	Freespan Reference	Actual Length from Profiler	Diameter of Pipe	f_n	U_c	D_{tot}	V_r
	Freespan #6 KP49.026						

1		50.00	0.7112	1.7766	0.9770	0.8101	0.6788
	Freespan #9 KP50.096						
2		57.00	0.7112	1.3671	0.9770	0.8101	0.8822
	Freespan #10 KP50.731						
3		51.00	0.7112	1.7076	0.9770	0.8101	0.7062
	Freespan #12 KP50.881						
4		50.00	0.7112	1.7766	0.9770	0.8101	0.6788
	Freespan #13 KP51.036						
5		51.00	0.7112	1.7076	0.9770	0.8101	0.7062
	Freespan #27 KP75.636						
6		56.99	0.7112	1.3675	0.9770	0.8101	0.8819
	Freespan #39 KP95.614						
7		59.00	0.7112	1.2760	0.9770	0.8101	0.9452
	Freespan #40 KP95.687						
8		50.00	0.7112	1.7766	0.9770	0.8101	0.6788
	Freespan #62 KP102.650						
9		73.00	0.7112	0.8335	0.9770	0.8101	1.4470
	Freespan #64 KP102.840						
10		65.94	0.7112	1.0215	0.9770	0.8101	1.1806
	Freespan #81 KP104.903						
11		53.00	0.7112	1.5812	0.9770	0.8101	0.7627
	Freespan #83 KP105.176						
12		63.01	0.7112	1.1187	0.9770	0.8101	1.0780
	Freespan #97 KP116.689						
13		49.99	0.7112	1.7773	0.9770	0.8101	0.6786
	Freespan #98 KP119.898						
14		50.00	0.7112	1.7766	0.9770	0.8101	0.6788
	Freespan #100 KP123.060						
15		52.99	0.7112	1.5818	0.9770	0.8101	0.7624
	Freespan #106 KP126.059						
16		49.00	0.7112	1.8499	0.9770	0.8101	0.6519

	Freespan #110 KP127.027						
17		48.99	0.7112	1.8506	0.9770	0.8101	0.6517
	Freespan #115 KP128.363						
18		53.00	0.7112	1.5812	0.9770	0.8101	0.7627
	Freespan #120 KP129.961						
19		66.00	0.7112	1.0196	0.9770	0.8101	1.1828
	Freespan #121 KP130.085						
20		52.00	0.7112	1.6426	0.9770	0.8101	0.7342
	Freespan #123 KP131.860						
21		53.00	0.7112	1.5812	0.9770	0.8101	0.7627
	Freespan #124 KP131.914						
22		65.00	0.7112	1.0513	0.9770	0.8101	1.1472
	Freespan #128 KP139.334						
23		58.98	0.7112	1.2768	0.9770	0.8101	0.9446
	Freespan #169 KP193.645						
24		57.99	0.7112	1.3208	0.9770	0.8101	0.9131
	Freespan #172 KP198.369						
25		54.00	0.7112	1.5232	0.9770	0.8101	0.7918
	Freespan #177 KP213.573						
26		52.00	0.7112	1.6426	0.9770	0.8101	0.7342
	Freespan #179 KP214.758						

27		49.99	0.7112	1.7773	0.9770	0.8101	0.6786
	Freespan #180 KP215.194						
28		56.00	0.7112	1.4163	0.9770	0.8101	0.8515
	Freespan #181 KP233.978						
29		49.00	0.7112	1.8499	0.9770	0.8101	0.6519

Berdasarkan hasil perhitungan reduced velocity pada pipa di tiap free span pada table 9, nilai dari reduced velocity sangat dipengaruhi oleh nilai frekuensi natural dari pipa.

4.4.5 Panjang Span pada Kondisi Inline

Untuk mendapatkan maksimum span yang diizinkan pada kondisi inline dari pipa didapatkan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$L_c = ((C_a / f_n \times 2n)^{1/2} \times (E \times I / m_e)^{1/2})^{1/2}$$

Dimana :

C_a = Koefisien Tumpuan = 9.87

f_n = Frekuensi Natural

E = Modulus Young Pipa

I = Moment Inersia Pipa

m_e = Massa Efektif Pipa

Untuk perhitungan maksimum span yang diizinkan pada kondisi inline pipa pada Freespan #6 KP49.026 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} L_c &= ((9.87 / 1.776 \times 2 \times 3.14)^{1/2} \times (2.07 \times 10^4 \times 0.0425 / 1043.21)^{1/2})^{1/2} \\ &= 25 \text{ m} \end{aligned}$$

Berikut Hasil Perhitungan maksimum span yang diizinkan pada kondisi inline pada pipa di tiap free span pada table 10

Tabel 10 Perhitungan Panjang Span pada Kondisi Inline

No	Freespan Reference	Actual Length from Profiler	E	I	C_a	m_e	f_n	L_c
	Freespan #6 KP49.026							
1		50.00	20700 00000	0.04025	9.87	1043. 2100	1.7766	25.16416 73284516

			00					
	Freespan #9 KP50.096							
2		57.00	20700 00000 00	0.04025	9.87	1043. 2100	1.3671	32.70335 18600557
	Freespan #10 KP50.731							
3		51.00	20700 00000 00	0.04025	9.87	1043. 2100	1.7076	26.18079 96885211
	Freespan #12 KP50.881							
4		50.00	20700 00000 00	0.04025	9.87	1043. 2100	1.7766	25.16416 73284516
	Freespan #13 KP51.036							
5		51.00	20700 00000 00	0.04025	9.87	1043. 2100	1.7076	26.18079 96885211
	Freespan #27 KP75.636							
6		56.99	20700 00000 00	0.04025	9.87	1043. 2100	1.3675	32.69187 80063207
	Freespan #39 KP95.614							
7		59.00	20700 00000 00	0.04025	9.87	1043. 2100	1.2760	35.03858 65881360
	Freespan #40 KP95.687							
8		50.00	20700 00000 00	0.04025	9.87	1043. 2100	1.7766	25.16416 73284516
	Freespan #62 KP102.650							
9		73.00	20700 00000 00	0.04025	9.87	1043. 2100	0.8335	53.63993 90773275
	Freespan #64 KP102.840							
10		65.94	20700 00000 00	0.04025	9.87	1043. 2100	1.0215	43.76636 13073985
	Freespan #81							

	KP104.903							
11		53.00	20700 00000 00	0.04025	9.87	1043. 2100	1.5812	28.27445 84102483
	Freespan #83 KP105.176							
12		63.01	20700 00000 00	0.04025	9.87	1043. 2100	1.1187	39.96331 57975500
	Freespan #97 KP116.689							
13		49.99	20700 00000 00	0.04025	9.87	1043. 2100	1.7773	25.15410 26680869
	Freespan #98 KP119.898							
14		50.00	20700 00000 00	0.04025	9.87	1043. 2100	1.7766	25.16416 73284516
	Freespan #100 KP123.060							
15		52.99	20700 00000 00	0.04025	9.87	1043. 2100	1.5818	28.26378 98098677
	Freespan #106 KP126.059							
16		49.00	20700 00000 00	0.04025	9.87	1043. 2100	1.8499	24.16766 63022449
	Freespan #110 KP127.027							
17		48.99	20700 00000 00	0.04025	9.87	1043. 2100	1.8506	24.15780 29552189
	Freespan #115 KP128.363							
18		53.00	20700 00000 00	0.04025	9.87	1043. 2100	1.5812	28.27445 84102483
	Freespan #120 KP129.961							
19		66.00	20700 00000 00	0.04025	9.87	1043. 2100	1.0196	43.84604 51530941
	Freespan #121 KP130.085							

20		52.00	20700 00000 00	0.04025	9.87	1043. 2100	1.6426	27.21756 33824533
	Freespan #123 KP131.860							
21		53.00	20700 00000 00	0.04025	9.87	1043. 2100	1.5812	28.27445 84102483
	Freespan #124 KP131.914							
22		65.00	20700 00000 00	0.04025	9.87	1043. 2100	1.0513	42.52744 27850833
	Freespan #128 KP139.334							
23		58.98	20700 00000 00	0.04025	9.87	1043. 2100	1.2768	35.01483 56404448
	Freespan #169 KP193.645							
24		57.99	20700 00000 00	0.04025	9.87	1043. 2100	1.3208	33.84922 83900908
	Freespan #172 KP198.369							
25		54.00	20700 00000 00	0.04025	9.87	1043. 2100	1.5232	29.35148 47719060
	Freespan #177 KP213.573							
26		52.00	20700 00000 00	0.04025	9.87	1043. 2100	1.6426	27.21756 33824533
	Freespan #179 KP214.758							
27		49.99	20700 00000 00	0.04025	9.87	1043. 2100	1.7773	25.15410 26680869
	Freespan #180 KP215.194							
28		56.00	20700 00000 00	0.04025	9.87	1043. 2100	1.4163	31.56593 14968097
	Freespan #181							

	KP233.978							
29		49.00	20700 00000 00	0.04025	9.87	1043. 2100	1.8499	24.16766 63022449

Berdasarkan hasil perhitungan panjang free span yangizinkan pada pipa di tiap free span pada table 10, allowable freespan pada kondisi inline dipengaruhi nilai frekuensi natural dari pipa.

4.4.6 Panjang Span pada Kondisi CrossFlow

Untuk mendapatkan maksimum span yang diizinkan pada kondisi crossflow dari pipa didapatkan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Lc = ((Ca \times Vr \times Dtot / Uc \times 2n)^{1/2} \times (E \times I / me)^{1/2})^{1/2}$$

Dimana :

Ca = Koefisien Tumpuan = 9.87 (DNV RP 105)

fn = Frekuensi Natural

E = Modulus Young Pipa

I = Moment Inersia Pipa

Me = Massa Efektif Pipa

Vr = Reduction Velocity

Dtot = Diameter Total Pipa

Uc = Total Kecepatan Arus

Untuk perhitungan maksimum span yang diizinkan pada kondisi crossflow pipa pada Freespan #6 KP49.026 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Lc &= ((9.87 \times 0.678 \times 0.8101 / 0.977 \times 2 \times 3.14)^{1/2} \times (2.07 + E1 \\ &\quad \times 0.0425 / 1043.21)^{1/2})^{1/2} \\ &= 55 \text{ m} \end{aligned}$$

Berikut Hasil Perhitungan maksimum span yang diizinkan pada kondisi crossflow pada pipa di tiap free span pada table 11

Tabel 11 Perhitungan Panjang Span pada Kondisi Crossflow

No	Freespan Reference	Actual Length from Profiler	Uc	Dtot	Vr	Lc
	Freespan #6 KP49.026					
1		50.00	0.9770	0.8101	0.6788	55.0692
	Freespan #9 KP50.096					
2		57.00	0.9770	0.8101	0.8822	58.7978
	Freespan #10 KP50.731					
3		51.00	0.9770	0.8101	0.7062	55.6171

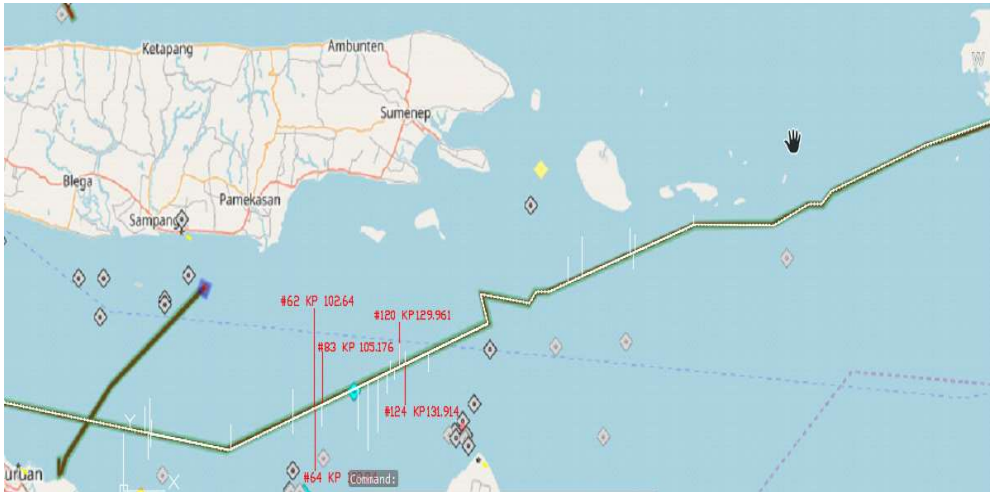
	Freespan #12 KP50.881					
4		50.00	0.9770	0.8101	0.6788	55.0692
	Freespan #13 KP51.036					
5		51.00	0.9770	0.8101	0.7062	55.6171
	Freespan #27 KP75.636					
6		56.99	0.9770	0.8101	0.8819	58.7926
	Freespan #39 KP95.614					
7		59.00	0.9770	0.8101	0.9452	59.8204
	Freespan #40 KP95.687					
8		50.00	0.9770	0.8101	0.6788	55.0692
	Freespan #62 KP102.650					
9		73.00	0.9770	0.8101	1.4470	66.5403
	Freespan #64 KP102.840					
10		65.94	0.9770	0.8101	1.1806	63.2409
	Freespan #81 KP104.903					
11		53.00	0.9770	0.8101	0.7627	56.6972
	Freespan #83 KP105.176					
12		63.01	0.9770	0.8101	1.0780	61.8199
	Freespan #97 KP116.689					
13		49.99	0.9770	0.8101	0.6786	55.0636
	Freespan #98 KP119.898					
14		50.00	0.9770	0.8101	0.6788	55.0692
	Freespan #100 KP123.060					
15		52.99	0.9770	0.8101	0.7624	56.6918
	Freespan #106 KP126.059					
16		49.00	0.9770	0.8101	0.6519	54.5157
	Freespan #110 KP127.027				0.8492	
17		48.99	0.9770	0.8101	0.6517	54.5101
	Freespan #115 KP128.363				0.9940	
18		53.00	0.9770	0.8101	0.7627	56.6972
	Freespan #120 KP129.961				1.5414	
19		66.00	0.9770	0.8101	1.1828	63.2696
	Freespan #121 KP130.085				0.9568	

20		52.00	0.9770	0.8101	0.7342	56.1597
	Freespan #123 KP131.860				0.9940	
21		53.00	0.9770	0.8101	0.7627	56.6972
	Freespan #124 KP131.914				1.4950	
22		65.00	0.9770	0.8101	1.1472	62.7885
	Freespan #128 KP139.334				1.2309	
23		58.98	0.9770	0.8101	0.9446	59.8103
	Freespan #169 KP193.645				1.1899	
24		57.99	0.9770	0.8101	0.9131	59.3062
	Freespan #172 KP198.369				1.0318	
25		54.00	0.9770	0.8101	0.7918	57.2295
	Freespan #177 KP213.573				0.9568	
26		52.00	0.9770	0.8101	0.7342	56.1597
	Freespan #179 KP214.758				0.8843	
27		49.99	0.9770	0.8101	0.6786	55.0636
	Freespan #180 KP215.194				1.1097	
28		56.00	0.9770	0.8101	0.8515	58.2797
	Freespan #181 KP233.978				0.8496	
29		49.00	0.9770	0.8101	0.6519	54.5157

Berdasarkan hasil perhitungan panjang free span yangizinkan pada pipa di tiap free span pada table 11, allowable freespan pada kondisi crossflow dipengaruhi nilai velocity reduced dari pipa.

4.4.7 Screening Dinamik Free Span

Pada screening dinamik ini didapat ada 29 titik yang mengalami kegagalan inline dan diantaranya 5 titik mengalami kegagalan juga pada kondisi crossflow. 5 KP yang tidak lulus screening dinamik pada kondisi inline maupun crossflow yaitu pada KP #62 #64 #65 #120 # 124 sebagai titik kritis yang perlu mendapat koreksi panjang free span.



Gambar 17 Posisi Titik Kritis 5 Free Span

Dan peluang terjadinya VIV lebih besar karena menyediakan ruang untuk aliran fluida yang lebih cepat karena ada ruang dibawah pipa yang besar dibanding pipa pada titik yang lain dan hasil screening lainnya sebagai berikut pada table 12

Tabel 12 Screening Dinamik Free Span

No	Freespan Reference	Actual Length from Profiler	Lcf	Critical	Lcil	Critical
	Freespan #6 KP49.026			TIDAK CROSSFLOW		YA IN-LINE
1		50.00	55.0692		25.1642	
	Freespan #9 KP50.096			TIDAK CROSSFLOW		YA IN-LINE
2		57.00	58.7978		32.7034	
	Freespan #10 KP50.731			TIDAK CROSSFLOW		YA IN-LINE
3		51.00	55.6171		26.1808	
	Freespan #12 KP50.881			TIDAK CROSSFLOW		YA IN-LINE
4		50.00	55.0692		25.1642	
	Freespan			TIDAK		YA IN-LINE

	#13 KP51.036			CROSSFLOW		
5		51.00	55.6171		26.1808	
	Freespan #27 KP75.636			TIDAK CROSSFLOW		YA IN-LINE
6		56.99	58.7926		32.6919	
	Freespan #39 KP95.614			TIDAK CROSSFLOW		YA IN-LINE
7		59.00	59.8204		35.0386	
	Freespan #40 KP95.687			TIDAK CROSSFLOW		YA IN-LINE
8		50.00	55.0692		25.1642	
	Freespan #62 KP102.650			YA CROSSFLOW		YA IN-LINE
9		73.00	66.5403		53.6399	
	Freespan #64 KP102.840			YA CROSSFLOW		YA IN-LINE
10		65.94	63.2409		43.7664	
	Freespan #81 KP104.903			TIDAK CROSSFLOW		YA IN-LINE
11		53.00	56.6972		28.2745	
	Freespan #83 KP105.176			YA CROSSFLOW		YA IN-LINE
12		63.01	61.8199		39.9633	
	Freespan #97 KP116.689			TIDAK CROSSFLOW		YA IN-LINE
13		49.99	55.0636		25.1541	
	Freespan #98 KP119.898			TIDAK CROSSFLOW		YA IN-LINE
14		50.00	55.0692		25.1642	
	Freespan #100 KP123.060			TIDAK CROSSFLOW		YA IN-LINE
15		52.99	56.6918		28.2638	

	Freespan #106 KP126.059			TIDAK CROSSFLOW		YA IN-LINE
16		49.00	54.5157		24.1677	
	Freespan #110 KP127.027			TIDAK CROSSFLOW		YA IN-LINE
17		48.99	54.5101		24.1578	
	Freespan #115 KP128.363			TIDAK CROSSFLOW		YA IN-LINE
18		53.00	56.6972		28.27446	
	Freespan #120 KP129.961			YA CROSSFLOW		YA IN-LINE
19		66.00	63.2696		43.84605	
	Freespan #121 KP130.085			TIDAK CROSSFLOW		YA IN-LINE
20		52.00	56.1597		27.21756	
	Freespan #123 KP131.860			TIDAK CROSSFLOW		YA IN-LINE
21		53.00	56.6972		28.27446	
	Freespan #124 KP131.914			YA CROSSFLOW		YA IN-LINE
22		65.00	62.7885		42.52744	
	Freespan #128 KP139.334			TIDAK CROSSFLOW		YA IN-LINE
23		58.98	59.8103		35.01484	
	Freespan #169 KP193.645			TIDAK CROSSFLOW		YA IN-LINE
24		57.99	59.3062		33.84923	
	Freespan #172 KP198.369			TIDAK CROSSFLOW		YA IN-LINE
25		54.00	57.2295		29.35148	
	Freespan			TIDAK		YA IN-LINE

	#177 KP213.573			CROSSFLOW		
26		52.00	56.1597		27.21756	
	Freespan #179 KP214.758			TIDAK CROSSFLOW		YA IN-LINE
27		49.99	55.0636		25.1541	
	Freespan #180 KP215.194			TIDAK CROSSFLOW		YA IN-LINE
28		56.00	58.2797		31.56593	
	Freespan #181 KP233.978			TIDAK CROSSFLOW		YA IN-LINE
29		49.00	54.5157		24.16767	

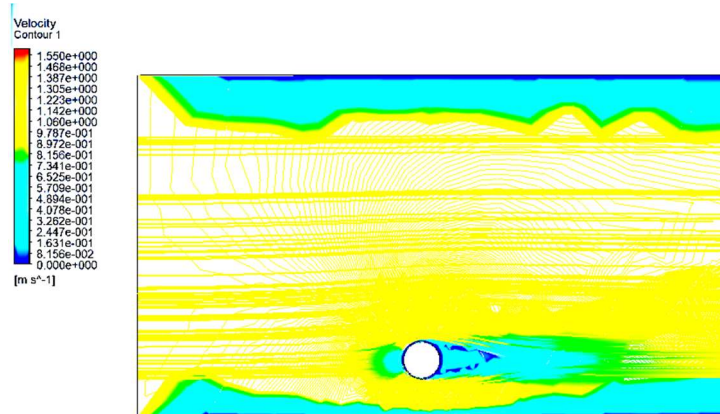
4.5 Pemodelan dan Simulasi Free Span

Untuk pemodelan free span dilakukan pada free span dengan kriteria sebagai berikut :

- a. Tidak Lulus Screening Geometri Freespan
- b. Tidak Lulus Screening Dinamik Freespan
- c. Free Span terpanjang dan gap terjauh

Maka dilakukan pada KP 102 dengan panjang free span 73 m dan gap free span 0.73 m. Hasil yang didapat dari permodelan ini yaitu berupa kecepatan reduksi aliran yang terjadi pada pipa yang dapat menyebabkan VIV pada pipa. Kemudian V_r pada belakang pipa yang sudah didapat akan digunakan untuk mendapatkan vortex shedding frekuensi dan juga mendapatkan nilai pressure dari pipa untuk permodelan stress untuk perhitungan beban yang diterima pipa.

