



TUGAS AKHIR – MO 184804

**ANALISIS PENJADWALAN INSPEKSI BERBASIS RISIKO
TERHADAP BENTANGAN BEBAS, STUDI KASUS : PT. X,
MADURA**

IFTINANIFFAH QONITAH

NRP. 04311640000034

Dosen Pembimbing

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D.

Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2020



FINAL PROJECT – MO 184804

**RISK BASED INSPECTION ANALYSIS TOWARDS FREE
SPANNING PIPELINE, CASE STUDY: PT.X, MADURA**

IFTINANIFFAH QONITAH

NRP. 04311640000034

Supervisors

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D.

Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

SURABAYA

2020

**ANALISIS PENJADWALAN INSPEKSI BERBASIS RISIKO
TERHADAP BENTANGAN BEBAS, STUDI KASUS : PT. X,
MADURA**

Tugas Akhir

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarja Teknik pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember


Oleh:

Iftinaniffah Qonitah

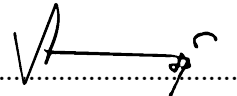
0431164000034

Disetujui oleh:

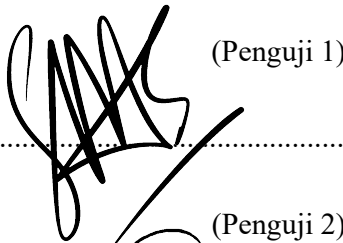
1. Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D (Pembimbing 1)

..... 

2. Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D (Pembimbing 2)

..... 

3. Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T. (Penguji 1)

..... 

4. Silvianita, S.T., M.T., Ph.D (Penguji 2)

..... 

5. Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc. (Penguji 3)

..... 

ANALISIS PENJADWALAN INSPEKSI BERBASIS RISIKO TERHADAP BENTANGAN BEBAS, STUDI KASUS : PT. X, MADURA

Nama : Iftinaniffah Qonitah
NRP : 04311640000034
Departemen : Teknik Kelautan FTK-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D.
Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRAK

Bentangan bebas yang terjadi pada pipa bawah laut dapat menyebabkan kelelahan akibat *vortex induced vibration* dan juga *local buckling*. Dari risiko kegagalan yang mungkin terjadi tersebut, maka diperlukan adanya penjadwalan inspeksi berbasis risiko. Pipa bawah laut 14" milik PT.X yang terletak di Selat Madura digunakan untuk menyalurkan gas dari CPP ke ORF dengan panjang 65 km memiliki 554 bentangan bebas. Pada tugas akhir ini akan dibahas mengenai bentangan-bentangan mana saja yang dapat menyebabkan kegagalan *fatigue* akibat VIV dan *local buckling*, kemudian akan dihitung risiko pada pipa bawah laut yang ditinjau untuk ditentukan penjadwalan inspeksi berikutnya dan mitigasi terhadap bentangan-bentangan kritis. Dalam analisis bentangan bebas *codes* yang digunakan adalah DNV RP F105 dan DNV OS F101. Sedangkan *codes* yang digunakan untuk penyusunan jadwal inspeksi adalah API RP 580. Untuk mengetahui keandalan pipa bawah laut yang ditinjau maka dilakukan simulasi keandalan monte carlo. Hasil *screening fatigue* akibat VIV menunjukkan bahwa terdapat 9 bentangan yang tidak lolos pada arah *in-line*, dengan panjang bentangan 27 m, 28 m, 29 m, 30 m, 33 m, dan 36 m, kemudian terdapat satu bentangan gagal statis dengan panjang 183 m. Sedangkan, pada arah *cross-flow* seluruh bentangan lolos *screening*. Tingkat risiko pipa bawah laut untuk moda kegagalan VIV dan *local buckling* pada aspek *safety* dan lingkungan berada pada kategori *medium*, sedangkan aspek aset berada pada kategori *high*. Sehingga, penjadwalan inspeksi pada aspek *safety* dan lingkungan dilakukan 6 tahun sekali, sedangkan untuk aset dilakukan 3 tahun sekali dengan *intelligent pigging* dan ROV. Upaya mitigasi pemasangan *clamp-on support with auger screw legs* dilakukan terhadap bentangan-bentangan kritis yang tidak lolos *screening*.

Kata Kunci : *free span, RBI, monte carlo, VIV, local buckling*

RISK BASED INSPECTION ANALYSIS FOR FREE SPANNING PIPELINES, CASE STUDY: PT.X, MADURA

Name : Iftinaniffah Qonitah
NRP : 04311640000034
Department : Ocean Engineering
Supervisor : Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D.
Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRACT

A free span that occurs in subsea pipelines can cause fatigue due to vortex-induced vibration and also local buckling. From the risk of failure that might occur, a risk-based inspection scheduling is required. PT.X's 14" subsea pipeline located in the Madura Strait is used to deliver gas from CPP to ORF with a length of 65 km and has 554 free spans. In this final project will discuss which spans can cause fatigue failure due to VIV and local buckling, then risk will be calculated to determine the next inspection and mitigation of critical spans. In the analysis of the free span codes used are DNV RP F105 and DNV OS F101. While the codes used for the risk-based inspection is API RP 580. Monte Carlo Simulation is performed to find out the reliability of the subsea pipeline. The results of fatigue screening due to VIV showed that 9 spans did not pass in the in-line direction, with a length of 27 m, 28 m, 29 m, 30 m, 33 m, and 36 m, then there was a static failure on 183 m span. Meanwhile, in the direction of cross-flow, all spans pass the screening. The level of subsea pipeline's risk for VIV and local buckling failure modes in the safety and environmental aspects is in the medium category, while the asset aspect is in the high category. Thus, scheduling inspections on safety and environmental aspects are done every 6 years, while for assets aspect is done every 3 years with intelligent pigging and ROV. Mitigation is done by installing clamp-on support with auger screw legs for critical spans that do not pass the screening.

Key Words : *free span, RBI, monte carlo, VIV, local buckling*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur dipanjatkan kehadiran Allah SWT, berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini ditulis untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan program studi sarjana di Departemen Teknik Kelautan dengan judul “Analisis Penjadwalan Inspeksi Berbasis Risiko Terhadap Bentangan Bebas, Studi Kasus: PT. X, Madura”. Tugas akhir ini berisi mengenai analisis bentangan bebas terhadap kriteria VIV, *fatigue*, dan *local buckling*. Kemudian, dilakukan analisis risiko dan penjadwalan inspeksi berbasis risiko terhadap moda kegagalan *fatigue* akibat VIV dan *local buckling*.

Seperti kata pepatah, “tak ada gading yang tak retak”. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan karena berbagai keterbatasan penulis. Oleh karena itu, kritik dan saran dari semua pihak sangat diharapkan untuk kedepannya. Semoga apa yang telah disampaikan penulis dalam Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, 7 Mei 2020

Penulis

UCAPAN TERIMAKASIH

Penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lepas dari dukungan oleh banyak pihak. Penulis mengucapkan terima kasih atas segala bantuan dan bimbingan yang diberikan baik secara langsung maupun tidak langsung kepada

1. Keluarga penulis yang selalu memberikan dukungan, doa, kasih sayang, materi, dan bimbingan kepada penulis hingga saat ini.
2. Bapak Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D. dan Bapak Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing penulis atas bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku dosen wali yang telah memberikan bimbingan selama 8 Semester perkuliahan penulis.
4. Seluruh dosen dan karyawan di Departemen Teknik Kelautan atas ilmu, wawasan, serta fasilitas-fasilitas yang diberikan selama masa perkuliahan.
5. Abizar Giffari, Imam Safi'i dan Winda Putri A atas perhatian, waktu dan dukungan yang telah diberikan. Terima kasih telah menemani hari-hari pengerjaan Tugas Akhir ini.
6. Mahardhika Silvia, Rhea Elian, Ayudia, dan Safira Dita atas dukungan semangat dan perhatian kepada penulis. Terima kasih karena selalu ada disaat yang dibutuhkan.
7. M Hisyam Ramadhan dan Siti Isfania Kayla R atas kesediaannya untuk mendengarkan keluh kesah penulis.
8. Teman-teman P56-L34 ADHIWAMASTYA atas kenangan-kenangan selama masa perkuliahan.
9. Mas Ahmad Syahroni yang telah memperkenalkan penulis untuk menggunakan data dari yang bersangkutan sehingga dapat diselesaikannya Tugas Akhir ini.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMAKASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Sistematika penulisan.....	5
BAB II.....	7
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Dasar Teori.....	8
BAB III	61
METODOLOGI PENELITIAN	61
3.1 Diagram Alir	61
3.2 Prosedur Pengerjaan.....	64
BAB IV	69

ANALISIS DAN PEMBAHASAN	69
4.1 Data	69
4.2 <i>Screening</i> L/D	70
4.3 Perhitungan properti pipa	71
4.4 Analisis kecepatan partikel	72
4.5 Analisis gaya hidrodinamis	76
4.6 Perhitungan parameter VIV	78
4.7 Analisis <i>dynamic soil stiffness</i> dan CSF	78
4.8 Analisis frekuensi natural	80
4.8 <i>Screening</i> kriteria VIV	83
4.9 Respon model	85
4.10 <i>Screening</i> kriteria <i>fatigue</i>	87
4.10 Perhitungan <i>design moment</i>	90
4.11 <i>Screening</i> kriteria ULS	92
4.12 Simulasi Monte Carlo	93
4.13 Konsekuensi kegagalan dan matriks risiko	95
4.14 <i>Risk based inspection</i>	99
4.15 Mitigasi	100
BAB V	103
KESIMPULAN DAN SARAN	103
5.1 Kesimpulan	103
5.2 Saran	105
DAFTAR PUSTAKA	106

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Bentangan bebas (Bai <i>et al</i> , 2014)	1
Gambar 2. Fasilitas produksi (Syahroni, 2018)	3
Gambar 3. Ilustrasi global buckling pada pipa bawah laut (Sumber: <i>anakkelautan.wordpress.com</i>)	17
Gambar 4. Ilustrasi local buckling pada pipa bawah laut (Selker, 2013).....	17
Gambar 5. Arah aliran pipa (Mouselli, 1981)	19
Gambar 6. <i>Reduction factor</i> (DNV RP F105, 2017).....	22
Gambar 7. Ilustrasi aliran pada sekitar pipa (Bai <i>et al</i> , 2014).....	24
Gambar 8, Nilai faktor koreksi terhadap aliran tak tunak terhadap KC (DNV RP F105, 2017)	26
Gambar 9. Hubungan frekuensi natural pipa dengan frekuensi natural <i>vortex shedding</i> (Bai <i>et al</i> , 2014)	34
Gambar 10. Nilai amplitudo <i>in-line</i> VIV terhadap <i>Reduced Velocity</i> (DNV RP F105, 2017)	42
Gambar 11. Prinsip umum model <i>in-line</i> (DNV RP F105, 2017)	43
Gambar 12. Grafik hubungan faktor reduksi terhadap <i>turbulence intensity</i> dan sudut aliran (DNV RP F105, 2017).....	44
Gambar 13. Prinsip respon model arah cross flow (DNV RP F015, 2017).....	45
Gambar 14. Amplitudo respon A_z/D (DNV RP F105, 2017).....	45
Gambar 15. <i>Suppression device</i> (Bai <i>et al</i> , 2014).....	59
Gambar 16. Diagram alir pengerjaan	61
Gambar 17. Grafik simulasi keandalan monte carlo	94
Gambar 18. Matriks risiko <i>safety</i>	96

Gambar 19. Matriks risiko lingkungan	97
Gambar 20. Matriks risiko aset	99
Gambar 21. Clamp-on supports with telcecosping legs (kiri) dan Clamp-on supports with auger screw legs (kanan) (Lee, 2002).....	100
Gambar 22. Matriks risiko setelah mitigasi	102

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Respon bentangan bebas (DNV RP F105, 2017).....	15
Tabel 2. Kriteria respon berdasarkan aliran arus (DNV RP F105, 2017)	18
Tabel 3. Kekasaran dasar laut (DNV RP F107, 2017).....	23
Tabel 4. Kekasaran permukaan (DNV RP F105, 2017).....	26
Tabel 5. Faktor kekakuan dinamis <i>sand</i> (DNV RP F105, 2017)	31
Tabel 6. Faktor kekakuan dinamis <i>clay</i> (DNV RP F105, 2017)	31
Tabel 7. <i>Geotechnical Parameter</i> untuk <i>Sand</i> (DNV RP F105, 2006).....	32
Tabel 8. <i>Geotechnical Parameter</i> untuk <i>clay</i> (DNV RP F105, 2006).....	32
Tabel 9. Koefisien <i>Boundary Conditions</i> (DNV RP F105, 2017)	38
Tabel 10. Faktor keselamatan untuk screening criteria (DNV RP F105, 2017) ...	38
Tabel 11. Faktor keselamatan terkait dengan kelelahan (DNV RP F101, 2017)..	39
Tabel 12. Nilai $\gamma_{f,IL}$ dan $\gamma_{f,CF}$ (DNV RP F105, 2017)	40
Tabel 13. <i>Load effect factors</i> dan beban kombinasi beban (DNV OS F101, 2010)	48
Tabel 14. <i>Condition load effect factor</i> (DNV OS F101, 2010).....	48
Tabel 15. Interval penjadwalan inspeksi (API RP 2SIM dalam Alamsyah, 2013)52	
Tabel 16. Metode inspeksi pada masing-masing permasalahan (DNV RP F116, 2017)	55
Tabel 17. Kategori CoF (API RP 580, 2009).....	57
Tabel 18. Matriks risiko menurut API 580	58
Tabel 19. Kategori PoF (API RP 580, 2009)	58
Tabel 20. Mitigasi bentangan bebas (Lee, 2002)	59
Tabel 21. Data umum pipa bawah laut.....	69

Tabel 22. Data coating pipa	70
Tabel 23. Data lingkungan	70
Tabel 24. Hasil perhitungan properti pipa.....	71
Tabel 25. Perhitungan massa pipa dan massa konten.	72
Tabel 26. Hasil perhitungan massa efektif.....	72
Tabel 27. Parameter JONSWAP	73
Tabel 28. Iterasi gelombang periode ulang 1 tahun	73
Tabel 29. Iterasi angka gelombang periode ulang 100 tahun.....	73
Tabel 30. Spektral gelombang periode ulang 1 tahun pada gap 0.1 m	74
Tabel 31. Hasil perhitungan kecepatan pada elevasi pipa dengan gap 0.1 m	75
Tabel 32. Kecepatan arus total	75
Tabel 33. Perhitungan gaya <i>drag</i>	77
Tabel 34. Perhitungan gaya <i>lift</i>	77
Tabel 35. Gaya hidrodinamis total	77
Tabel 36. Parameter VIV	78
Tabel 37. <i>dynamic soil stiffness</i>	78
Tabel 38. Perhitungan CSF	79
Tabel 39. <i>Relative soil stiffness</i>	79
Tabel 40. Panjang bentangan efektif.....	80
Tabel 41. Gaya aksial efektif	81
Tabel 42. Perhitungan <i>critical buckling load</i>	81
Tabel 43. Defleksi statis arah <i>in-line</i>	82
Tabel 44. Defleksi statis arah <i>cross-flow</i>	82
Tabel 45. frekuensi natural arah <i>in-line</i>	83

Tabel 46. frekuensi natural arah <i>cross-flow</i>	83
Tabel 47. Hasil <i>screening</i> VIV arah <i>in-line</i>	84
Tabel 48. Perhitungan $V_{R,onset}$ arah <i>in-line</i>	86
Tabel 49. Respon model arah <i>in-line</i>	86
Tabel 50. Perhitungan $V_{R,onset}$ arah <i>cross-flow</i>	87
Tabel 51. Respon model arah <i>cross-flow</i>	87
Tabel 52. Hasil <i>screening</i> kriteria <i>fatigue</i>	88
Tabel 53. <i>Bending moment</i> akibat beban fungsional	90
Tabel 54. <i>Bending moment</i> akibat beban lingkungan	91
Tabel 55. <i>Total design moment</i>	91
Tabel 56. Parameter ULS	92
Tabel 57. Perhitungan desain gaya aksial efektif	92
Tabel 58. Tidak lolos <i>screening</i> ULS	93
Tabel 59. Parameter dan distribusi variabel acak	94
Tabel 60. Hasil simulasi keandalan monte carlo	95
Tabel 61. Kategori PoF VIV dan <i>local buckling</i>	95
Tabel 62. Konsekuensi <i>safety</i>	96
Tabel 63. Konsekuensi lingkungan	97
Tabel 64 Perhitungan total gas	98
Tabel 65. Konsekuensi aset	98
Tabel 66. Penjadwalan inspeksi	99
Tabel 67. Perhitungan panjang bentangan bebas dengan <i>supports</i>	101
Tabel 68. Hasil simulasi keandalan monte carlo setelah mitigasi	102

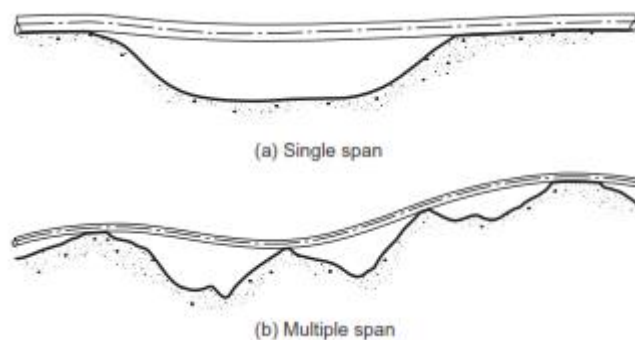
BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketika penggunaan pipa bawah laut memasuki laut dalam, keadaan topografi bawah laut yang tidak beraturan semakin banyak ditemui (Yttervik, 2003). Konfigurasi pipa bawah laut bergantung pada beberapa hal termasuk kondisi topografi bawah laut. Kondisi topografi yang tidak rata dapat menyebabkan adanya bagian pipa bawah laut yang tidak memiliki penyangga sehingga membentuk bentangan bebas (*free span*). Bentangan yang terjadi pada pipa tidak terbatas hanya pada satu bentangan, namun juga memungkinkan terbentuknya beberapa bentangan (Bai *et al*, 2014). Jenis bentangan yang terjadi pada pipa dapat dilihat pada Gambar 1.

Bentangan bebas dapat menyebabkan kegagalan pipa dikarenakan oleh kelelahan dan tegangan yang berlebih. Ketika fluida melewati bentangan pipa bawah laut, akan terbentuk pusaran di belakang pipa yang dapat membuat pipa bererosi. Apabila pipa beresonansi dengan frekuensi naturalnya, maka pipa akan mengalami kegagalan pipa akibat kelelahan (Guo *et al*, 2005). Selain itu, bentangan bebas dapat menyebabkan *local buckling*. *Local buckling* adalah keadaan dimana pipa bawah laut melebihi batas ultimate pipa akibat beban dari berbagai kondisi (Li *et al*, 2017 dalam Wahyuni, 2019).



Gambar 1. Bentangan bebas (Bai *et al*, 2014)

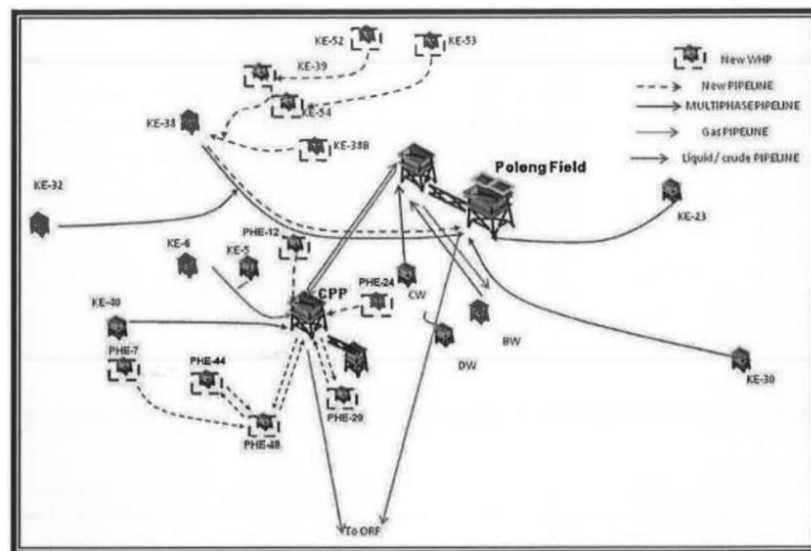
Bentangan bebas berpengaruh besar pada *safety* dan *integrity* pada operasi pipa bawah laut (Bai *et al*, 2014). Inspeksi dan perawatan, sebagai

bagian dari *safety* dan *integrity*, dalam praktiknya dijalankan berdasarkan pengalaman. Namun, dengan berkembangnya peraturan yang dibuat oleh pemerintah (terutama dalam peraturan lingkungan), operator mengembangkan perencanaan perawatan dan inspeksi berbasis analisis dan data (Dey *et al*, 2015).

Penjadwalan inspeksi terdiri atas dua kata, yakni jadwal dan inspeksi. Menurut KBBI (2016), jadwal merupakan rencana aktivitas yang dilakukan dengan pembagian waktu pelaksanaan yang detail. Sedangkan inspeksi merupakan pemeriksaan secara langsung dan terperinci menurut peraturan yang berlaku. Sehingga, dapat dikatakan bahwa penjadwalan inspeksi merupakan perencanaan waktu kegiatan pemeriksaan secara langsung dan terperinci menurut peraturan yang berlaku. Pada tugas akhir ini, penjadwalan inspeksi yang akan direncanakan berkaitan dengan bentangan bebas pada pipa bawah laut menurut *code* API RP 580 dan API RP 2SIM.