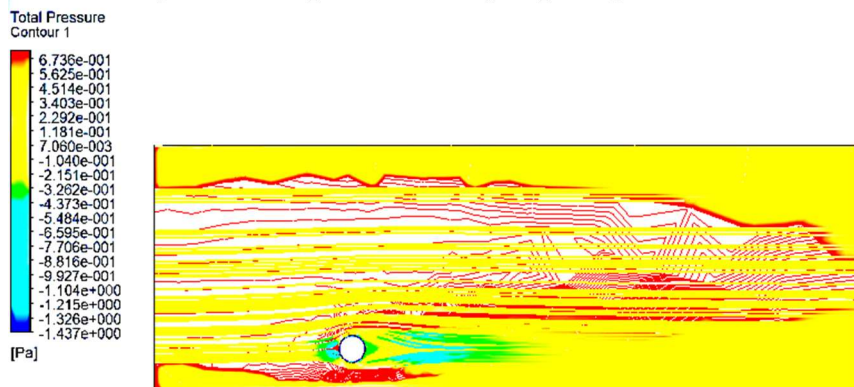
Berikut hasil pemodelan V_r freespan pada gambar 18



Gambar 18 Aliran Vr Free Span

Hasil yang didapat yaitu untuk kecepatan Vr maksimal pada permodelan yaitu 1.46 m/s. Nilai ini akan digunakan pada pembacaan respon model beban pada grafik sesuai aturan DNV RP 105 untuk mendapatkan Ay/D yang digunakan untuk Amplitude Stress.

Berikut hasil pemodelan pressure freespan pada gambar 19



Gambar 19 Pressure pada Free Span

Kemudian Max Pressure yang diterima oleh pipa yaitu 0.673 Pa sebagai input dalam permodelan stress pada pipa nantinya. Kemudian untuk validasi antara simulasi dengan perhitungan DNV RP F105 mengenai Vr dan juga validasi saat meshing pada simulasi ditunjukkan nilai error sebagai berikut pada tabel 13 Validasi Hitungan dan Meshing Free Span.

Tabel 13 Validasi Hitungan dan Meshing Free Span

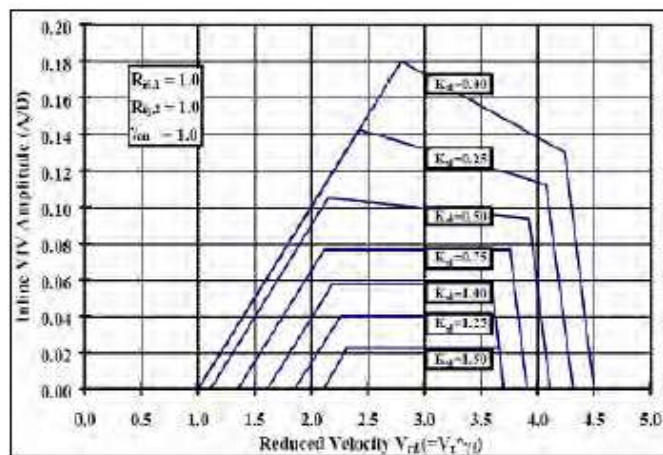
Nilai Vr Hitungan	Nilai Vr Simulasi	Selisih
1.477 m/s	1.46 m/s	0.98 %

Element Metric 1 0.825	Element Metric 2 0.925	Selisih
161E+05	163E+05	0.012 %

Dengan nilai error 0.98% pada hitungan dan juga simulasi pada nilai error 0.012%, maka simulasi dan pemodelan free span telah divalidasi.

4.6 Respon Model VIV

Dari hasil permodelan didapatkan nilai V_r yang kemudian diplot kepada grafik respon model untuk mendapatkan A_y/D yang menunjukkan nilai maksimum dari respon amplitude berdasarkan nilai stability parameter.



Gambar 20 Pembacaan Respon Model

Hasil yang didapat yaitu untuk kecepatan V_r maksimal pada permodelan yaitu 1.46 m/s yaitu untuk A_z/D 0.26 untuk dihitung dalam perhitungan stress range nantinya Hasil lebih lengkap pada table 14 untuk inline dan 15 untuk crossflow

Tabel 14 Hasil Respon Model Amplitude Inline VIV

No	Freespan Reference	Actual Length from Profiler	V_r	A_y/D
	Freespan #6 KP49.026			
1		50.00	0.6788	0.09
	Freespan #9 KP50.096			
2		57.00	0.8822	0.13
	Freespan #10 KP50.731			

3		51.00	0.7062	0.1
	Freespan #12 KP50.881			
4		50.00	0.6788	0.091
	Freespan #13 KP51.036			
5		51.00	0.7062	0.095
	Freespan #27 KP75.636			
6		56.99	0.8819	0.12
	Freespan #39 KP95.614			
7		59.00	0.9452	0.14
	Freespan #40 KP95.687			
8		50.00	0.6788	0.1
	Freespan #62 KP102.650			
9		73.00	1.4470	0.24
	Freespan #64 KP102.840			
10		65.94	1.1806	0.19
	Freespan #81 KP104.903			
11		53.00	0.7627	0.105
	Freespan #83 KP105.176			
12		63.01	1.0780	0.17
	Freespan #97 KP116.689			
13		49.99	0.6786	0.094
	Freespan #98 KP119.898			
14		50.00	0.6788	0.098
	Freespan #100 KP123.060			
15		52.99	0.7624	0.112
	Freespan #106 KP126.059			
16		49.00	0.6519	0.09
	Freespan #110 KP127.027		0.8492	
17		48.99	0.6517	0.097
	Freespan #115 KP128.363		0.9940	
18		53.00	0.7627	0.11
	Freespan #120 KP129.961		1.5414	
19		66.00	1.1828	0.19
	Freespan #121 KP130.085		0.9568	

20		52.00	0.7342	0.1
	Freespan #123 KP131.860		0.9940	
21		53.00	0.7627	0.1159
	Freespan #124 KP131.914		1.4950	
22		65.00	1.1472	0.19
	Freespan #128 KP139.334		1.2309	
23		58.98	0.9446	0.15
	Freespan #169 KP193.645		1.1899	
24		57.99	0.9131	0.14
	Freespan #172 KP198.369		1.0318	
25		54.00	0.7918	0.12
	Freespan #177 KP213.573		0.9568	
26		52.00	0.7342	0.105
	Freespan #179 KP214.758		0.8843	
27		49.99	0.6786	0.095
	Freespan #180 KP215.194		1.1097	
28		56.00	0.8515	0.13
	Freespan #181 KP233.978		0.8496	
29		49.00	0.6519	0.09

Tabel 15 Hasil Respon Model Amplitude Crossflow VIV

No	Freespan Reference	Actual Length from Profiler	Vr	Az/D
	Freespan #62 KP102.650			
1		73.00	2.7844	0.26
	Freespan #64 KP102.840			
2		65.94	2.2718	0.21
	Freespan #83 KP105.176			
3		63.01	2.0744	0.2

	Freespan #120 KP129.961			
4		66.00	2.2760	0.21
	Freespan #124 KP131.914			
5		65.00	2.2075	0.203

Berdasarkan hasil pembacaan respon model didapatkan bahwa nilai velocity reduced sangat mempengaruhi amplitude dari terjadinya VIV pada pipa.

4.7 Perhitungan Amplitude Stress

Untuk mendapatkan stress range dari pipa didapatkan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Ail = C4 \times (1 + CSF) \times (D \times (Ds-t) \times E) / L^2$$

Dimana :

C4 = Boundary 4.93 (SF DNV RP 105)

CSF = Concrete Stiffnes Factor 1.6 (DNV RP 105)

D = Diameter Total

E = Modulus Young

t = Ketebalan Pipa

Ds = Diameter Pipa tanpa coating

Untuk Amplitude Stress yang didapat pipa pada Freespan #62 KP102.650 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Ail &= 4.93 \times (1 + 1.65) \times (0.8101 \times (0.7112 - 0.0159) \times \\ &2.07E+11) / 73^2 \\ &= 286.1 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Hasil Perhitungan amplitude stress yang didapat pada semua free span dapat dilihat pada table 16

Tabel 16 Hasil Perhitungan Amplitude Stress

No	Freespan Reference	Actual Length from Profiler	AIL (MPa)
	Freespan #6 KP49.026		
1		50.00	609.6493
	Freespan #9 KP50.096		
2		57.00	469.1054
	Freespan #10 KP50.731		
3		51.00	585.9759

	Freespan #12 KP50.881		
4		50.00	609.6493
	Freespan #13 KP51.036		
5		51.00	585.9759
	Freespan #27 KP75.636		
6		56.99	469.27
	Freespan #39 KP95.614		
7		59.00	437.8406
	Freespan #40 KP95.687		
8		50.00	609.6493
	Freespan #62 KP102.650		
9		73.00	286.0055
	Freespan #64 KP102.840		
10		65.94	350.5276
	Freespan #81 KP104.903		
11		53.00	542.5857
	Freespan #83 KP105.176		
12		63.01	383.885
	Freespan #97 KP116.689		
13		49.99	609.8932
	Freespan #98 KP119.898		
14		50.00	609.6493
	Freespan #100 KP123.060		
15		52.99	542.7905
	Freespan #106 KP126.059		
16		49.00	634.7869
	Freespan #110 KP127.027		
17		48.99	635.0461
	Freespan #115 KP128.363		
18		53.00	542.5857
	Freespan #120 KP129.961		
19		66.00	349.8906
	Freespan #121 KP130.085		
20		52.00	563.6551
	Freespan #123 KP131.860		
21		53.00	542.5857
	Freespan #124 KP131.914		
22		65.00	360.7392
	Freespan #128 KP139.334		

23		58.98	438.1376
	Freespan #169 KP193.645		
24		57.99	453.225
	Freespan #172 KP198.369		
25		54.00	522.676
	Freespan #177 KP213.573		
26		52.00	563.6551
	Freespan #179 KP214.758		
27		49.99	609.8932
	Freespan #180 KP215.194		
28		56.00	486.0087
	Freespan #181 KP233.978		
29		49.00	634.7869

4.8 Perhitungan Stress Range

Untuk mendapatkan stress range dari pipa didapatkan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Sil or Scf} = 2 \times \text{Ail (Ay/D) or (Az/D) x Safety Factor}$$

Dimana :

$$\text{Safety Factor} = 1.3 \text{ (SF DNV RP 105)}$$

$$\text{Ail} = \text{Amplitud Stress}$$

$$\text{Ay/D} = \text{Respon Amplitud Inline}$$

$$\text{Az/D} = \text{Respon Amplitud Crossflow}$$

Untuk Stress Range yang didapat pipa pada Freespan #62 KP102.650 pada kondisi inline sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Sil} &= 2 \times 286.1 (0.24) \times 1.3 \\ &= 178.978 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Hasil Perhitungan Stress Range yang didapat pada semua free span dapat dilihat pada table 17 untuk inline dan tabel 18 untuk crossflow

Tabel 17 Hasil Perhitungan Stress Range Inline

No	Freespan Reference	AIL (MPa)	Safety Factor	Ay/D	SIL (MPa)
	Freespan #6 KP49.026				
1		609.6493	1.30	0.09	142.658

	Freespan #9 KP50.096				
2		469.1054	1.30	0.13	158.558
	Freespan #10 KP50.731				
3		585.9759	1.30	0.1	152.354
	Freespan #12 KP50.881				
4		609.6493	1.30	0.091	144.243
	Freespan #13 KP51.036				
5		585.9759	1.30	0.095	144.736
	Freespan #27 KP75.636				
6		469.27	1.30	0.12	146.412
	Freespan #39 KP95.614				
7		437.8406	1.30	0.14	159.374
	Freespan #40 KP95.687				
8		609.6493	1.30	0.1	158.509
	Freespan #62 KP102.650				
9		286.0055	1.30	0.24	178.467
	Freespan #64 KP102.840				
10		350.5276	1.30	0.19	173.161
	Freespan #81 KP104.903				
11		542.5857	1.30	0.105	148.126
	Freespan #83 KP105.176				
12		383.885	1.30	0.17	169.677
	Freespan #97 KP116.689				
13		609.8932	1.30	0.094	149.058
	Freespan #98 KP119.898				
14		609.6493	1.30	0.098	155.339
	Freespan #100 KP123.060				
15		542.7905	1.30	0.112	158.061
	Freespan #106 KP126.059				
16		634.7869	1.30	0.09	148.54
	Freespan #110 KP127.027				

17		635.0460506	1.30	0.097	160.1586
	Freespan #115 KP128.363				
18		542.5857194	1.30	0.11	155.1795
	Freespan #120 KP129.961				
19		349.8905615	1.30	0.19	172.8459
	Freespan #121 KP130.085				
20		563.6550613	1.30	0.1	146.5503
	Freespan #123 KP131.860				
21		542.5857194	1.30	0.1159	163.5028
	Freespan #124 KP131.914				
22		360.7392393	1.30	0.19	178.2052
	Freespan #128 KP139.334				
23		438.1376373	1.30	0.15	170.8737
	Freespan #169 KP193.645				
24		453.2250242	1.30	0.14	164.9739
	Freespan #172 KP198.369				
25		522.6760239	1.30	0.12	163.0749
	Freespan #177 KP213.573				
26		563.6550613	1.30	0.105	153.8778
	Freespan #179 KP214.758				
27		609.8932472	1.30	0.095	150.6436
	Freespan #180 KP215.194				
28		486.0087008	1.30	0.13	164.2709
	Freespan #181 KP233.978				
29		634.7868746	1.30	0.09	148.5401

Tabel 18 Hasil Perhitungan Stress Range Crossflow

No	Freespan Reference	A (MPa)	Safety Factor	Az/D	Scf (MPa)
----	--------------------	---------	---------------	------	-----------

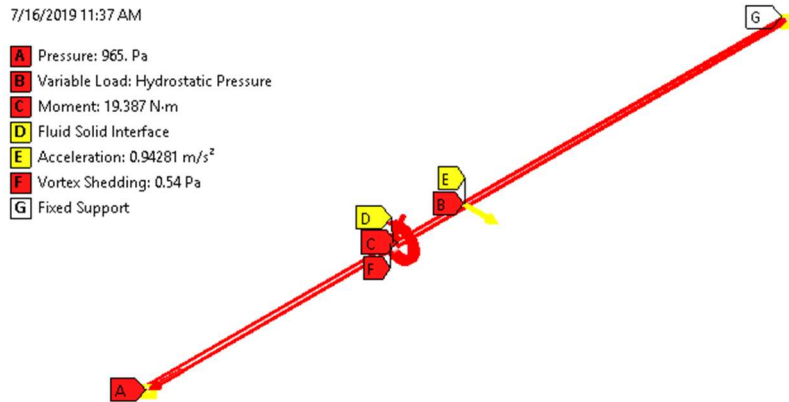
	Freespan #62 KP102.650				
1		286.01	1.3	0.26	193.34
	Freespan #64 KP102.840				
2		350.53	1.3	0.21	191.388
	Freespan #83 KP105.176				
3		383.88	1.3	0.2	199.62
	Freespan #120 KP129.961				
4		349.89	1.3	0.21	191.04
	Freespan #124 KP131.914				
5		360.74	1.3	0.203	190.398

4.9 Pemodelan dan Simulasi Stress Range

Untuk pemodelan stress range dilakukan pada free span dengan kriteria sebagai berikut :

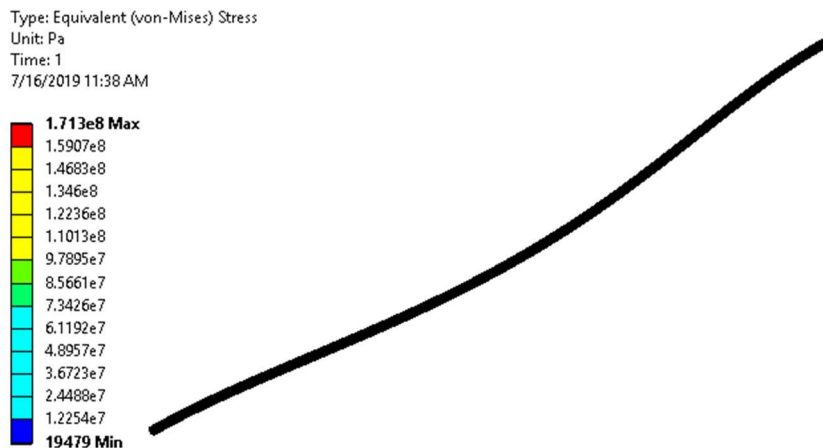
- a. Tidak Lulus Screening Geometri Freespan
- b. Tidak Lulus Screening Dinamik Freespan
- c. Free Span terpanjang dan gap terjauh

Maka dilakukan pada KP 102 dengan panjang free span 73 m dan gap free span 0.73 m. Hasil yang didapat dari permodelan ini yaitu total stress yang bekerja pada pipa akibat VIV. Dengan beberapa input pemodelan seperti gambar 21



Gambar 21 Pemodelan Tegangan

Hasil yang didapat yaitu untuk maksimal stress yang diterima oleh pipa yaitu sebesar 171.3 MPa. Berikut hasil pemodelan stress range terdapat pada gambar 22



Gambar 22 Hasil Pemodelan Stress

Kemudian untuk validasi antara simulasi dengan perhitungan DNV RP F105 mengenai Stress Range pada Freespan #64 KP102.650 dan juga validasi saat meshing pada simulasi ditunjukkan nilai error sebagai berikut pada tabel 19 Validasi Hitungan dan Meshing Stress Pipa.

Tabel 19 Validasi Hitungan dan Meshing Stress Pipa

Nilai Stress Hitungan DNV	Nilai Stress Simulasi	Selisih
178.467 MPa	171.3 MPa	1.04 %

Element Metric 1	Element Metric 2	Selisih
0.361	0.52	
6.15+E03	6.19+E03	1.0065 %

Dengan nilai error 1.04 % pada hitungan dan juga simulasi pada nilai error 1.0065 %, maka simulasi dan pemodelan free span telah divalidasi.

4.10 Analisis Siklus VIV pada Pipa

Parameter yang dijadikan dalam perhitungan siklus stress akibat VIV yaitu frekuensi vortex shedding yang terjadi pada pipa dan jumlah probabilitas terjadinya siklus stress akibat VIV. Untuk mendapatkan frekuensi vortex shedding didapat dengan hitungan sebagai berikut :

$$F_s = St (U_{tot}/D_{tot})$$

Dimana :

$$St = \text{Strouhal Number } (0.2 / (CD^{3/4}))$$

$$CD = 0.202 \text{ (CD sesuai DNV RP 105)}$$

$$U_{tot} = \text{Kecepatan Arus Total}$$

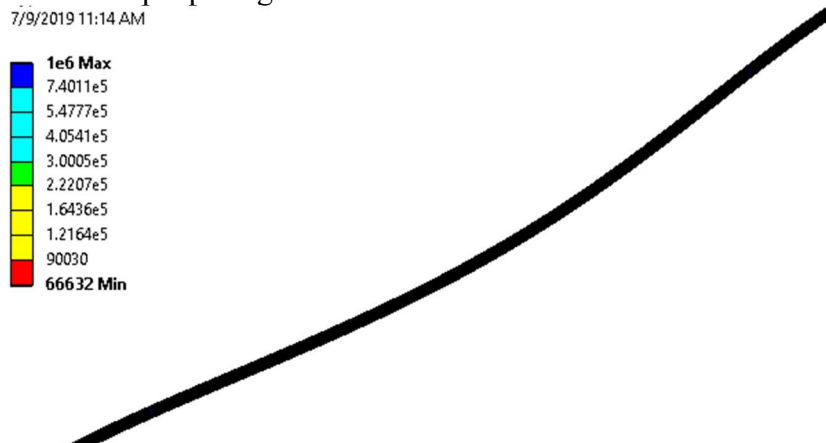
$$D_{tot} = \text{Diameter total pipa}$$

Berikut frekuensi vortex shedding yang didapat pipa pada Freespan #62 KP102.650 sebagai berikut :

$$F_s = 0.202 (0.977/0.7112)$$

$$= 0.28 \text{ Hz}$$

Sedangkan untuk mendapatkan probabilitas dari jumlah siklus pada stress yang terjadi akibat VIV didapat dengan cara pemodelan di ansys jumlah siklus didapat nilai minimum siklus sebesar 6.66E+04. Berikut hasil pemodelan probabilitas jumlah siklus stress yang terjadi akibat VIV pada pipa KP #64 terdapat pada gambar 23



Gambar 23 Pemodelan Siklus Tegangan VIV

4.11 Analisis Siklus Stress pada Pipa

Perhitungan nilai siklus kegagalan tegangan didapat berdasarkan DNV RP C 203 dengan perhitungan berikut :

$$N_i = A/S^m$$

Dimana :

$$A = 10^{16.32} \text{ (log a = 16.32, DNV C203)}$$

$$S = \text{Total Tegangan pada pipa}$$

$$m = \text{Eksponen SN Curve pada pipa (m=5, DNV C203)}$$

Berikut nilai siklus kegagalan tegangan yang didapat pipa pada Freespan #62 KP102.650 pada kondisi inline sebagai berikut :

$$N_i = (10^{16.32}) / 178.467^5$$

$$= 1.15E+05$$

Hasil nilai siklus kegagalan tegangan yang didapat pada semua free span dapat dilihat pada table 20 untuk inline dan 21 untuk crossflow

Tabel 20 Hasil Perhitungan Nilai Siklus Kegagalan Tegangan Inline

No	Freespan Reference	Actual Length from Profiler	SIL (MPa)	a	m	Ni
1	Freespan #6 KP49.026	50.00	142.658	2.09E+16	5.00	3.54E+05
2	Freespan #9 KP50.096	57.00	158.558	2.09E+16	5.00	2.08E+05
3	Freespan #10 KP50.731	51.00	152.354	2.09E+16	5.00	2.55E+05
4	Freespan #12 KP50.881	50.00	144.243	2.09E+16	5.00	3.35E+05
5	Freespan #13 KP51.036	51.00	144.736	2.09E+16	5.00	3.29E+05
6	Freespan #27 KP75.636	56.99	146.412	2.09E+16	5.00	3.11E+05
7	Freespan #39 KP95.614	59.00	159.374	2.09E+16	5.00	2.03E+05
8	Freespan #40 KP95.687	50.00	158.509	2.09E+16	5.00	2.09E+05

	Freespan #62 KP102.650					
9		73.00	178.467	2.09E+16	5.00	1.15E+05
	Freespan #64 KP102.840					
10		65.94	173.161	2.09E+16	5.00	1.34E+05
	Freespan #81 KP104.903					
11		53.00	148.126	2.09E+16	5.00	2.93E+05
	Freespan #83 KP105.176					
12		63.01	169.677	2.09E+16	5.00	1.49E+05
	Freespan #97 KP116.689					
13		49.99	149.058	2.09E+16	5.00	2.84E+05
	Freespan #98 KP119.898					
14		50.00	155.339	2.09E+16	5.00	2.31E+05
	Freespan #100 KP123.060					
15		52.99	158.061	2.09E+16	5.00	2.12E+05
	Freespan #106 KP126.059					
16		49.00	148.54	2.09E+16	5.00	2.89E+05
	Freespan #110 KP127.027					
17		48.99	160.1586	2.09E+16	5.00	1.98E+05
	Freespan #115 KP128.363					
18		53.00	155.1795	2.09E+16	5.00	2.32E+05
	Freespan #120 KP129.961					
19		66.00	172.8459	2.09E+16	5.00	1.35E+05
	Freespan #121 KP130.085					
20		52.00	146.5503	2.09E+16	5.00	3.09E+05
	Freespan #123 KP131.860					
21		53.00	163.5028	2.09E+16	5.00	1.79E+05
	Freespan #124 KP131.914					
22		65.00	178.2052	2.09E+16	5.00	1.16E+05
	Freespan #128 KP139.334					
23		58.98	170.8737	2.09E+16	5.00	1.43E+05

	Freespan #169 KP193.645					
24		57.99	164.9739	2.09E+16	5.00	1.71E+05
	Freespan #172 KP198.369					
25		54.00	163.0749	2.09E+16	5.00	1.81E+05
	Freespan #177 KP213.573					
26		52.00	153.8778	2.09E+16	5.00	2.42E+05
	Freespan #179 KP214.758					
27		49.99	150.6436	2.09E+16	5.00	2.69E+05
	Freespan #180 KP215.194					
28		56.00	164.2709	2.09E+16	5.00	1.75E+05
	Freespan #181 KP233.978					
29		49.00	148.5401	2.09E+16	5.00	2.89E+05

Tabel 21 Hasil Perhitungan Nilai Siklus Kegagalan Tegangan Crossflow

No	Freespan Reference	Actual Length from Profiler	SIL (MPa)	a	m	Ni
	Freespan #62 KP102.650					
1		73.00	193.34	2.09E+16	5.00	7.73E+04
	Freespan #64 KP102.840					
2		65.94	191.388	2.09E+16	5.00	8.14E+04
	Freespan #83 KP105.176					
3		63.01	199.62	2.09E+16	5.00	8.25E+04
	Freespan #120 KP129.961					
4		66.00	191.04	2.09E+16	5.00	8.21E+04
	Freespan #124 KP131.914					
5		65.00	190.398	2.09E+16	5.00	8.35E+04

4.12 Akumulasi Nilai Fatigue Damage

Untuk mendapatkan nilai fatigue damage dari pipa didapatkan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$D_{fat} = \sum n_i/N_i$$

Dimana :

Ni = Jumlah Siklus Tegangan pada pipa

ni = Jumlah Siklus VIV

Untuk Damage Fatigue yang didapat pipa pada Freespan #62 KP102.650 pada kondisi inline sebagai berikut :

Dfat = $4.95E+06/1.15E+05$

= 42.91

Hasil nilai fatigue damage yang didapat pada semua free span dapat dilihat pada table 22 untuk inline dan 23 untuk crossflow

Tabel 22 Hasil Perhitungan Nilai Fatigue Damage Inline

No	Freespan Reference	Actual Length from Profiler	SIL (MPa)	ni	Ni	Dfat
	Freespan #6 KP49.026					
1		50.00	142.66	3.96E+06	3.54E+05	11.20
	Freespan #9 KP50.096					
2		57.00	158.56	4.40E+06	2.08E+05	21.10
	Freespan #10 KP50.731					
3		51.00	152.35	4.23E+06	2.55E+05	16.61
	Freespan #12 KP50.881					
4		50.00	144.24	4.00E+06	3.35E+05	11.96
	Freespan #13 KP51.036					
5		51.00	144.74	4.02E+06	3.29E+05	12.21
	Freespan #27 KP75.636					
6		56.99	146.41	4.06E+06	3.11E+05	13.08
	Freespan #39 KP95.614					
7		59.00	159.37	4.42E+06	2.03E+05	21.77
	Freespan #40 KP95.687					
8		50.00	158.51	4.40E+06	2.09E+05	21.07
	Freespan #62 KP102.650					
9		73.00	178.47	4.95E+06	1.15E+05	42.91
	Freespan #64 KP102.840					

10		65.94	173.16	4.81E+06	1.34E+05	35.81
	Freespan #81 KP104.903					
11		53.00	148.13	4.11E+06	2.93E+05	14.03
	Freespan #83 KP105.176					
12		63.01	169.68	4.71E+06	1.49E+05	31.70
	Freespan #97 KP116.689					
13		49.99	149.06	4.14E+06	2.84E+05	14.57
	Freespan #98 KP119.898					
14		50.00	155.34	4.31E+06	2.31E+05	18.66
	Freespan #100 KP123.060					
15		52.99	158.06	4.39E+06	2.12E+05	20.71
	Freespan #106 KP126.059					
16		49.00	160.158614	4.44E+06	1.98E+05	22.42
	Freespan #110 KP127.027					
17		48.99	155.1795158	4.31E+06	2.32E+05	18.55
	Freespan #115 KP128.363					
18		53.00	172.8459374	4.80E+06	1.35E+05	35.42
	Freespan #120 KP129.961					
19		66.00	146.5503159	4.07E+06	3.09E+05	13.16
	Freespan #121 KP130.085					
20		52.00	163.5027807	4.54E+06	1.79E+05	25.37
	Freespan #123 KP131.860					
21		53.00	178.2051842	4.95E+06	1.16E+05	42.54
	Freespan #124 KP131.914					
22		65.00	170.8736785	4.74E+06	1.43E+05	33.06
	Freespan #128 KP139.334					
23		58.98	164.9739088	4.58E+06	1.71E+05	26.78
	Freespan #169 KP193.645					
24		57.99	163.0749195	4.53E+06	1.81E+05	24.98
	Freespan #172 KP198.369					

25		54.00	153.8778317	4.27E+06	2.42E+05	17.63
	Freespan #177 KP213.573					
26		52.00	150.6436321	4.18E+06	2.69E+05	15.52
	Freespan #179 KP214.758					
27		49.99	164.2709409	4.56E+06	1.75E+05	26.10
	Freespan #180 KP215.194					
28		56.00	148.5401286	4.12E+06	2.89E+05	14.27
	Freespan #181 KP233.978					
29		49.00	160.158614	4.44E+06	1.98E+05	22.42

Tabel 23 Hasil Perhitungan Nilai Fatigue Damage Crossflow

No	Freespan Reference	Actual Length from Profiler	SIL (MPa)	ni	Ni	Dfat
	Freespan #62 KP102.650					
1		73.00	193.339715	5.37E+06	7.73E+04	69.37
	Freespan #64 KP102.840					
2		65.94	191.3880667	5.31E+06	8.14E+04	65.27
	Freespan #83 KP105.176					
3		63.01	199.6201983	5.26E+06	8.25E+04	61.78
	Freespan #120 KP129.961					
4		66.00	191.0402466	5.30E+06	8.21E+04	64.57
	Freespan #124 KP131.914					
5		65.00	190.3981705	5.28E+06	8.35E+04	63.27

4.13 Perhitungan Fatigue Life

Untuk mendapatkan fatigue life dari pipa didapatkan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$T \text{ Life} = T \text{ exp} / Dfat \times \eta$$

Dimana :

T exp = adalah estimasi waktu life time design / waktu operasi pipa terkena load (27 Tahun :EJGP)

D fat = Damage accumulation

η = safety factor for fatigue

Untuk Fatigue Life pipa pada Freespan #62 KP102.650 pada kondisi inline sebagai berikut :

$$\begin{aligned} T \text{ Life} &= 27 / 21.07 \times 1 \\ &= 2.52 \text{ Tahun} \end{aligned}$$

Untuk Fatigue Life pipa pada Freespan #62 KP102.650 pada kondisi crossflow sebagai berikut :

$$\begin{aligned} T \text{ Life} &= 27 / 69.37 \times 1 \\ &= 1.56 \text{ Tahun} \end{aligned}$$

Hasil nilai fatigue life pada semua free span dapat dilihat pada table 24 untuk kondisi inline dan 25 untuk kondisi crossflow.

Tabel 24 Hasil Perhitungan Nilai Fatigue Life Inline

No	Freespan Reference	Actual Length from Profiler	Dfat	Texp	η	Tlife
	Freespan #6 KP49.026					
1		50.00	11.20	27.00	0.25	9.65
	Freespan #9 KP50.096					
2		57.00	21.10	27.00	0.25	5.12
	Freespan #10 KP50.731					
3		51.00	16.61	27.00	0.25	6.50
	Freespan #12 KP50.881					
4		50.00	11.96	27.00	0.25	9.03
	Freespan #13 KP51.036					
5		51.00	12.21	27.00	0.25	8.85
	Freespan #27 KP75.636					
6		56.99	13.08	27.00	0.25	8.25
	Freespan #39 KP95.614					
7		59.00	21.77	27.00	0.25	4.96
	Freespan #40 KP95.687					
8		50.00	21.07	27.00	0.25	5.13
	Freespan #62 KP102.650					
9		73.00	42.91	27.00	0.25	2.52
	Freespan #64 KP102.840					
10		65.94	35.81	27.00	0.25	3.02
	Freespan #81 KP104.903					
11		53.00	14.03	27.00	0.25	7.70
	Freespan #83 KP105.176					

12		63.01	31.70	27.00	0.25	3.41
	Freespan #97 KP116.689					
13		49.99	14.57	27.00	0.25	7.41
	Freespan #98 KP119.898					
14		50.00	18.66	27.00	0.25	5.79
	Freespan #100 KP123.060					
15		52.99	20.71	27.00	0.25	5.21
	Freespan #106 KP126.059					
16		49.00	14.27	27.00	0.25	7.57
	Freespan #110 KP127.027					
17		48.99	22.42	50.00	0.25	8.92
	Freespan #115 KP128.363					
18		53.00	18.55	27.00	0.25	5.82
	Freespan #120 KP129.961					
19		66.00	35.42	27.00	0.25	3.05
	Freespan #121 KP130.085					
20		52.00	13.16	27.00	0.25	8.21
	Freespan #123 KP131.860					
21		53.00	25.37	27.00	0.25	4.26
	Freespan #124 KP131.914					
22		65.00	42.54	27.00	0.25	2.54
	Freespan #128 KP139.334					
23		58.98	33.06	27.00	0.25	3.27
	Freespan #169 KP193.645					
24		57.99	26.78	27.00	0.25	4.03
	Freespan #172 KP198.369					
25		54.00	24.98	27.00	0.25	4.32
	Freespan #177 KP213.573					
26		52.00	17.63	27.00	0.25	6.13
	Freespan #179 KP214.758					
27		49.99	15.52	27.00	0.25	6.96
	Freespan #180 KP215.194					
28		56.00	26.10	27.00	0.25	4.14
	Freespan #181 KP233.978					
29		49.00	14.27	27.00	0.25	7.57

Tabel 25 Hasil Perhitungan Nilai Fatigue Life Inline

No	Freespan Reference	Actual Length from Profiler	Dfat	Texp	η	Tlife
	Freespan #62 KP102.650					
1		73.00	69.37	27.00	0.25	1.56
	Freespan #64 KP102.840					
2		65.94	65.27	27.00	0.25	1.65
	Freespan #83 KP105.176					
3		63.01	61.78	27.00	0.25	1.75
	Freespan #120 KP129.961					
4		66.00	64.57	27.00	0.25	1.67
	Freespan #124 KP131.914					
5		65.00	63.27	27.00	0.25	1.71

Berdasarkan hasil hitungan didapat umur kelelahan pipa pada kondisi crossflow lebih pendek dibanding umur kelelahan pipa pada kondisi inline.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari proses analisis yang telah dilakukan ialah sebagai berikut :

1. Panjang span yangizinkan pada pipa EJGP yang diizinkan ialah antara 24.1578 m – 53.639 m pada kondisi inline, sementara pada kondisi cross flow panjang span yang diizinkan yaitu antara 54.5101 m – 66.54 m. Berdasarkan hasil screening geometri yang dilakukan pada pipa EJGP KP 3 – KP 380 dari 181 titik free span, sebanyak 29 titik free span perlu dilakukan analisis fatigue dan 5 titik free span sangat krusial karena melebihi panjang span yang diizinkan pada kondisi inline maupun crossflow yaitu pada KP 102.650, KP102.840, KP105.176, KP129.961, KP131.914. Berdasarkan hasil tersebut perlu dilakukan koreksi atas panjang free span pada 29 titik tersebut terutama pada 5 titik krusial.
2. Akibat Vortex Induced Vibration yang terjadi pada pipa didapatkan damage fatigue ratio pada 29 titik pipa pada kondisi inline yaitu antara 11.20 – 42.91 dan 5 titik juga terjadi pada kondisi crossflow antara 61.78 – 69.37 kemudian sisa umur kelelahan pipa pada 29 titik pada kondisi inline yaitu antara 2.52 – 9.65 tahun dengan 5 titik pada kondisi crossflow antara 1.56 - 1.75 tahun. Berdasarkan hasil tersebut perlu ditambahkan suppression device dan koreksi panjang free span untuk mengurangi dampak dari vortex induced vibration pada pipa untuk memperpanjang umur pipa.

5.2 Saran

Dalam analisis ini tentunya ada beberapa kekurangan, sehingga ada beberapa saran untuk penelitian ini dilanjutkan. Beberapa saran yang dari proses analisis yang telah dilakukan ialah sebagai berikut :

1. Pemodelan free span pada pipa dengan kondisi lingkungan yang aktual berdasarkan hasil survey terkhususnya pada kondisi tanah, gelombang, serta data kejadian vortex shedding

2. Melakukan analisis pada suppression device dari VIV sehingga dapat meminimalisis VIV yang terjadi
3. Melakukan analisis koreksi pada panjang free span yang telah dianalisis dan mengalami kegagalan pada analisis fatigue dengan rektifikasi pada free span
4. Pemodelan simulasi lebih detail terkait lingkungan yang ada disekitar pipa dan dilakukan pada setiap free span.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Anang. 2016. *Analisa Suppression Device Sebagai Peredam Vortex Induced Vibration (VIV) Pada Free Span Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Tugas Akhir. Departemen Teknik Sistem Perkapalan-FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Adhitya P, F. 2018. *Analisis Umur Kelelahan Akibat Free Span yang Terjadi pada Export Pipeline saat Kondisi Operasi*. Tugas Akhir. Departemen Teknik Kelautan-FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Bai, Yong. 2001. *Pipeline and Risers*. Elsevier Ocean Engineering book Series. USA
- Basir, I.A.M. 2015. *Analisis Tegangan dan Kelelahan Akibat Pengaruh Vortex Induced Vibration yang Terjadi pada Lokasi Crossing Pipelines “Studi Kasus : Kilo Field Milik Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java”*. Tugas Akhir. Departemen Teknik Kelautan-FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- DNV RP-F105 2002. *Free Spanning Pipelines*. Norway.
- Det Norske Veritas. 2002 DNV-RP-C203. *Fatigue Design Of Offshore Steel Structure*. Norway.
- Fossati, F., and Fichera, G. 2005. *Sea Current Vortex Shedding Induced Vibration of Nemo Tower*. University of Catania
- Guo, B. dan J. Chacko. 2005. *Offshore Pipelines*. Elsevier Inc. USA.

Koushan, Kamran. 2009. *Vortex Induced Vibration of Free Span Pipelines*. Norwegian University of Science and Technology. Norwegia.