Beberapa Tugas Akhir yang memiliki topik bentangan bebas antara lain milik Khanifudin (2015). Pada tugas akhir ini dilakukan pengecekan terhadap kekuatan struktur pipa bawah laut atau *screening Ultimate Limit State*. Pengecekan ULS dilakukan berdasarkan DNV RP F105 dan DNV OS F101. Disamping melakukan pengecekan, Khanifudin melakukan analisis tegangan *ultimate* berdasarkan ABS 2005 dengan menggunakan metode *incremental load*. Dalam hasil analisis yang dilakukan, pipa bawah laut yang ditinjau mengalami *propagation buckling*, sehingga diperlukan analisis lebih lanjut mengenai *buckle arrestor* sebagai mitigasi *propagation buckling*. Sedangkan dalam tugas akhir Rudiyanto (2014), dilakukan penjadwalan inspeksi berbasis risiko terhadap bentangan bebas yang terjadi pada pipa bawah laut milik PT. *Trans Pacific Petrochemical Indotama*. Peluang kegagalan pada bentangan bebas dihitung dengan menggunakan simulasi monte carlo dengan moda kegagalan untuk osilasi *in-flow* dan osilasi *cross-flow*. Variabel acak yang digunakan dalam simulasi monte carlo adalah Dalam tugas akhir milik Rudiyanto, peluang kegagalan statis tidak dipertimbangkan.

Dari risiko kegagalan yang mungkin ditimbulkan oleh bentangan bebas pada tugas akhir sebelumnya, maka perlu dilakukan analisis penjadwalan inspeksi terhadap bentangan bebas baik secara dinamis maupun statis. Dalam tugas akhir ini akan dianalisis mengenai penjadwalan inspeksi berbasis risiko dari moda kegagalan VIV dan *local buckling*. Pipa bawah laut yang ditinjau merupakan milik PT. X yang terletak di lepas pantai Madura. Pipa bawah laut yang berukuran 14 inch tersebut menghubungkan *Central Processing Platform* dengan *Onshore Receiving Facility* sepanjang 65 km dan mengangkut gas. Rute dan ilustrasi fasilitas produksi yang ditinjau dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Fasilitas produksi (Syahroni, 2018)

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah berdasarkan latar belakang tersebut antara lain

1. Berapa panjang bentangan yang dapat menyebabkan kelelahan akibat VIV dan panjang bentangan yang dapat menyebabkan *local buckling*?
2. Bagaimana tingkat risiko bentangan bebas terhadap masing-masing moda kegagalan?
3. Bagaimana penjadwalan inspeksi yang sesuai?

4. Bagaimana mitigasi yang tepat terhadap bentangan bebas yang dapat menyebabkan kelelahan akibat VIV dan *local buckling* ?

1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah

1. Mengetahui panjang bentangan yang dapat menyebabkan kelelahan akibat VIV dan panjang bentangan yang dapat menyebabkan *local buckling*
2. Mengetahui tingkat risiko bentangan bebas terhadap masing-masing moda kegagalan, yakni moda kegagalan VIV dan moda kegagalan *local buckling*
3. Mengetahui penjadwalan inspeksi yang sesuai terhadap *free span* yang ditinjau
4. Mengetahui mitigasi yang tepat terhadap *free span* pada pipa bawah laut yang ditinjau.

1.4 Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini adalah

1. Memberikan informasi mengenai panjang bentangan yang dapat menyebabkan kelelahan akibat VIV dan panjang bentangan yang dapat menyebabkan *local buckling*
2. Memberikan informasi tentang tingkat risiko bentangan bebas pada masing-masing moda kegagalan
3. Memberikan informasi terkait penjadwalan inspeksi yang sesuai terhadap *free span* yang ditinjau
4. Memberikan penjelasan tentang mitigasi yang tepat terhadap *free span* pada pipa bawah laut yang ditinjau.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada Tugas Akhir ini adalah

1. Jenis bentangan yang ditinjau adalah *single span*

2. Analisis dilakukan pada kondisi operasi
3. Aliran fluida didalam pipa diasumsikan sebagai aliran tunak
4. Aliran yang mengenai pipa tegak lurus dengan pipa
5. Pengaruh *scouring* dan *marine growth* diabaikan
6. Tumpuan pada ujung-ujung pipa adalah *fixed-fixed*
7. Kedalaman pada setiap bentangan diasumsikan sama
8. Analisis *full fatigue* tidak dilakukan
9. Sistem mitigasi tidak memperhitungkan biaya

1.6 Sistematika penulisan

Pada Bab I pada laporan ini, berisi mengenai latar belakang penelitian yang dilakukan. Dari latar belakang yang sudah dijelaskan, disusun permasalahan yang hendak diselesaikan. Pada bab ini juga disebutkan tujuan dan manfaat dari penulisan tugas akhir ini. Subbab terakhir pada bab ini mengandung sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini.

Kemudian, pada bab kedua berisi mengenai tinjauan pustaka dan dasar teori. Tinjauan pustaka menjelaskan mengenai penelitian-penelitian dan publikasi terdahulu yang terkait dengan topik yang sedang diteliti. Sedangkan, dasar teori mengandung teori-teori terkait yang bersumber dari buku dan literatur, termasuk *codes* dan *standard* yang berhubungan dengan penelitian.

Pada Bab III yang berisi metodologi penilitan, menunjukkan urutan pengerjaan dalam penelitian yang dilaksanakan pada tugas akhir ini. Dari masing-masing langkah dijelaskan apa saja yang dilakukan dalam langkah tersebut. Kemudian, analisis data yang dimiliki terdapat pada Bab IV. Pada tugas akhir ini, analisis yang dilakukan terkait dengan *screening* frekuensi natural, *screening* ULS, penjadwalan inspeksi dan mitigasi pada bentangan bebas yang ditinjau. Apabila diperlukan, analisis kelelahan juga akan

dilakukan. Dari analisis yang telah dilakukan, kesimpulan dari analisis tersebut dijabarkan pada Bab V. Selain kesimpulan, saran untuk penelitian lebih lanjut juga dijelaskan. Kemudian, seluruh referensi dalam pengerjaan tugas akhir ini ditulis pada Daftar Pustaka. Referensi dapat berupa tugas akhir terdahulu, buku-buku teori terkait, jurnal, prosiding, dan lain sebagainya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Selain Khanifudin (2015) dan Rudiyanto (2014), Lomantoro (2018) melakukan analisis kekuatan maksimum bentangan bebas pipa terhadap kriteria ULS, kemudian perhitungan yang sudah dilakukan divalidasi dengan hasil perhitungan AutoPIPE. Analisis mengenai bentangan bebas juga dilakukan oleh Basir (2015), analisis yang dilakukan adalah tegangan pipa bawah laut, analisis dinamis bentangan bebas, dan juga analisis kelelahan. Namun, perlu dilakukan pengecekan ULS terhadap bentang span yang terjadi untuk mengetahui keperluan retifikasi terhadap pipa bawah laut yang ditinjau.

Analisis VIV pada bentangan bebas yang dilakukan pada pipa bawah laut di Perairan Madura dilakukan oleh Syahroni (2018). Pada analisis ini diasumsikan bahwa bentangan yang terjadi memiliki tumpuan *pinned-roll*. Hasil dari analisis yang dilakukan, didapatkan tegangan ekuivalen pada masing-masing bentangan, panjang bentangan yang diijinkan, dan umur kelelahan pada bentangan yang ditinjau. Untuk penelitian selanjutnya, Syahroni (2018) menyarankan untuk melakukan analisis bentangan bebas dengan asumsi *multispan* dengan menggunakan *software* ABAQUS untuk melihat respon gerakan pipa.

Xu *et al* (2010) melakukan perhitungan terhadap panjang bentangan bebas maksimum yang diijinkan dan *safety assessment*. Panjang bentangan bebas maksimum yang diijinkan dilakukan dalam metode statis dan dinamis. Perhitungan dinamis juga dilakukan pada keadaan badai dikarenakan wilayah yang ditinjau sering terjadi badai. Dari hasil *safety assessment*, diketahui terdapat 8 bentangan bebas yang membahayakan pipa bawah laut.

Analisis risiko pada bentangan bebas juga dilakukan oleh Shabani *et al* (2019). Dalam penelitiannya, dilakukan perhitungan peluang kegagalan terhadap moda kegagalan kelelahan VIV dengan validasi menggunakan *Artificial Neural Network* (ANN) dan simulasi monte carlo. Sedangkan

peluang kegagalan dengan moda kegagalan ledakan pipa dan *local buckling* dilakukan dengan metode *First Order Reliability Methods* dan simulasi monte carlo. Dampak dari masing-masing parameter peluang kegagalan tersebut dianalisis dengan menggunakan *alpha index*.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pipelines

Pipelines memiliki peran penting dalam berlangsungnya proses pengembangan minyak dan gas lepas pantai. *Pipelines* digunakan sebagai pipa transportasi untuk ekspor, pipa penyalur produksi dari suatu platform ke pipa ekspor, pipa pengangkut produksi antar platform, *subsea manifolds* dan sumur-sumur satelit. Selain itu, *pipelines* juga berfungsi sebagai pipa pengalir untuk injeksi air atau bahan kimia (Soegiono, 2007).

Soegiono (2007) juga menyebutkan, dalam membuat rancangan yang optimal, terdapat beberapa analisis yang harus dilakukan. Dalam rekayasa konsep, disusun kajian kelayakan mengenai rancangan sistem dan konstruksi. Kemudian beralih ke *Basic Engineering*, dalam proses ini rancangan dan konsep pipa diselesaikan, termasuk didalamnya ukuran pipa, grade dan tebal pipa yang sesuai dengan *codes*, dan perijinan kepada pemerintah. Setelah itu, masuk ke tahap *Detail Engineering*, desain yang sudah diterima dikaji kembali dan dilakukan optimasi rute. Disamping optimasi rute, tegangan yang terjadi pada pipa dianalisis, termasuk didalamnya adalah analisis bentangan dan VIV, analisis stabilitas, analisis ekspansi, analisis *buckling*, dan analisis *crossing*.

2.2.1.1 Perhitungan umum pipa

Dalam perancangan pipa, aspek-aspek perancangan yang harus diperhatikan antara lain adalah

a. Tebal dinding pipa

Menurut DNV OS F101 (2010), terdapat dua persamaan tebal dinding pipa, yakni t_1 dan t_2 . t_1 digunakan apabila kegagalan

akan muncul pada koneksi pipa dengan kondisi beban kecil dan tingkat korosi yang terjadi sangat kecil. Sedangkan t_2 digunakan apabila kemungkinan kegagalan muncul di koneksi pipa dengan kondisi pembebanan ekstrim pada lokasi dengan tebal rata-rata. Dalam persamaan t_2 saat operasi, korosi pada pipa diperhitungkan. Persamaan t_2 saat operasi tercantum pada Persaman 2.1.

$$t_2 = t - t_{corr} \quad (2.1)$$

dengan,

$$t = \text{tebal nominal dinding pipa} \quad (\text{m})$$

$$t_{corr} = \text{tebal } corrosion \text{ allowance} \quad (\text{m})$$

b. Diameter total pipa

Total keseluruhan dari diameter pipa baja dan lapisan-lapisan yang melindunginya, serta *marine growth* disebut diameter total pipa. Persamaan untuk menentuka diameter total pipa terdapat pada Persamaan 2.2.

$$D_t = D_0 + 2t_{cc} + 2t_{conc} + 2t_{mg} \quad (2.2)$$

dengan,

$$D_t = \text{Diameter total pipa} \quad (\text{m})$$

$$D_0 = \text{Diameter luar pipa baja} \quad (\text{m})$$

$$t_{cc} = \text{Tebal lapisan anti korosi} \quad (\text{m})$$

$$t_{conc} = \text{Tebal } concrete \text{ coating} \quad (\text{m})$$

$$t_{mg} = \text{Tebal } marine \text{ growth} \quad (\text{m})$$

c. Diameter dalam pipa

Diameter dalam pipa adalah ukuran maksimum diameter pipa baja yang dapat dialiri oleh fluida. Persamaan untuk diameter dalam pipa dapat dilihat pada Persamaan 2.3.

$$D_i = D_0 - 2(t + t_{int}) \quad (2.3)$$

dengan,

$$D_i = \text{Diameter dalam pipa} \quad (\text{m})$$

$$D_0 = \text{Diameter luar pipa baja} \quad (\text{m})$$

$$t = \text{tebal nominal dinding pipa} \quad (\text{m})$$

$$t_{int} = \text{tebal lapisan anti korosi internal} \quad (\text{m})$$

d. Diameter *concrete coating*

Concrete coating dalam penggunaannya pada pipa bawah laut berfungsi sebagai pengontrol *buckling*, termasuk *lateral buckling*. Selain itu, *concrete coating* juga berfungsi sebagai pemberat pipa untuk menjaga kestabilan pipa baik secara lateral maupun vertikal. Berdasarkan praktik di lapangan, ketebalan *concrete coating* memiliki batas minimum, yakni 20 mm dan batas maksimum 120 mm (Bai *et al*, 2014). Sedangkan dalam DNV OS F101 (2010), menyebutkan bahwa tebal minimum *concrete coating* adalah 40 mm. Untuk menentukan diameter *concrete coating* dapat dilihat pada Persamaan 2.4.

$$D_{conc} = D_0 + 2(t_{cc} + t_{conc}) \quad (2.4)$$

dengan,

$$D_{conc} = \text{Diameter selimut beton} \quad (\text{m})$$

$$t_{cc} = \text{Tebal lapisan anti korosi} \quad (\text{m})$$

$$t_{conc} = \text{Tebal } \textit{concrete coating} \quad (\text{m})$$

e. Diameter *corrosion coating*

Pipa baja yang dialiri oleh fluida secara terus menerus perlahan-lahan akan mengalami korosi. Maka dari itu, pipa perlu diberikan lapisan anti korosi. Diameter lapisan anti korosi pada pipa bawah laut dapat diketahui melalui Persamaan 2.5.

$$D_{cc} = D_0 + 2t_{cc} \quad (2.5)$$

dengan,

$$D_{cc} = \text{Diameter } \textit{corrosion coating} \quad (\text{m})$$

$$t_{cc} = \text{Tebal lapisan anti korosi} \quad (\text{m})$$

f. Momen inersia pipa baja

Persamaan momen inersia pipa baja dapat tercantum pada Persamaan 2.6.

$$I_{ST} = \pi \frac{(D_i^4 - D_o^4)}{64} \quad (2.6)$$

dengan,

$$I_{ST} = \text{Momen inersia pipa baja} \quad (\text{m}^4)$$

$$D_i = \text{Diameter dalam pipa} \quad (\text{m})$$

$$D_o = \text{Diameter luar pipa baja} \quad (\text{m})$$

g. Momen inersia selimut beton

Persamaan momen inersia pipa baja dapat tercantum pada Persamaan 2.7.

$$I_{conc} = \pi \frac{(D_t^4 - D_{conc}^4)}{64} \quad (2.7)$$

dengan,

$$I_{conc} = \text{Momen inersia selimut beton} \quad (\text{m}^4)$$

D_t = Diameter total pipa (m)

D_{conc} = Diameter selimut beton (m)

h. Luas penampang pipa baja

Dengan penampang lingkaran, maka luas penampang internal pipa baja dapat diketahui dengan menggunakan Persamaan 2.8

$$A_i = \pi \frac{(D_i^2)}{4} \quad (2.8)$$

Sedangkan luas penampang internal pipa baja dapat diketahui dengan Persamaan 2.9.

$$A_{st} = \pi \frac{(D_0^2 - D_i^2)}{4} \quad (2.9)$$

dengan,

D_i = Diameter dalam pipa (m)

D_0 = Diameter luar pipa baja (m)

2.2.1.2 Massa efektif pipa

Menurut Guo *et al* (2005), massa efektif pipa didapat dari penjumlahan massa pipa itu sendiri, massa fluida yang mengalir pada pipa tersebut, dan massa tambah pipa. Sehingga persamaan massa efektif pipa dapat dituliskan dalam persamaan 2.10.

$$m_e = m_{str} + m_c + m_a \quad (2.10)$$

dengan,

m_e = Massa efektif pipa (kg/m)

m_{str} = Massa struktur pipa (kg/m)

m_c = Massa konten pipa (kg/m)

m_a = Massa tambah pipa (kg/m)

Massa tambah pipa adalah massa air yang dipindahkan oleh pipa bawah laut tersebut. Massa tambah pipa dapat diketahui melalui persamaan 2.11.

$$M_a = \frac{\pi D_t^2 \rho}{4} C_a \quad (2.11)$$

dengan,

$$\rho = \text{Massa jenis air laut} \quad (1025 \text{ kg/m}^3)$$

$$D_t = \text{Diameter total pipa} \quad (\text{m})$$

$$C_a = \text{Koefisien massa tambah}$$

Menurut DNV RP F105 (2006), koefisien massa tambah pipa dapat diketahui melalui persamaan berikut

$$C_a = \begin{cases} 0.68 + \frac{1.6}{1+5(\frac{e}{D_t})} & \text{untuk } \left(\frac{e}{D_t}\right) < 0.8 \\ 1 & \text{untuk } \left(\frac{e}{D_t}\right) > 0.8 \end{cases} \quad (2.12)$$

dengan e/D_t adalah rasio *gap* bentangan dan e adalah jarak antara *seabed* dengan pipa. Sedangkan massa struktur pipa adalah massa pipa dengan massa lapisan antri korosi dan *concrete coating*. Persamaan untuk massa pipa tercantum pada Persamaan 2.13 hingga 2.16.

$$m_{str} = m_{st} + m_{cc} + m_{conc} \quad (2.13)$$

$$m_{st} = A_{st} \rho_{st} \quad (2.14)$$

$$m_{cc} = \frac{\pi(D_{cc}^2 - D_0^2)}{4} \rho_{cc} \quad (2.15)$$

$$m_{conc} = \frac{\pi(D_{wc}^2 - D_0^2)}{4} \rho_{wc} \quad (2.16)$$

dengan,

$$m_{str} = \text{Massa struktur pipa} \quad (\text{kg/m})$$

$$m_{st} = \text{Massa pipa baja} \quad (\text{kg/m})$$

m_{cc} = Massa lapisan anti korosi (kg/m)

m_{conc} = Massa selimut beton (kg/m)

ρ_{st} = Massa jenis baja (kg/m³)

ρ_{cc} = Massa jenis lapisan korosi (kg/m³)

ρ_{conc} = Massa jenis selimut beton (kg/m³)

Untuk massa fluida yang mengalir dalam pipa dapat diketahui dengan menggunakan Persamaan 2.17.

$$m_c = A_i \rho_c \quad (2.17)$$

dengan,

ρ_c = Massa jenis konten pipa (kg/m³).

2.2.1.3 Berat terendam pipa

Berat pipa saat berada di dalam laut mengalami penurunan akibat adanya gaya apung dari air. Berat terendam pipa juga juga berpengaruh pada gesekan antara pipa dengan tanah untuk mencapai keseimbangan (Bai, 2014). Persamaan untuk mengetahui berat terendam pipa terdapat pada Persamaan 2.18 dan Persamaan 2.19.

$$W_{sub} = (m_{st} + m_c + m_{cc} + m_{conc})g - F_{buoy} \quad (2.18)$$

$$\text{dengan, } F_{buoy} = \frac{\pi}{4} \rho_w D_i^2 \cdot g \quad (2.19)$$

ρ_w = Massa jenis air laut (kg/m³)

2.2.2 Bentangan bebas

Menurut Guo *et al* (2005) dan Bai *et al* (2014), bentangan bebas terjadi saat bagian pipa kehilangan penyangga atau kehilangan interaksi dengan tanah. Bentangan bebas dapat menjadi ancaman pada pipa yang tidak terpendam. Hal ini dikarenakan bentangan bebas sebagian besar muncul pada *seabed* yang tidak rata dan *local scouring* akibat aliran turbulen dan ketidak stabilan aliran (Bakhtiary *et al*, 2007). Pernyataan ini juga sesuai pada DNV RP F105 (2006), yang menyatakan bentangan

bebas dapat dikarenakan oleh tidak rata permukaan dasar laut, perubahan dasar laut akibat faktor lingkungan, penyangga buatan, dan *scouring*. Bentangan bebas dapat mengakibatkan kegagalan pada pipa bawah laut, antara lain

- Kegagalan akibat tegangan berlebih dari bentangan yang panjang
- Kelelahan akibat beban gelombang dan *vortex induced vibration* pada pipa
- *Local Buckling* karena tingginya *local bending* akibat dari berat pipa dan beban arus, VIV dan beban gelombang, dan aktifitas memancing menggunakan pukat (Bai *et al*, 2014).

Bentangan bebas boleh saja terjadi namun dalam kondisi tertentu. Karakteristik respon bentangan bebas dapat diketahui melalui panjang aktual bentangan bebas dan diameter total pipa. Karakteristik respon bentangan bebas menurut DNV RP F105 (2006) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Respon bentangan bebas (DNV RP F105, 2017)

L/D	Deskripsi respon
$L/D < 30$ ¹⁾	Amplifikasi dinamis sangat kecil Biasanya tidak perlukan <i>fatigue design check</i> secara menyeluruh. Respon dinamis terhadap beban lingkungan tidak signifikan dan tidak berpotensi terjadi VIV.
$30 < L/D < 100$	Respon didominasi oleh perilaku <i>beam</i> Terjadi pada bentangan bebas dibawah kondisi operasi. Frekuensi natural mendekati kondisi batas (dan gaya aksial efektif).