Pertamina Gas. 2007. *Final Report Rectification 28" EJGP*. Surabaya

Pertamina Gas. 2017. *Final Report ROV Survey EJGP*. Surabaya

P. Albert, Alexander. 2011. *Pipeline to Market*. Houston, Texas, USA.

Soegiono. 2007. *Pipa Bawah Laut*. Surabaya: Airlangga University Press

LAMPIRAN

- A. Screening Geometri Pipa**
- B. Perhitungan Natural Frekuensi Pipa**
- C. Perhitungan Velocity Reduced Pipa**
- D. Perhitungan Panjang Efektif Freespan Inline**
- E. Perhitungan Panjang Efektif Freespan Crossflow**
- F. Screening Dinamik Pipa Inline**
- G. Screening Dinamik Pipa Crossflow**
- H. Perhitungan Amplitude Stress Pipa**
- I. Perhitungan Stress Pipa Inline**
- J. Perhitungan Stress Pipa Crossflow**
- K. Perhitungan Siklus Stress dan VIV Pipa Inline**
- L. Perhitungan Siklus Stress dan VIV Pipa Crossflow**
- M. Perhitungan Fatigue Pipa Inline**
- N. Perhitungan Fatigue Pipa Crossflow**
- O. CFD Fluid Flow Report**
- P. Structure Simulation Report**

A. SCREENING GEOMETRI PIPA

Freespa n No.	Center KP	KP		Actual Length from Profiler	Max Span Height (m)	Diamater of Pipe	L/D	SCREENING LEVEL 1	SCREENING LEVEL 2
		Start	End						
1	3.638	3.789	3.748						
		3.662	3.680	18.00	0.55	0.7112	25	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		3.680	3.703	23.00	0.48	0.7112	32	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		3.703	3.730	27.00	0.31	0.7112	38	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		3.730	3.745	14.99	0.05	0.7112	21	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		3.745	3.765	20.00	0.04	0.7112	28	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
2	47.657	3.765	3.780	15.00	0.13	0.7112	21	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		47.707	47.742						
		47.704	47.742	38.00	0.44	0.7112	53	SCREENING LEVEL	LULUS SCREENING LEVEL 2
3	48.588	47.757	47.783	26.00	0.32	0.7112	37	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		48.559	48.612						
		48.583	48.615	32.00	0.32	0.7112	45	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
4	48.773	48.617	48.636	19.00	0.33	0.7112	27	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		48.728	48.809						
		48.718	48.749	31.00	0.56	0.7112	44	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
5	48.849	48.752	48.780	28.00	0.58	0.7112	39	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		48.781	48.809	28.00	0.48	0.7112	39	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		48.817	48.874						
		48.812	48.835	23.00	0.26	0.7112	32	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
6	49.026	48.836	48.875	39.00	0.41	0.7112	55	SCREENING LEVEL	LULUS SCREENING LEVEL 2
		48.988	49.073						
		48.987	49.037	50.00	0.58	0.7112	70	SCREENING LEVEL	SCREENING LEVEL 3
7	49.137	49.040	49.074	34.00	0.35	0.7112	48	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		49.075	49.101	26.00	0.89	0.7112	37	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		49.108	49.185						
		49.106	49.140	34.00	0.27	0.7112	48	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
8	49.647	49.153	49.187	34.00	0.38	0.7112	48	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		49.612	49.700						
		49.611	49.638	27.00	0.26	0.7112	38	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		49.640	49.667	27.00	0.19	0.7112	38	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		49.667	49.703	36.00	0.43	0.7112	51	SCREENING LEVEL	LULUS SCREENING LEVEL 2

Freespan No.	Center KP	KP		Actual Length	Diameter of Pipe	L/D	Freespan more than MAS (Yes / No)	Freespan more than MAS (Yes / No)
		Start	End					
9	50.096	50.047	50.058					
		50.028	50.059	31.00	0.7112	44	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		50.059	50.116	57.00	0.7112	80	SCREENING LEVEL 2	SCREENING LEVEL 3
10	50.731	50.700	50.790					LULUS SCREENING LEVEL 2
		50.697	50.748	51.00	0.7112	72	SCREENING LEVEL 2	SCREENING LEVEL 3
		50.750	50.794	44.00	0.7112	62	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
11	50.810	50.800	50.844					LULUS SCREENING LEVEL 2
		50.798	50.846	48.00	0.7112	67	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
12	50.881	50.858	50.904					LULUS SCREENING LEVEL 2
		50.857	50.907	50.00	0.7112	70	SCREENING LEVEL 2	SCREENING LEVEL 3
		50.907	50.953	46.00	0.7112	65	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
13	51.036	51.019	51.064					LULUS SCREENING LEVEL 2
		51.020	51.067	47.00	0.7112	66	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		51.067	51.118	51.00	0.7112	72	SCREENING LEVEL 2	SCREENING LEVEL 3
14	51.139	51.123	51.179					LULUS SCREENING LEVEL 2
		51.121	51.150	29.00	0.7112	41	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		51.150	51.181	31.00	0.7112	44	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
15	51.445	51.419	51.479					LULUS SCREENING LEVEL 2
		51.389	51.415	26.00	0.7112	37	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		51.416	51.441	25.00	0.7112	35	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		51.441	51.482	41.00	0.7112	58	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
16	52.960	52.952	52.977					LULUS SCREENING LEVEL 2
		52.952	52.979	27.00	0.7112	38	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		52.980	53.015	35.00	0.7112	49	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
17	54.886	54.860	54.926					LULUS SCREENING LEVEL 2
		54.847	54.890	43.00	0.7112	60	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		54.893	54.909	16.00	0.7112	22	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		54.909	54.928	19.00	0.7112	27	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
18	55.688	55.660	55.703					LULUS SCREENING LEVEL 2
		55.657	55.703	46.00	0.7112	65	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		55.721	55.741	20.00	0.7112	28	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2

List Of Free Span Coordinates No. 19-27

Freespan No.	Center KP	KP		Actual Length from Profiler	Max Span Height (m)	Diameter of Pipe	L/D	Freespan more than MAS (Yes / No)	Freespan more than MAS (Yes / No)
		Start	End						
19	55.856	55.820	55.906						
		55.816	55.835	19.00	0.37	0.7112	27	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		55.850	55.885	35.00	0.37	0.7112	49	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
20	58.096	55.886	55.901	15.00	0.29	0.7112	21	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		58.088	58.121						LULUS SCREENING LEVEL 2
		58.081	58.122	41.00	0.89	0.7112	58	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
21	61.725	61.715	61.748						LULUS SCREENING LEVEL 2
		61.712	61.748	36.00	0.17	0.7112	51	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		66.548	66.592						LULUS SCREENING LEVEL 2
22	66.548	66.488	66.514	30.00	0.22	0.7112	42	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		66.484	66.514	30.00	0.22	0.7112	42	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		66.515	66.557	42.00	0.32	0.7112	59	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		66.573	66.604	31.00	0.18	0.7112	44	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
23	68.308	68.263	68.332						LULUS SCREENING LEVEL 2
		68.258	68.288	30.00	0.48	0.7112	42	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		68.289	68.334	45.00	0.59	0.7112	63	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
24	68.959	68.909	68.999						LULUS SCREENING LEVEL 2
		68.905	68.957	52.00	0.61	0.7112	73	SCREENING LEVEL 2	SCREENING LEVEL 3
		68.957	69.000	43.00	0.45	0.7112	60	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
25	71.170	71.133	71.210						LULUS SCREENING LEVEL 2
		71.131	71.169	38.00	0.23	0.7112	53	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		71.171	71.212	40.99	0.37	0.7112	58	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
26	75.217	75.187	75.321						LULUS SCREENING LEVEL 2
		75.187	75.231	44.00	0.42	0.7112	62	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		75.231	75.273	42.00	0.13	0.7112	59	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
27	75.636	75.573	75.704						LULUS SCREENING LEVEL 2
		75.590	75.618	28.00	0.84	0.7112	39	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		75.618	75.675	56.99	0.62	0.7112	80	SCREENING LEVEL 2	SCREENING LEVEL 3
		75.676	75.708	32.00	0.61	0.7112	45	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2

List Of Free Span Coordinates No. 28-36

Freespan No.	Center KP	KP		Actual Length from Profiler	Max Span Height (m)	Diameter of Pipe	L/D	Freespan more than MAS (Yes / No)	Freespan more than MAS (Yes / No)
		Start	End						
28	90.321	90.306	90.338						
		90.309	90.337	28.00	0.69	0.7112	39	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
29	92.041	90.347	90.374	27.00	0.43	0.7112	38	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		92.023	92.071			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		92.022	92.051	29.00	0.57	0.7112	41	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
30	92.242	92.051	92.072	21.00	0.40	0.7112	30	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		92.236	92.268			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		92.236	92.275	38.98	0.54	0.7112	55	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
31	92.423	92.387	92.456			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		92.409	92.432	23.00	0.68	0.7112	32	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		92.434	92.459	25.00	0.70	0.7112	35	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
32	92.758	92.750	92.776			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		92.695	92.738	43.00	0.90	0.7112	60	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		92.744	92.783	39.00	0.65	0.7112	55	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
33	93.339	93.324	93.372			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		93.322	93.347	24.99	0.41	0.7112	35	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		93.347	93.374	27.00	0.61	0.7112	38	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
34	93.792	93.779	93.824			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		93.776	93.825	48.97	1.17	0.7112	69	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		93.837	93.857	19.99	0.22	0.7112	28	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
35	94.211	94.177	94.243			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		94.176	94.201	24.99	0.35	0.7112	35	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		94.202	94.243	41.00	0.45	0.7112	58	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
36	94.314	94.260	94.366			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		94.243	94.270	27.00	0.61	0.7112	38	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		94.272	94.292	20.00	0.48	0.7112	28	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		94.292	94.312	20.00	0.43	0.7112	28	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		94.316	94.337	21.00	0.46	0.7112	30	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		94.345	94.375	30.00	0.33	0.7112	42	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2

List Of Free Span Coordinates No. 37-46

Freespan No.	Center KP	KP		Actual Length from Profiler	Max Span Height (m)	Diameter of Pipe	L/D	Freespan more than MAS (Yes / No)	Freespan more than MAS (Yes / No)
		Start	End						
37-38	94.393	94.371	94.462						
	94.453	94.378	94.407	29.00	0.31	0.7112	41	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		94.410	94.433	23.00	1.14	0.7112	32	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		94.435	94.463	28.00	1.34	0.7112	39	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
39	95.614	94.469	94.492	23.00	0.47	0.7112	32	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		95.591	95.644			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		95.590	95.649	59.00	0.40	0.7112	83	SCREENING LEVEL 2	SCREENING LEVEL 3
40	95.687	95.685	95.757			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		95.669	95.707	37.99	0.45	0.7112	53	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		95.707	95.757	50.00	0.36	0.7112	70	SCREENING LEVEL 2	SCREENING LEVEL 3
41	95.898	95.856	95.953			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		95.854	95.901	47.01	0.74	0.7112	66	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		95.901	95.922	21.00	0.18	0.7112	30	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		95.922	95.955	33.00	0.54	0.7112	46	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
42	97.783	Not surveyed				0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
43	99.510	99.501	99.529			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		99.499	99.530	31.00	0.78	0.7112	44	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
44	99.895	99.859	99.909			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		99.858	99.885	26.99	0.32	0.7112	38	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		99.886	99.911	25.00	0.34	0.7112	35	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		99.927	99.947	20.00	0.25	0.7112	28	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
45	100.304	100.255	100.361			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		100.243	100.274	31.00	0.22	0.7112	44	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		100.276	100.323	47.01	0.22	0.7112	66	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		100.323	100.364	41.00	0.41	0.7112	58	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
46	100.644	100.616	100.673			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		100.588	100.623	35.01	0.23	0.7112	49	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		100.623	100.654	30.99	0.41	0.7112	44	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		100.654	100.675	20.99	0.12	0.7112	30	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2

List Of Free Span Coordinates No. 47-53

Freespan No.	Center KP	KP		Actual Length from Profiler	Max Span Height (m)	Diameter of Pipe	L/D	Freespan more than MAS (Yes / No)	Freespan more than MAS (Yes / No)
		Start	End						
47	100.811	100.707	100.902						
		100.771	100.798	27.00	0.86	0.7112	38	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		100.800	100.825	25.00	0.43	0.7112	35	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		100.833	100.861	28.00	0.65	0.7112	39	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
48	101.06	101.059	101.100			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		101.012	101.042	30.00	1.09	0.7112	42	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		101.048	101.069	21.00	0.27	0.7112	30	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		101.069	101.101	32.00	0.45	0.7112	45	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		101.102	101.138	36.00	0.84	0.7112	51	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
49	101.241	101.199	101.256			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		101.199	101.227	20.01	0.64	0.7112	28	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		101.227	101.257	13.00	0.86	0.7112	18	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		101.258	101.284		0.44	0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
50	101.356	101.266	101.424			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		101.286	101.313	27.00	0.98	0.7112	38	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		101.313	101.349	35.99	0.80	0.7112	51	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		101.349	101.366	17.00	0.08	0.7112	24	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		101.366	101.407	40.99	0.51	0.7112	58	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		101.408	101.429	21.00	0.42	0.7112	30	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
51	101.489	101.436	101.524			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		101.432	101.463	31.00	0.46	0.7112	44	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		101.463	101.491	28.00	0.66	0.7112	39	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		101.491	101.524	33.00	0.62	0.7112	46	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
52	101.578	101.531	101.633			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		101.527	101.565	37.99	0.60	0.7112	53	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		101.565	101.595	30.01	0.66	0.7112	42	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		101.598	101.634	36.00	0.74	0.7112	51	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
53	101.687	101.641	101.730			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		101.634	101.664	29.99	0.50	0.7112	42	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		101.665	101.695	30.00	0.77	0.7112	42	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		101.695	101.711	16.00	0.41	0.7112	22	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		101.711	101.732	21.00	0.72	0.7112	30	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2

List Of Free Span Coordinates No. 54-60

Freespan No.	Center KP	KP		Actual Length from Profiler	Max Span Height (m)	Diameter of Pipe	L/D	Freespan more than MAS (Yes / No)	Freespan more than MAS (Yes / No)
		Start	End						
54	101.774	101.800	101.843						
		101.733	101.756	23.00	0.49	0.7112	32	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		101.757	101.803	45.99	0.86	0.7112	65	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
55	101.864	101.826	101.914			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		101.803	101.843	40.00	0.70	0.7112	56	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		101.844	101.886	41.99	1.05	0.7112	59	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		101.886	101.920	33.99	0.41	0.7112	48	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
56	101.969	101.925	102.016			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		101.921	101.954	32.99	1.29	0.7112	46	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		101.954	101.994	40.01	0.59	0.7112	56	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		101.995	102.022	27.00	1.00	0.7112	38	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
57	102.04	102.020	102.052			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		102.022	102.053	31.00	0.70	0.7112	44	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
58	102.142	102.057	102.220			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		102.053	102.083	30.00	0.38	0.7112	42	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		102.086	102.116	29.99	0.67	0.7112	42	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		102.117	102.152	34.99	1.36	0.7112	49	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		102.153	102.188	35.00	1.00	0.7112	49	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		102.189	102.222	33.00	0.63	0.7112	46	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
59	102.257	102.226	102.321			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		102.225	102.254	28.98	1.64	0.7112	41	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		102.254	102.289	34.99	1.25	0.7112	49	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
60	102.323	102.294	104.321			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		102.292	102.324	32.00	1.06	0.7112	45	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		102.324	102.357	33.00	0.55	0.7112	46	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2

List Of Free Span Coordinates No. 61-68

Freespan No.	Center KP	KP		Actual Length from Profiler	Max Span Height (m)	Diameter of Pipe	L/D	Freespan more than MAS (Yes / No)	Freespan more than MAS (Yes / No)
		Start	End						
61	102.411	102.361	102.457						
		102.359	102.390	31.00	0.85	0.7112	44	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		102.392	102.424	32.00	0.90	0.7112	45	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		102.425	102.456	31.00	0.84	0.7112	44	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		102.461	102.483	22.00	1.31	0.7112	31	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		102.485	102.510	25.00	0.40	0.7112	35	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		102.512	102.551	38.99	1.10	0.7112	55	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		102.551	102.577	26.00	0.28	0.7112	37	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
62	102.65	102.580	102.679			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		102.583	102.609	26.00	1.11	0.7112	37	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		102.609	102.682	73.00	0.73	0.7112	103	SCREENING LEVEL 2	SCREENING LEVEL 3
		102.682	102.720	38.01	0.87	0.7112	53	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
63	102.741	102.684	102.740			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		102.720	102.742	22.00	0.68	0.7112	31	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		102.744	102.767	23.00	0.72	0.7112	32	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		102.768	102.792	24.00	1.22	0.7112	34	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
64	102.84	102.799	102.882			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		102.794	102.860	65.94	1.36	0.7112	93	SCREENING LEVEL 2	SCREENING LEVEL 3
		102.860	102.884	24.00	0.49	0.7112	34	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
65	102.949	102.913	102.965			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		102.885	102.912	27.00	0.74	0.7112	38	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		102.912	102.936	24.00	0.69	0.7112	34	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		102.938	102.967	29.00	0.73	0.7112	41	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		103.011	103.076			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
66	103.059	103.035	103.073	38.00	0.94	0.7112	53	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		103.081	103.131	49.99	0.92	0.7112	70	SCREENING LEVEL 2	SCREENING LEVEL 3
		103.094	103.186			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
67	103.153	103.131	103.161	29.97	1.09	0.7112	42	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		103.164	103.186	22.00	0.90	0.7112	31	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		103.208	103.324			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
68	103.263	103.230	103.275	45.00	1.81	0.7112	63	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		103.287	103.326	39.00	0.55	0.7112	55	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2

List Of Free Span Coordinates No. 76-84

Freespan No.	Center KP	KP		Actual Length from Profiler	Max Span Height (m)	Diameter of Pipe	L/D	Freespan more than MAS (Yes / No)	Freespan more than MAS (Yes / No)
		Start	End						
76	.104.495	104.452	104.554						
		104.426	104.467	41.00	0.69	0.7112	58	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		104.471	104.492	21.00	0.85	0.7112	30	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		104.492	104.523	31.00	0.83	0.7112	44	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
77	.104.582	104.523	104.555	32.00	0.88	0.7112	45	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		104.560	104.620			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		104.558	104.591	33.00	0.96	0.7112	46	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		104.591	104.620	29.00	0.29	0.7112	41	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
78	.104.670	104.626	104.708			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		104.620	104.653	33.00	0.36	0.7112	46	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		104.653	104.687	34.00	0.61	0.7112	48	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		104.687	104.710	23.00	0.36	0.7112	32	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
79	.104.747	104.714	104.788			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		104.712	104.754	42.01	0.47	0.7112	59	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		104.754	104.789	35.00	0.51	0.7112	49	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
80	.104.835	104.792	104.878			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		104.789	104.828	39.00	0.76	0.7112	55	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		104.828	104.856	28.00	0.40	0.7112	39	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		104.858	104.879	21.00	0.42	0.7112	30	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
81-82	KP.104.903	104.901	105.040			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		104.884	104.937	53.00	0.74	0.7112	75	SCREENING LEVEL 2	SCREENING LEVEL 3
		104.939	104.979	40.00	0.79	0.7112	56	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		104.980	105.012	32.00	0.69	0.7112	45	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
83	105.176	105.012	105.043	31.00	1.25	0.7112	44	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		105.152	105.213			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		105.120	105.149	29.00	0.98	0.7112	41	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
84	105.292	105.152	105.215	63.01	0.77	0.7112	89	SCREENING LEVEL 2	SCREENING LEVEL 3
		105.257	105.319			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		105.248	105.279	31.00	0.97	0.7112	44	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		105.280	105.321	40.99	0.54	0.7112	58	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2

List Of Free Span Coordinates No. 85-93

Freespan No.	Center KP	KP		Actual Length from Profiler	Max Span Height (m)	Diameter of Pipe	L/D	Freespan more than MAS (Yes / No)	Freespan more than MAS (Yes / No)
		Start	End						
85-86	105.41	105.371	105.533						
		105.330	105.366	35.99	0.69	0.7112	51	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		105.368	105.399	31.00	1.19	0.7112	44	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		105.402	105.443	41.00	2.19	0.7112	58	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		105.445	105.473	28.00	0.45	0.7112	39	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		105.475	105.500	25.00	0.47	0.7112	35	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
87-88	KP105.618	105.500	105.539	39.01	0.41	0.7112	55	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		105.577	105.630			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		105.575	105.612	37.00	1.04	0.7112	52	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		105.613	105.631	18.00	0.08	0.7112	25	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		105.632	105.676	44.00	0.67	0.7112	62	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		105.681	105.716	35.00	0.41	0.7112	49	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
89	105.828	105.716	105.749	32.99	0.55	0.7112	46	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		105.750	105.775	24.99	0.32	0.7112	35	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		105.813	105.887			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		105.779	105.805	26.00	0.67	0.7112	37	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		105.814	105.843	28.99	0.54	0.7112	41	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		106.261	106.338			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
90	106.28	106.239	106.260	21.00	0.58	0.7112	30	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		106.260	106.289	29.00	0.27	0.7112	41	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		106.291	106.340	48.96	0.64	0.7112	69	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		106.341	106.365	24.00	0.37	0.7112	34	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		106.606	106.674			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		106.606	106.646	40.00	0.54	0.7112	56	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
91	106.635	106.647	106.676	29.01	0.71	0.7112	41	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		113.938	114.024			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		113.925	113.955	30.00	0.80	0.7112	42	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		113.955	113.980	25.01	0.47	0.7112	35	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		113.980	114.025	45.00	0.63	0.7112	63	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		115.460	115.528			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
93	115.491	115.456	115.497	41.01	0.54	0.7112	58	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		115.501	115.529	28.01	0.58	0.7112	39	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2

List Of Free Span Coordinates No. 94-103

Freespan No.	Center KP	KP		Actual Length from Profiler	Max Span Height (m)	Diameter of Pipe	L/D	Freespan more than MAS (Yes / No)	Freespan more than MAS (Yes / No)
		Start	End						
94	KP.115.648	115.594	115.691						
		115.592	115.620	28.01	0.20	0.7112	39	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		115.621	115.660	39.00	0.78	0.7112	55	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		115.666	115.695	29.00	0.36	0.7112	41	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
95	KP116.280	115.699	115.727	28.00	0.13	0.7112	39	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		116.257	116.298			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		116.253	116.297	44.00	0.34	0.7112	62	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
96	KP.116.547	116.519	116.568			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		116.510	116.541	31.00	0.87	0.7112	44	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		116.541	116.570	29.00	0.66	0.7112	41	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
97	KP.116.689	116.657	116.739			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		116.654	116.704	49.99	0.68	0.7112	70	SCREENING LEVEL 2	SCREENING LEVEL 3
		116.708	116.744	36.00	0.62	0.7112	51	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
98	KP.119.898	119.880	119.927			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		119.878	119.928	50.00	1.13	0.7112	70	SCREENING LEVEL 2	SCREENING LEVEL 3
99	KP.122.073	122.053	122.098			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		122.051	122.097	46.00	1.11	0.7112	65	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		122.098	122.112	14.00	0.38	0.7112	20	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		122.112	122.133	21.00	0.52	0.7112	30	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
100	KP.123.060	123.039	123.088			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		123.038	123.091	52.99	0.85	0.7112	75	SCREENING LEVEL 2	SCREENING LEVEL 3
101	KP.124.374	124.337	124.417			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		124.336	124.360	24.00	0.68	0.7112	34	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		124.361	124.389	27.99	0.68	0.7112	39	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		124.390	124.419	29.00	1.32	0.7112	41	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
102	KP.124.446	124.419	124.485			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		124.419	124.451	32.00	0.70	0.7112	45	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		124.451	124.485	33.96	0.97	0.7112	48	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
103	KP.124.778	124.748	124.816			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		124.729	124.761	31.99	1.22	0.7112	45	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		124.762	124.791	29.00	0.92	0.7112	41	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		124.791	124.817	26.00	0.64	0.7112	37	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2