Tabel 1. Respon bentangan bebas lanjutan (DNV RP F105, 2017)

L/D	Deskripsi respon
100 < L/D < 200	<p>Respon didominasi oleh kombinasi perilaku <i>beam</i> dan <i>cable</i></p> <p>Relevan untuk bentangan bebas pada <i>seabed</i> yang tidak rata pada kondisi sementara. Frekuensi natural mendekati kondisi batas, gaya aksial efektif (termasuk <i>initial deflection</i>, kekakuan geometris), dan <i>pipe feed-in</i>.</p>
L/D > 200	<p>Respon didominasi oleh perilaku <i>cable</i></p> <p>Relevan untuk pipa dengan diameter kecil pada kondisi sementara. Frekuensi natural dipengaruhi oleh bentuk defleksi dan gaya aksial efektif.</p>
<p>1) Untuk <i>hot pipelines</i> (respon didominasi oleh gaya aksial efektif) atau berada pada kondisi ekstrem ($U_c > 1.0 - 2.0$ m/s), nilai L/D bisa berbeda.</p>	

2.2.2.1 Buckling

Buckling yang terjadi pada pipa bawah laut dapat menyebabkan kegagalan pipa bawah laut apabila tidak ditangani secepatnya. Terdapat beberapa macam *buckling* yang biasa terjadi pada pipa bawah laut, antara lain

a. *Global buckling*

Peristiwa global buckling merupakan *buckling* yang terjadi akibat suatu kondisi tahanan tanah dan juga ekspansi termal dan tekanan yang menimbulkan tekanan yang signifikan pada pipa bawah laut. *Global buckling* yang terjadi pada arah lateral disebut *lateral buckling*, sedangkan pada arah vertikal disebut *upheaval buckling*. *Upheaval buckling* ditemui pada pipa bawah laut yang ditimbun. Ilustrasi *global buckling* terdapat di Gambar 3.

b. *Local buckling*

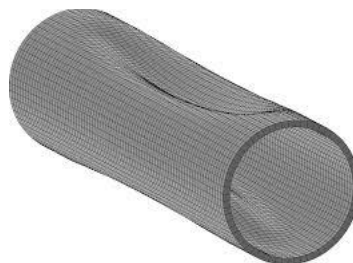
Local buckling terjadi apabila beban *bending momen* yang terjadi pada pipa bawah laut melebihi batas maksimum kapasitas *bending*. *Local buckling* diketahui berupa deformasi pada penampang pipa bawah laut (Abdul Khair, J *et al*, 2015). Ilustrasi *global buckling* terdapat di Gambar 4.

c. *Buckle propagation*

Peoknya pipa bawah laut merupakan contoh ketidak sempurnaan pada pipa. Peok yang kecil ini, apabila diberikan tekanan eksternal dapat menyebabkan pipa bawah laut mengalami ovalisasi. *Circular bending* pipa terhadap ovalisasi membuat dua titik yang bersebrangan pada dinding pipa bersentuhan secara longitudinal. Fenomena ini disebut *buckle propagation* (Xue & Gan, 2014).



Gambar 3. Ilustrasi global buckling pada pipa bawah laut (Sumber: anakkelautan.wordpress.com)



Gambar 4. Ilustrasi local buckling pada pipa bawah laut (Selker, 2013)

Menurut Bai *et al* (2014), ketika beban pada pipa bawah laut meningkat, pipa akan mengalami deformasi global tanpa menyebabkan deformasi permanen. Apabila pipa terus mengalami deformasi dan mencapai batas deformasi material, deformasi pada pipa tidak akan kembali seperti sedia kala namun masih dikategorikan deformasi secara global. Jika lekukan yang terjadi masih berlanjut, ketidak sempurnaan material atau geometri akan menginisiasi *onset* pada *local buckling*.

Setelah itu, deformasi global akan terus berlanjut, namun *bending* yang terjadi pada pipa bawah laut akan terakumulasi pada *local buckling*. Apabila nilai *maximum bending resistant* tercapai, maka akan terjadi *geometrical collapse*. Hal ini dapat menyebabkan deformasi pada penampang pipa.

2.2.2.2 Vortex induced vibrations

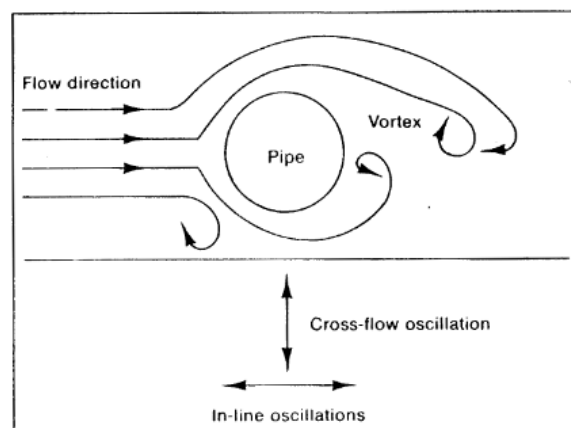
Rasio antara kecepatan arus dengan kecepatan partikel fluida menentukan dampak dan respon terhadap pipa. Respon pipa bawah laut terhadap aliran yang melewatinya terjadi pada arah *in-line* atau searah dengan aliran, dan *cross flow* atau tegak lurus terhadap arus (dapat dilihat pada Gambar 5). Kriteria respon berdasarkan rasio aliran arus dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kriteria respon berdasarkan aliran arus (DNV RP F105, 2017)

$\alpha < 0.5$	Gelombang Dominan ($U_w > U_c$)
	Arah <i>in-line</i>: Pembebanan arah <i>in-line</i> dihitung berdasarkan persamaan Morrison. <i>In-line</i> VIV akibat <i>vortex shedding</i> diabaikan
	Arah <i>cross flow</i>: Beban arah <i>cross flow</i> dominan disebabkan oleh <i>vortex shedding</i> .

Tabel 2. Kriteria respon berdasarkan aliran arus lanjutan (DNV RP F105, 2017)

$0.5 < \alpha < 0.8$	Gelombang Dominan ($U_w < U_c$)
	<p>Arah <i>in-line</i>: Pembebanan arah <i>in-line</i> dihitung berdasarkan persamaan Morrison. <i>In-line</i> VIV akibat <i>vortex shedding</i> berkurang dengan keberadaan gelombang.</p> <p>Arah <i>cross flow</i>: Beban <i>cross flow</i> dominan disebabkan oleh <i>vortex shedding</i> asimetris dan menunjukkan situasi arus yang dominan.</p>
$\alpha > 0.8$	Arah Dominan ($U_c \gg U_w$)
	<p>Arah <i>in-line</i>: Pembebanan <i>in-line</i> berdasarkan <i>steady drag component</i> dan <i>oscillatory</i> akibat <i>vortex shedding</i>. Pembebanan <i>in-line</i> dihitung berdasarkan persamaan Morrison .</p> <p>Arah <i>cross flow</i>: Pembebanan arah <i>cross flow</i> secara siklik akibat <i>vortex shedding</i>, dan menunjukkan situasi arus murni yang dominan.</p>



Gambar 5. Arah aliran pipa (Mouselli, 1981)

2.2.3 Kecepatan partikel fluida

2.2.3.1 Gelombang

Sebagian besar gelombang yang terjadi di lautan merupakan gelombang yang dibangkitkan oleh angin. Apabila angin yang berhembus memiliki kecepatan yang rendah dan dalam kurun waktu yang singkat, maka gelombang yang terbentuk hanya berupa riak-riak kecil. Angin yang berhembus memiliki durasi dan kecepatan yang berubah-ubah, begitu pula dengan panjang serta lebar bentangan angin. Hal ini menimbulkan gelombang yang terbentuk di laut bersifat acak, sehingga penerapan dari teori gelombang regular kurang mendekati kondisi asli gelombang lautan (Djarmiko, 2012). Menurut DNV RP F105 (2006), gelombang acak kurun waktu pendek dapat dijelaskan dengan menggunakan spektra gelombang. Formulasi spektra JONSWAP dan Pierson-Moskowitz merupakan dua formulasi spektra yang sering digunakan. Dalam penerapannya di perairan Indonesia, spektra JONSWAP dinilai paling mendekati dengan kondisi asli perairan Indonesia. Formulasi spektra JONSWAP disusun dengan penambahan parameter yang sesuai dengan karakteristik gelombang perairan tertutup atau kepulauan (Djarmiko, 2012). Formulasi spektra JONSWAP dapat dilihat pada persamaan 2.20.

$$S_{\eta\eta}(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp\left(-1.25 \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-4}\right) \gamma^{\exp\left(-0.5 \left(\frac{\omega - \omega_p}{\sigma \omega_p}\right)^2\right)} \quad (2.20)$$

dengan,

$$\omega \quad = \text{Frekuensi angular gelombang} \quad (\text{Rad/s})$$

$$\omega \quad = 2\mu/T_w \quad (2.21)$$

$$T_w \quad = \text{Periode gelombang} \quad (\text{s})$$

$$\omega_p \quad = \text{Frekuensi puncak spektra} \quad (\text{Rad/s})$$

$$\omega_p \quad = 2\mu/T_p \quad (2.22)$$

$$T_p \quad = \text{Periode puncak} \quad (\text{s})$$

- α = Konstanta *Generalized Phillip*
- σ = Parameter lebar spektra
- γ = Parameter ketinggian (2.0-2.5 untuk perairan Indonesia)

Menurut DNV RP F105, nilai α , σ , dan γ dapat diketahui melalui Persamaan 2.23, Persamaan 2.24, dan Persamaan 2.25.

Konstanta *Generalized Phillip*

$$\alpha = \frac{5}{16} \frac{H_s^2 \omega_p^2}{g^2} (1 - 0.287 \ln \gamma) \quad (2.23)$$

Parameter lebar spektral

$$\sigma = \begin{cases} 0.07 & \text{jika } \omega \leq \omega_p \\ 0.09 & \text{jika } \omega > \omega_p \end{cases} \quad (2.24)$$

Parameter ketinggian

$$\gamma = \begin{cases} 5 & \varphi \leq 3.6 \\ \exp(5.75 - 1.15\varphi) & 3.6 < \varphi < 5; \quad \varphi = \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} \\ 1 & \varphi \geq 5 \end{cases} \quad (2.25)$$

Spektrum kecepatan yang diinduksi oleh gelombang pada kedalaman pipa didapatkan dengan mentransformasikan spektral gelombang dengan menggunakan teori gelombang orde satu seperti Persamaan 2.26.

$$S_{UU}(\omega) = G^2(\omega) S_{\eta\eta}(\omega) \quad (2.26)$$

$G(\omega)$ = Fungsi transfer frekuensi dari elevasi permukaan air laut ke kedalaman pipa

$$G(\omega) = \frac{\omega \cosh(k(D+e))}{\sinh(kh)} \quad (2.27)$$

dengan h adalah kedalaman pipa dan k adalah bilangan gelombang yang didapatkan dengan iterasi melalui Persamaan 2.28.

$$kh = \frac{\omega^2 h}{g} \coth(kh) \quad (2.28)$$

Momen spektral pada orde ke-n dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut

$$M_n = \int_0^\infty \omega^n S_{UU}(\omega) d\omega \quad (2.29)$$

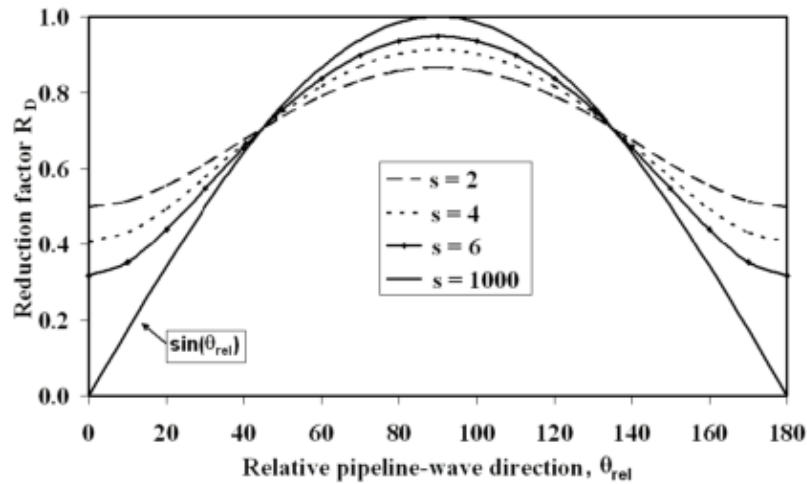
Setelah spektral momen pada orde ke-0 (M_0) dan orde kedua (M_2) diketahui dengan menggunakan Persamaan 2.29, maka kecepatan aliran gelombang signifikan pada elevasi pipa (U_s) dan rerata periode *zero up-crossing* (T_u) dapat diketahui melalui Persamaan 2.30 dan 2.31.

$$U_s = 2\sqrt{M_0} \quad (2.30)$$

$$T_u = 2\pi \sqrt{\frac{M_0}{M_2}} \quad (2.31)$$

Efek dari arah dan persebaran gelombang terhadap kecepatan partikel pada elevasi pipa diformulasikan dalam Persamaan 2.32. R_D merupakan fungsi pengurangan (*reduction function*) yang dapat diketahui melalui Gambar 6.

$$U_w = U_s R_D \quad (2.32)$$



Gambar 6. *Reduction factor* (DNV RP F105, 2017)

2.2.3.2 Arus

Selain gelombang, beban lingkungan yang perlu dipertimbangkan adalah arus. Dalam tugas akhir ini, diasumsikan bahwa arus di sekitar

pipa adalah tunak. Menurut DNV RP F105 (2006), aliran dibagi menjadi dua zona, yakni *outer zone* dan *inner zone*. *Outer zone* terletak jauh dari *seabed*, rerata kecepatan arus dan turbulen yang terjadi pada zona ini sedikit berubah-ubah pada arah horizontal. Sedangkan pada *inner zone*, rerata kecepatan arus dan turbulen menunjukkan variasi yang cukup besar pada arah horizontal.

Pada wilayah dengan bukit-bukit kecil, akan terjadi pemisahan aliran apabila kemiringan bukit melebihi 20°. Sedangkan pada *inner zone*, profil kecepatan arus mendekati logaritmik pada area yang tidak terjadi pemisahan aliran. Persamaan kecepatan arus pada *inner zone* dapat dilihat pada Persamaan 2.33.

$$U(z) = Rc U(z_r) \frac{(\ln(z) - \ln(z_0))}{(\ln(z_r) - \ln(z_0))} \quad (2.33)$$

dengan,

Rc = Reduction factor

$$Rc = \sin(\theta_{rel}) \quad (2.34)$$

θ_{rel} = arah relatif antara arah pipa dengan arah aliran arus

z = elevasi diatas *seabed* (m)

z_r = referensi tinggi pengukuran (m)

z_0 = parameter kekasaran dasar laut

Parameter kekasaran dasar laut dari masing-masing jenis tanah tercantum pada Tabel 3.

Tabel 3. Kekasaran dasar laut (DNV RP F107, 2017)

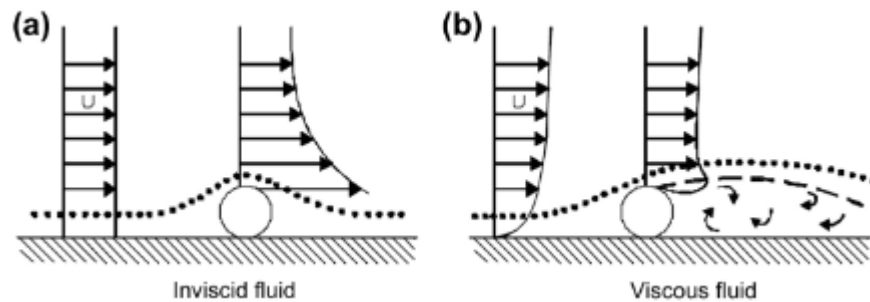
<i>Seabed</i>	<i>Roughness z_0 (m)</i>
<i>Silt</i>	$\approx 5.10^{-6}$
<i>Fine sand</i>	$\approx 1.10^{-5}$
<i>Medium sand</i>	$\approx 4.10^{-5}$
<i>Coarse sand</i>	$\approx 1.10^{-4}$

Tabel 3. Kekasaran dasar laut lanjutan (DNV RP F107, 2017)

<i>Seabed</i>	<i>Roughness z_0 (m)</i>
<i>Gravel</i>	$\approx 3 \cdot 10^{-4}$
<i>Pebble</i>	$\approx 2 \cdot 10^{-3}$
<i>Cobble</i>	$\approx 1 \cdot 10^{-2}$
<i>Boulder</i>	$\approx 4 \cdot 10^{-2}$

2.2.4 Gaya hidrodinamis

Pipa bawah laut yang terekspos mendapat gaya hidrodinamis dikarenakan oleh kecepatan aliran diatas pipa dan pemisahan aliran pada permukaan pipa (Bai *et al*, 2014). Dalam menjaga kestabilan pipa dan mengurangi probabilitas kegagalan, perlu dilakukan analisis terhadap kombinasi gaya yang terjadi pada pipa bawah laut, bahkan dalam keadaan terburuknya (Ahmadian, 2016). Gaya-gaya yang terjadi pada pipa bawah laut antara lain adalah gaya *drag*, gaya inersia, dan gaya angkat (*lift*). Pada Gambar 7 merupakan ilustrasi aliran arus dengan perbedaan viskositas apabila melewati pipa bawah laut.



Gambar 7. Ilustrasi aliran pada sekitar pipa (Bai *et al*, 2014)

2.2.4.1 Gaya *drag*

Hambatan fluida berkaitan dengan kecepatan aliran tunak yang dibangkitkan oleh gelombang yang ada. Tahanan sebagian besar dihasilkan oleh tingginya tekanan di depan pipa bawah laut dan rendahnya tekanan pada belakang pipa (Bai *et al*, 2014). Persamaan 2.35

merupakan persamaan untuk mengetahui gaya *drag* pada pipa bawah laut.

$$F_D = \frac{1}{2} \rho_w D_t C_D (U_w + U_c)^2 \quad (2.35)$$

dengan,

F_D = Gaya *drag* (N/m)

C_D = Koefisien *drag*

U_w = Kecepatan partikel fluida (m/s)

U_c = Kecepatan arus (m/s)

D_t = Diameter total pipa (m)

ρ_w = Massa jenis air laut (kg/m^3)

Koefisien *drag* merupakan hasil perhitungan dari Persamaan 2.36. Koefisien dan faktor koreksi untuk perhitungan koefisien *drag* dapat diketahui melalui Persamaan 2.37, Persamaan 2.38, Persamaan 2.39, Persamaan 2.40, dan Persamaan 2.41.

$$C_D = C_D^0 \left(\frac{k}{D_t} \right) \psi_{KC,\alpha}^{CD} \psi_{proxi}^{CD} \psi_{trench}^{CD} \psi_{VIV}^{CD} \quad (2.36)$$

dengan,

a. $C_D^0 \left(\frac{k}{D_t} \right)$ = Koefisien *drag* untuk aliran tunak

$$C_D^0 \left(\frac{k}{D_t} \right) = \begin{cases} 0.65 & ; \frac{k}{D} < 10^{-4} \text{ (smooth)} \\ 0.65 \left(\frac{29}{13} + \frac{4}{13} \log \left(\frac{k}{D} \right) \right) & ; 10^{-4} < \frac{k}{D} < 10^{-2} \\ 1.05 & ; \frac{k}{D} > 10^{-2} \text{ (rough)} \end{cases} \quad (2.37)$$

Nilai k diketahui berdasarkan tabel kekasaran permukaan yang tercantum pada Tabel 4.

Tabel 4. Kekasaran permukaan (DNV RP F105, 2017)

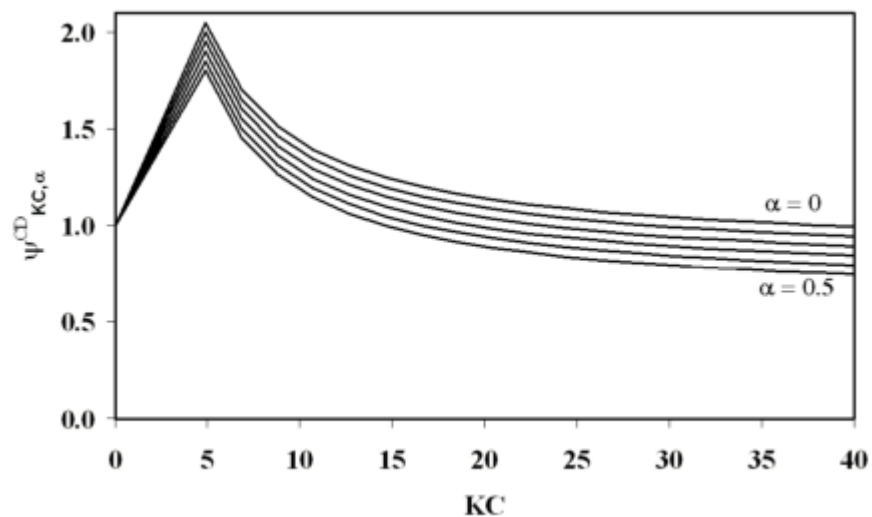
Permukaan pipa	k (m)
<i>Steel, painted</i>	10^{-6}
<i>Steel, un-coated (not rusted)</i>	10^{-5}
<i>Concrete</i>	1/300
<i>Marine growth</i>	1/200 → 1/20

b. $\psi_{KC,\alpha}^{CD}$ = Faktor koreksi terhadap aliran tak tunak

$$\psi_{KC,\alpha}^{CD} = \begin{cases} 0.85 + \frac{6}{KC} - \frac{\alpha}{2} & ; \alpha \leq 0.5 \\ 0.6 + \frac{6}{KC} & ; \alpha > 0.5 \end{cases} \quad \text{untuk } 5 < KC < 40 \quad (2.38)$$

KC = Bilangan Keulegan-Carpenter

Apabila diketahui $KC > 40$, maka nilai $6/KC$ disubstitusikan dengan 0.15. Sedangkan apabila $KC < 5$, maka nilai faktor koreksi terhadap aliran tak tunak dapat diinterpolasikan dari Gambar 8.



Gambar 8, Nilai faktor koreksi terhadap aliran tak tunak terhadap KC (DNV RP F105, 2017)

c. ψ_{proxi}^{CD} = Faktor koreksi perkiraan bawah laut

$$\psi_{proxi}^{CD} = \begin{cases} 0.9 + \frac{5}{(1+5(\frac{e}{D}))} & ; \frac{e}{D} < 0.8 \\ 1 & ; \frac{e}{D} > 0.8 \end{cases} \quad (2.39)$$

d. ψ_{trench}^{CD} = Faktor koreksi akibat *trench* pipa

$$\psi_{trench}^{CD} = 1 - \frac{2}{3} \left(\frac{\Delta}{D} \right) \quad (2.40)$$

e. ψ_{VIV}^{CD} = Faktor amplifikasi akibat getaran *cross flow*

$$\psi_{VIV}^{CD} = 1 + 1.043 \left(\sqrt{2} \frac{Az}{D} \right)^{0.65} \quad (2.41)$$

2.2.4.2 Gaya inersia

Gelombang menghasilkan beban siklik pada partikel air dalam kolom air. Beban siklik ini mempercepat dan memperlambat partikel air baik dalam arah horizontal dan vertikal. Pipa bawah laut yang terekspos akan mengalami gaya akibat percepatan partikel air atau yang disebut gaya inersia (Bai *et al*, 2014). Persamaan 2.42 digunakan untuk mengetahui gaya inersia yang bekerja pada pipa bawah laut.

$$F_I = \frac{\pi}{4} \rho_w D_t^2 C_M a_n \quad (2.42)$$

dengan

F_I = Gaya inersia (N/m)

C_M = Koefisien inersia

a_n = Percepatan partikel fluida (m/s²)

D_t = Diameter total pipa (m)

ρ_w = Massa jenis air laut (kg/m³)

2.2.4.3 Gaya lift

Gaya *lift* atau gaya angkat pipa muncul akibat adanya aliran yang bekerja pada pipa. Aliran diatas pipa memiliki kecepatan tinggi dan tekanan yang rendah. Sedangkan pada bagian bawah pipa, aliran bergerak lebih lambat atau bahkan tidak mengalir sama sekali dan

memiliki tekanan yang tinggi. Hal ini menimbulkan gaya angkat pada pipa. Gaya angkat pada pipa dapat diketahui melalui Persamaan 2.43.

$$F_L = \frac{1}{2} \rho_w D_t C_L v_n^2 \quad (2.43)$$

dengan

F_L = Gaya angkat (N/m)

C_L = Koefisien angkat pada permukaan pipa

v_n = Kecepatan partikel fluida (m/s)

D_t = Diameter total pipa (m)

ρ_w = Massa jenis air laut (kg/m^3)

2.2.5 Parameter hidrodinamis

Dalam DNV RP F105 (2017), model respon amplitudo merupakan model empiris yang menyatakan keadaan tunak maksimum pada respon amplitudo VIV sebagai fungsi dari parameter hidrodinamis dan parameter struktur. Parameter hidrodinamis merupakan bentuk hubungan antara data lingkungan dengan model respon. Parameter hidrodinamis antara lain

a. *Reduced velocity* (V_R)

Reduced velocity merupakan kecepatan ketika terjadi osilasi yang diakibatkan oleh *vortex shedding* (Guo, 2005). *Reduced velocity* didapatkan dari Persamaan 2.44.

$$V_R = \frac{U_c + U_w}{f_n D_t} \quad (2.44)$$

dengan,

f_n = Frekuensi natural pada mode (Hertz)

vibrasi yang diketahui

U_c = Kecepatan arus (m/s)

U_w = Kecepatan partikel gelombang (m/s)

D_t = Diameter total pipa (m)

b. Bilangan Keulegan-Carpenter (KC)

Bilangan Keulegan-Carpenter diketahui melalui Persamaan 2.45.

$$KC = \frac{U_w}{f_w D_t} \quad (2.45)$$

dengan,

f_w = Frekuensi signifikan gelombang (Hertz)

c. Rasio kecepatan arus (α)

Rasio kecepatan arus diketahui melalui Persamaan 2.46.

$$\alpha = \frac{U_c}{U_c + U_w} \quad (2.46)$$

d. Parameter stabilitas (K_s)

Parameter stabilitas merepresentasikan gerakan yang diakibatkan oleh pusaran (Guo, 2005). Parameter stabilitas didapatkan dari Persamaan 2.46.

$$K_s = \frac{4\pi m_e \xi_T}{\rho_w D_t^2} \quad (2.46)$$

dengan,

m_e = Massa efektif (kg/m)

ρ_w = Massa jenis air laut (kg/m³)

ξ_T = Total rasio *damping*

Berdasarkan DNV RP F105 (2006), total rasio *damping* terdiri dari

- *structural damping* (ξ_{str})

structural damping dikarenakan oleh gaya gesek internal material pipa. Apabila tidak diketahui, maka digunakan $\xi_{str}=0.005$. Jika terdapat *concrete coating*, nilai tahanan dapat meningkat hingga 0.01-0.02

- *soil damping* (ξ_{soil})

soil damping untuk keperluan *screening* adalah 0.01.

- *hydrodynamic damping* (ξ_h)

dalam analisis VIV, maka nilai *hydrodynamic damping* adalah 0.

Untuk perihal keamanan, maka nilai parameter stabilitas perlu dibagi dengan nilai *safety factor* seperti pada Persamaan 2.47.

$$K_{sd} = \frac{K_s}{\gamma_k} \quad (2.47)$$

2.2.6 Dynamic Soil Stiffness

Menurut DNV RP F105 (2006), interaksi antara pipa dengan tanah sangat penting dalam evaluasi konfigurasi keseimbangan statis dan respon dinamis pada bentangan bebas. Pada kondisi topografi dasar laut yang tidak kompleks dan memiliki jenis tanah penyusun yang sama, kekakuan dinamis arah vertikal dan horizontal dapat diketahui melalui Persamaan 2.48 dan 2.49

$$K_v = \frac{c_v}{1-\nu} \left(\frac{2}{3} \frac{\rho_s}{\rho} + \frac{1}{3} \right) \sqrt{Dt} \quad (2.48)$$

$$K_L = C_L (1 + \nu) \left(\frac{2}{3} \frac{\rho_s}{\rho} + \frac{1}{3} \right) \sqrt{Dt} \quad (2.49)$$

dengan,

K_v = Kekakuan dinamis vertikal (kN/m/m)

K_L = Kekakuan dinamis horizontal (kN/m/m)

C_v = Faktor kekakuan dinamis vertika (kN/m^{5/2})

C_L = Faktor kekakuan dinamis horizontal (kN/m^{5/2})

- D_t = Diameter total pipa (m)
- ν = *Poisson ratio*
- ρ_s/ρ = Rasio massa spesifik antara massa pipa (tanpa massa tambah) dan massa air yang dipindahkan

Nilai C_v dan C_L didapatkan dari Tabel 5 dan Tabel 6 berdasarkan jenis tanah penyusunnya.

Tabel 5. Faktor kekakuan dinamis *sand* (DNV RP F105, 2017)

<i>Sand Type</i>	C_v (kN/m ^{5/2})	C_L (kN/m ^{5/2})	$K_{V,S}$ (kN/m/m)
<i>Loose</i>	10500	9000	250
<i>Medium</i>	14500	12500	530
<i>Dense</i>	21000	18000	1350

Tabel 6. Faktor kekakuan dinamis *clay* (DNV RP F105, 2017)

<i>Sand Type</i>	C_v (kN/m ^{5/2})	C_L (kN/m ^{5/2})	$K_{V,S}$ (kN/m/m)
<i>Very soft</i>	600	500	50 – 100
<i>Soft</i>	1400	1200	160 – 260
<i>Firm</i>	3000	2600	500 – 800
<i>Stiff</i>	4500	3900	1000 – 1600
<i>Very stiff</i>	11000	9500	2000 – 3000
<i>Hard</i>	12000	10500	2600 – 4200

2.2.6.1 *Poisson Ratio* tanah

Kekakuan tanah yang telah dijabarkan diatas dipengaruhi oleh *poisson ratio*. *Poisson ratio* dan parameter tanah lainnya dapat diketahui dari rerata yang didapatkan dari *geotechnical test* pada sampel tanah *undisturbed*. Nilai-nilai dari parameter tersebut pada tanah jenis *sand* dapat dilihat pada Tabel 7, sedangkan tanah jenis *clay* dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 7. *Geotechnical Parameter* untuk *Sand* (DNV RP F105, 2006)

<i>Soil Type</i>	ϕ_s	γ_{soil} (kN/m ³)	ν	e_s
<i>Loose</i>	28 - 30 ^o	8.5 - 11.0	0.35	0.7 – 0.9
<i>Medium</i>	30 - 36 ^o	9.0 - 12.5	0.35	0.5 – 0.8
<i>Dense</i>	36 - 41 ^o	10.0 - 13.5	0.35	0.4 – 0.6

Tabel 8. *Geotechnical Parameter* untuk *clay* (DNV RP F105, 2006)

<i>Soil Type</i>	s_u (kN/m ²)	γ_{soil} (kN/m ³)	ν	e_s
<i>Very soft</i>	< 12.5	4 – 7	0.45	1.0 – 3.0
<i>Soft</i>	12.5 – 25	5 – 8	0.45	0.8 – 2.5
<i>Firm</i>	25 – 50	6 – 11	0.45	0.5 – 2.0
<i>Stiff</i>	50 – 100	7 – 12	0.45	0.4 – 1.7
<i>Very stiff</i>	100 – 200	10 -13	0.45	0.3 – 0.9
<i>Hard</i>	>200	10 - 13	0.45	0.3 – 0.9

2.2.7 CSF

Coating yang digunakan pada pipa bawah laut, biasanya berupa *concrete*, menyebabkan penambahan beban terendam, massa tambah atau *buoyancy*, dan gaya *drag*. *Concrete coating* juga menambah kekakuan dan kekuatan pipa bawah laut. Efek kekakuan yang disebabkan oleh adanya *concrete coating* dinamakan *Concrete Stiffness Factor* (CSF). Menurut DNV RP F105 (2006), persamaan 2.50 dapat digunakan untuk mengetahui CSF.

$$CSF = k_c \left(\frac{EI_{conc}}{EI_{steel}} \right)^{0.75} \quad (2.50)$$

dengan,

k_c = konstanta empiris defornasi pada *corrosion coating* dan retakan pada *concrete coating* (0.33 untuk aspal dan 0.25 untuk PP/PE)

$$EI_{\text{conc}} = \text{Bending stiffness selimut beton} \quad (\text{N.m}^2)$$

$$EI_{\text{steel}} = \text{Bending stiffness pipa} \quad (\text{N.m}^2)$$

2.2.8 Panjang bentangan efektif

Panjang bentangan bebas efektif adalah panjang ideal bentangan yang memiliki tumpuan *fixed-fixed*. Rasio L_{eff}/L menurun apabila rasio L/D_t dan kekakuan tanah meningkat. Pada asumsi tumpuan *fixed-fixed*, rasio L_{eff}/L adalah satu, dimana panjang aktual bentangan adalah panjang bentangan efektif. Persamaan panjang efektif bentangan bebas tercantum pada Persamaan 2.51

$$\frac{L_{\text{eff}}}{L} = \begin{cases} \frac{4.73}{-0.066\beta^2 + 1.02\beta + 0.63} & ; \text{ untuk } \beta \geq 2.7 \\ \frac{4.73}{0.036\beta^2 + 0.61\beta + 1.0} & ; \text{ untuk } \beta < 2.7 \end{cases} \quad (2.51)$$

dengan,

L = panjang aktual span

β = *relative soil stiffness*

nilai β didapatkan melalui Persamaan 2.52.

$$\beta = \log_{10} \left(\frac{K L^4}{(1+CSF)EI} \right) \quad (2.52)$$

K adalah kekakuan tanah relevan. Kekakuan tanah vertikal (K_v) digunakan dalam menentukan panjang bentangan efektif arah *cross-flow*, sedangkan kekakuan tanah arah horizontal (K_L) digunakan dalam menentukan panjang bentangan efektif arah *in-line*.

2.2.9 Frekuensi natural

Dalam analisis dinamis bentangan bebas, frekuensi natural merupakan parameter yang penting. Frekuensi natural menunjukkan respon struktur terhadap gaya luar yang berpengaruh pada pipa. Apabila frekuensi natural *vortex shedding* lebih kecil dibanding dengan frekuensi natural pipa, maka dampak dari *vortex shedding* tidak akan begitu terasa

dan defleksi yang terjadi pada pipa tidak akan berbeda jauh dari analisis statis. Namun, apabila frekuensi natural pipa sama dengan frekuensi natural *vortex shedding*, maka akan terjadi resonansi seperti yang dapat dilihat dalam Gambar 9. Defleksi yang terjadi pada pipa akan menyebabkan kegagalan (Bai *et al*, 2014). Frekuensi natural pipa dapat diketahui melalui Persamaan 2.53.

$$f_n \approx C_1 \sqrt{1 + CSF} \sqrt{\frac{EI}{m_e L_{eff}^4} \left(1 + \frac{S_{eff}}{P_{cr}} + C_3 \left(\frac{\delta}{D} \right)^2 \right)} \quad (2.53)$$

dengan,

C_1 - C_3 = Koefisien *boundary condition*

E = Modulus young pipa (N/mm²)

I = Momen inersia pipa (m⁴)

CSF = *Concrete stiffness factor*

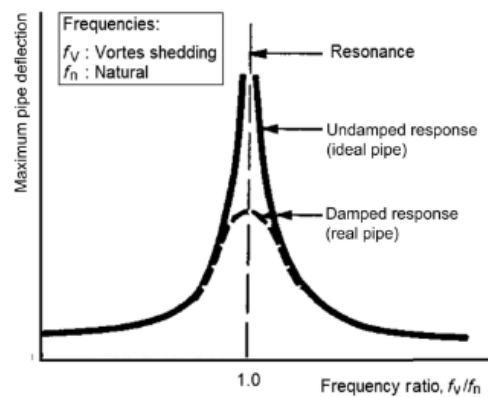
L_{eff} = Panjang bentangan efektif (m)

m_e = Massa efektif (kg/m)

S_{eff} = Gaya aksial efektif (N)

δ = Defleksi statis (m)

P_{cr} = *Critical buckling load* (N)



Gambar 9. Hubungan frekuensi natural pipa dengan frekuensi natural *vortex shedding* (Bai *et al*, 2014)

2.2.9.1 Gaya aksial efektif

Kekakuan pipa bawah laut terdiri dari kekakuan material dan kekakuan geometris yang dipengaruhi oleh gaya aksial efektif. Menurut Bai (2001) dalam Bakhtiary (2007), tekanan internal pipa, gradien temperatur, dan defleksi pipa akan meningkatkan gaya aksial pada pipa yang mengalami bentangan bebas. Gaya aksial efektif bernilai sama dengan gaya aksial dinding pipa baja dengan koreksi atas tekanan internal dan eksternal (DNV RP F105, 2010). Pemuaian akibat ekspansi termal menyebabkan peregangan pada kedua ujung pipa bawah laut. Sehingga dapat dikatakan bahwa gaya aksial yang bekerja pada bentangan bebas pipa bawah laut terletak pada kedua ujungnya. Pipa bawah laut yang diasumsikan dalam kondisi arus tenang dan bedinding tipis dapat diketahui gaya aksial efektifnya pada Persamaan 2.54 (Dong *et al*, 2015).

$$S_{eff} = H_{eff} - (1 - 2\nu) \Delta P A_i - \alpha_e E \Delta T A_{st} \quad (2.54)$$

dengan,

H_{eff}	= <i>Effective lay tension</i>	(N)
ν	= Rasion poisson baja	
ΔP	= Perbedaan tekanan	(Pa)
	= $P_i - P_e$	
P_e	= Tekanan eksternal	(Pa)
A_i	= Luas penampang dalam	(m)
α_e	= Koefisien ekspansi suhu	(/ °C)
ΔT	= Perbedaan suhu	(°C)
A_{st}	= Luas penampang pipa baja	(m ²)

2.2.9.2 Critical Buckling Load

Persamaan untuk *critical buckling load* dapat diketahui melalui Persamaan 2.55.

$$P_{cr} = (1 + CSF) \frac{C_2 \pi^2 EI}{L_{eff}^2} \quad (2.55)$$

dengan,

CSF = *Concrete stiffness factor*

C₂ = Koefisien *boundary condition*

E = Modulus young pipa (N/mm²)

I = Momen inersia pipa (m⁴)

2.2.9.3 Defleksi statis

Defleksi statis berpengaruh pada perhitungan frekuensi natural pipa bawah laut. Defleksi pada arah *cross flow* terjadi dikarenakan oleh berat terendam pipa, sedangkan pada arah *in-line* diakibatkan oleh beban hidrodinamis. Perhitungan defleksi statis terhadap arah *in-line* biasanya diabaikan. Apabila defleksi statis hasil survey tidak diketahui, maka defleksi statis dapat diketahui melalui Persamaan 2.56 (DNV RP F105, 2006)

$$\delta = C_6 \frac{q L_{eff}^4}{EI (1+CSF)} \frac{1}{\left(1 + \frac{S_{eff}}{P_{cr}}\right)} \quad (2.56)$$

dengan,

C₆ = Koefisien *boundary condition*

q = *Deflection load per unit length* (N/m)

P_{cr} = *Critical buckling load* (N)

S_{eff} = Gaya aksial efektif (N)

E = Modulus young pipa (N/mm²)

I = Momen inersia pipa (m⁴)

2.2.9.4 Boundary condition

Dalam Guo (2005) menyebutkan bahwa asumsi tumpuan yang digunakan dalam analisis bentangan bebas berpengaruh sebesar 50% dalam penentuan panjang bentangan bebas yang diijinkan. Beberapa tipe kondisi tumpuan antara lain

- *Pinned-pinned*

Tumpuan *pinned-pinned* digunakan apabila kedua ujung bentangan diperbolehkan berotasi pada sumbu pipa.

- *Pinned-fixed*

Tumpuan jenis ini digunakan apabila tidak termasuk dalam tumpuan *pinned-pinned* dan *fixed-fixed*.

- *Fixed-fixed*

Tumpuan *fixed-fixed* dipergunakan apabila bentangan tetap di tempat dan ditahan dengan semacam jangkar atau penahan lainnya. Kondisi ini memungkinkan bentangan bebas tidak dapat berotasi dan bergerak dalam arah *in-line* dan *cross flow*

Menurut Bai *et al* (2014), apabila bentangan bebas memiliki *support*, asumsi tumpuan *pinned-pinned* kurang dapat merepresentasikan kekakuan dari penyangga tersebut. Sedangkan, apabila tumpuan bentangan bebas diasumsikan sebagai *fixed-fixed* cenderung melebih-lebihkan *fixity* pada sebagian besar bentangan. Koefisien kondisi batas (C_1 - C_6) dari masing-masing asumsi tumpuan dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Koefisien *Boundary Conditions* (DNV RP F105, 2017)

	Pinned-pinned²⁾	Fixed-fixed³⁾	Single span on seabed
C ₁	1.57	3.56	3.56
C ₂	1.0	4.0	4.0
C ₃	0.8 ¹⁾	0.2 ¹⁾	0.4 ¹⁾
C ₄	4.93	14.1	Shoulder: $14.1(L/L_{eff})^2$ Midspan: 8.6
C ₅	1/8	1/12	Shoulder: ⁴⁾ $\frac{1}{18(\frac{L_{eff}}{L})^2 - 6}$ Midspan: 1/24
C ₆	5/384	1/384	1/384
<p>1) Note that $C_3 = 0$ is normally assumed for in-line direction if the steady current is not accounted for.</p> <p>2) For pinned-pinned boundary condition L_{eff} shall be replaced by L in all expressions, including the expression for P_{cr}.</p> <p>3) For fixed-fixed boundary conditions, $L_{eff}/L = 1$ per definition. C_5 shall be calculated using the static soil stiffness in the L_{eff}/L calculation.</p>			

Selain itu, dalam *screening* kriteria diperlukan adanya faktor keselamatan untuk meningkatkan keamanan pipa bawah laut dalam kondisi yang ditentukan. Nilai faktor keselamatan menurut DNV RP F105 (2017) dapat dilihat pada Tabel 10 dan Tabel 11.

Tabel 10. Faktor keselamatan untuk screening criteria (DNV RP F105, 2017)

γ_{IL}	1.4
γ_{CF}	1.4

Tabel 11. Faktor keselamatan terkait dengan kelelahan (DNV RP F101, 2017)

<i>Safety factor</i>	<i>Safety class</i>		
	<i>Low</i>	<i>Normal</i>	<i>High</i>
η	1.0	0.5	0.25
γ_k	1.0	1.15	1.3
γ_s	1.3		
$\gamma_{on,IL}$	1.1		
$\gamma_{on,CF}$	1.2		

2.2.10 Screening VIV

Kriteria VIV untuk arah *in-line* tercantum pada Persamaan 2.57, sedangkan untuk arah *cross-flow* dapat dilihat pada Persamaan 2.58. Apabila pertidak-samaan tersebut terpenuhi, maka VIV tidak akan muncul pada bentangan yang ditinjau. Apabila kriteria tersebut tidak terpenuhi, maka harus dilakukan *screening* untuk kriteria *fatigue* atau *full fatigue* pada pembebanan lingkungan ekstrem.