List Of Free Span Coordinates No. 104-110

Freespan No.	Center KP	KP		Actual Length from Profiler	Max Span Height (m)	Diameter of Pipe	L/D	Freespan more than MAS (Yes / No)	Freespan more than MAS (Yes / No)
		Start	End						
104	KP.125.636	125.615	125.663						
		125.615	125.645	30.00	0.93	0.7112	42	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		125.645	125.664	19.00	0.35	0.7112	27	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
105	KP.125.899	125.865	125.952			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		125.810	125.833	22.99	0.35	0.7112	32	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		125.833	125.865	32.00	0.62	0.7112	45	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		125.866	125.891	25.00	0.55	0.7112	35	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		125.891	125.909	18.00	0.41	0.7112	25	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		125.909	125.927	17.99	0.62	0.7112	25	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		125.929	125.957	28.00	0.58	0.7112	39	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
106	KP.126.059	126.026	126.107			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		125.987	126.036	49.00	0.88	0.7112	69	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		126.036	126.073	37.00	0.87	0.7112	52	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		126.073	126.108	35.01	0.81	0.7112	49	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
107	KP.126.602	126.578	126.629			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		126.551	126.575	24.00	0.88	0.7112	34	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		126.575	126.600	25.00	0.42	0.7112	35	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		126.600	126.632	32.00	0.42	0.7112	45	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		126.632	126.656	24.00	0.50	0.7112	34	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
108	KP.126.768	126.744	126.799			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		126.743	126.767	24.00	0.33	0.7112	34	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		126.767	126.793	25.99	0.37	0.7112	37	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		126.793	126.820	27.00	0.56	0.7112	38	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
109	KP.126.896	126.846	126.906			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		126.849	126.882	33.00	0.57	0.7112	46	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		126.883	126.915	32.00	1.60	0.7112	45	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		126.915	126.957	42.01	0.82	0.7112	59	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
110	KP.127.027	126.962	127.067			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		126.958	127.007	48.99	0.43	0.7112	69	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		127.007	127.033	26.00	0.43	0.7112	37	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		127.034	127.072	38.00	0.79	0.7112	53	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		127.072	127.099	27.00	0.39	0.7112	38	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2

List Of Free Span Coordinates No. 111-116

Freespan No.	Center KP	KP		Actual Length from Profiler	Max Span Height (m)	Diameter of Pipe	L/D	Freespan more than MAS (Yes / No)	Freespan more than MAS (Yes / No)
		Start	End						
111	KP.127.658	127.635	127.683						
		127.612	127.636	24.00	0.73	0.7112	34	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		127.636	127.658	22.00	0.20	0.7112	31	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		127.658	127.680	22.00	0.51	0.7112	31	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
112	KP.127.832	127.680	127.709	29.00	0.61	0.7112	41	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		127.793	127.860			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		127.788	127.808	20.00	0.32	0.7112	28	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		127.810	127.826	15.99	0.44	0.7112	22	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		127.826	127.860	34.00	0.67	0.7112	48	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
113	KP.128.000	127.861	127.887	26.00	0.72	0.7112	37	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		127.969	128.036			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		127.948	127.987	39.00	0.99	0.7112	55	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		127.987	128.005	18.00	0.24	0.7112	25	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
114	KP.128.198	128.005	128.036	30.99	0.63	0.7112	44	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		128.154	128.260			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		128.141	128.179	38.01	0.68	0.7112	53	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		128.180	128.221	41.00	0.82	0.7112	58	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		128.222	128.261	39.00	1.92	0.7112	55	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
115	KP.128.363	128.261	128.287	26.00	0.69	0.7112	37	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		128.325	128.397			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		128.324	128.345	21.00	0.42	0.7112	30	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		128.346	128.399	53.00	2.62	0.7112	75	SCREENING LEVEL 2	SCREENING LEVEL 3
116	KP.128.498	128.399	128.428	29.00	0.44	0.7112	41	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		128.459	128.544			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		128.458	128.483	25.00	0.55	0.7112	35	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		128.483	128.517	34.00	1.70	0.7112	48	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		128.517	128.545	28.00	0.97	0.7112	39	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		128.545	128.567	22.00	0.52	0.7112	31	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2

List Of Free Span Coordinates No. 117-122

Freespan No.	Center KP	KP		Actual Length from Profiler	Max Span Height (m)	Diameter of Pipe	L/D	Freespan more than MAS (Yes / No)	Freespan more than MAS (Yes / No)
		Start	End						
117	KP.128.641	128.607	128.695						
		128.568	128.610	42.00	0.69	0.7112	59	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		128.610	128.640	29.99	0.40	0.7112	42	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		128.640	128.675	35.00	0.98	0.7112	49	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		128.675	128.701	26.00	0.66	0.7112	37	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
118	KP.129.485	129.455	129.522			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		129.423	129.457	34.00	1.28	0.7112	48	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		129.457	129.490	33.00	0.81	0.7112	46	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		129.491	129.524	33.00	1.04	0.7112	46	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
119	KP.129.656	129.610	129.961			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		129.610	129.634	24.00	0.82	0.7112	34	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		129.635	129.656	21.00	0.56	0.7112	30	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		129.656	129.692	36.01	1.44	0.7112	51	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		129.692	129.728	35.99	0.88	0.7112	51	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
120	KP.129.961	129.933	130.011			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		129.930	129.947	17.00	0.66	0.7112	24	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		129.947	130.013	66.00	1.22	0.7112	93	SCREENING LEVEL 2	SCREENING LEVEL 3
121	KP.130.085	130.063	130.119			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		130.033	130.085	52.00	0.49	0.7112	73	SCREENING LEVEL 2	SCREENING LEVEL 3
		130.085	130.121	36.00	0.59	0.7112	51	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		130.121	130.147	26.01	0.65	0.7112	37	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
122	KP.131.359	131.328	131.418			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		131.256	131.278	22.00	0.52	0.7112	31	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		131.278	131.313	35.00	0.33	0.7112	49	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		131.315	131.339	24.00	0.53	0.7112	34	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		131.339	131.380	41.00	0.76	0.7112	58	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		131.382	131.417	35.01	0.56	0.7112	49	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		131.417	131.449	32.00	0.44	0.7112	45	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2

List Of Free Span Coordinates No. 123-132

Freespan No.	Center KP	KP		Actual Length from Profiler	Max Span Height (m)	Diameter of Pipe	L/D	Freespan more than MAS (Yes / No)	Freespan more than MAS (Yes / No)
		Start	End						
123-124	KP.131.860	131.788	131.973						
		131.778	131.831	53.00	1.08	0.7112	75	SCREENING LEVEL 2	SCREENING LEVEL 3
		131.832	131.897	65.00	0.91	0.7112	91	SCREENING LEVEL 2	SCREENING LEVEL 3
		131.897	131.915	17.99	0.62	0.7112	25	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
125-126	KP.132.428	131.916	131.932	16.00	0.36	0.7112	22	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		132.416	132.477			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		131.932	131.976	44.00	1.34	0.7112	62	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		132.415	132.435	20.00	0.48	0.7112	28	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		132.435	132.453	18.00	0.89	0.7112	25	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		132.453	132.486	33.00	1.37	0.7112	46	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		132.493	132.535	42.00	0.57	0.7112	59	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
127	KP.138.989	138.951	139.013			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		138.947	138.985	38.00	0.32	0.7112	53	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		138.986	139.016	30.00	0.27	0.7112	42	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
128	KP.139.334	139.305	139.335			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		139.278	139.337	58.98	0.64	0.7112	83	SCREENING LEVEL 2	SCREENING LEVEL 3
129	KP.145.739	145.703	145.770			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		145.701	145.741	40.00	1.18	0.7112	56	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		145.746	145.770	24.00	0.76	0.7112	34	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
130	KP.147.196	147.153	147.187			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		147.151	147.191	40.00	0.94	0.7112	56	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		147.212	147.242	30.00	0.43	0.7112	42	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
131	KP.150.033	150.029	150.065			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		149.994	150.031	37.00	1.18	0.7112	52	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		150.041	150.063	22.00	0.38	0.7112	31	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
132	KP.151.631	151.577	151.654			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		151.575	151.599	24.00	0.50	0.7112	34	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		151.599	151.619	20.00	0.12	0.7112	28	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		151.623	151.637	14.00	0.05	0.7112	20	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		151.637	151.658	21.00	0.21	0.7112	30	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		151.659	151.680	21.00	0.41	0.7112	30	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2

List Of Free Span Coordinates No. 133-141

Freespan No.	Center KP	KP		Actual Length from Profiler	Max Span Height (m)	Diameter of Pipe	L/D	Freespan more than MAS (Yes / No)	Freespan more than MAS (Yes / No)
		Start	End						
133	KP.152.580	152.539	152.613						
		152.509	152.527	18.00	0.60	0.7112	25	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		152.528	152.560	32.00	0.73	0.7112	45	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		152.560	152.585	25.00	0.16	0.7112	35	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
134	KP.154.350	152.585	152.614	29.00	1.31	0.7112	41	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		154.311	154.374			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		154.296	154.310	14.00	0.16	0.7112	20	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		154.310	154.338	28.00	1.14	0.7112	39	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		154.342	154.372	30.00	1.25	0.7112	42	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
135	KP.154.859	154.372	154.399	27.00	0.43	0.7112	38	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		154.820	154.896			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		154.817	154.847	30.00	0.41	0.7112	42	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		154.857	154.897	40.00	0.96	0.7112	56	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
136	KP.155.470	155.422	155.511			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		155.419	155.463	44.00	0.36	0.7112	62	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		155.471	155.490	19.00	0.49	0.7112	27	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		155.492	155.510	18.00	0.71	0.7112	25	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
137	KP.157.445	157.430	157.471			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		157.427	157.472	45.00	2.03	0.7112	63	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
138	KP.158.087	158.077	158.111			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		158.074	158.112	38.00	1.15	0.7112	53	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
139	KP.158.253	158.253	158.285			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		158.221	158.233	12.00	0.40	0.7112	17	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		158.253	158.288	35.00	1.04	0.7112	49	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
140	KP.158.651	158.656	158.672			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		158.629	158.647	17.99	0.13	0.7112	25	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		158.654	158.675	21.00	0.47	0.7112	30	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
141	KP.160.419	160.395	160.472			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		160.394	160.417	23.00	1.11	0.7112	32	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		160.417	160.443	26.00	0.62	0.7112	37	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		160.444	160.474	30.01	0.60	0.7112	42	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2

List Of Free Span Coordinates No. 142-148

Freespan No.	Center KP	KP		Actual Length from Profiler	Max Span Height (m)	Diameter of Pipe	L/D	Freespan more than MAS (Yes / No)	Freespan more than MAS (Yes / No)
		Start	End						
142	KP.160.573	160.553	160.645						
		160.514	160.545	30.99	0.40	0.7112	44	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		160.551	160.563	12.01	0.08	0.7112	17	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		160.563	160.598	35.00	0.42	0.7112	49	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		160.598	160.643	45.00	0.32	0.7112	63	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
143	KP.161.353	161.319	161.378			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		161.315	161.349	33.99	0.41	0.7112	48	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		161.349	161.369	20.00	0.06	0.7112	28	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		161.373	161.391	18.01	0.65	0.7112	25	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		161.391	161.402	10.99	0.69	0.7112	15	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		161.402	161.411	9.01	0.79	0.7112	13	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
144	KP.162.610	162.578	162.630			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		162.577	162.600	23.00	0.13	0.7112	32	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		162.601	162.631	30.00	0.56	0.7112	42	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
145	KP.162.661	162.631	162.688			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		162.632	162.661	28.99	0.39	0.7112	41	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		162.661	162.683	22.00	1.11	0.7112	31	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		162.684	162.719	35.00	0.31	0.7112	49	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
146	KP.163.094	163.067	163.119			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		163.053	163.095	42.01	0.62	0.7112	59	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		163.095	163.119	23.99	0.75	0.7112	34	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
147	KP.169.915	169.895	169.953			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		169.893	169.916	23.00	0.96	0.7112	32	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		169.918	169.954	35.99	0.98	0.7112	51	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
148	KP.170.507	170.464	170.541			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		170.466	170.489	23.00	0.36	0.7112	32	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		170.493	170.507	14.00	0.30	0.7112	20	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		170.509	170.541	31.99	0.80	0.7112	45	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		170.542	170.581	39.00	1.22	0.7112	55	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		170.585	170.630	45.00	1.77	0.7112	63	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2

List Of Free Span Coordinates No. 149-155

Freespan No.	Center KP	KP		Actual Length from	Max Span Height	Diameter of Pipe	L/D	Freespan more than MAS (Yes / No)	Freespan more than MAS (Yes / No)
		Start	End						
149	KP.171.634	171.590	171.670						
		171.584	171.623	39.00	0.94	0.7112	55	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		171.644	171.679	35.00	1.12	0.7112	49	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
150	KP.172.336	172.296	172.371			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		172.310	172.332	22.00	0.26	0.7112	31	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		172.332	172.375	43.01	0.98	0.7112	60	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
151	KP.174.006	173.976	174.031			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		173.995	174.033	38.00	0.52	0.7112	53	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
152	KP.179.321	179.264	179.361			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		179.261	179.282	21.00	0.26	0.7112	30	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		179.283	179.303	20.00	0.15	0.7112	28	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		179.305	179.315	10.00	0.06	0.7112	14	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		179.315	179.329	13.99	0.25	0.7112	20	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		179.329	179.346	17.00	0.26	0.7112	24	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
153	KP.179.939	179.346	179.362	16.00	0.24	0.7112	22	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		179.898	179.959			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		179.898	179.933	35.00	0.72	0.7112	49	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		179.933	179.949	16.00	0.59	0.7112	22	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		179.949	179.959	10.00	0.33	0.7112	14	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
154	KP.180.046	179.959	179.990	30.99	0.33	0.7112	44	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		180.007	180.106			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		179.990	180.005	15.01	0.51	0.7112	21	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		180.005	180.024	19.00	0.31	0.7112	27	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		180.024	180.047	23.00	0.47	0.7112	32	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		180.047	180.070	23.00	0.41	0.7112	32	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
155	KP.180.283	180.075	180.107	32.00	0.44	0.7112	45	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		180.264	180.310			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		180.238	180.262	24.00	0.74	0.7112	34	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		180.265	180.287	22.00	0.72	0.7112	31	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		180.300	180.310	10.00	0.19	0.7112	14	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		180.310	180.326	16.00	0.27	0.7112	22	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2

List Of Free Span Coordinates No. 156-162

Freespan No.	Center KP	KP		Actual Length from Profiler	Max Span Height (m)	Diameter of Pipe	L/D	Freespan more than MAS (Yes / No)	Freespan more than MAS (Yes / No)
		Start	End						
156	KP.180.353	180.329	180.385						
		180.327	180.364	36.99	0.71	0.7112	52	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		180.365	180.386	21.01	0.22	0.7112	30	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
157	KP.180.428	180.390	180.460			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		180.392	180.416	24.00	0.58	0.7112	34	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		180.418	180.440	22.00	1.07	0.7112	31	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		180.440	180.462	22.01	0.78	0.7112	31	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		180.462	180.477	14.99	0.35	0.7112	21	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
158	KP.180.536	180.508	180.552			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		180.487	180.508	21.00	0.28	0.7112	30	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		180.519	180.554	35.00	0.84	0.7112	49	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
159	KP.180.592	180.555	180.627			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		180.565	180.587	22.01	0.13	0.7112	31	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		180.587	180.607	20.00	0.15	0.7112	28	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		180.607	180.630	22.99	0.11	0.7112	32	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
160	KP.180.957	180.932	180.975			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		180.910	180.929	19.00	0.39	0.7112	27	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		180.929	180.942	13.00	0.36	0.7112	18	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		180.949	180.959	9.99	0.20	0.7112	14	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		180.959	180.975	16.00	0.21	0.7112	22	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		180.975	180.956	18.99	0.28	0.7112	27	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
161	KP.185.987	185.961	186.035			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		185.915	185.934	18.99	0.56	0.7112	27	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		185.946	185.976	30.00	0.74	0.7112	42	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		185.986	186.001	15.00	0.46	0.7112	21	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
162	KP.186.525	186.004	186.038	34.00	0.81	0.7112	48	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		186.500	186.535			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		186.452	186.489	37.00	0.67	0.7112	52	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		186.489	186.497	8.00	0.34	0.7112	11	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		186.497	186.509	12.00	0.62	0.7112	17	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		186.524	186.542	18.01	0.75	0.7112	25	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2

List Of Free Span Coordinates No. 163-170

Freespan No.	Center KP	KP		Actual Length from Profiler	Max Span Height (m)	Diameter of Pipe	L/D	Freespan more than MAS (Yes / No)	Freespan more than MAS (Yes / No)
		Start	End						
163	KP.188.785	188.769	188.814						
		188.740	188.767	27.00	0.47	0.7112	38	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		188.767	188.779	12.00	0.35	0.7112	17	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		188.780	188.816	36.00	0.66	0.7112	51	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
164	KP.189.044	189.007	189.069			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		189.004	189.020	16.00	0.25	0.7112	22	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		189.020	189.045	25.00	0.40	0.7112	35	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		189.046	189.071	25.00	0.55	0.7112	35	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		189.073	189.102	28.99	0.49	0.7112	41	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
165	KP.190.328	190.310	190.350			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		190.287	190.304	17.00	0.11	0.7112	24	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		190.307	190.352	45.00	0.46	0.7112	63	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
166	KP.190.844	190.823	190.874			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		190.821	190.846	25.00	0.36	0.7112	35	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		190.848	190.875	27.00	0.30	0.7112	38	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
167	KP.193.280	193.241	193.315			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		193.258	193.269	11.00	0.09	0.7112	15	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		193.269	193.318	48.99	0.21	0.7112	69	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
168	KP.193.357	193.330	193.384			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		193.323	193.358	34.99	0.89	0.7112	49	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		193.358	193.386	28.00	1.11	0.7112	39	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
169	KP.193.645	193.618	193.660			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		193.603	193.661	57.99	0.38	0.7112	82	SCREENING LEVEL 2	SCREENING LEVEL 3
170	KP.195.631	195.587	195.668			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		195.585	195.621	36.00	0.49	0.7112	51	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		195.621	195.638	17.00	0.37	0.7112	24	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		195.644	195.652	8.00	0.22	0.7112	11	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		195.655	195.669	14.01	0.42	0.7112	20	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		195.672	195.684	12.00	0.43	0.7112	17	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		195.685	195.695	10.00	0.28	0.7112	14	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2

List Of Free Span Coordinates No. 171-181

Freespan No.	Center KP	KP		Actual Length from Profiler	Max Span Height (m)	Diameter of Pipe	L/D	Freespan more than MAS (Yes / No)	Freespan more than MAS (Yes / No)
		Start	End						
171	KP.195.789	195.758	195.815						
		195.695	195.724	29.00	0.65	0.7112	41	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		195.726	195.754	27.99	0.45	0.7112	39	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		195.756	195.798	42.00	0.33	0.7112	59	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
172	KP.198.369	195.807	195.815	8.00	0.31	0.7112	11	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		198.333	198.398			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		198.331	198.385	54.00	0.54	0.7112	76	SCREENING LEVEL 2	SCREENING LEVEL 3
173	KP.199.270	199.246	199.295			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		199.208	199.253	45.01	0.47	0.7112	63	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		199.253	199.267	14.00	0.14	0.7112	20	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
174	KP.201.447	201.419	201.458			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		201.416	201.462	46.01	0.59	0.7112	65	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		201.467	201.500	33.00	0.45	0.7112	46	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
175	KP.203.779	203.748	203.807			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		203.740	203.769	29.01	0.17	0.7112	41	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		203.769	203.815	46.00	0.48	0.7112	65	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
176	KP.206.937	206.903	206.986			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		206.881	206.901	20.00	0.22	0.7112	28	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		206.901	206.940	38.99	0.45	0.7112	55	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		206.940	206.968	28.00	0.82	0.7112	39	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		206.968	206.982	14.00	0.20	0.7112	20	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
177	KP.213.573	213.536	213.585			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		213.539	213.591	52.00	0.27	0.7112	73	SCREENING LEVEL 2	SCREENING LEVEL 3
		213.930	214.000			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
178	KP.213.954	213.928	213.964	36.00	0.44	0.7112	51	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		213.965	214.004	39.00	0.39	0.7112	55	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		214.718	214.763			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
179	KP.214.758	214.713	214.763	49.99	0.42	0.7112	70	SCREENING LEVEL 2	SCREENING LEVEL 3
		214.774	214.787	13.00	0.18	0.7112	18	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
		215.167	215.234			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
180	KP.215.194	215.135	215.191	56.00	0.39	0.7112	79	SCREENING LEVEL 2	SCREENING LEVEL 3
		215.194	215.234	40.00	0.43	0.7112	56	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2
		233.952	233.996			0.7112	0	LULUS SCREENING	LULUS SCREENING LEVEL 2
181	KP.233.978	233.950	233.999	49.00	0.61	0.7112	69	SCREENING LEVEL 2	LULUS SCREENING LEVEL 2

Ca = Konstanta Tumpuan
 E = Modulus Elastisitas Pipa
 Me = Massa Efektif Pipa
 I = Momen Inertia Pipa

B. Perhitungan Natural Frekuensi

No	Freespan Reference	Actual Length from Profiler	Diameter of Pipe	L/D	E	I	Ca	Me	fn
	Freespan #6 KP49.026								
1		50.00	0.7112	70	20700000000	0.0402	9.87	1043.2100	1.7766
	Freespan #9 KP50.096								
2		57.00	0.7112	80	20700000000	0.0402	9.87	1043.2100	1.3671
	Freespan #10 KP50.731								
3		51.00	0.7112	72	20700000000	0.0402	9.87	1043.2100	1.7076
	Freespan #12 KP50.881								
4		50.00	0.7112	70	20700000000	0.0402	9.87	1043.2100	1.7766
	Freespan #13 KP51.036								
5		51.00	0.7112	72	20700000000	0.0402	9.87	1043.2100	1.7076
	Freespan #27 KP75.636								
6		56.99	0.7112	80	20700000000	0.0402	9.87	1043.2100	1.3675
	Freespan #39 KP95.614								
7		59.00	0.7112	83	20700000000	0.0402	9.87	1043.2100	1.2760
	Freespan #40 KP95.687								
8		50.00	0.7112	70	20700000000	0.0402	9.87	1043.2100	1.7766
	Freespan #62 KP102.650								
9		73.00	0.7112	103	20700000000	0.0402	9.87	1043.2100	0.8335
	Freespan #64 KP102.840								
10		65.94	0.7112	93	20700000000	0.0402	9.87	1043.2100	1.0215
	Freespan #81 KP104.903								
11		53.00	0.7112	75	20700000000	0.0402	9.87	1043.2100	1.5812
	Freespan #83 KP105.176								
12		63.01	0.7112	89	20700000000	0.0402	9.87	1043.2100	1.1187

	Freespan #97 KP116.689								
13		49.99	0.7112	70	20700000000	0.0402	9.87	1043.2100	1.7773
	Freespan #98 KP119.898								
14		50.00	0.7112	70	20700000000	0.0402	9.87	1043.2100	1.7766
	Freespan #100 KP123.060								
15		52.99	0.7112	75	20700000000	0.0402	9.87	1043.2100	1.5818
	Freespan #106 KP126.059								
16		49.00	0.7112	69	20700000000	0.0402	9.87	1043.2100	1.8499

No.	Freespan Reference	Actual Length from	Diameter of	L/D	E	I	Ca	Me	fn
	Freespan #110 KP127.027								
17		48.99	0.7112	69	207000000	0.04025	9.87	1043.2100	1.8506
	Freespan #115 KP128.363								
18		53.00	0.7112	75	207000000	0.04025	9.87	1043.2100	1.5812
	Freespan #120 KP129.961								
19		66.00	0.7112	93	207000000	0.04025	9.87	1043.2100	1.0196
	Freespan #121 KP130.085								
20		52.00	0.7112	73	207000000	0.04025	9.87	1043.2100	1.6426
	Freespan #123 KP131.860								
21		53.00	0.7112	75	207000000	0.04025	9.87	1043.2100	1.5812
	Freespan #124 KP131.914								
22		65.00	0.7112	91	207000000	0.04025	9.87	1043.2100	1.0513
	Freespan #128 KP139.334								
23		58.98	0.7112	83	207000000	0.04025	9.87	1043.2100	1.2768
	Freespan #169 KP193.645								
24		57.99	0.7112	82	207000000	0.04025	9.87	1043.2100	1.3208
	Freespan #172 KP198.369								
25		54.00	0.7112	76	207000000	0.04025	9.87	1043.2100	1.5232
	Freespan #177 KP213.573								
26		52.00	0.7112	73	207000000	0.04025	9.87	1043.2100	1.6426
	Freespan #179 KP214.758								
27		49.99	0.7112	70	207000000	0.04025	9.87	1043.2100	1.7773
	Freespan #180 KP215.194								
28		56.00	0.7112	79	207000000	0.04025	9.87	1043.2100	1.4163
	Freespan #181 KP233.978								
29		49.00	0.7112	69	207000000	0.04025	9.87	1043.2100	1.8499

Ca = Konstanta Tumpuan

E = Modulus Elastisitas Pipa

Me = Massa Efektif Pipa

I = Momen Inertia Pipa

C. Perhitungan Velocity Reduced Pipa

No	Freespan Reference	Actual Length from	Diameter of Pipe	L/D	E	I	Ca	Me	fn	Uc	Dtot	Vr
	Freespan #6 KP49.026											
1		50.00	0.7112	70	207000	0.0402	9.87	1043.2100	1.7766	0.9770	0.8101	0.6788
	Freespan #9 KP50.096											
2		57.00	0.7112	80	207000	0.0402	9.87	1043.2100	1.3671	0.9770	0.8101	0.8822
	Freespan #10 KP50.731											
3		51.00	0.7112	72	207000	0.0402	9.87	1043.2100	1.7076	0.9770	0.8101	0.7062
	Freespan #12 KP50.881											
4		50.00	0.7112	70	207000	0.0402	9.87	1043.2100	1.7766	0.9770	0.8101	0.6788
	Freespan #13 KP51.036											
5		51.00	0.7112	72	207000	0.0402	9.87	1043.2100	1.7076	0.9770	0.8101	0.7062
	Freespan #27 KP75.636											
6		56.99	0.7112	80	207000	0.0402	9.87	1043.2100	1.3675	0.9770	0.8101	0.8819
	Freespan #39 KP95.614											
7		59.00	0.7112	83	207000	0.0402	9.87	1043.2100	1.2760	0.9770	0.8101	0.9452
	Freespan #40 KP95.687											
8		50.00	0.7112	70	207000	0.0402	9.87	1043.2100	1.7766	0.9770	0.8101	0.6788
	Freespan #62 KP102.650											
9		73.00	0.7112	103	207000	0.0402	9.87	1043.2100	0.8335	0.9770	0.8101	1.4470
	Freespan #64 KP102.840											
10		65.94	0.7112	93	207000	0.0402	9.87	1043.2100	1.0215	0.9770	0.8101	1.1806
	Freespan #81 KP104.903											
11		53.00	0.7112	75	207000	0.0402	9.87	1043.2100	1.5812	0.9770	0.8101	0.7627
	Freespan #83 KP105.176											
12		63.01	0.7112	89	207000	0.0402	9.87	1043.2100	1.1187	0.9770	0.8101	1.0780

	Freespan #97 KP116.689											
13		49.99	0.7112	70	207000	0.0402	9.87	1043.2100	1.7773	0.9770	0.8101	0.6786
	Freespan #98 KP119.898											
14		50.00	0.7112	70	207000	0.0402	9.87	1043.2100	1.7766	0.9770	0.8101	0.6788
	Freespan #100 KP123.060											
15		52.99	0.7112	75	207000	0.0402	9.87	1043.2100	1.5818	0.9770	0.8101	0.7624
	Freespan #106 KP126.059											
16		49.00	0.7112	69	207000	0.0402	9.87	1043.2100	1.8499	0.9770	0.8101	0.6519

Ca = Konstanta Tumpuan

E = Modulus Elastisitas Pipa

Me = Massa Efektif Pipa

I = Momen Inertia Pipa

D. Perhitungan Panjang Efektif Freespan Inline

No	Freespan Reference	Actual Length from Profiler	E	I	Ca	fn	Dtot	Vr	Lc
	Freespan #6 KP49.026								
1		50.00	20700000000	0.040	9.87	1.7766	0.8101	0.6788	25.16416
	Freespan #9 KP50.096								
2		57.00	20700000000	0.040	9.87	1.3671	0.8101	0.8822	32.70335
	Freespan #10 KP50.731								
3		51.00	20700000000	0.040	9.87	1.7076	0.8101	0.7062	26.18079
	Freespan #12 KP50.881								
4		50.00	20700000000	0.040	9.87	1.7766	0.8101	0.6788	25.16416
	Freespan #13 KP51.036								
5		51.00	20700000000	0.040	9.87	1.7076	0.8101	0.7062	26.18079
	Freespan #27 KP75.636								
6		56.99	20700000000	0.040	9.87	1.3675	0.8101	0.8819	32.69187
	Freespan #39 KP95.614								
7		59.00	20700000000	0.040	9.87	1.2760	0.8101	0.9452	35.03858
	Freespan #40 KP95.687								
8		50.00	20700000000	0.040	9.87	1.7766	0.8101	0.6788	25.16416
	Freespan #62 KP102.650								
9		73.00	20700000000	0.040	9.87	0.8335	0.8101	1.4470	53.63993
	Freespan #64 KP102.840								
10		65.94	20700000000	0.040	9.87	1.0215	0.8101	1.1806	43.76636
	Freespan #81 KP104.903								
11		53.00	20700000000	0.040	9.87	1.5812	0.8101	0.7627	28.27445
	Freespan #83 KP105.176								
12		63.01	20700000000	0.040	9.87	1.1187	0.8101	1.0780	39.96331

	Freespan #97 KP116.689								
13		49.99	20700000000	0.040	9.87	1.7773	0.8101	0.6786	25.15410
	Freespan #98 KP119.898								
14		50.00	20700000000	0.040	9.87	1.7766	0.8101	0.6788	25.16416
	Freespan #100 KP123.060								
15		52.99	20700000000	0.040	9.87	1.5818	0.8101	0.7624	28.26378
	Freespan #106 KP126.059								
16		49.00	20700000000	0.040	9.87	1.8499	0.8101	0.6519	24.16766

No.	Freespan Reference	Actual Length from	E	I	Ca	fn	Dtot	Vr	Lc
	Freespan #110 KP127.027								
17		48.99	207000000	0.04025	9.87	1.8506	0.8101	0.6517	24.157802
	Freespan #115 KP128.363								
18		53.00	207000000	0.04025	9.87	1.5812	0.8101	0.7627	28.274458
	Freespan #120 KP129.961								
19		66.00	207000000	0.04025	9.87	1.0196	0.8101	1.1828	43.846045
	Freespan #121 KP130.085								
20		52.00	207000000	0.04025	9.87	1.6426	0.8101	0.7342	27.217563
	Freespan #123 KP131.860								
21		53.00	207000000	0.04025	9.87	1.5812	0.8101	0.7627	28.274458
	Freespan #124 KP131.914								
22		65.00	207000000	0.04025	9.87	1.0513	0.8101	1.1472	42.527442
	Freespan #128 KP139.334								
23		58.98	207000000	0.04025	9.87	1.2768	0.8101	0.9446	35.014835
	Freespan #169 KP193.645								
24		57.99	207000000	0.04025	9.87	1.3208	0.8101	0.9131	33.849228
	Freespan #172 KP198.369								
25		54.00	207000000	0.04025	9.87	1.5232	0.8101	0.7918	29.351484
	Freespan #177 KP213.573								
26		52.00	207000000	0.04025	9.87	1.6426	0.8101	0.7342	27.217563
	Freespan #179 KP214.758								
27		49.99	207000000	0.04025	9.87	1.7773	0.8101	0.6786	25.154102
	Freespan #180 KP215.194								
28		56.00	207000000	0.04025	9.87	1.4163	0.8101	0.8515	31.565931
	Freespan #181 KP233.978								
29		49.00	207000000	0.04025	9.87	1.8499	0.8101	0.6519	24.167666

E. Perhitungan Panjang Efektif Freespan
Crossflow

No	Freespan Reference	Actual Length from Profiler	fn	Uc	Dtot	Vr	Lc
	Freespan #6 KP49.026						
1		50.00	1.7766	0.9770	0.8101	0.6788	55.0692
	Freespan #9 KP50.096						
2		57.00	1.3671	0.9770	0.8101	0.8822	58.7978
	Freespan #10 KP50.731						
3		51.00	1.7076	0.9770	0.8101	0.7062	55.6171
	Freespan #12 KP50.881						
4		50.00	1.7766	0.9770	0.8101	0.6788	55.0692
	Freespan #13 KP51.036						
5		51.00	1.7076	0.9770	0.8101	0.7062	55.6171
	Freespan #27 KP75.636						
6		56.99	1.3675	0.9770	0.8101	0.8819	58.7926
	Freespan #39 KP95.614						
7		59.00	1.2760	0.9770	0.8101	0.9452	59.8204
	Freespan #40 KP95.687						
8		50.00	1.7766	0.9770	0.8101	0.6788	55.0692
	Freespan #62 KP102.650						
9		73.00	0.8335	0.9770	0.8101	1.4470	66.5403
	Freespan #64 KP102.840						
10		65.94	1.0215	0.9770	0.8101	1.1806	63.2409
	Freespan #81 KP104.903						
11		53.00	1.5812	0.9770	0.8101	0.7627	56.6972
	Freespan #83 KP105.176						
12		63.01	1.1187	0.9770	0.8101	1.0780	61.8199

	Freespan #97 KP116.689						
13		49.99	1.7773	0.9770	0.8101	0.6786	55.0636
	Freespan #98 KP119.898						
14		50.00	1.7766	0.9770	0.8101	0.6788	55.0692
	Freespan #100 KP123.060						
15		52.99	1.5818	0.9770	0.8101	0.7624	56.6918
	Freespan #106 KP126.059						
16		49.00	1.8499	0.9770	0.8101	0.6519	54.5157

No.	Freespan Reference	Actual Length from	fn	Uc	Dtot	Vr	Lc
	Freespan #110 KP127.027						
17		48.99	1.8506	0.9770	0.8101	0.6517	54.5101
	Freespan #115 KP128.363						
18		53.00	1.5812	0.9770	0.8101	0.7627	56.6972
	Freespan #120 KP129.961						
19		66.00	1.0196	0.9770	0.8101	1.1828	63.2696
	Freespan #121 KP130.085						
20		52.00	1.6426	0.9770	0.8101	0.7342	56.1597
	Freespan #123 KP131.860						
21		53.00	1.5812	0.9770	0.8101	0.7627	56.6972
	Freespan #124 KP131.914						
22		65.00	1.0513	0.9770	0.8101	1.1472	62.7885
	Freespan #128 KP139.334						
23		58.98	1.2768	0.9770	0.8101	0.9446	59.8103
	Freespan #169 KP193.645						
24		57.99	1.3208	0.9770	0.8101	0.9131	59.3062
	Freespan #172 KP198.369						
25		54.00	1.5232	0.9770	0.8101	0.7918	57.2295
	Freespan #177 KP213.573						
26		52.00	1.6426	0.9770	0.8101	0.7342	56.1597
	Freespan #179 KP214.758						
27		49.99	1.7773	0.9770	0.8101	0.6786	55.0636
	Freespan #180 KP215.194						
28		56.00	1.4163	0.9770	0.8101	0.8515	58.2797
	Freespan #181 KP233.978						
29		49.00	1.8499	0.9770	0.8101	0.6519	54.5157

F. Screening Dinamik Pipa Inline

No	Freespan Reference	Actual Length from Profiler	Diameter of Pipe	L/D	fn	Vr	Lc	Critical
1	Freespan #6 KP49.026	50.00	0.7112	70	1.7766	0.6788	25.16416	YA IN-LINE
2	Freespan #9 KP50.096	57.00	0.7112	80	1.3671	0.8822	32.70335	YA IN-LINE
3	Freespan #10 KP50.731	51.00	0.7112	72	1.7076	0.7062	26.18079	YA IN-LINE
4	Freespan #12 KP50.881	50.00	0.7112	70	1.7766	0.6788	25.16416	YA IN-LINE
5	Freespan #13 KP51.036	51.00	0.7112	72	1.7076	0.7062	26.18079	YA IN-LINE
6	Freespan #27 KP75.636	56.99	0.7112	80	1.3675	0.8819	32.69187	YA IN-LINE
7	Freespan #39 KP95.614	59.00	0.7112	83	1.2760	0.9452	35.03858	YA IN-LINE
8	Freespan #40 KP95.687	50.00	0.7112	70	1.7766	0.6788	25.16416	YA IN-LINE
9	Freespan #62 KP102.650	73.00	0.7112	103	0.8335	1.4470	53.63993	YA IN-LINE
10	Freespan #64 KP102.840	65.94	0.7112	93	1.0215	1.1806	43.76636	YA IN-LINE
11	Freespan #81 KP104.903	53.00	0.7112	75	1.5812	0.7627	28.27445	YA IN-LINE
12	Freespan #83 KP105.176	63.01	0.7112	89	1.1187	1.0780	39.96331	YA IN-LINE

	Freespan #97 KP116.689							YA IN-LINE
13		49.99	0.7112	70	1.7773	0.6786	25.15410	
	Freespan #98 KP119.898							YA IN-LINE
14		50.00	0.7112	70	1.7766	0.6788	25.16416	
	Freespan #100 KP123.060							YA IN-LINE
15		52.99	0.7112	75	1.5818	0.7624	28.26378	
	Freespan #106 KP126.059							YA IN-LINE
16		49.00	0.7112	69	1.8499	0.6519	24.16766	

No.	Freespan Reference	Actual Length from	Diameter of	L/D	fn	Vr	Lc	Critical
	Freespan #110 KP127.027							YA IN-LINE
17		48.99	0.7112	69	1.8506	0.6517	24.157802	
	Freespan #115 KP128.363							YA IN-LINE
18		53.00	0.7112	75	1.5812	0.7627	28.274458	
	Freespan #120 KP129.961							YA IN-LINE
19		66.00	0.7112	93	1.0196	1.1828	43.846045	
	Freespan #121 KP130.085							YA IN-LINE
20		52.00	0.7112	73	1.6426	0.7342	27.217563	
	Freespan #123 KP131.860							YA IN-LINE
21		53.00	0.7112	75	1.5812	0.7627	28.274458	
	Freespan #124 KP131.914							YA IN-LINE
22		65.00	0.7112	91	1.0513	1.1472	42.527442	
	Freespan #128 KP139.334							YA IN-LINE
23		58.98	0.7112	83	1.2768	0.9446	35.014835	
	Freespan #169 KP193.645							YA IN-LINE
24		57.99	0.7112	82	1.3208	0.9131	33.849228	
	Freespan #172 KP198.369							YA IN-LINE
25		54.00	0.7112	76	1.5232	0.7918	29.351484	
	Freespan #177 KP213.573							YA IN-LINE
26		52.00	0.7112	73	1.6426	0.7342	27.217563	
	Freespan #179 KP214.758							YA IN-LINE
27		49.99	0.7112	70	1.7773	0.6786	25.154102	
	Freespan #180 KP215.194							YA IN-LINE
28		56.00	0.7112	79	1.4163	0.8515	31.565931	
	Freespan #181 KP233.978							YA IN-LINE
29		49.00	0.7112	69	1.8499	0.6519	24.167666	

G. Screening Dinamik Pipa Crossflow

No	Freespan Reference	Actual Length from Profiler	Diameter of Pipe	f_n	V_r	L_c	Critical
1	Freespan #6 KP49.026	50.00	0.7112	1.7766	0.6788	55.0692	TIDAK CROSSFLOW
2	Freespan #9 KP50.096	57.00	0.7112	1.3671	0.8822	58.7978	TIDAK CROSSFLOW
3	Freespan #10 KP50.731	51.00	0.7112	1.7076	0.7062	55.6171	TIDAK CROSSFLOW
4	Freespan #12 KP50.881	50.00	0.7112	1.7766	0.6788	55.0692	TIDAK CROSSFLOW
5	Freespan #13 KP51.036	51.00	0.7112	1.7076	0.7062	55.6171	TIDAK CROSSFLOW
6	Freespan #27 KP75.636	56.99	0.7112	1.3675	0.8819	58.7926	TIDAK CROSSFLOW
7	Freespan #39 KP95.614	59.00	0.7112	1.2760	0.9452	59.8204	TIDAK CROSSFLOW
8	Freespan #40 KP95.687	50.00	0.7112	1.7766	0.6788	55.0692	TIDAK CROSSFLOW
9	Freespan #62 KP102.650	73.00	0.7112	0.8335	1.4470	66.5403	YA CROSSFLOW
10	Freespan #64 KP102.840	65.94	0.7112	1.0215	1.1806	63.2409	YA CROSSFLOW
11	Freespan #81 KP104.903	53.00	0.7112	1.5812	0.7627	56.6972	TIDAK CROSSFLOW
12	Freespan #83 KP105.176	63.01	0.7112	1.1187	1.0780	61.8199	YA CROSSFLOW