Karakteristik kondisi lingkungan yang digunakan dalam kriteria VIV diharapkan dapat menggambarkan respon terekstrem yang mungkin terjadi. Untuk kondisi operasional permanen atau lebih dari 12 bulan, kondisi lingkungan pada periode ulang 100 tahun dapat digunakan. Sedangkan untuk masa kondisi operasional kurang dari 12 bulan, digunakan kombinasi gelombang pada periode ulang 10 tahun dan arus pada periode ulang 1 tahun, atau sebaliknya (DNV RP F105, 2017).

$$f_{IL,1} > \frac{U_{extreme} \gamma_{f,IL}}{V_{R,onset}^{IL} D} \quad (2.57)$$

$$f_{CF,1} > \frac{U_{extreme} \gamma_{f,CF}}{2D} \quad (2.58)$$

Nilai $U_{extreme}$ yang digunakan pada tugas akhir ini adalah periode ulang 100 tahun. Sedangkan nilai $\gamma_{f,IL}$ dan $\gamma_{f,CF}$ dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Nilai $\gamma_{f,IL}$ dan $\gamma_{f,CF}$ (DNV RP F105, 2017)

<i>Free span classification</i>	low		medium		high	
	$\gamma_{f,IL}$	$\gamma_{f,CF}$	$\gamma_{f,IL}$	$\gamma_{f,CF}$	$\gamma_{f,IL}$	$\gamma_{f,CF}$
<i>very well defined</i>	1	1	1	1	1	1
<i>well to very well defined</i>	1	1.05	1	1.1	1	1.15
<i>well defined</i>	1.05	1.05	1.1	1.1	1.15	1.15
<i>not well defined</i>	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3

2.2.11 Screening fatigue

Dari *screening* VIV yang sebelumnya dilakukan, bentangan bebas yang memiliki kemungkinan terjadi VIV perlu dilakukan *screening* terhadap kriteria *fatigue*. Apabila pipa bawah laut yang ditinjau memiliki frekuensi natural yang sama dengan frekuensi natural *vortex shedding*, maka dapat terjadi resonansi dan menyebabkan pipa berosilasi. Pipa yang berosilasi dalam suatu siklus dapat menyebabkan kelelahan hingga kegagalan. *Screening fatigue* dilakukan pada arah *in-line* dan *cross flow* dengan menggunakan Persamaan 2.59 dan 2.60. Apabila kriteria ini terpenuhi, maka tidak akan terjadi *fatigue*. Sedangkan, apabila kriteria tersebut tidak terpenuhi maka akan terjadi *fatigue* dan dapat dilanjutkan dengan analisis *full fatigue*.

a. *In-line*

$$\frac{f_{n,IL}}{\gamma_{IL}} > \frac{U_{c,100th}}{V_{R,onset}^{IL}} \left(1 - \frac{L/Dt}{250}\right) \frac{1}{\alpha} \quad (2.59)$$

dengan,

$f_{n,IL}$ = Frekuensi natural arah *In-line* (Hz)

γ_{IL} = Faktor keselamatan arah *In-line*

$V_{R,onset}$ = Nilai *onset* arah *in-line*

U_c = Periode ulang arus 100 tahun (m/s)

α = Rasio arus

L = Panjang bentangan bebas

b. *cross flow*

$$\frac{f_{n,CF}}{\gamma_{CF}} > \frac{U_{c,100\ th} + U_{w,1th}}{V_{R, onset}^{CF} Dt} \quad (2.60)$$

dengan,

$f_{n,CF}$ = Frekuensi natural arah *cross flow* (Hz)

γ_{CF} = Faktor keselamatan arah *cross flow*

$V_{R,onset}$ = Nilai *onset* arah *cross flow*

U_c = Periode ulang arus 100 tahun (m/s)

U_w = Periode ulang gelombang 1 tahun (m/s)

2.2.11.1 Respon model

a. Respon model *in-line*

Menurut DNV RP F105 (2016), respon bentangan bebas pada arah *in-line* dengan kondisi dominasi arus berhubungan dengan *vortex shedding* simetris atau *alternating vortex shedding*. Respon model pada arah *in-line* digunakan pada semua getaran yang terjadi pada arah *in-line*. Respon amplitudo bergantung pada *Reduced velocity*, parameter stabilitas, intensitas turbulen, dan sudut aliran relatif terhadap pipa *Stress range* akibat dari VIV pada arah *in-line* dapat diketahui melalui Persamaan 2.61.

$$S_{IL} = 2 A_{IL} \left(\frac{A_V}{D}\right) \psi_{\alpha,IL} \gamma_s \quad (2.61)$$

dengan,

S_{IL} = *Stress range* arah *in-line* (N/m²)

A_{IL} = *Unit stress amplitude* (N/m²)

$$A_{IL/CF} = 2 C_4(1 + CSF) \frac{DEr}{L_{eff}^2} \quad (2.62)$$

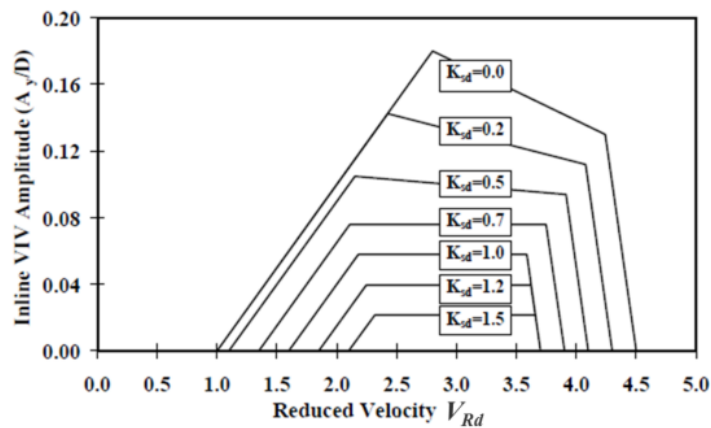
$(\frac{A_y}{D})$ = Amplitudo respon maksimum terhadap VIV arah *in-line*

$\psi_{\alpha,IL}$ = Faktor koreksi terhadap kecepatan arus

γ_s = Faktor koreksi terhadap *stress range*

Nilai amplitudo respon maksimum terhadap arah *in-line* VIV dapat dilihat pada Gambar 10. Standar deviasi amplitudo respon maksimum arah *in-line* dapat diketahui melalui Persamaan 2.63. Sedangkan nilai faktor koreksi terhadap kecepatan arus arah *in-line* dengan dominasi gelombang dapat dilihat pada Persamaan 2.64.

$$\sigma = \frac{A_y/D}{\sqrt{2}} \quad (2.63)$$



Gambar 10. Nilai amplitudo *in-line* VIV terhadap *Reduced Velocity* (DNV RP F105, 2017)

$$\psi_{\alpha,IL} = \begin{cases} 0.0 & \text{untuk } \alpha < 0.5 \\ \frac{\alpha-0.5}{0.3} & \text{untuk } 0.5 < \alpha < 0.8 \\ 1.0 & \text{untuk } \alpha > 0.8 \end{cases} \quad (2.64)$$

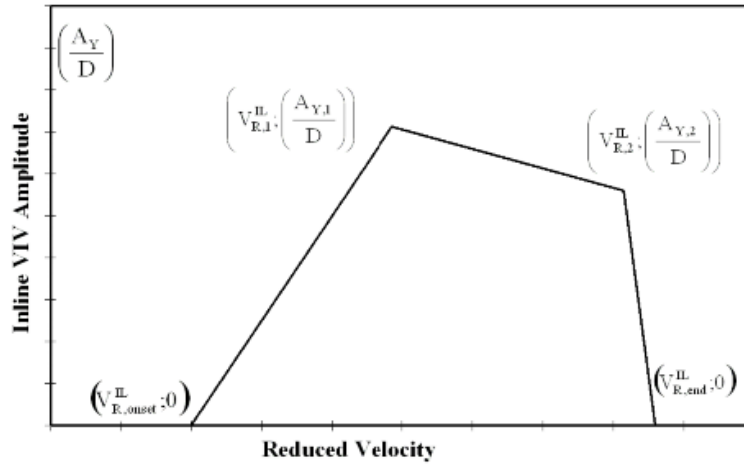
Respon model pada arah *in-line* dari setiap region dapat dilihat pada runtutan persamaan dibawah.

$$V_{R,onset}^{IL} = \begin{cases} \left(\frac{1.0}{\gamma_{on,IL}} \right) & \text{untuk } K_{sd} < 0.4 \\ \left(\frac{0.6+K_{sd}}{\gamma_{on,IL}} \right) & \text{untuk } 0.4 < K_{sd} < 1.6 \\ \left(\frac{2.2}{\gamma_{on,IL}} \right) & \text{untuk } K_{sd} > 1.6 \end{cases} \quad (2.65)$$

$$V_{R,1}^{IL} = 10 \left(\frac{A_{Y,1}}{D} \right) + V_{R,onset}^{IL} \quad (2.66)$$

$$V_{R,2}^{IL} = V_{R,end}^{IL} - 2 \left(\frac{A_{Y,2}}{D} \right) \quad (2.67)$$

$$V_{R,end}^{IL} = \begin{cases} 4.5 - 0.8K_{sd} & \text{untuk } K_{sd} < 1.0 \\ 3.7 & \text{untuk } K_{sd} \geq 1.0 \end{cases} \quad (2.68)$$



Gambar 11. Prinsip umum model *in-line* (DNV RP F105, 2017)

Berdasarkan Gambar 11 diatas, prinsip respon model menunjukkan adanya region-region. Nilai amplitudo respon maksimum pada region 1 dan region 2 dapat dilihat pada Persamaan 2.69 dan 2.70.

$$\left(\frac{A_{Y,1}}{D} \right) = \max \left(0.18 \left(1 - \frac{K_{sd}}{1.2} \right) \right) R_{I\theta,1}; \left(\frac{A_{Y,2}}{D} \right) \quad (2.69)$$

$$\left(\frac{A_{Y,2}}{D} \right) = 0.13 \left(1 - \frac{K_{sd}}{1.8} \right) R_{I\theta,2} \quad (2.70)$$

Faktor reduksi diperhitungkan sebagai dampak dari intensitas turbulensi dan *angle of attack* aliran dapat dilihat pada Gambar 12.

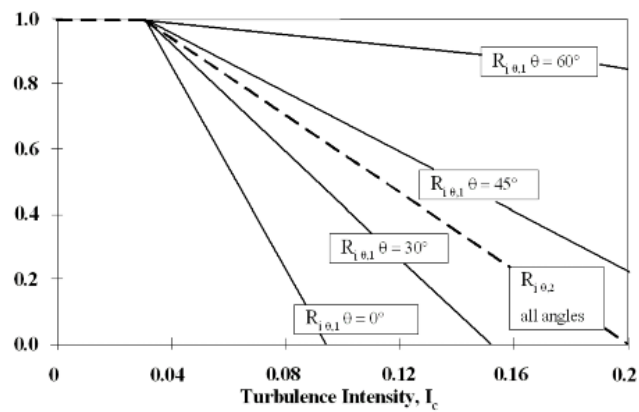
Nilai faktor reduksi untuk mengetahui nilai *onset* arah *in-line* VIV dapat dilihat pada Persamaan 2.71 dan 2.72.

untuk $0 \leq R_{I\theta,1} \leq 1$

$$R_{I\theta,1} = 1 - \pi^2 \left(\frac{\pi}{2} - \sqrt{2}\theta_{rel} \right) (I_c - 0.03) \quad (2.71)$$

untuk $0 \leq R_{I\theta,2} \leq 1$

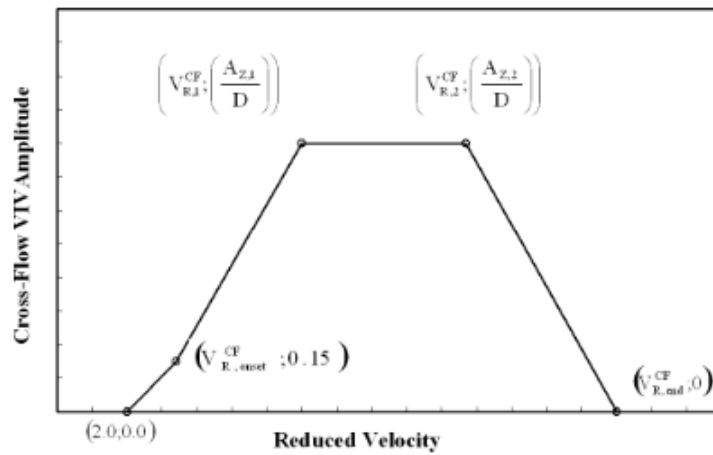
$$R_{I\theta,2} = 1.0 - \frac{I_c - 0.03}{0.17} \quad (2.72)$$



Gambar 12. Grafik hubungan faktor reduksi terhadap *turbulence intensity* dan sudut aliran (DNV RP F105, 2017)

b. Respon model *cross flow*

Menurut DNV RP F105 (2016), pada kondisi yang didominasi oleh aliran arus tunak, amplitudo signifikan *onset* VIV pada arah *cross flow* biasanya terjadi pada *reduced velocity* dengan nilai 3.0 dan 4.0. Sedangkan, level maksimum getaran terjadi pada nilai yang lebih besar dari itu. Pada pipa dengan massa yang cukup kecil, gelombang mendominasi aliran atau bentangan dengan *gap* yang kecil, getaran pada arah *cross flow* terjadi pada *reduced velocity* dengan nilai antara 2 dan 3. Prinsip respon model arah *cross flow* dapat dilihat pada Gambar 13. *Stress range* yang diakibatkan oleh VIV pada arah *cross flow* karena beban kombinasi dari arus dan gelombang dapat diketahui melalui Persamaan 2.73.



Gambar 13. Prinsip respon model arah *cross flow* (DNV RP F015, 2017)

$$S_{CF} = 2 A_{CF} \left(\frac{A_z}{D}\right) R_k \gamma_s \quad (2.73)$$

dengan,

$$S_{CF} = \text{Stress range arah cross flow} \quad (\text{N/m}^2)$$

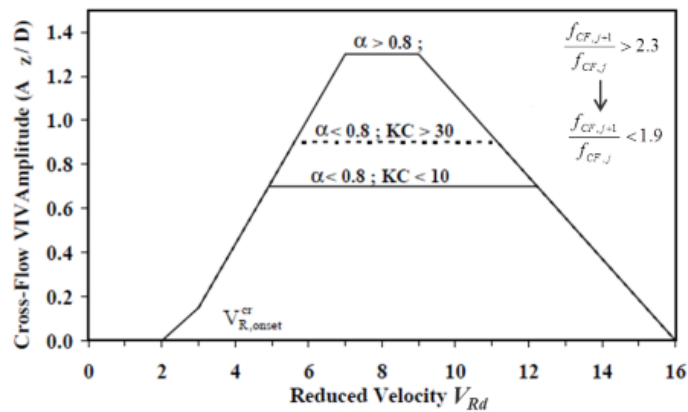
$$A_{CF} = \text{Unit stress amplitude} \quad (\text{N/m}^2)$$

R_k = Faktor *amplitude reduction* akibat *damping*

$$R_k = \begin{cases} 1 - 0.15K_{sd} & \text{untuk } K_{sd} \leq 4 \\ 3.2K_{sd} & \text{untuk } K_{sd} > 4 \end{cases} \quad (2.74)$$

γ_s = Faktor koreksi terhadap *stress range*

$\left(\frac{A_z}{D}\right)$ = Amplitudo respon maksimum VIV arah *cross flow*



Gambar 14. Amplitudo respon A_z/D (DNV RP F105, 2017)

Nilai amplitudo respon maksimum VIV arah *cross flow* dapat diketahui melalui Gambar 14 diatas. Sedangkan standar deviasi dari amplitudo respon maksimum dapat diketahui melalui Persaman 2.75. Amplitudo respon (A_z/D) sebagai fungsi dari rasio kecepatan arus dan KC dapat dilihat pada runtutan persamaan berikut.

$$\sigma = \frac{A_z/D}{\sqrt{2}} \quad (2.75)$$

$$V_{R,onset}^{CF} = \frac{3\psi_{proxi,onset}\psi_{trench,onset}}{\gamma_{on,CF}} \quad (2.76)$$

$$V_{R,1}^{CF} = 7 - \frac{7-V_{R,onset}^{CF}}{1.15} \left(1.3 - \frac{A_{z,1}}{D}\right) \quad (2.77)$$

$$V_{R,2}^{CF} = V_{R,onset}^{CF} - \left(\frac{7}{13}\right) \left(\frac{A_{z,1}}{D}\right) \quad (2.78)$$

$$V_{R,end}^{CF} = 16 \quad (2.79)$$

$$\frac{A_{z,1}}{D} = \begin{cases} 0.9 & \alpha > 0.8 & \left(\frac{f_{n+1,CF}}{f_{n,CF}}\right) < 1.5 \\ 0.9 + 0.5 \left(\frac{f_{n+1,CF}}{f_{n,CF}} - 1.5\right) & \alpha > 0.8 & 1.5 \leq \left(\frac{f_{n+1,CF}}{f_{n,CF}}\right) \leq 2.3 \\ 1.3 & \alpha > 0.8 & \left(\frac{f_{n+1,CF}}{f_{n,CF}}\right) > 2.3 \\ 0.9 & \alpha \leq 0.8 & KC > 30 \\ 0.7 + 0.01(KC - 10) & \alpha \leq 0.8 & 10 \leq KC \leq 30 \\ 0.7 & \alpha \leq 0.8 & KC < 10 \end{cases} \quad (2.80)$$

$$\frac{A_{z,1}}{D} = \frac{A_{z,2}}{D} \quad (2.81)$$

dengan,

$\psi_{proxi,onset}$ = Faktor koreksi perkiraan *seabed*

$\psi_{trench,onset}$ = Faktor koreksi terhadap dampak pipa pada *trench*

$\frac{f_{n+1,CF}}{f_{n,CF}}$ = Rasio frekuensi dua mode *cross flow*

Kecepatan *reduced onset* pada VIV arah *cross flow* dipengaruhi oleh perkiraan *seabed* dan dampak geometri *trench*. Nilai faktor koreksi terhadap dampak pipa pada *trench* dan faktor koreksi perkiraan *seabed* dapat diketahui melalui persamaan dibawah ini.

$$\psi_{proxi,onset} = \begin{cases} \frac{1}{5} \left(4 + 1.25 \frac{e}{D} \right) & \text{untuk } \frac{e}{D} < 0.8 \\ 1 & \text{untuk } \frac{e}{D} \geq 0.8 \end{cases} \quad (2.82)$$

$$\psi_{trench,onset} = 1 + 0.5 \frac{\Delta}{D} \quad (2.83)$$

$$\frac{\Delta}{D} = \frac{1.25d-e}{D} \quad (2.84)$$

2.2.12 Bending moment

Panjang bentangan bebas yang terjadi juga dipengaruhi oleh *bending moment* yang diakibatkan oleh beban merata sepanjang bentangan (Bai *et al*, 2014). Berdasarkan *beam theory*, beban pada arah vertikal terhadap pipa memiliki nilai *bending moment* yang lebih besar dengan tumpuan *pinned-pinned* dibanding dengan tumpuan *fixed-fixed* (Dong *et al*, 2015). Menurut DNV OS F101 (2010), dibutuhkan nilai momen desain untuk *screening* ULS. Momen desain dapat diketahui melalui Persamaan 2.85.

$$M_{Sd} = M_F \gamma_F \gamma_C + M_E \gamma_E + M_I \gamma_F \gamma_C + M_A \gamma_A \gamma_C \quad (2.85)$$

dengan,

M_F = Momen beban fungsional (N/m)

M_E = Momen beban lingkungan (N/m)

M_I = Momen beban *interference* (N/m)

M_A = Momen beban *accidental* (N/m)

Nilai γ_F , γ_E , dan γ_A merupakan faktor beban dan kombinasi beban dapat dilihat pada Tabel 13. Sedangkan nilai γ_C (*condition load effect*) dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 13. *Load effect factors* dan beban kombinasi beban (DNV OS F101, 2010)

<i>Limit state/Load combination</i>	<i>Design load combinations</i>		<i>Functional load</i> ¹⁾ (γ_F)	<i>Environmental load</i> (γ_E)	<i>Interference load</i> (γ_F)	<i>Accidental load</i> (γ_A)
ULS	<i>a</i>	System check ²⁾	1.2	0.7		
	<i>b</i>	Local check	1.1	1.3	1.1	
FLS	<i>c</i>		1.0	1.0	1.0	
ALS	<i>d</i>		1.0	1.0	1.0	1.0

1) If the functional load effect reduces the combined load effects, γ_F shall be taken as 1/1.1.
 2) This load combination shall only be checked when system effects are present, i.e when the major part of the pipeline is exposed to the same functional load. This will typically only apply to pipeline installation.

Tabel 14. *Condition load effect factor* (DNV OS F101, 2010)

<i>Condition</i>	γ_c
<i>Pipeline resting on uneven seabed</i>	1.07
<i>Continuously stiff supported</i>	0.82
<i>System pressure test</i>	0.93
<i>Otherwise</i>	1.00

Dari Tabel 13, dapat dilihat bahwa faktor beban *accidental* tidak memiliki nilai dan beban *interference* diasumsikan tidak ada. Sehingga, desain momen pada Persamaan 2.85 dapat disederhanakan menjadi 2.86

$$M_{Sd} = M_F \gamma_F \gamma_c + M_E \gamma_E \quad (2.86)$$

dengan nilai M_F dan $M_{F,max}$ dapat diketahui melalui Persamaan 2.87 dan 2.88. Sedangkan nilai M_E dapat diketahui melalui Persamaan 2.89.

$$M_{F,max} = C_5 \frac{q L_{eff}^2}{(1 + \frac{S_{eff}}{P_{cr}})} \quad (2.87)$$

$$M_F = \frac{q L^2}{8} \quad (2.88)$$

$$M_E = \sigma_E^{IL/CF} \frac{2I}{D} \quad (2.89)$$

Nilai C_5 dalam *bending moment* statis didapat dari koefisien *boundary condition* yang sebelumnya sudah dijelaskan. Sedangkan nilai $\sigma_E^{IL/CF}$ merupakan tegangan lingkungan maksimum pada arah *in-line* maupun *cross flow* yang dapat diketahui melalui Persamaan 2.90 hingga Persamaan 2.92.

$$\sigma_E^{IL} = \frac{1}{2} S_{IL} + \sigma_{FM,max} \quad (2.90)$$

$$\sigma_{FM,max} = M_{F,max} \frac{D}{2 I_{steel}} \quad (2.91)$$

$$\sigma_E^{CF} = \frac{1}{2} S_{CF} \quad (2.92)$$

dengan,

S_{IL} = *Stress range* arah *in-line*

$\sigma_{FM,max}$ = Tegangan lingkungan maksimum akibat beban gelombang langsung

S_{CF} = *Stress range* arah *cross flow*.