	Freespan #97 KP116.689							TIDAK CROSSFLOW
13		49.99	0.7112	1.7773	0.6786	55.0636		
	Freespan #98 KP119.898							TIDAK CROSSFLOW
14		50.00	0.7112	1.7766	0.6788	55.0692		
	Freespan #100 KP123.060							TIDAK CROSSFLOW
15		52.99	0.7112	1.5818	0.7624	56.6918		
	Freespan #106 KP126.059							TIDAK CROSSFLOW
16		49.00	0.7112	1.8499	0.6519	54.5157		

No.	Freespan Reference	Actual Length from	Diameter of	fn	Vr	Lc	Critical
	Freespan #110 KP127.027						TIDAK CROSSFLOW
17		48.99	0.7112	1.8506	0.6517	54.5101	
	Freespan #115 KP128.363						TIDAK CROSSFLOW
18		53.00	0.7112	1.5812	0.7627	56.6972	
	Freespan #120 KP129.961						YA CROSSFLOW
19		66.00	0.7112	1.0196	1.1828	63.2696	
	Freespan #121 KP130.085						TIDAK CROSSFLOW
20		52.00	0.7112	1.6426	0.7342	56.1597	
	Freespan #123 KP131.860						TIDAK CROSSFLOW
21		53.00	0.7112	1.5812	0.7627	56.6972	
	Freespan #124 KP131.914						YA CROSSFLOW
22		65.00	0.7112	1.0513	1.1472	62.7885	
	Freespan #128 KP139.334						TIDAK CROSSFLOW
23		58.98	0.7112	1.2768	0.9446	59.8103	
	Freespan #169 KP193.645						TIDAK CROSSFLOW
24		57.99	0.7112	1.3208	0.9131	59.3062	
	Freespan #172 KP198.369						TIDAK CROSSFLOW
25		54.00	0.7112	1.5232	0.7918	57.2295	
	Freespan #177 KP213.573						TIDAK CROSSFLOW
26		52.00	0.7112	1.6426	0.7342	56.1597	
	Freespan #179 KP214.758						TIDAK CROSSFLOW
27		49.99	0.7112	1.7773	0.6786	55.0636	
	Freespan #180 KP215.194						TIDAK CROSSFLOW
28		56.00	0.7112	1.4163	0.8515	58.2797	
	Freespan #181 KP233.978						TIDAK CROSSFLOW
29		49.00	0.7112	1.8499	0.6519	54.5157	

H. Perhitungan Amplitude Stress Pipa

No	Freespan Reference	Actual Length from Profiler	E	Dtot	C4	t	D	1+CSF	D x (Ds-t)	AIL (Pa)	AIL (MPa)
	Freespan #6 KP49.026										
1		50.00	20700	0.81	4.93	0.015875	0.7112	2.651407	0.563283	6.1E+08	609.6493
	Freespan #9 KP50.096										
2		57.00	20700	0.81	4.93	0.015875	0.7112	2.651407	0.563283	4.69E+08	469.1054
	Freespan #10 KP50.731										
3		51.00	20700	0.81	4.93	0.015875	0.7112	2.651407	0.563283	5.86E+08	585.9759
	Freespan #12 KP50.881										
4		50.00	20700	0.81	4.93	0.015875	0.7112	2.651407	0.563283	6.1E+08	609.6493
	Freespan #13 KP51.036										
5		51.00	20700	0.81	4.93	0.015875	0.7112	2.651407	0.563283	5.86E+08	585.9759
	Freespan #27 KP75.636										
6		56.99	20700	0.81	4.93	0.015875	0.7112	2.651407	0.563283	4.69E+08	469.27
	Freespan #39 KP95.614										
7		59.00	20700	0.81	4.93	0.015875	0.7112	2.651407	0.563283	4.38E+08	437.8406
	Freespan #40 KP95.687										
8		50.00	20700	0.81	4.93	0.015875	0.7112	2.651407	0.563283	6.1E+08	609.6493
	Freespan #62 KP102.650										
9		73.00	20700	0.81	4.93	0.015875	0.7112	2.651407	0.563283	2.86E+08	286.0055
	Freespan #64 KP102.840										
10		65.94	20700	0.81	4.93	0.015875	0.7112	2.651407	0.563283	3.51E+08	350.5276
	Freespan #81 KP104.903										
11		53.00	20700	0.81	4.93	0.015875	0.7112	2.651407	0.563283	5.43E+08	542.5857
	Freespan #83 KP105.176										
12		63.01	20700	0.81	4.93	0.015875	0.7112	2.651407	0.563283	3.84E+08	383.885

	Freespan #97 KP116.689										
13		49.99	20700	0.81	4.93	0.015875	0.7112	2.651407	0.563283	6.1E+08	609.8932
	Freespan #98 KP119.898										
14		50.00	20700	0.81	4.93	0.015875	0.7112	2.651407	0.563283	6.1E+08	609.6493
	Freespan #100 KP123.060										
15		52.99	20700	0.81	4.93	0.015875	0.7112	2.651407	0.563283	5.43E+08	542.7905
	Freespan #106 KP126.059										
16		49.00	20700	0.81	4.93	0.015875	0.7112	2.651407	0.563283	6.35E+08	634.7869

No.	Freespan Reference	Actual Length from	E	C4	t	D	1+CSF	D x (Ds-t)	AIL (Pa)	AIL (MPa)
	Freespan #110 KP127.027									
17		48.99	2070000000	4.93	0.015875	0.7112	2.651407	0.563283	6.35E+08	635.0461
	Freespan #115 KP128.363									
18		53.00	2070000000	4.93	0.015875	0.7112	2.651407	0.563283	5.43E+08	542.5857
	Freespan #120 KP129.961									
19		66.00	2070000000	4.93	0.015875	0.7112	2.651407	0.563283	3.5E+08	349.8906
	Freespan #121 KP130.085									
20		52.00	2070000000	4.93	0.015875	0.7112	2.651407	0.563283	5.64E+08	563.6551
	Freespan #123 KP131.860									
21		53.00	2070000000	4.93	0.015875	0.7112	2.651407	0.563283	5.43E+08	542.5857
	Freespan #124 KP131.914									
22		65.00	2070000000	4.93	0.015875	0.7112	2.651407	0.563283	3.61E+08	360.7392
	Freespan #128 KP139.334									
23		58.98	2070000000	4.93	0.015875	0.7112	2.651407	0.563283	4.38E+08	438.1376
	Freespan #169 KP193.645									
24		57.99	2070000000	4.93	0.015875	0.7112	2.651407	0.563283	4.53E+08	453.225
	Freespan #172 KP198.369									
25		54.00	2070000000	4.93	0.015875	0.7112	2.651407	0.563283	5.23E+08	522.676
	Freespan #177 KP213.573									
26		52.00	2070000000	4.93	0.015875	0.7112	2.651407	0.563283	5.64E+08	563.6551
	Freespan #179 KP214.758									
27		49.99	2070000000	4.93	0.015875	0.7112	2.651407	0.563283	6.1E+08	609.8932
	Freespan #180 KP215.194									
28		56.00	2070000000	4.93	0.015875	0.7112	2.651407	0.563283	4.86E+08	486.0087
	Freespan #181 KP233.978									
29		49.00	2070000000	4.93	0.015875	0.7112	2.651407	0.563283	6.35E+08	634.7869

I. Perhitungan Stress Pipa Inline

No	Freespan Reference	Actual Length from Profiler	C4	t	D	1+CSF	AIL (MPa)	Safety Factor	Ay/D	SIL (MPa)
	Freespan #6 KP49.026									
1		50.00	4.93	0.01588	0.7112	2.65141	609.6493	1.30	0.09	142.6579
	Freespan #9 KP50.096									
2		57.00	4.93	0.01588	0.7112	2.65141	469.1054	1.30	0.13	158.5576
	Freespan #10 KP50.731									
3		51.00	4.93	0.01588	0.7112	2.65141	585.9759	1.30	0.1	152.3537
	Freespan #12 KP50.881									
4		50.00	4.93	0.01588	0.7112	2.65141	609.6493	1.30	0.091	144.243
	Freespan #13 KP51.036									
5		51.00	4.93	0.01588	0.7112	2.65141	585.9759	1.30	0.095	144.736
	Freespan #27 KP75.636									
6		56.99	4.93	0.01588	0.7112	2.65141	469.27	1.30	0.12	146.4122
	Freespan #39 KP95.614									
7		59.00	4.93	0.01588	0.7112	2.65141	437.8406	1.30	0.14	159.374
	Freespan #40 KP95.687									
8		50.00	4.93	0.01588	0.7112	2.65141	609.6493	1.30	0.1	158.5088
	Freespan #62 KP102.650									
9		73.00	4.93	0.01588	0.7112	2.65141	286.0055	1.30	0.24	178.4674
	Freespan #64 KP102.840									
10		65.94	4.93	0.01588	0.7112	2.65141	350.5276	1.30	0.19	173.1606
	Freespan #81 KP104.903									
11		53.00	4.93	0.01588	0.7112	2.65141	542.5857	1.30	0.105	148.1259
	Freespan #83 KP105.176									
12		63.01	4.93	0.01588	0.7112	2.65141	383.885	1.30	0.17	169.6772

	Freespan #97 KP116.689									
13		49.99	4.93	0.01588	0.7112	2.65141	609.8932	1.30	0.094	149.0579
	Freespan #98 KP119.898									
14		50.00	4.93	0.01588	0.7112	2.65141	609.6493	1.30	0.098	155.3386
	Freespan #100 KP123.060									
15		52.99	4.93	0.01588	0.7112	2.65141	542.7905	1.30	0.112	158.0606
	Freespan #106 KP126.059									
16		49.00	4.93	0.01588	0.7112	2.65141	634.7869	1.30	0.09	148.5401

No.	Freespan Reference	Actual Length from	C4	t	D	1+CSF	AIL (MPa)	Safety Factor	Ay/D	SIL (MPa)
	Freespan #110 KP127.027									
17		48.99	4.93	0.01588	0.7112	2.65141	635.0461	1.30	0.097	160.158614
	Freespan #115 KP128.363									
18		53.00	4.93	0.01588	0.7112	2.65141	542.5857	1.30	0.11	155.1795158
	Freespan #120 KP129.961									
19		66.00	4.93	0.01588	0.7112	2.65141	349.8906	1.30	0.19	172.8459374
	Freespan #121 KP130.085									
20		52.00	4.93	0.01588	0.7112	2.65141	563.6551	1.30	0.1	146.5503159
	Freespan #123 KP131.860									
21		53.00	4.93	0.01588	0.7112	2.65141	542.5857	1.30	0.1159	163.5027807
	Freespan #124 KP131.914									
22		65.00	4.93	0.01588	0.7112	2.65141	360.7392	1.30	0.19	178.2051842
	Freespan #128 KP139.334									
23		58.98	4.93	0.01588	0.7112	2.65141	438.1376	1.30	0.15	170.8736785
	Freespan #169 KP193.645									
24		57.99	4.93	0.01588	0.7112	2.65141	453.225	1.30	0.14	164.9739088
	Freespan #172 KP198.369									
25		54.00	4.93	0.01588	0.7112	2.65141	522.676	1.30	0.12	163.0749195
	Freespan #177 KP213.573									
26		52.00	4.93	0.01588	0.7112	2.65141	563.6551	1.30	0.105	153.8778317
	Freespan #179 KP214.758									
27		49.99	4.93	0.01588	0.7112	2.65141	609.8932	1.30	0.095	150.6436321
	Freespan #180 KP215.194									
28		56.00	4.93	0.01588	0.7112	2.65141	486.0087	1.30	0.13	164.2709409
	Freespan #181 KP233.978									
29		49.00	4.93	0.01588	0.7112	2.65141	634.7869	1.30	0.09	148.5401286

J. Perhitungan Stress Pipa Crossflow

No	Freespan Reference	Actual Length from Profiler	C4	t	D	1+CSF	AIL (MPa)	Safety Factor	Az/D	SIL (MPa)
	Freespan #62 KP102.650									
1		73.00	4.93	0.015875	0.7	2.651407	286.0055	1.3	0.26	193.339715
	Freespan #64 KP102.840									
2		65.94	4.93	0.015875	0.7	2.651407	350.5276	1.3	0.21	191.3880667
	Freespan #83 KP105.176									
3		63.01	4.93	0.015875	0.7	2.651407	383.885	1.3	0.19	189.6391884
	Freespan #120 KP129.961									
4		66.00	4.93	0.015875	0.7	2.651407	349.8906	1.3	0.21	191.0402466
	Freespan #124 KP131.914									
5		65.00	4.93	0.015875	0.7	2.651407	360.7392	1.3	0.203	190.3981705

K. Perhitungan Siklus Stress dan VIV Pipa Inline

No	Freespan Reference	Actual Length from Profiler	SIL (MPa)	Strouhal Number	Frekuensi Vortex	ni (VIV)	a	m	Ni (Stress)
	Freespan #6 KP49.026								
1		50.00	142.6579	0.202	0.28	3.96E+06	2.09E+16	5.00	3.54E+05
	Freespan #9 KP50.096								
2		57.00	158.5576	0.202	0.28	4.40E+06	2.09E+16	5.00	2.08E+05
	Freespan #10 KP50.731								
3		51.00	152.3537	0.202	0.28	4.23E+06	2.09E+16	5.00	2.55E+05
	Freespan #12 KP50.881								
4		50.00	144.243	0.202	0.28	4.00E+06	2.09E+16	5.00	3.35E+05
	Freespan #13 KP51.036								
5		51.00	144.736	0.202	0.28	4.02E+06	2.09E+16	5.00	3.29E+05
	Freespan #27 KP75.636								
6		56.99	146.4122	0.202	0.28	4.06E+06	2.09E+16	5.00	3.11E+05
	Freespan #39 KP95.614								
7		59.00	159.374	0.202	0.28	4.42E+06	2.09E+16	5.00	2.03E+05
	Freespan #40 KP95.687								
8		50.00	158.5088	0.202	0.28	4.40E+06	2.09E+16	5.00	2.09E+05
	Freespan #62 KP102.650								
9		73.00	178.4674	0.202	0.28	4.95E+06	2.09E+16	5.00	1.15E+05
	Freespan #64 KP102.840								
10		65.94	173.1606	0.202	0.28	4.81E+06	2.09E+16	5.00	1.34E+05
	Freespan #81 KP104.903								
11		53.00	148.1259	0.202	0.28	4.11E+06	2.09E+16	5.00	2.93E+05
	Freespan #83 KP105.176								
12		63.01	169.6772	0.202	0.28	4.71E+06	2.09E+16	5.00	1.49E+05

	Freespan #97 KP116.689								
13		49.99	149.0579	0.202	0.28	4.14E+06	2.09E+16	5.00	2.84E+05
	Freespan #98 KP119.898								
14		50.00	155.3386	0.202	0.28	4.31E+06	2.09E+16	5.00	2.31E+05
	Freespan #100 KP123.060								
15		52.99	158.0606	0.202	0.28	4.39E+06	2.09E+16	5.00	2.12E+05
	Freespan #106 KP126.059								
16		49.00	148.5401	0.202	0.28	4.12E+06	2.09E+16	5.00	2.89E+05

No.	Freespan Reference	Actual Length from	SIL (MPa)	Strouhal Number	Frekuensi Vortex	ni (VIV)	a	m	Ni (Stress)
	Freespan #110 KP127.027								
17		48.99	160.158614	0.202	0.28	4.44E+06	2.09E+16	5.00	1.98E+05
	Freespan #115 KP128.363								
18		53.00	155.179516	0.202	0.28	4.31E+06	2.09E+16	5.00	2.32E+05
	Freespan #120 KP129.961								
19		66.00	172.845937	0.202	0.28	4.80E+06	2.09E+16	5.00	1.35E+05
	Freespan #121 KP130.085								
20		52.00	146.550316	0.202	0.28	4.07E+06	2.09E+16	5.00	3.09E+05
	Freespan #123 KP131.860								
21		53.00	163.502781	0.202	0.28	4.54E+06	2.09E+16	5.00	1.79E+05
	Freespan #124 KP131.914								
22		65.00	178.205184	0.202	0.28	4.95E+06	2.09E+16	5.00	1.16E+05
	Freespan #128 KP139.334								
23		58.98	170.873679	0.202	0.28	4.74E+06	2.09E+16	5.00	1.43E+05
	Freespan #169 KP193.645								
24		57.99	164.973909	0.202	0.28	4.58E+06	2.09E+16	5.00	1.71E+05
	Freespan #172 KP198.369								
25		54.00	163.074919	0.202	0.28	4.53E+06	2.09E+16	5.00	1.81E+05
	Freespan #177 KP213.573								
26		52.00	153.877832	0.202	0.28	4.27E+06	2.09E+16	5.00	2.42E+05
	Freespan #179 KP214.758								
27		49.99	150.643632	0.202	0.28	4.18E+06	2.09E+16	5.00	2.69E+05
	Freespan #180 KP215.194								
28		56.00	164.270941	0.202	0.28	4.56E+06	2.09E+16	5.00	1.75E+05
	Freespan #181 KP233.978								
29		49.00	148.540129	0.202	0.28	4.12E+06	2.09E+16	5.00	2.89E+05

L. Perhitungan Siklus Stress dan VIV Pipa
Crossflow

No	Freespan Reference	Actual Length from Profiler	SIL (MPa)	Strouhal	Frekuensi Vortex	ni (VIV)	a	m	Ni (Stress)
	Freespan #62 KP102.650								
1		73.00	193.3397	0.202	0.28	5.37E+06	2.09E+16	5.00	7.73E+04
	Freespan #64 KP102.840								
2		65.94	191.3881	0.202	0.28	5.31E+06	2.09E+16	5.00	8.14E+04
	Freespan #83 KP105.176								
3		63.01	189.6392	0.202	0.28	5.26E+06	2.09E+16	5.00	8.52E+04
	Freespan #120 KP129.961								
4		66.00	191.0402	0.202	0.28	5.30E+06	2.09E+16	5.00	8.21E+04
	Freespan #124 KP131.914								
5		65.00	190.3982	0.202	0.28	5.28E+06	2.09E+16	5.00	8.35E+04

M. Perhitungan Fatigue Pipa Inline

No	Freespan Reference	Actual Length from Profiler	ni (VIV)	Ni (Stress)	Dfat	Texp	η	Tlife
	Freespan #6 KP49.026							
1		50.00	3.96E+06	3.54E+05	11.20	27.00	0.25	9.65
	Freespan #9 KP50.096							
2		57.00	4.40E+06	2.08E+05	21.10	27.00	0.25	5.12
	Freespan #10 KP50.731							
3		51.00	4.23E+06	2.55E+05	16.61	27.00	0.25	6.50
	Freespan #12 KP50.881							
4		50.00	4.00E+06	3.35E+05	11.96	27.00	0.25	9.03
	Freespan #13 KP51.036							
5		51.00	4.02E+06	3.29E+05	12.21	27.00	0.25	8.85
	Freespan #27 KP75.636							
6		56.99	4.06E+06	3.11E+05	13.08	27.00	0.25	8.25
	Freespan #39 KP95.614							
7		59.00	4.42E+06	2.03E+05	21.77	27.00	0.25	4.96
	Freespan #40 KP95.687							
8		50.00	4.40E+06	2.09E+05	21.07	27.00	0.25	5.13
	Freespan #62 KP102.650							
9		73.00	4.95E+06	1.15E+05	42.91	27.00	0.25	2.52
	Freespan #64 KP102.840							
10		65.94	4.81E+06	1.34E+05	35.81	27.00	0.25	3.02
	Freespan #81 KP104.903							
11		53.00	4.11E+06	2.93E+05	14.03	27.00	0.25	7.70
	Freespan #83 KP105.176							
12		63.01	4.71E+06	1.49E+05	31.70	27.00	0.25	3.41

	Freespan #97 KP116.689							
13		49.99	4.14E+06	2.84E+05	14.57	27.00	0.25	7.41
	Freespan #98 KP119.898							
14		50.00	4.31E+06	2.31E+05	18.66	27.00	0.25	5.79
	Freespan #100 KP123.060							
15		52.99	4.39E+06	2.12E+05	20.71	27.00	0.25	5.21
	Freespan #106 KP126.059							
16		49.00	4.12E+06	2.89E+05	14.27	27.00	0.25	7.57

No.	Freespan Reference	Actual Length from	ni (VIV)	Ni (Stress)	Dfat	Texp	η	Tlife
	Freespan #110 KP127.027							
17		48.99	4.44E+06	1.98E+05	22.42	50.00	0.25	8.92
	Freespan #115 KP128.363							
18		53.00	4.31E+06	2.32E+05	18.55	27.00	0.25	5.82
	Freespan #120 KP129.961							
19		66.00	4.80E+06	1.35E+05	35.42	27.00	0.25	3.05
	Freespan #121 KP130.085							
20		52.00	4.07E+06	3.09E+05	13.16	27.00	0.25	8.21
	Freespan #123 KP131.860							
21		53.00	4.54E+06	1.79E+05	25.37	27.00	0.25	4.26
	Freespan #124 KP131.914							
22		65.00	4.95E+06	1.16E+05	42.54	27.00	0.25	2.54
	Freespan #128 KP139.334							
23		58.98	4.74E+06	1.43E+05	33.06	27.00	0.25	3.27
	Freespan #169 KP193.645							
24		57.99	4.58E+06	1.71E+05	26.78	27.00	0.25	4.03
	Freespan #172 KP198.369							
25		54.00	4.53E+06	1.81E+05	24.98	27.00	0.25	4.32
	Freespan #177 KP213.573							
26		52.00	4.27E+06	2.42E+05	17.63	27.00	0.25	6.13
	Freespan #179 KP214.758							
27		49.99	4.18E+06	2.69E+05	15.52	27.00	0.25	6.96
	Freespan #180 KP215.194							
28		56.00	4.56E+06	1.75E+05	26.10	27.00	0.25	4.14
	Freespan #181 KP233.978							
29		49.00	4.12E+06	2.89E+05	14.27	27.00	0.25	7.57

N. Perhitungan Fatigue Pipa Crossflow

No	Freespan Reference	Actual Length from Profiler	ni (VIV)	Ni (Stress)	Dfat	Texp	η	Tlife
	Freespan #62 KP102.650							
1		73.00	5.37E+06	7.73E+04	69.37	27.00	0.25	1.56
	Freespan #64 KP102.840							
2		65.94	5.31E+06	8.14E+04	65.27	27.00	0.25	1.65
	Freespan #83 KP105.176							
3		63.01	5.26E+06	8.52E+04	61.78	27.00	0.25	1.75
	Freespan #120 KP129.961							
4		66.00	5.30E+06	8.21E+04	64.57	27.00	0.25	1.67
	Freespan #124 KP131.914							
5		65.00	5.28E+06	8.35E+04	63.27	27.00	0.25	1.71

O. CFD Report Fluid Flow

1. Mesh Report

Table 1. Mesh Information

Domain	Nodes	Elements
Default Domain	176340	895615

2. Physics Report

Table 2. Domain Physics

Domain - Default Domain	
Type	Fluid
Location	B20
<i>Materials</i>	
Air at 25 C	
Fluid Definition	Material Library
Morphology	Continuous Fluid
<i>Settings</i>	
Buoyancy Model	Non Buoyant
Domain Motion	Stationary
Reference Pressure	1.0000e+00 [atm]
Heat Transfer Model	Isothermal
Fluid Temperature	2.5000e+01 [C]
Turbulence Model	k epsilon
Turbulent Wall Functions	Scalable

Table 3. Boundary Physics

Domain	Boundaries	
Default Domain	Boundary - Boundary 1	
	Type	INLET
	Location	inlet
	<i>Settings</i>	
	Flow Regime	Subsonic
	Mass And Momentum	Normal Speed
	Normal Speed	9.9700e-01 [m s ⁻¹]
	Turbulence	High Intensity and Eddy Viscosity Ratio
	Boundary - Boundary 2	
	Type	OUTLET

	Location	F21.20
	<i>Settings</i>	
	Flow Regime	Subsonic
	Mass And Momentum	Static Pressure
	Relative Pressure	0.0000e+00 [Pa]
	Boundary - Boundary 3	
	Type	WALL
	Location	F29.20
	<i>Settings</i>	
	Mass And Momentum	Free Slip Wall
	Boundary - Default Domain Default	
	Type	WALL
	Location	F22.20, F23.20, F25.20, F26.20, F27.20, F28.20, F30.20
	<i>Settings</i>	
	Mass And Momentum	No Slip Wall
	Wall Roughness	Smooth Wall

4. Solution Report

Table 4. Boundary Flows

Location	Type	Mass Flow	Momentum		
			X	Y	Z
Boundary 1	Boundary	5.5552e+02	5.9104e+02	-5.2030e-05	-4.2210e-08
Boundary 2	Boundary	-5.5552e+02	-5.5603e+02	2.2587e+00	1.6965e-02
Boundary 3	Boundary	0.0000e+00	-4.7245e-05	3.8138e-06	2.5491e-07
Default Domain Default	Boundary	0.0000e+00	3.5008e+01	2.2586e+00	1.6970e-02

P. Structure Simulation Report

1 Model (C4)

Geometry

TABLE 2
Model (C4) > Geometry

Object Name	Geometry
Bounding Box	
Length X	0.7112 m
Length Y	0.7112 m
Length Z	73. m
Properties	
Volume	2.5315 m ³
Mass	19872 kg
Scale Factor Value	1.
Statistics	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	498544
Elements	73824
Mesh Metric	Element Quality
Min	0.349487382365772
Max	0.577094422849892
Average	0.488743188354808
Standard Deviation	0.071302744951748
Basic Geometry Options	
Solid Bodies	Yes
Surface Bodies	Yes
Line Bodies	No
Parameters	Independent
Parameter Key	ANS;DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	Yes
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\Iqbal Rusdan Arief\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (C4) > Geometry > Parts

Object Name	Part 1
-------------	--------

State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Transparency	1
Definition	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature Behavior	By Environment
Material	
Assignment	Structural Steel
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
Bounding Box	
Length X	0.7112 m
Length Y	0.7112 m
Length Z	73. m
Properties	
Volume	2.5315 m ³
Mass	19872 kg
Centroid X	-7.2808e-017 m
Centroid Y	-3.827e-017 m
Centroid Z	-36.5 m
Moment of Inertia Ip1	8.7256e+006 kg·m ²
Moment of Inertia Ip2	8.7256e+006 kg·m ²
Moment of Inertia Ip3	2348.8 kg·m ²
Statistics	
Nodes	498544
Elements	73824
Mesh Metric	Element Quality
Min	0.349487382365772
Max	0.577094422849892
Average	0.488743188354808
Standard Deviation	0.071302744951748

Coordinate Systems

TABLE 4
Model (C4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	Global Coordinate System
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. m
Origin Y	0. m
Origin Z	0. m
Directional Vectors	
X Axis Data	[1. 0. 0.]
Y Axis Data	[0. 1. 0.]

Z Axis Data	[0. 0. 1.]
--------------------	--------------

Mesh

TABLE 5
Model (C4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	100
Element Order	Program Controlled
Sizing	
Size Function	Uniform
Relevance Center	Coarse
Transition	Fast
Min Size	Default (2.2815e-002 m)
Max Face Size	Default (2.28150 m)
Max Tet Size	Default (4.56290 m)
Growth Rate	Default (1.50)
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeature Size	Default (1.1407e-002 m)
Minimum Edge Length	2.13460 m
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Element Quality
Min	0.34949
Max	0.57709
Average	0.48874
Standard Deviation	7.1303e-002
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	0
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Triangle Surface Mesher	Program Controlled

Topology Checking	No
Pinch Tolerance	Default (2.0533e-002 m)
Generate Pinch on Refresh	No
Statistics	
Nodes	498544
Elements	73824

Static Structural (C5)

TABLE 6
Model (C4) > Analysis

Object Name	<i>Static Structural (C5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

TABLE 7
Model (C4) > Static Structural (C5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.
Step End Time	1. s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Rotordynamics Controls	
Coriolis Effect	Off
Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled

Retain Files After Full Solve	No
Combined Restart Files	Program Controlled
Nonlinear Controls	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	D:\TA\Tugas KP\asasasasasasa files\dp0\SYS\ MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System

Solver Unit System	mks
---------------------------	-----

TABLE 8
Model (C4) > Static Structural (C5) > Accelerations

Object Name	<i>Acceleration</i>
State	Fully Defined
Scope	
Geometry	All Bodies
Definition	
Define By	Vector
Magnitude	9.8 m/s ² (ramped)
Direction	Defined
Suppressed	No

FIGURE 1
Model (C4) > Static Structural (C5) > Acceleration

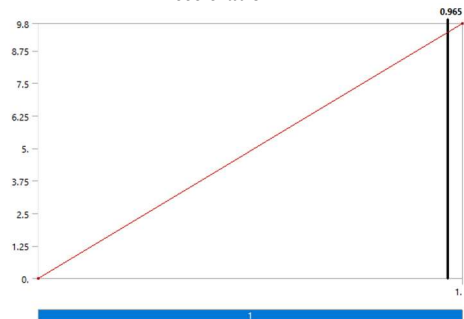


TABLE 9
Model (C4) > Static Structural (C5) > Loads

Object Name	<i>Pressure</i>	<i>Hydrostatic Pressure</i>	<i>Moment</i>	<i>Fluid Solid Interface</i>	<i>Vortex Shedding</i>	<i>Fixed Support</i>
State	Fully Defined					
Scope						
Scoping Method	Geometry Selection					
Geometry	1 Face					2 Faces
Definition						
Type	Pressure	Hydrostatic	Moment	Fluid Solid	Pressure	Fixed Support

		Pressure		Interface		pport
Define By	Components		Vector		Normal To	
Coordinate System	Global Coordinate System					
X Component	0. Pa (ramped)					
Y Component	0. Pa (ramped)					
Z Component	1000. Pa (ramped)					
Suppressed	No					
Fluid Density		1000. kg/m ³				
Magnitude			20.09 N·m (ramped)		= 0.54	
Direction			Defined			
Behavior			Def ormable			
Interface Number				1.		
Data to Transfer [Ex				Program Controlled		

pert 				
Applied By				Surface Effect
Hydrostatic Acceleration				
Define By		Components		
X Component		9.8 m/s ² (ramped)		
Y Component		0. m/s ² (ramped)		
Z Component		0. m/s ² (ramped)		
Free Surface Location				
X Coordinate		0. m		
Y Coordinate		- 2.1774e-017 m		
Z Coordinate		- 36.5 m		
Location		Defined		
Advanced				
Pinball Region		All		
Function				
Unit System				Metric (m, kg, N, s, V, A) Degree

		es rad /s Cel siu s	
Ang lar Me asu re		De gre es	
Graph Controls			
Nu mb er Of Seg me nts		20 0.	

FIGURE 2
Model (C4) > Static Structural (C5) > Pressure

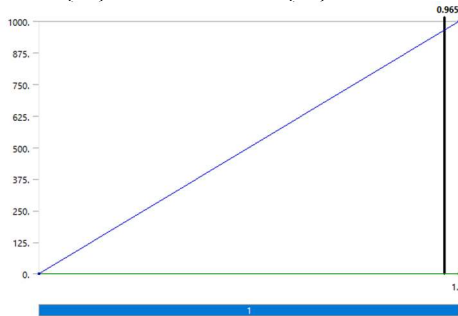


FIGURE 3
Model (C4) > Static Structural (C5) > Hydrostatic Pressure

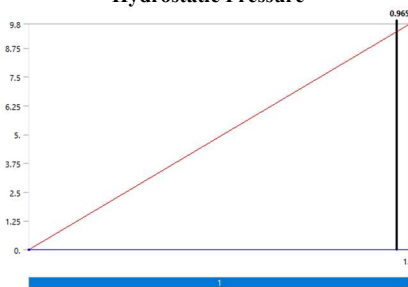


FIGURE 4
Model (C4) > Static Structural (C5) > Moment

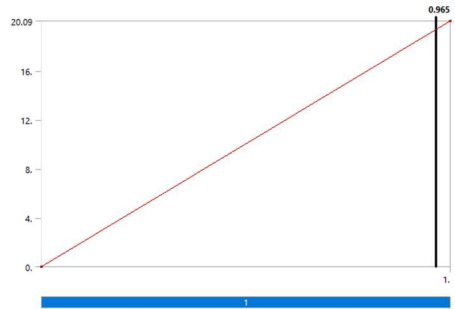
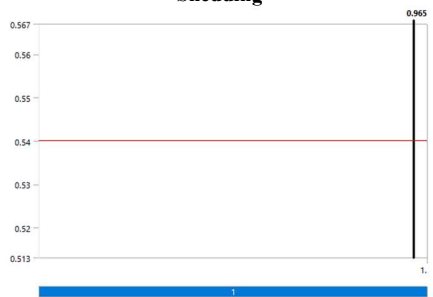


FIGURE 5
Model (C4) > Static Structural (C5) > Vortex Shedding



Solution (C6)

TABLE 10
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution

Object Name	<i>Solution (C6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
Information	
Status	Done
MAPDL Elapsed Time	25 m 28 s
MAPDL Memory Used	7.8604 GB
MAPDL Result File Size	225.56 MB
Post Processing	
Beam Section Results	No

TABLE 11
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Identify Element Violations	0
Update Interval	2.5 s

Display Points	All
FE Connection	Visibility
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 12

Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Results

Object Name	<i>Equivalent Stress</i>
State	Solved
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Definition	
Type	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time
Display Time	Last
Calculate Time History	Yes
Identifier	
Suppressed	No
Integration Point Results	
Display Option	Averaged
Average Across Bodies	No
Results	
Minimum	19479 Pa
Maximum	1.713e+008 Pa
Minimum Occurs On	Part 1
Maximum Occurs On	Part 1
Information	
Time	1. s
Load Step	1
Substep	1
Iteration Number	1

FIGURE 6

Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Equivalent Stress

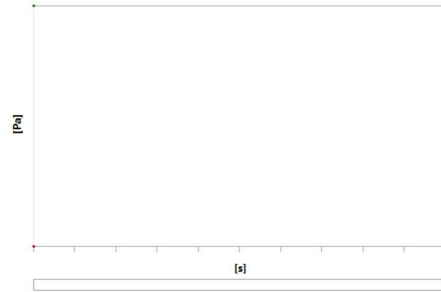


TABLE 13

Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Equivalent Stress

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]
1.	19479	1.713e+008

TABLE 14

Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Fatigue Tools

Object Name	<i>Fatigue Tool</i>
State	Solved
Domain	
Domain Type	Time
Materials	
Fatigue Strength Factor (Kf)	1.
Loading	
Type	Fully Reversed
Scale Factor	1.
Definition	
Display Time	End Time
Options	
Analysis Type	Stress Life
Mean Stress Theory	Goodman
Stress Component	Equivalent (von-Mises)
Life Units	
Units Name	cycles
1 cycle is equal to	1. cycles

FIGURE 7

Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Fatigue Tool

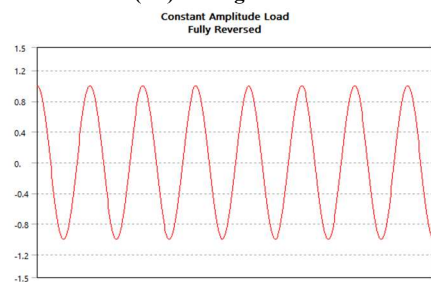


FIGURE 8
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution
(C6) > Fatigue Tool

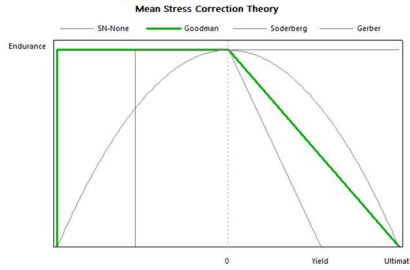


TABLE 15
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution
(C6) > Fatigue Tool > Results

Object Name	Life	Damage	Safety Factor
State	Solved		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	All Bodies		
Definition			
Type	Life	Damage	Safety Factor
Identifier			
Suppressed	No		
Design Life	1.e+009 cycles		
Integration Point Results			
Average Across Bodies	No		
Results			
Minimum	45248 cycles		0.50321
Minimum Occurs On	Part 1		Part 1
Maximum		22101	
Maximum Occurs On		Part 1	

FIGURE 9
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution
(C6) > Fatigue Tool > Life

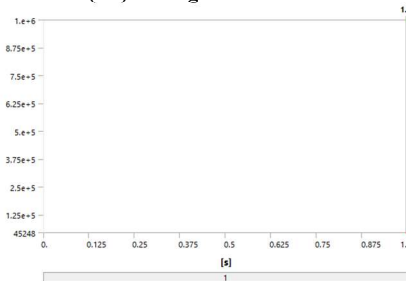


TABLE 16
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution
(C6) > Fatigue Tool > Life

Time [s]	Minimum	Maximum
1.	45248	1.e+006

FIGURE 10
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution
(C6) > Fatigue Tool > Damage

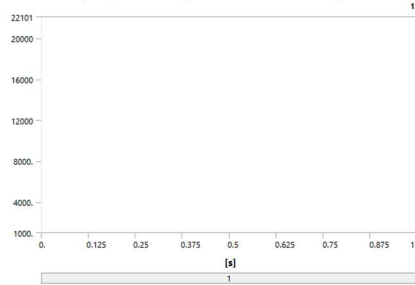


TABLE 17
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution
(C6) > Fatigue Tool > Damage

Time [s]	Minimum	Maximum
1.	1000.	22101

FIGURE 11
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution
(C6) > Fatigue Tool > Safety Factor

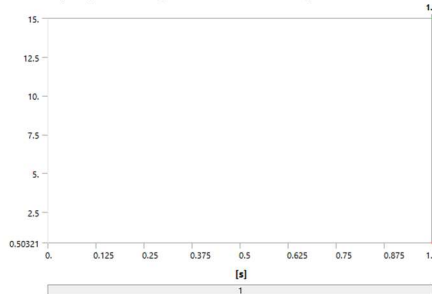


TABLE 18
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution
(C6) > Fatigue Tool > Safety Factor

Time [s]	Minimum	Maximum
1.	0.50321	15.

Material Data

Structural Steel

TABLE 19
Structural Steel > Constants

Density	7850 kg m ⁻³
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-005 C ⁻¹

Specific Heat	434 J kg ⁻¹ C ⁻¹
Isotropic Thermal Conductivity	60.5 W m ⁻¹ C ⁻¹
Isotropic Resistivity	1.7e-007 ohm m

TABLE 20
Structural Steel > Appearance

Red	Green	Blue
132	139	179

TABLE 21
Structural Steel > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength Pa
0

TABLE 22
Structural Steel > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength Pa
2.5e+008

TABLE 23
Structural Steel > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa
2.5e+008

TABLE 24
Structural Steel > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa
4.6e+008

TABLE 25
Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Zero-Thermal-Strain Reference Temperature C
22

TABLE 26
Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress

Alternating Stress Pa	Cycles	Mean Stress Pa
3.999e+009	10	0
2.827e+009	20	0
1.896e+009	50	0
1.413e+009	100	0
1.069e+009	200	0
4.41e+008	2000	0
2.62e+008	10000	0
2.14e+008	20000	0
1.38e+008	1.e+005	0
1.14e+008	2.e+005	0
8.62e+007	1.e+006	0

TABLE 27
Structural Steel > Strain-Life Parameters

Strength Coefficient Pa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strain Coefficient Pa	Cyclic Strain Hardening Exponent
9.2e+008	-0.106	0.213	-0.47	1.e+009	0.2

TABLE 28
Structural Steel > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
2.e+011	0.3	1.6667e+011	7.6923e+010	

TABLE 29
Structural Steel > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
10000

BIODATA PENULIS



Iqbal Rusdan Arief, lahir di Padang 10 Februari 1997. Anak terakhir dari 2 bersaudara dari pasangan Rusdan Lubis dan Zartini. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai pada 2003 di SD Negeri 22 Andalas Padang, kemudian pada tahun 2009 melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 1 Padang. Penulis juga melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 1 Padang pada tahun 2012 - 2015. Setelah menempuh pendidikan menengah, penulis melanjutkan untuk pendidikan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan pada 2015. Selama menempuh pendidikan di ITS Surabaya, penulis juga mengikuti beberapa kegiatan dalam rangka melakukan perkembangan pada beberapa bidang. Penulis diberi kesempatan untuk meningkatkan kemampuan pada

keprofesiannya melalui kerja praktek pada PT. Lamongan Marine Industry pada bidang konstruksi dan pembangunan kapal, termasuk sistem pada kapal. Kemudian penulis juga mendapat kesempatan untuk menambah pengalaman kerja praktek di PT. Pertamina Gas Eastern Java Area yang bergerak pada transportasi gas baik dari segi operasional maupun perancangan sistem perpipaan gas bawah laut Eastern Java Gas Pipeline. Selain itu, penulis juga meningkatkan kemampuan dalam berorganisasi di lingkup mahasiswa dengan aktif pada Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan (Himasiskal FTK – ITS) dengan menjadi Steering Committee Character Building 2016 dan juga setahun setelahnya menjadi Wakil Ketua Himasiskal FTK-ITS 'Bersama' pada tahun 2018. Selain itu penulis juga terlibat aktif dalam beberapa kegiatan Latihan Keterampilan Manajerial Mahasiswa mulai dari Pra-Tingkat Dasar hingga Tingkat Menengah dan juga aktif sebagai pemandu samudera FTK-ITS. Penulis juga melakukan penelitian tugas akhir ini pada bidang Marine Manufacture and Design (MMD) terkait kekuatan pipa bawah laut. Akhir kata, setitik tinta dapat mengubah sejuta pola pikir umat manusia, maka penulis mengajak kita untuk terus membubuhkan tinta kita dengan apapun yang bermanfaat bagi lingkungan kita sekitar.

Narahubung :

iqbalrusdanarief@yahoo.com

081315524982

[iqbalrusdanarief](#) (jejaringsosial)

[s.id/iqbalrusdanarief](#)