2.2.13 Screening Ultimate Limite States

Dalam DNV OS F101 (2010), syarat terjadinya *local buckling* adalah terjadinya *system collapse*, *propagation buckling*, dan adanya beban kombinasi. *Screening ultimate limit state* digunakan untuk mengecek adanya potensi terjadinya *local buckling* akibat bentangan bebas. Persamaan 2.93 merupakan kriteria untuk pipa bawah laut yang mengalami tekanan internal berlebih. Sedangkan Persamaan 2.94 merupakan kriteria untuk pipa bawah laut yang mengalami tekanan eksternal lebih besar.

$$15 \leq \frac{D}{t_2} \leq 45, P_i > P_e, \frac{|S_{sd}|}{S_p} < 0.4$$

$$\left(\gamma_m \gamma_{SC} \frac{|M_{sd}|}{\alpha_c M_p(t_2)} + \left(\frac{\gamma_m \gamma_{SC} S_{sd}(p_i)}{\alpha_c S_p(t_2)} \right)^2 \right)^2 + \left(\alpha_p \frac{p_i - p_e}{\alpha_c p_b(t_2)} \right)^2 \leq 1 \quad (2.93)$$

$$15 \leq \frac{D}{t_2} \leq 45, P_i < P_e, \frac{|S_{sd}|}{S_p} < 0.4$$

$$\left(\gamma_m \gamma_{SC} \frac{|M_{sd}|}{\alpha_c M_p(t_2)} + \left(\frac{\gamma_m \gamma_{SC} S_{sd}(p_i)}{\alpha_c S_p(t_2)} \right)^2 \right)^2 + \left(\gamma_m \gamma_{SC} \frac{p_e - p_{min}}{p_c(t_2)} \right)^2 \leq 1 \quad (2.94)$$

dengan,

$$\begin{aligned} M_{sd} &= \text{Design moment} && (\text{N.m}) \\ S_{sd} &= \text{Desain gaya efektif aksial} && (\text{N}) \\ &= S_{eff} \gamma_F \gamma_c && (2.95) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_i &= \text{Tekanan internal} && (\text{Mpa}) \\ p_e &= \text{Tekanan eksternal} && (\text{Mpa}) \\ p_b &= \text{Pressure cointanment resistance} && (\text{Mpa}) \\ &= \frac{2t}{D-t} f_{eb} \frac{2}{\sqrt{3}} && (2.96) \end{aligned}$$

Nilai f_{eb} bergantung pada kekuatan karakteristik material f_y dan f_u . Sehingga f_{eb} dapat ditentukan melalui Persamaan 2.97, dengan nilai f_y dan f_u pada Persamaan 2.98 dan 2.99.

$$f_{eb} = \min \left[f_y; \frac{f_u}{1.15} \right] \quad (2.97)$$

$$f_y = (SMYS - f_{y,temp}) \alpha_u \quad (2.98)$$

$$f_u = (SMTS - f_{u,temp}) \alpha_u \quad (2.99)$$

$$\alpha_u = \text{Faktor kekuatan material (0.96)}$$

$$\begin{aligned} S_p &= \text{Karakteristik tahanan gaya aksial plastis (N)} \\ &= f_y \pi (D - t) t && (2.100) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_p &= \text{Tahanan momen plastis} && (\text{N.m}) \\ &= f_y (D - t)^2 t && (2.101) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha_c &= \text{Parameter tegangan aliran} \\ &= (1 - \beta) + \beta \frac{f_u}{f_y}\end{aligned}\quad (2.102)$$

$$\begin{aligned}\alpha_p &= \text{Faktor tekanan untuk } combined\ loading\ criteria \\ &= \begin{cases} 1 - \beta & \text{untuk } \frac{p_i - p_e}{p_b} < \frac{2}{3} \\ 1 - 3\beta \left(1 - \frac{p_i - p_e}{p_b}\right) & \text{untuk } \frac{p_i - p_e}{p_b} \geq \frac{2}{3} \end{cases}\end{aligned}\quad (2.103)$$

Nilai α_c dan α_p dipengaruhi oleh *combined loading criteria factor* yang didapat melalui persamaan 2.109.

$$\beta = \frac{60 - D/t}{90}\quad (2.104)$$

2.2.14 Risk Based Inspection

Inspeksi dan perawatan pipa bawah laut memakan biaya yang paling besar dalam masa operasi pipa bawah laut. Maka dari itu, dibutuhkan sebuah metode yang dapat memangkas biaya lebih murah, namun analisis yang dilakukan tetap berdasar pada *integrity* pada pipa bawah laut. *Risk Based Inspection* merupakan suatu metode perancangan dan optimasi dari suatu skema inspeksi yang berdasarkan dari penilaian risiko. Penilaian risiko disini bergantung pada data-data terdahulu, metode analitis, dan penilaian dari orang-orang yang sudah berpengalaman dalam bidang tersebut (Bai *et al*, 2014). Dengan kata lain, RBI menggunakan penilaian kualitatif dan kuantitatif untuk menyusun prioritas analisis dan aktivitas perencanaan inspeksi (Mulyadi *et al*, 2013).

Metode perencanaan berbasis risiko ini, merencanakan rencana inspeksi berdasarkan analisis probabilitas risiko pada pipa bawah laut. Inspeksi yang akan dilakukan difokuskan pada elemen-elemen yang memiliki potensi kegagalan yang cukup tinggi, untuk mengurangi risiko kegagalan sistem. Aspek-aspek yang ditinjau dalam RBI antara lain adalah *safety*, aset, lingkungan (Bai *et al*, 2014). Dalam tugas akhir ini,

penjadwalan inspeksi berikutnya dapat diketahui melalui *codes* API RP 2SIM seperti yang tertera pada Tabel 15.

Tabel 15. Interval penjadwalan inspeksi (API RP 2SIM dalam Alamsyah, 2013)

<i>Risk category</i>	<i>Inspection interval range</i>
<i>High</i>	<i>3 years to 5 years</i>
<i>Medium</i>	<i>6 years to 10 years</i>
<i>Low</i>	<i>11 years or greater</i>

2.2.14.1 Metode Inspeksi

Menurut DNV RP F116 (2015), inspeksi dan *monitoring* merupakan aktifitas pengamatan yang dilakukan secara langsung untuk mengumpulkan data operasional dan data-data pendukung yang menunjukkan kondisi komponen yang ditinjau. Data operasional dapat berupa data temperatur, tekanan, aliran, volume bahan kimia yang diinjeksikan, dan jumlah siklus operasi. Tiratsoo (1999) menjelaskan mengenai metode-metode inspeksi yang umum digunakan untuk pipa bawah laut. Metode-metode tersebut antara lain adalah

a. *Accoustic Survey by side-scan sonar*

Metode ini dapat memberikan informasi terhadap kondisi *trench* dan *burial* pada pipa bawah laut, mendeteksi perubahan yang signifikan pada bentangan bebas, dan mengidentifikasi area *seabed* yang mengalami gangguan (bekas jangkar, dan lain sebagainya). Metode ini banyak digunakan karena biaya perkilometranya yang murah.

b. *Inspection by remote operated vehicle (ROV)*

Penggunaan ROV dapat menginspeksi secara detail pada area yang spesifik. Metode ini dapat mengetahui kondisi eksternal pada pipa bawah laut (*coating*, *anoda*, *support*), level dari

proteksi katodik, memberikan informasi yang akurat mengenai bentangan bebas, *burial condition*, dan gangguan lainnya (jangkar, jaring ikan, dan lainnya).

c. *Intelligent pigging*

Dalam Bai (2014), disebutkan bahwa penggunaan *intelligent pig* semakin marak. *Intelligent pig* dilakukan untuk mendeteksi adanya *metal loss* dengan beberapa macam *intelligent pig*, yakni

- *Magnetic flux leakage* (MFL)
- *Ultrasonic pig*
- *High frequency eddy current* (HFEC)
- *Remote field eddy current* (RFEC)

Selain itu, menurut kegunaannya *intelligent pig* dapat juga digunakan untuk menginspeksi

- *Crack detection*
- *Calipering*
- Survey rute
- Deteksi bentangan bebas
- Deteksi kebocoran

Sedangkan metode inspeksi menurut DNV RP F116 (2015) dikelompokkan menjadi berikut

- a. *In-line inspection*, biasanya menggunakan *pig*
- b. *External inspection*, menggunakan alat bantu yang dapat dikontrol melalui jarak jauh. Dapat juga dilakukan oleh penyelam (maksimum kedalaman 200 m).

Inspeksi yang dilakukan pada setiap kasus pada pipa bawah laut berbeda. Tabel 16 menunjukkan metode-metode yang biasa digunakan pada inspeksi dari masing-masing kasus.

2.2.15 Simulasi monte carlo

Simulasi monte carlo biasanya digunakan untuk menghitung probabilitas kegagalan pada sebuah pipa bawah laut. Simulasi monte carlo digunakan sebagai analisis ketidak pastian pada perhitungan deterministik. Simulasi monte carlo dapat menjelaskan probabilitas dari nilai-nilai alternatif lain pada sistem tersebut. Kelebihan dari simulasi monte carlo ini adalah tidak perlu adanya analisis yang kompleks dan rumit (Pokoradi, 2011).

Prinsip dasar simulasi monte carlo adalah mengambil beberapa sampel dan peubah acak yang berkaitan dengan sistem yang ditinjau (Nuraini, 2016). Sehingga, dalam penggunaan simulasi monte carlo ini dibutuhkan *random number generator* (RNG) dan variabel acak terhadap moda kegagalan yang terkait pada sistem yang ditinjau. Moda kegagalan dalam tugas akhir ini adalah moda kegagalan VIV dan moda kegagalan *local buckling*.

2.2.15.1 Moda kegagalan VIV

Pipa bawah laut yang mengalami bentangan bebas akan beresilasi akibat adanya *vortex shedding*. Getaran yang dialami pipa akibat *vortex* dapat mengakibatkan kelelahan pada pipa. Dalam simulasi monte carlo, moda kegagalan terhadap VIV terdapat pada Persamaan 2.105 dan 2.106.

$$F_k(x) = \frac{f_{n,IL}}{\gamma_{IL}} - \frac{U_{c,100th}}{V_{R, onset}^{IL}} \left(1 - \frac{\frac{L}{Dt}}{250} \right) \frac{1}{\bar{\alpha}} \geq 0 \quad (2.105)$$

$$F_k(x) = \frac{f_{n,CF}}{\gamma_{CF}} - \frac{U_{c,100th} + U_{w,1th}}{V_{R, onset}^{CF} Dt} \geq 0 \quad (2.106)$$

Tabel 16. Metode inspeksi pada masing-masing permasalahan (DNV RP F116, 2017)

Threat Group	Threat	ROV			ROTV			Tow-fish			Pig (ILI)			Crawler			Diver								
		Visual / Video / photo	Sidescan sonar	Multibeam	Pipetracker	Sub bottom profiler	CP inspection	Sidescan sonar	Multibeam	Pipetracker	Sub bottom profiler	Sidescan sonar	Pipetracker	Sub bottom profiler	MFL	UT	Geo	Calliper	UT	MFL	GVI	CVI	UT	Eddy Current	
	Construction / material																								
	DFI																								
	Corrosion / erosion																								
	External corrosion																								
	Internal corrosion																								
	Erosion																								
	Structural																								
	Upheaval buckling																								
	Lateral buckling																								
	Free span																								
	Natural hazards																								
	L and slides, boulder, scouring etc.																								
	Third party impacts																								
	Anchor, trawling etc.																								
	Incorrect operation																								
	Incorrect proc, human errors etc.																								

2.2.15.2 Moda kegagalan *local buckling*

Dalam *screening* ULS, terdapat dua kondisi pipa bawah laut yang dapat menyebabkan *local buckling*. Kondisi tersebut antara lain adalah kondisi tekanan berlebih pada tekanan eksternal dan kondisi tekanan tekanan berlebih pada tekanan internal. Maka dari itu, dalam simulasi monte carlo terdapat dua moda kegagalan untuk *local buckling*, tergantung pada kondisi pipa bawah laut yang ditinjau. Moda kegagalan *local buckling* terdapat pada Persamaan 2.107 dan 2.108.

- untuk $15 \leq \frac{D}{t_2} \leq 45, P_i > P_e, \frac{|S_{sd}|}{S_p} < 0.4$

$$F_k(x) = 1 - \left(\gamma_m \gamma_{SC} \frac{|M_{sd}|}{\alpha_c M_p(t_2)} + \left(\frac{\gamma_m \gamma_{SC} S_{sd}(p_i)}{\alpha_c S_p(t_2)} \right)^2 \right)^2 + \left(\alpha_p \frac{p_i - p_e}{\alpha_c p_b(t_2)} \right)^2 \geq 0 \quad (2.107)$$

- untuk $15 \leq \frac{D}{t_2} \leq 45, P_i < P_e, \frac{|S_{sd}|}{S_p} < 0.4$

$$F_k(x) = 1 - \left(\gamma_m \gamma_{SC} \frac{|M_{sd}|}{\alpha_c M_p(t_2)} + \left(\frac{\gamma_m \gamma_{SC} S_{sd}(p_i)}{\alpha_c S_p(t_2)} \right)^2 \right)^2 + \left(\gamma_m \gamma_{SC} \frac{p_e - p_{min}}{p_c(t_2)} \right)^2 \geq 0 \quad (2.108)$$

2.2.16 Konsekuensi kegagalan

Model konsekuensi merupakan pemodelan kejadian yang mungkin terjadi setelah adanya kegagalan pada suatu sistem (Bai *et al*, 2014). Dalam API RP 580 (2009), konsekuensi yang mungkin terjadi digolongkan menurut tingkat keparahannya. Dimana kategori I adalah yang paling parah, sedangkan pada kategori VI adalah yang paling aman. Tabel 17 menunjukkan kategori dan deskripsi konsekuensi dari masing-masing aspek.

Tabel 17. Kategori CoF (API RP 580, 2009)

<i>Category</i>	<i>Description</i>	<i>Safety</i>	<i>Environment</i>	<i>Economic</i>
I	Catastrophic	Large number of fatalities	major long-term environmental impact	$\geq \$100,000,000$
II	Major	A few fatalities	major short-term environmental impact	$\geq \$10,000,000 < \$100,000,000$
III	Serious	Serious injuries	Significant environmental impact	$\geq \$1,000,000 < \$10,000,000$
IV	Significant	Minor injuries	Short-term environmental impact	$\geq \$100,000 < \$1,000,000$
V	Minor	First aid injuries only	Minimal environmental impact	$\geq \$10,000 < \$100,000$
VI	Insignificant	No significant consequence		$< \$10,000$

2.2.17 Matriks risiko

Menurut Bai *et al* (2014), analisis risiko dilakukan untuk mengetahui kerentanan dan konsekuensi suatu sistem terhadap suatu risiko dan memastikan sistem tersebut sesuai dengan aturan yang berlaku. Risiko dalam API RP 580 (2009) digambarkan dalam matriks 6x6 seperti yang dapat dilihat pada Tabel 18. Risiko dapat dituliskan dalam Persamaan 2.109. Probabilitas kegagalan dapat dikelompokan seperti pada Tabel 19.

$$Risk = PoF \times CoF \quad (2.109)$$

dengan,

PoF = Probabilitas kegagalan

CoF = Konsekuensi kegagalan

Tabel 18. Matriks risiko menurut API 580

PoF	Very high	Medium	Medium	High	High	High	High
	High	Medium	Medium	Medium	High	High	High
	Moderate	Low	Medium	Medium	Medium	High	High
	Low	Low	Low	Medium	Medium	Medium	High
	Very low	Low	Low	Low	Medium	Medium	Medium
	Remote	Low	Low	Low	Low	Medium	Medium
		Insignificant	Minor	Significant	Serious	Major	Catastrophic
		CoF					

Tabel 19. Kategori PoF (API RP 580, 2009)

<i>Possible qualitative rank</i>	PoF
<i>Remote</i>	< 0.00001
<i>Very low</i>	0.00001 to 0.0001
<i>Low</i>	0.0001 to 0.001
<i>Moderate</i>	0.001 to 0.01
<i>High</i>	0.01 to 0.1
<i>Very high</i>	>0.1

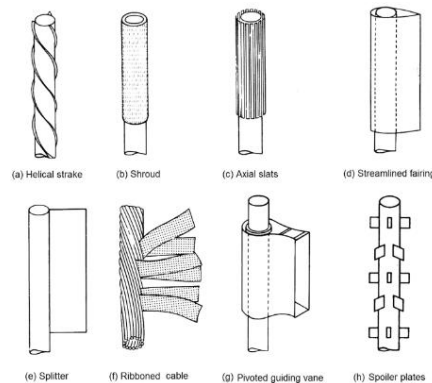
2.2.18 Mitigasi

Beberapa mitigasi yang dapat dilakukan untuk bentangan bebas antra lain dengan menggunakan *mattresses & bags*, *trenching*, *rock dumping*, dan menggunakan *mechanical support*. Penggunaan matras dan *rock dumping* berguna untuk memodifikasi kondisi *seabed* dan meminimalisir bentangan yang terjadi. Namun, metode ini terbatas digunakan pada laut dangkal. Sedangkan *trenching* dirasa tidak relevan apabila *seabed* terdapat batuan. *Mechanical support* dapat berupa *clamp* yang berfungsi untuk mengatur geometri pipa bawah laut dan dapat digunakan pada perairan dalam (Bai *et al*, 2014). Beberapa mitigasi untuk bentangan bebas dapat dilihat pada Tabel 20.

Tabel 20. Mitigasi bentangan bebas (Lee, 2002)

Methods	Description
Sand-Cement Bags	Placement of clump weights at the seabed below and to the side of a free pipeline span. The sand bags/mattress can be installed from the water surface using cables and diver or ROV assistance.
Mattresses	- Easy to install and low cost in shallow water. - Not desirable for deepwater, sloped bottom, or high bottom-clearance free spans.
Clamp-on Supports with Telescoping Legs	Inverted "V" type structure with foot pads and telescoping legs. An ROV actuates a hydraulic adjusting mechanism. - Depending on the angle between the legs, some lateral pipeline deflection reduction is possible.
Clamp-on Supports with Auger Screw Legs	Clamp-on supports with the use of auger screw legs. An ROV actuates a hydraulic adjusting mechanism. - Lateral movement can be reduced by the anchored legs. - For a bedrock seabed, drilled hole with epoxy grouting may be used.
Alteration of Seabed Terrain	Smooth out the seabed profile to more evenly distribute the loads and shorten the span length. - Can be achieved through dredging, trenching, or plowing depending on the seabed soil conditions and available equipment.
Buoyancy Modules	Reduce submerged weight by adding buoyancy modules in the span area. - Reduce sagbend stresses and the localized bending stresses in the overbend. - May increase drag force.
VIV Suppressions	Placement of hydrofoils or helical strakes breaks up the vortex shedding patterns, thus preventing the onset of VIV. - May increase drag force.

Selain meminimalisir bentangan yang terjadi, mitigasi VIV juga perlu dipertimbangkan. VIV yang terjadi dapat diminimalisir dengan memodifikasi struktur ataupun alirannya. Metode yang biasa digunakan adalah pemasangan *helical strakes*. *Helical strakes* berfungsi untuk memecah aliran untuk mengurangi *vortex shedding* sepanjang pipa bawah laut. Ulir yang digunakan bergantung pada diameter pipa bawah laut dan distribusi kecepatan arus. Macam-macam *suppression device* terdapat pada Gambar 15.



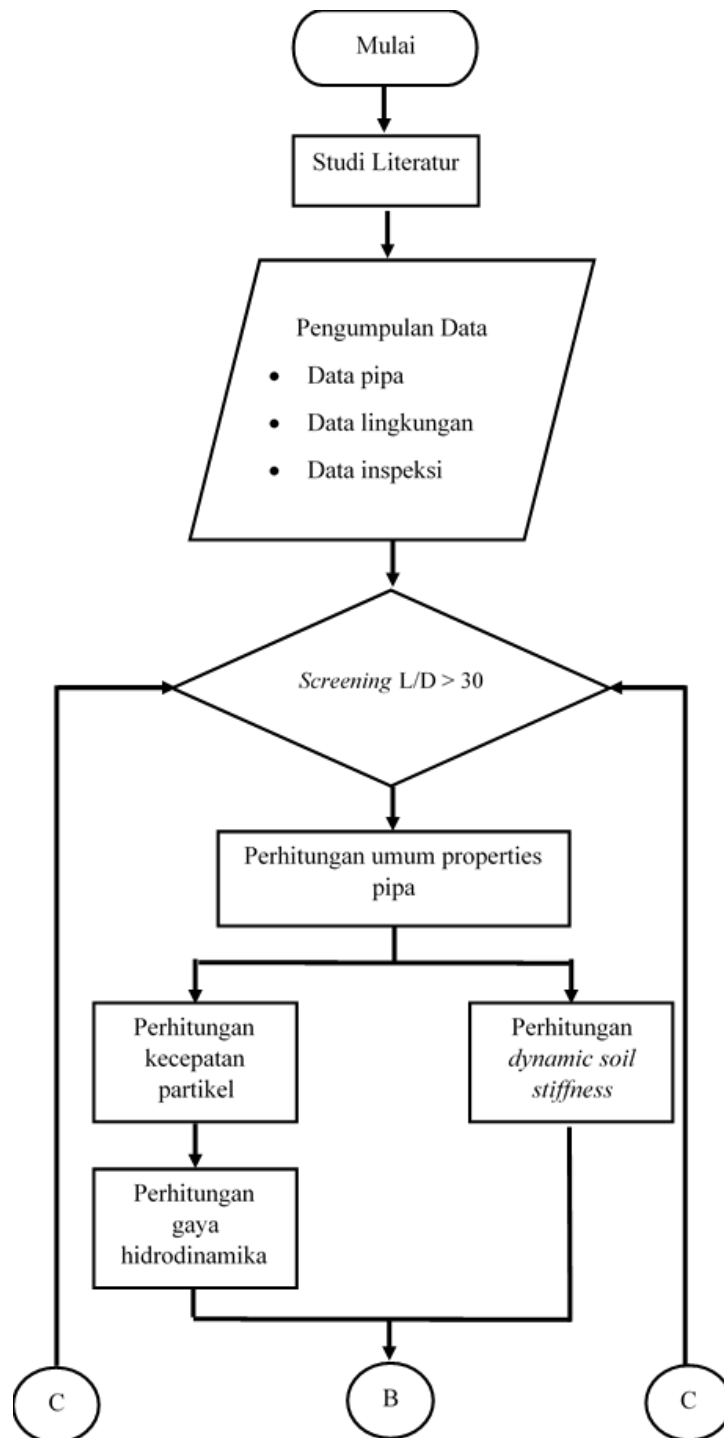
Gambar 15. Suppression device (Bai *et al*, 2014)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

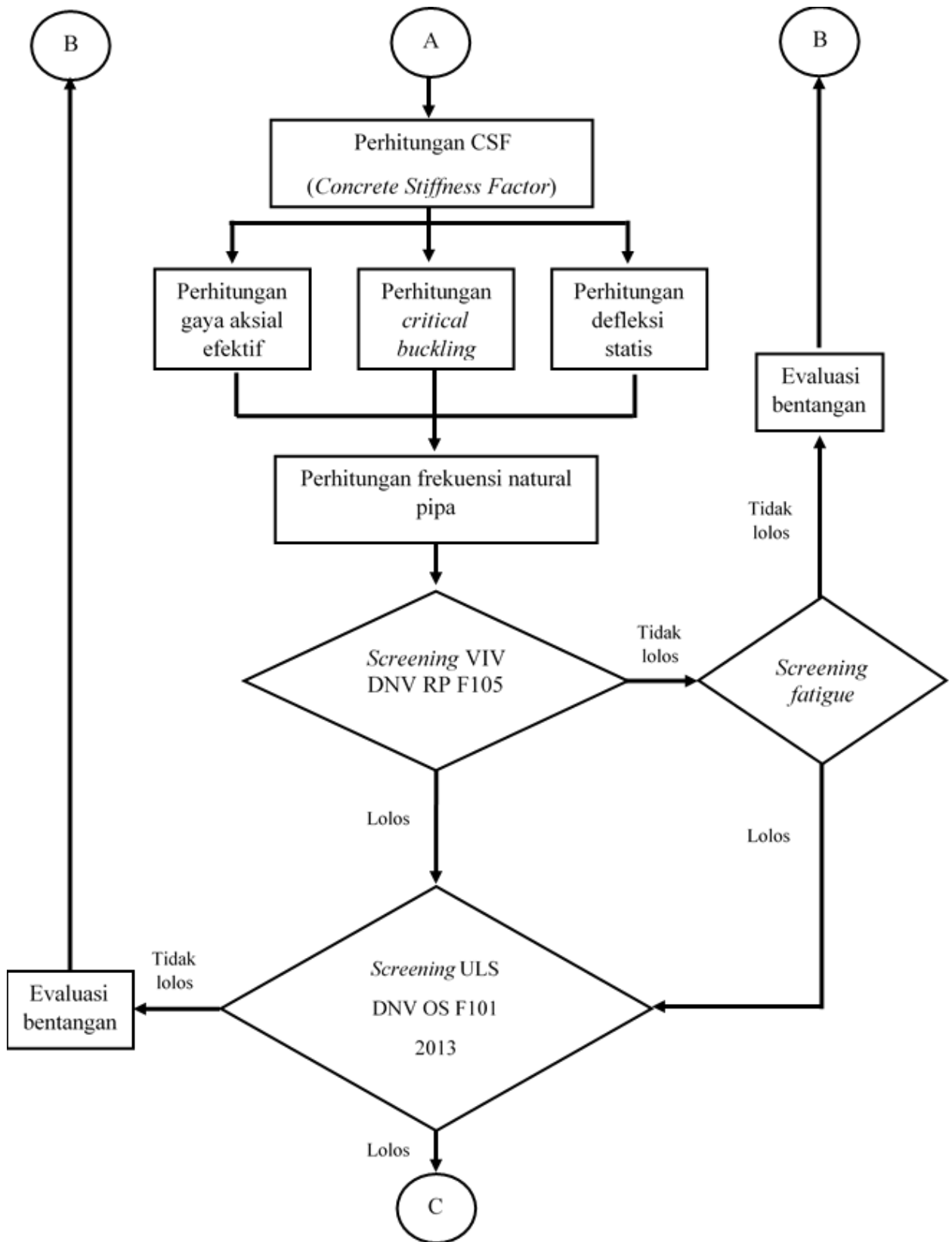
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

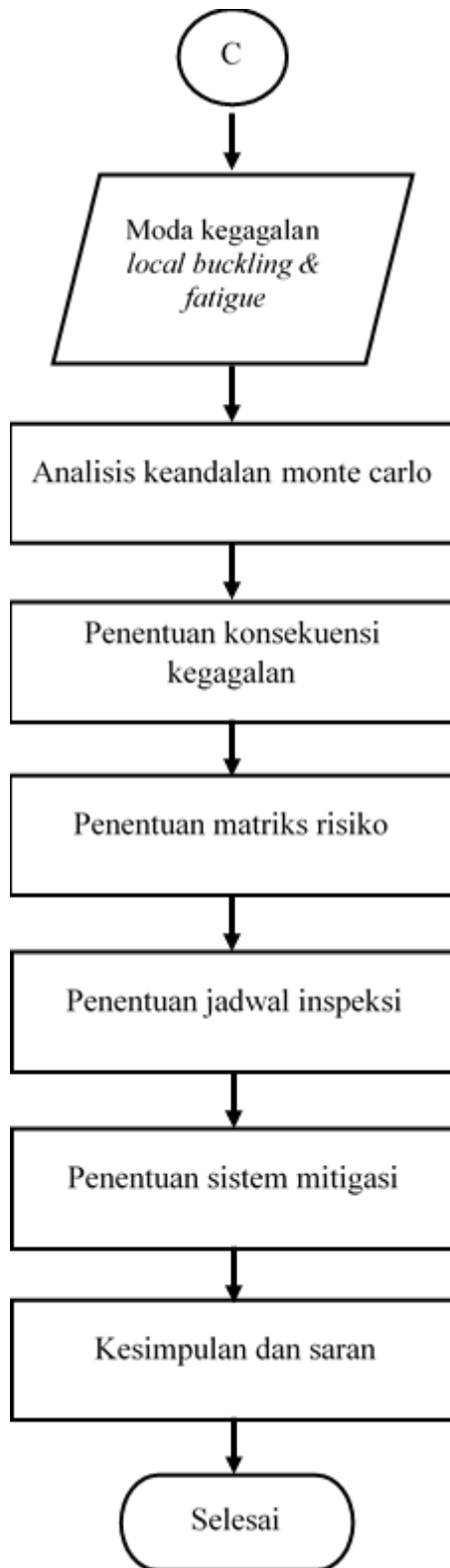
3.1 Diagram Alir



Gambar 16. Diagram alir pengerjaan



Gambar 18. Daigram alir pengerjaan (lanjutan)



Gambar 18. Diagram alir pengerjaan (lanjutan)

3.2 Prosedur Pengerjaan

Penyelesaian rumusan masalah pada bab sebelumnya dikerjakan dengan mengikuti diagram alir yang terlampir pada Gambar 18 pada subbab sebelumnya. Penjelasan dari masing-masing kegiatan antara lain

1. Studi literatur

Dalam menjawab permasalahan yang ada, pertama-tama perlu dilakukan studi literatur terlebih dahulu. Literatur yang dikaji berasal dari berbagai sumber seperti buku, tugas akhir, jurnal, *codes*, dan referensi-referensi lain yang terkait dengan topik yang dibahas. *Codes* yang digunakan dalam pengerjaan ini adalah DNV OS F101 *Submarine Pipeline System*, DNV RP F105 *Free Spanning Pipelines* dan DNV RP F116 *Integrity Management of Submarine Pipeline Systems*.

2. Pengumpulan data

Data-data yang diperlukan dalam proses pengerjaan ini adalah data properties pipa, data lingkungan, dan data inspeksi. Pipa bawah laut yang ditinjau adalah pipa bawah laut yang terletak di Madura dengan ukuran 14" dan menyalurkan gas. Pipa ini menghubungkan antara *Central Processing Platform* dengan *Onshore Receiving Facility*. Pengambilan data inspeksi pipa bawah laut menggunakan ROV sepanjang jalur pipa bawah laut.

3. *Screening* $L/D > 30$

Pada tugas akhir ini hanya akan meninjau bentangan-bentangan kritis. Sehingga, dari data inspeksi yang dimiliki perlu dilakukan *screening* untuk mencari bentangan mana saja yang dinilai kritis, atau dalam hal ini bentangan mana saja yang mungkin terjadi VIV. Berdasarkan DNV RP F105 (2017), bentangan yang memiliki nilai $L/D > 30$ memiliki kemungkinan terjadinya VIV.

4. Perhitungan umum properties pipa

Dari data properties pipa yang didapat kemudian dilakukan perhitungan dimensi pipa, meliputi tebal dinding pipa, diameter total pipa, diameter *concrete*, diameter *corrosion coating*, momen inersia pipa, momen inersia *concrete*, dan luas penampang pipa. Selain itu, massa efektif dan berat terendam pipa juga diperhitungkan.

5. Perhitungan kecepatan partikel

Pengolahan data lingkungan meliputi perhitungan kecepatan partikel air di lokasi pipa dan perhitungan kecepatan aliran arus. Pada pengolahan gelombang untuk mengetahui kecepatan partikel air perlu dilakukan analisis spektra. Spektra yang digunakan merupakan spektra JONSWAP. Spektra ini dinilai cocok dengan kondisi wilayah Indonesia.

6. Perhitungan *dynamic soil stiffness*

Perhitungan interaksi antara pipa dengan tanah digunakan untuk mengetahui kekakuan dinamis maupun lateral. Kedua kekakuan ini berpengaruh dalam *relative soil stiffness parameter* (β).

7. Perhitungan gaya hidrodinamika

Perhitungan gaya hidrodinamika meliputi perhitungan gaya dan beberapa parameter terkait. Perhitungan gaya hidrodinamika yang dimaksud adalah gaya gesek (*drag force*), gaya inersia, dan gaya *lifting*. Sedangkan parameter yang perlu diketahui antara lain adalah *total damping ratio*, *stability parameter*, dan faktor koreksi.

8. Perhitungan *concrete stiffness factor*

Concrete stiffness factor adalah kekakuan pada pipa yang ditimbulkan oleh adanya *concrete coating*. Selain kekakuan dinamis yang sebelumnya sudah diperhitungkan, CSF ini juga berpengaruh pada nilai *relative soil stiffness parameter* (β).

9. Perhitungan gaya aksial, *critical buckling load*, dan defleksi statis

Selain CSF yang telah diketahui, Gaya aksial, *critical buckling load*, dan defleksi statis merupakan beberapa parameter yang mempengaruhi nilai frekuensi natural. Ketiga parameter ini dihitung menggunakan persamaan yang ada pada DNV RP F105.

10. Perhitungan frekuensi natural pipa

Frekuensi natural dihitung dengan arah *in-line* dan *cross flow*. Dalam perhitungannya, diperlukan perhitungan panjang bentangan efektif. Hal ini diperlukan karena tumpuan bentangan diasumsikan *fixed-fixed*.

11. *Screening* VIV

Berdasarkan DNV RP F105 (2017), *Screening* ini berguna untuk mengetahui apakah bentangan yang terjadi akan mengalami VIV atau tidak. Apabila bentangan tersebut tidak berpotensi mengalami VIV, maka dapat langsung dilakukan *screening* ULS. Sedangkan apabila tidak memenuhi, maka dilakukan *screening* terhadap kriteria *fatigue*.

12. *Screening fatigue*

Screening terhadap kriteria *fatigue*, berdasarkan DNV RP F105 (2017), dilakukan untuk melihat apakah VIV yang terjadi pada bentangan tersebut dapat mengakibatkan kelelahan pada pipa bawah laut. Apabila kriteria *fatigue* terpenuhi, maka dapat langsung dilakukan *screening* ULS. Sedangkan, apabila tidak memenuhi maka dapat dilakukan analisis *full fatigue*. Pada tugas akhir ini analisis *full fatigue* tidak dilakukan.

13. *Screening* ULS

Screening Ultimate Limit State digunakan untuk mengecek apakah bentangan yang terjadi berpotensi mengalami *local buckling*. *Screening* ULS dilakukan berdasarkan DNV OS F101. Beban yang bekerja pada ULS merupakan beban kombinasi. Apabila diketahui terdapat bentangan yang berpotensi mengalami *local buckling*, maka dilakukan evaluasi bentangan dan analisis risiko.

14. Simulasi monte carlo

Dari kedua moda kegagalan VIV dan *local buckling* dilakukan simulasi monte carlo terhadap variabel bebas yang ditentukan. Simulasi monte carlo dilakukan untuk mengetahui keandalan dari pipa yang ditinjau. Dari keandalan tersebut, maka dapat diketahui probabilitas kegagalan pipa.

15. Penentuan konsekuensi kegagalan

Konsekuensi dari pipa yang mengalami kegagalan dilakukan analisis secara semi kuantitatif. Penentuan konsekuensi kegagalan berdasarkan *codes* yang berlaku, yakni DNV RP F116. Konsekuensi kegagalan ditinjau dalam empat aspek, yakni aspek *safety*, ekonomi, dan lingkungan.

16. Penentuan matriks risiko

Probabilitas kegagalan dan konsekuensi kegagalan berpengaruh pada tingkat risiko dari pipa yang ditinjau. Dari risiko yang sudah diketahui, risiko tersebut diplot dalam matriks risiko untuk melihat level risiko tersebut.

17. Penjadwalan inspeksi pipa

Dari level risiko yang sudah diketahui, disusun rencana jadwal inspeksi selanjutnya berdasarkan *codes* yang berlaku. Semakin tinggi risiko yang terjadi pada pipa yang ditinjau, maka semakin singkat interval waktu untuk dilakukan inspeksi.

18. Penentuan sistem mitigasi

Dari kegagalan yang terjadi, disusun mitigasi yang sesuai dari kegagalan tersebut. Sistem mitigasi berguna untuk memperkecil risiko kegagalan pada pipa yang ditinjau untuk masa mendatang. Dalam tugas akhir ini, penentuan mitigasi tidak memperhitungkan biaya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Data

Data yang digunakan sebagai studi kasus pada tugas akhir ini merupakan pipa bawah laut milik PT. X yang beroperasi di lepas pantai Madura. Pipa bawah laut ini memiliki panjang 65 km dan menghubungkan antara *Central Processing Platform (CPP)* dengan *Onshore Receiving Facilities (ORF)*. Pada beberapa titik, pipa bawah laut ini mengalami bentangan bebas. Data inspeksi yang digunakan pada tugas akhir ini merupakan data inspeksi tahun 2018. Inspeksi pipa bawah laut yang dilakukan dengan ROV ini, ditemukan terdapat 554 bentangan dengan *gap* yang bervariasi. Data umum pipa bawah laut terdapat pada Tabel 21. Sedangkan, pada Tabel 22 tercantum mengenai data *coating* dan Tabel 23 berisi mengenai data lingkungan pipa bawah laut

Tabel 21. Data umum pipa bawah laut

Data Proses		
Parameter	Unit	Nilai
Tekanan desain	Mpa	9.3
Tekanan operasi	Mpa	4.9
Temperatur desain	°C	75
Temperatur operasi	°C	65
Massa jenis konten	kg/m ³	29.3
Properti Pipeline		
Parameter	Unit	Nilai
Diameter luar	mm	355.6
Material		CS
Seam		SMLS
SMYS	Mpa (psi)	360
SMTS	Mpa (psi)	400
Massa jenis baja	kg/m ³	7850
Young Modulus	Mpa	207000
Koef. Ekspansi termal	1/ °C	0.0000117
Poisson Ratio		0.3
Tebal dinding	mm	14.3
<i>Internal corrosion allowance</i>	mm	3

Tabel 22. Data coating pipa

Coating Properties		
Parameter	Unit	Nilai
Ketebalan Asphalt Enamel	mm	6
Massa jenis Asphalt Enamel	kg/m ³	1280
Cut Back- Asphalt Enamel	mm	200
Ketebalan <i>concrete coating</i>	mm	50.8
Massa jenis <i>concrete coating</i>	kg/m ³	2242.59

Tabel 23. Data lingkungan

Kedalaman dan Pasang Surut		
Parameter	Unit	Nilai
Kedalaman pipeline	m	56.693
MSL	m	1.11
Storm Tide (Surge)	m	0.09
High Astronomical Tide	m	2.44
MSL + Surge + 1/2 HAT	m	62.42
Properti Air Laut		
Parameter	Unit	Nilai
Massa jenis	kg/m ³	1025
Temperatur dasar laut	°C	28.88
Viskositas kinematis	m ² /s	0.0000113
Parameter Tanah		
Parameter	Unit	Nilai
Jenis tanah	Very soft clay	
Undrained Shear Strength	kPa	4
Submerged soil density	kN/m ³	15.69

Data Arus		
Parameter	Percent of Depth	
	100	0
1 tahun (m/s)	1.07	0.24
100 tahun (m/s)	1.37	0.5
Data Gelombang		
Parameter	Periode Ulang	
	1 tahun	100 tahun
Hs (m)	2.78	4.92
Ts (s)	5.4	7.5
Hmax (m)	5.18	9.14
Tmax (s)	7.2	10

4.2 Screening L/D

Dari data inspeksi pada tahun 2018, terdapat 554 bentangan dengan variasi *gap* 0.1 hingga 0.4. Kemudian, dilakukan *screening* terhadap L/D untuk menentukan bentangan-bentangan kritis yang perlu ditinjau. Dari *screening* tersebut, terdapat 173 bentangan yang memiliki nilai L/D > 30. Hal ini menunjukkan bahwa pada bentangan-bentangan tersebut memungkinkan

untuk terjadinya VIV. Bentangan-bentangan yang memiliki nilai $L/D > 30$ terlampir.

4.3 Perhitungan properti pipa

Perhitungan properti pipa merupakan tahap awal dalam analisis bentangan bebas. Perhitungan ini meliputi diameter pipa, inersia pipa, dan luas penampang pipa. Selain itu, massa efektif pada setiap bentangan dan berat terendam pipa juga diperhitungkan. Hasil perhitungan properti pipa bawah laut terdapat pada Tabel 24.

Tabel 24. Hasil perhitungan properti pipa.

Perhitungan Properti Pipa			
Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Tebal dinding pipa	t_2	0.0113	m
Diameter total pipa	D_t	0.4692	m
Diameter dalam pipa	D_i	0.333	m
Diameter <i>concrete</i>	D_{conc}	0.4692	m
Diameter <i>corrosion coating</i>	D_{cc}	0.3676	m
Momen inersia pipa baja	I_{st}	2.E-04	m ⁴
Momen inersia selimut beton	I_{conc}	1.E-03	m ⁴
Luas penampang internal pipa	A_i	0.087092017	m ²
Luas penampang pipa baja	A_{st}	0.012222649	m ²
Luas penampang lapisan anti korosi	A_{cc}	0.006815999	m ²
Luas penampang lapisan <i>concrete</i>	A_{conc}	0.066773672	m ²

Dalam menghitung massa efektif pipa, pertama-tama perlu dilakukan perhitungan massa pipa baja (M_{st}), massa lapisan anti korosi (M_{cc}), massa selimut beton (M_{conc}), massa total pipa (M_{str}), dan massa fluida yang mengalir (M_c). Sedangkan pada massa tambah pipa bergantung pada nilai koefisien massa tambah dari masing-masing bentangan. Hasil perhitungan massa efektif pipa bawah laut pada lima bentangan pertama dapat dilihat pada Tabel 25 dan Tabel 26. Untuk nilai massa efektif pada setiap bentangan terlampir.

Tabel 25. Perhitungan massa pipa dan massa konten.

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Massa pipa baja	M_{st}	95.94779435	kg/m
Massa lapisan anti korosi	M_{cc}	8.724479259	kg/m
Massa selimut beton	M_{conc}	165.0314617	kg/m
Massa Pipa	M_{str}	269.7037353	kg/m
Massa fluida yang mengalir	M_c	2.551796096	kg/m

Tabel 26. Hasil perhitungan massa efektif

KP Start	Gap (e)	Span (m)	e/Dt	Koef. Tambah Ca	Massa Tambah Ma (kg/m)	Massa Efektif Me (kg/m)
0.108	0.15	18	0.319	1.594285714	282.5503881	554.8059195
0.206	0.1	15	0.213	1.746666667	309.556399	581.8119304
0.302	0.1	17	0.213	1.746666667	309.556399	581.8119304
0.419	0.1	15	0.213	1.746666667	309.556399	581.8119304

Berat terendam pipa dihitung menggunakan Persamaan 2.18 dan 2.19 dengan substitusi massa pipa yang telah diketahui pada perhitungan sebelumnya. Sehingga, berat terendam pipa dapat diketahui melalui Persamaan 4.1 dan 4.2.

$$F_{buoy} = \frac{\pi}{4} \rho_w D_i^2 \cdot g \quad (4.1)$$

$$= 875.732 \text{ N}$$

$$W_{sub} = (m_{st} + m_c + m_{cc} + m_{conc})g - F_{buoy} \quad (4.2)$$

$$= 1795.09 \text{ N}$$

4.4 Analisis kecepatan partikel

Berdasarkan DNV RP F105 (2017), pengolahan data gelombang menggunakan spektrum gelombang JONSWAP. Spektrum ini dinilai cocok dengan kondisi perairan Indonesia yang berbentuk kepulauan atau tertutup. Parameter-parameter spektrum JONSWAP dapat dilihat pada Tabel 27.

Tabel 27. Parameter JONSWAP

Parameter	Notasi	1 tahun	100 tahun	Satuan
Frekuensi gelombang signifikan	ω	1.16355	0.83775	Rad/s
Frekuensi puncak gelombang	ω_p	1.10072	0.79251	Rad/s
Fungsi distribusi	ϕ	3.42357	3.57427	
Parameter ketinggian	γ	5	5	
Parameter lebar spektral	σ	0.09	0.09	
Konstanta <i>Generalized Phillips</i>	α	0.01636	0.02656	

Dengan asumsi bahwa kedalaman pada tiap bentangan adalah sama dan rata, maka perhitungan angka gelombang hanya dilakukan pada periode ulang 1 tahun dan periode ulang 100 tahun. Dalam menentukan angka gelombang, Persamaan 2.28 diiterasikan dengan metode Newton-Rapson. Angka gelombang digunakan untuk menyelesaikan perhitungan spektral gelombang pada masing-masing periode ulang. Iterasi angka gelombang pada periode ulang 1 tahun dan 100 tahun dapat dilihat pada Tabel 28 dan Tabel 29.

Tabel 28. Iterasi gelombang periode ulang 1 tahun

Angka gelombang periode ulang 1 tahun					
k	coth (kh)	ω^2/g	csch ² (kh)	$k_{(i+1)}$	F(k)
0.15	1.00	0.13800	2E-07	0.138	-0.012
0.1380077	1.00	0.13800	6E-07	0.138	2E-08
0.1380077	1.00	0.13800	6E-07	0.138	0
0.1380077	1.00	0.13800	6E-07	0.138	0
0.1380077	1.00	0.13800	6E-07	0.138	0

Tabel 29. Iterasi angka gelombang periode ulang 100 tahun

Angka gelombang periode ulang 100 tahun					
k	coth (kh)	ω^2/g	csch ² (kh)	$k_{(i+1)}$	F(k)
0.1	1.000024	0.07154	5E-05	0.072	-0.028
0.0715504	1.0006	0.07154	0.0012	0.072	4E-05
0.0715859	1.000597	0.07154	0.0012	0.072	3E-10
0.0715859	1.000597	0.07154	0.0012	0.072	0
0.0715859	1.000597	0.07154	0.0012	0.072	0

Setelah angka gelombang telah diketahui, maka selanjutnya melakukan perhitungan spektral gelombang. Perhitungan spektral ini dilakukan untuk mendapatkan kecepatan aliran pada elevasi pipa (U_w), kecepatan aliran gelombang signifikan pada elevasi pipa (U_s) dan rerata periode *zero up-crossing* (T_u). Perhitungan spektral gelombang dilakukan pada setiap variasi *gap* pada bentangan pipa bawah laut, yakni 0.1 m, 0.15 m, 0.2 m, 0.3 m, dan 0.4 m. Tabel 30 merupakan tabulasi perhitungan spektral pada *gap* 0.1 m. Untuk tabulasi pada *gap* lainnya dan tabulasi spektral dengan periode ulang 100 tahun dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 30. Spektral gelombang periode ulang 1 tahun pada *gap* 0.1 m

Spektral gelombang 1 tahun untuk $e = 0.1$						
ω	$S_{\eta\eta}(\omega)$	$G(\omega)$	$S_{uu}(\omega)$	SM	$S_{uu}(\omega)*SM$	$S_{uu}(\omega)*SM*\omega^2$
0.01	0.0.E+00	8.0.E-06	0.0.E+00	1	0	0
0.1	0.0.E+00	8.0.E-05	0.0.E+00	4	0	0
0.2	0.0.E+00	1.6.E-04	0.0.E+00	2	0	0
0.3	2.7.E-96	2.4.E-04	1.6.E-103	4	6.2E-103	5.6E-104
0.4	1.1.E-29	3.2.E-04	1.2.E-36	2	2.4E-36	3.8E-37
0.5	9.0.E-12	4.0.E-04	1.4.E-18	4	5.8E-18	1.4E-18
0.6	1.4.E-05	4.8.E-04	3.3.E-12	2	6.7E-12	2.4E-12
0.7	4.5.E-03	5.6.E-04	1.4.E-09	4	5.7E-09	2.8E-09
0.8	5.5.E-02	6.4.E-04	2.3.E-08	2	4.6E-08	2.9E-08
0.9	2.0.E-01	7.2.E-04	1.0.E-07	4	4.2E-07	3.4E-07
1	6.6.E-01	8.0.E-04	4.2.E-07	2	8.5E-07	8.5E-07
1.1	1.4.E+00	8.8.E-04	1.1.E-06	4	4.4E-06	5.3E-06
1.2	6.9.E-01	9.6.E-04	6.4.E-07	2	1.3E-06	1.8E-06
1.3	2.8.E-01	1.0.E-03	3.0.E-07	4	1.2E-06	2.0E-06
1.4	1.8.E-01	1.1.E-03	2.3.E-07	2	4.7E-07	9.1E-07
1.5	1.4.E-01	1.2.E-03	2.1.E-07	4	8.4E-07	1.9E-06
1.6	1.1.E-01	1.3.E-03	1.9.E-07	2	3.7E-07	9.6E-07
1.7	8.9.E-02	1.4.E-03	1.7.E-07	4	6.6E-07	1.9E-06
1.8	7.0.E-02	1.4.E-03	1.5.E-07	2	2.9E-07	9.5E-07
1.9	5.5.E-02	1.5.E-03	1.3.E-07	4	5.1E-07	1.9E-06
2	4.4.E-02	1.6.E-03	1.1.E-07	1	1.1E-07	4.5E-07
				SUM	1.1E-05	1.9E-05

Nilai kecepatan aliran pada elevasi pipa bergantung pada nilai *reduction factor*. Nilai *reduction factor* didapatkan berdasarkan grafik pada Gambar 6. Diasumsikan bahwa arah datang gelombang adalah tegak lurus dengan pipa, dan *spreading parameter* berdasarkan *seastate* adalah 6. Hasil perhitungan kecepatan aliran pada elevasi pipa dengan *gap* 0.1 m terdapat pada Tabel 31.

Tabel 31. Hasil perhitungan kecepatan pada elevasi pipa dengan *gap* 0.1 m

Parameter	1 tahun	100 tahun	Satuan
M_0	3.8.E-07	0.002361	
M_2	6.4.E-07	0.002769	
U_s	1.2.E-03	0.097186	m/s
T_u	4.833131	5.802145	s
R_D	0.95	0.95	
U_w	1.2.E-03	0.092327	m/s

Pada data arus, diketahui bahwa kecepatan arus pada periode ulang 1 tahun adalah 0.24 m/s, sedangkan kecepatan arus pada periode ulang 100 tahun adalah 0.5 m/s. Dengan parameter kekasaran dasar laut (Z_0) 5×10^{-6} , maka dapat diketahui kecepatan arus pada elevasi pipa. Kecepatan arus total merupakan penjumlahan dari U_w pada periode ulang 1 tahun dengan U_c pada periode ulang 100 tahun. Kecepatan arus total yang terjadi (U_{tot}) pada lima bentangan pertama tercantum pada Tabel 32. Kecepatan arus total pada seluruh bentangan terlampir.

Tabel 32. Kecepatan arus total

KP Start	Elevasi terhadap dasar laut (z)	$U_{c,1}$ tahun	$U_{c,100}$ tahun	U_w (1 tahun)	U_w (100 tahun)	$U_{w,1th} + U_{c,100th}$
	m	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
0.108	0.3846	0.221	0.460	0.001172	0.0923	0.4620298
0.206	0.3346	0.221	0.460	0.001172	0.0923	0.4620291
0.302	0.3346	0.221	0.460	0.001172	0.0923	0.4620291
0.419	0.3346	0.221	0.460	0.001172	0.0923	0.4620291
0.451	0.3346	0.221	0.460	0.001172	0.0923	0.4620291

4.5 Analisis gaya hidrodinamis

Perhitungan gaya hidrodinamis dilakukan untuk mengetahui besar frekuensi natural mode pertama pada pipa bawah laut. Dikarenakan aliran yang terjadi diasumsikan sebagai aliran tunak, gaya inersia tidak diperhitungkan. Sehingga, gaya hidrodinamis yang bekerja pada pipa adalah gaya *drag* dan gaya *lift*. Gaya hidrodinamis total yang terjadi pada pipa bawah laut merupakan resultan dari gaya *drag* dan gaya *lift* yang terjadi.

4.5.1 Gaya *drag*

Untuk mengetahui gaya *drag* yang bekerja pada pipa bawah laut, pertama-tama perlu ditentukan nilai koefisien *drag* pada pipa tersebut. Nilai koefisien *drag* untuk aliran tunak ($C_{D,(k/Dt)}$) ditentukan berdasarkan nilai k/Dt . Karena pipa bawah laut yang ditinjau memiliki selimut beton, maka k bernilai $1/300$, sehingga k/Dt bernilai 0.0071 . Berdasarkan Persamaan 2.37, $C_{D,(k/Dt)}$ yang sesuai adalah persamaan kedua.

Untuk menentukan nilai faktor koreksi terhadap aliran tak tunak ($\psi C_{D_{KC,\alpha}}$), diperlukan bilangan Keulegan-Carpenter (KC) dan rasio kecepatan arus (α). Bilangan KC pada setiap bentangan berkisar pada 1.142 , sedangkan rasio kecepatan arusnya bernilai 0.833 . Berdasarkan grafik pada Gambar 8, maka $\psi C_{D_{KC,\alpha}}$ bernilai 1 . Kemudian, pada faktor koreksi perkiraan bawah laut ($\psi C_{D_{proxi}}$) disesuaikan berdasarkan nilai e/D dari Persamaan 2.39. Pada faktor koreksi akibat *trench* pipa ($\psi C_{D_{trench}}$) bernilai satu dikarenakan pipa bawah laut yang ditinjau hanya digelar tanpa ada dilakukan *trench*. Sedangkan faktor amplifikasi akibat getaran *cross flow* ($\psi C_{D_{VIV}}$) pada awal perhitungan bernilai 1 , dan akan dilakukan perhitungan ulang apabila terjadi VIV pada arah *cross flow*. Koefisien *drag* total merupakan hasil perkalian dari seluruh faktor tersebut. Gaya *drag* pada lima bentangan pertama dapat dilihat pada Tabel 33. Untuk perhitungan gaya *drag* pada seluruh bentangan terlampir.

Tabel 33. Perhitungan gaya *drag*

KP	Gap (m)	$C_D (k/Dt)$	$\psi C_D (KC,\alpha)$	$\psi C_D (proxi)$	$\psi C_D (VIV)$	C_D	$F_D (N)$
0.108	0.15	1.020304	1	2.824	1	2.881	212.0407
0.206	0.1	1.020304	1	3.320	1	3.387	249.3057
0.302	0.1	1.020304	1	3.320	1	3.387	249.3057
0.419	0.1	1.020304	1	3.320	1	3.387	249.3057
0.451	0.1	1.020304	1	3.320	1	3.387	249.3057

4.5.2 Gaya lift

Gaya *lift* pada pipa dapat diketahui berdasarkan Persamaan 2.43. Berdasarkan Bai *et al* (2014), pipa bawah laut yang terletak pada dasar laut dapat menggunakan koefisien *lift* konstan bernilai 0.9. Gaya *lift* dan gaya hidrodinamis total pada lima bentangan pertama dapat dilihat pada Tabel 34 dan Tabel 35. Untuk perhitungan gaya *lift* dan gaya hidrodinamis total pada seluruh bentangan terlampir.

Tabel 34. Perhitungan gaya *lift*

KP start	$v_n (m/s)$	$F_L (N)$
0.108	0.46203	46.19918
0.206	0.462029	46.19905
0.302	0.462029	46.19905
0.419	0.462029	46.19905
0.451	0.462029	46.19905

Tabel 35. Gaya hidrodinamis total

KP Start	Gap (m)	$F_D (N)$	$F_L (N)$	$F_{tot} (N)$
0.108	0.15	212.0407	46.19918	217.0152
0.206	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
0.302	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
0.419	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
0.451	0.1	249.3057	46.19905	253.5502

4.6 Perhitungan parameter VIV

Berdasarkan DNV RP F105 (2017) dan seperti yang telah disebutkan dalam bab sebelumnya, beberapa parameter yang harus diketahui untuk melakukan analisis antara lain adalah bilangan Reynold, bilangan KC, rasio kecepatan arus (α), sudut aliran terhadap pipa (θ_{rel}), dan parameter stabilitas (K_s). Selain itu, frekuensi *vortex shedding* (f_s) juga diperhitungkan. Arah aliran diasumsikan tegak lurus dengan pipa, sehingga besar sudut aliran terhadap pipa (θ_{rel}) adalah 90° . Nilai dari masing-masing parameter pada lima bentangan pertama dapat dilihat pada Tabel 36. Untuk nilai parameter stabilitas pada setiap bentangan terlampir.

Tabel 36. Parameter VIV

KP	KC	α	f_s	R_e	K_s	K_{sd}
0.108	1.141895	0.833078	0.196944	19184.46	0.46344941	0.40299949
0.206	1.141721	0.833099	0.196943	19184.43	0.48600851	0.4226161
0.302	1.141721	0.833099	0.196943	19184.43	0.48600851	0.4226161
0.419	1.141721	0.833099	0.196943	19184.43	0.48600851	0.4226161
0.451	1.141721	0.833099	0.196943	19184.43	0.48600851	0.4226161

4.7 Analisis *dynamic soil stiffness* dan CSF

Perhitungan *dynamic soil stiffness* pada arah vertikal dan horizontal dan juga CSF digunakan untuk menentukan *relative soil stiffness* pada arah vertikal maupun horizontal. Dalam perhitungannya, faktor kekakuan dinamis horizontal maupun vertikal didapatkan melalui Tabel 6. Sedangkan *poisson ratio* untuk jenis tanah *very soft clay* diketahui melalui Tabel 8. Perhitungan *dynamic soil stiffness* dan CSF dapat dilihat pada Tabel 37 dan Tabel 38.

Tabel 37. *dynamic soil stiffness*

Dynamic soil stiffness		
Vertikal		
C_v	600000	$N/m^{5/2}$
ν	0.45	
ρ_s/ρ	7.658537	
K_v	4064326	$N/m/m$

Tabel 37. *dynamic soil stiffness* (lanjutan)

Horizontal		
C_L	500000	$N/m^{5/2}$
ν	0.45	
ρ_s/ρ	7.658537	
K_L	2701084	$N/m/m$

Tabel 38. Perhitungan CSF

Concrete Stiffness Factor		
Parameter	Nilai	Satuan
k_c	0.33	
E_{steel}	2.07E+11	Pa
I_{steel}	2.24.E-04	m^4
E_{conc}	3.13.E+10	Pa
I_{conc}	1.48.E-03	m^4
CSF	3.29.E-01	

Setelah kedua parameter tersebut diketahui, maka nilai *relative soil stiffness* dapat diketahui. Kedua parameter tersebut disubstitusi ke Persamaan 2.52. *Relative soil stiffness* (β) digunakan untuk mengetahui panjang bentangan bebas efektif. Nilai *relative soil stiffness* (β) pada lima bentangan pertama dapat dilihat pada Tabel 39. Perhitungan *relative soil stiffness* (β) pada tiap bentangan terlampir.

Tabel 39. *Relative soil stiffness*

KP Start	Span (m)	β_{IL}	β_{CF}
0.108	18	3.663515	3.840965
0.206	15	3.34679	3.52424
0.302	17	3.564221	3.741671
0.419	15	3.34679	3.52424
0.451	24	4.16327	4.34072

4.8 Analisis frekuensi natural

Frekuensi natural merupakan parameter penting yang digunakan dalam *screening*, baik untuk kriteria VIV maupun *fatigue*. Berdasarkan Persamaan 2.53, terdapat beberapa parameter yang harus dihitung terlebih dahulu untuk dapat mengetahui frekuensi natural dari setiap bentangan. Frekuensi natural akan dihitung terhadap arah *in-line* maupun *cross-flow*.

4.7.1 Perhitungan panjang bentangan efektif

Panjang bentangan efektif merupakan panjang bentangan dengan tumpuan *pinned-pinned*. Dikarenakan panjang span aktual yang diketahui diasumsikan memiliki tumpuan *fixed-fixed*, maka perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui panjang bentangan efektif. Melalui Persamaan 2.51, dengan nilai *relative soil stiffness* > 2.7 , perhitungan panjang bentangan efektif pada arah *in-line* dan *cross-flow* untuk lima bentangan pertama dapat dilihat pada Tabel 40. Perhitungan panjang bentangan efektif pada setiap bentangan terlampir.

Tabel 40. Panjang bentangan efektif

KP Start	L (m)	β_{IL}	β_{CF}	$L_{eff,IL}$ (m)	$L_{eff,CF}$ (m)
0.108	18	3.663515	3.840965	24.45865	23.82148
0.206	15	3.34679	3.52424	21.47098	20.83708
0.302	17	3.564221	3.741671	23.46324	22.82755
0.419	15	3.34679	3.52424	21.47098	20.83708
0.451	24	4.16327	4.34072	30.41337	29.76424

4.7.2 Gaya aksial efektif

Gaya aksial efektif dipengaruhi oleh perbedaan tekanan, perbedaan temperatur, dan defleksi statis yang terjadi pada pipa yang ditinjau. Perbedaan tekanan pada pipa merupakan selisih tekanan internal pipa (tekanan saat operasi) dengan tekanan hidrostatik. Parameter-parameter

yang dibutuhkan disubstitusi pada Persamaan 2.54. Gaya aksial efektif pada pipa dapat dilihat pada Tabel 41.

Tabel 41. Gaya aksial efektif

Parameter	Nilai	Satuan
P_i	4.9.E+06	Pa
P_e	5.7.E+05	Pa
A_i	8.4.E-02	m ²
v_{baja}	0.3	
A_s	1.5.E-02	m ²
E_{baja}	2.07E+11	Pa
$T_{operasi}$	65	°C
T_{seabed}	28.8	°C
α_e	1.2.E-05	/°C
S_{eff}	-1.5.E+06	N

4.7.3 Critical buckling load

Critical buckling load menunjukkan besar gaya untuk terjadinya *buckling* pada masing-masing bentangan. *Critical buckling load* dipengaruhi oleh CSF. Untuk *boundary condition* (C_2) pada tumpuan *fixed-fixed* bernilai 4. Perhitungan *critical buckling load* pada lima bentangan pertama pada arah *in-line* dan *cross-flow* dapat dilihat pada Tabel 42. Untuk perhitungan *critical buckling load* pada setiap bentangan terlampir.

Tabel 42. Perhitungan *critical buckling load*

KP Start	$L_{eff,CF}$	$P_{cr,CF}$	$L_{eff,IL}$	$P_{cr,IL}$
	(m)	(N)	(m)	(N)
0.108	23.82148	4.3.E+06	24.45865	4.1.E+06
0.206	20.83708	5.6.E+06	21.47098	5.3.E+06
0.302	22.82755	4.7.E+06	23.46324	4.4.E+06
0.419	20.83708	5.6.E+06	21.47098	5.3.E+06
0.451	29.76424	2.7.E+06	30.41337	2.6.E+06

4.7.4 Defleksi statis

Defleksi statis ditinjau pada dua arah, yakni pada arah *in-line* dan arah *cross flow*. Beban defleksi tiap satuan panjang pada arah *in-line* merupakan gaya *drag* yang bekerja pada pipa tersebut. Sedangkan pada arah *cross flow*, beban defleksi tiap satuan panjang adalah berat terendam pipa dan gaya *lift* yang bekerja pada pipa. Defleksi statis untuk lima bentangan pertama pada arah *in-line* dapat dilihat pada Tabel 43, sedangkan untuk arah *cross-flow* dapat dilihat pada Tabel 44. Untuk perhitungan defleksi statis pada setiap bentangan terlampir.

Tabel 43. Defleksi statis arah *in-line*

KP Start	Span (m)	$\delta_{in-line}$ (m)
0.108	24.458	5.1.E-03
0.206	21.470	3.1.E-03
0.302	23.463	4.8.E-03
0.419	21.470	3.1.E-03
0.451	30.413	2.1.E-02

Tabel 44. Defleksi statis arah *cross-flow*

KP Start	Span (m)	$\delta_{cross-flow}$ (m)
0.108	23.821	4.3.E+06
0.206	20.837	5.6.E+06
0.302	22.827	4.7.E+06
0.419	20.837	5.6.E+06
0.451	29.764	2.7.E+06

4.7.5 Frekuensi natural

Dari parameter-parameter yang sudah diketahui pada setiap bentangan, maka frekuensi natural untuk arah *in-line* dan *cross flow* dapat dilihat pada Tabel 45 dan Tabel 46. Untuk frekuensi natural tiap

bentangan terlampir. Pada bentangan KP 6.091 arah *in-line*, *critical buckling load* lebih besar daripada gaya aksial efektif, sehingga pada perhitungan frekuensi natural menghasilkan akar bilangan imajiner.

Tabel 45. frekuensi natural arah *in-line*

KP Start	Span (m)	$f_{n,IL}$ (Hz)
0.108	24.458	1.544
0.206	21.470	2.084
0.302	23.463	1.677
0.419	21.470	2.084
0.451	30.413	0.810

Tabel 46. frekuensi natural arah *cross-flow*

KP Start	Span (m)	$f_{n,CF}$ (Hz)
0.108	23.821	1.666
0.206	20.837	0.989
0.302	22.827	0.796
0.419	20.837	0.989
0.451	29.764	0.435

4.8 Screening kriteria VIV

Berdasarkan DNV RP F105 (2017), *screening* kriteria VIV dilakukan pada kondisi lingkungan ekstrem. Pada pipa bawah laut yang ditinjau digunakan beban lingkungan pada periode ulang 100 tahun dikarenakan masa operasi yang sudah lebih dari 12 bulan. Beban lingkungan dan frekuensi natural disubstitusi pada pertidaksamaan 2.57 dan 2.58. Apabila pertidaksamaan tersebut tidak terpenuhi, maka akan terjadi VIV pada bentangan tersebut. Hasil *screening* kriteria VIV yang tidak memenuhi pertidaksamaan

tersebut menunjukkan “tidak lolos”. Tabel 47 menunjukkan bentangan-bentangan yang terjadi VIV.

Tabel 47. Hasil *screening* VIV arah *in-line*

KP Start	Span	$f_{n,IL}$	$U_{ext} V_{f,IL} /$	<i>Screening</i>
	(m)	(Hz)	$V_{R,onset IL} D$	
0.451	24	0.810312	1.142463	tidak lolos
0.501	24	0.810312	1.142463	tidak lolos
0.6	21	1.106953	1.142463	tidak lolos
0.634	22	1.021226	1.16442	tidak lolos
0.916	22	0.998538	1.142463	tidak lolos
0.947	21	1.132243	1.16442	tidak lolos
1.084	24	0.82827	1.16442	tidak lolos
1.185	22	0.998538	1.142463	tidak lolos
1.255	24	0.810312	1.142463	tidak lolos
1.374	29	0.468259	1.142463	tidak lolos
1.461	29	0.468259	1.142463	tidak lolos
1.698	30	0.425058	1.16442	tidak lolos
1.772	22	0.998538	1.142463	tidak lolos
1.917	23	0.936612	1.18145	tidak lolos
2.114	22	1.039375	1.18145	tidak lolos
2.384	23	0.936612	1.18145	tidak lolos
2.505	27	0.603664	1.18145	tidak lolos
3.073	36	0.334583	1.188486	tidak lolos
3.771	24	0.842727	1.18145	tidak lolos
4.249	25	0.819571	1.188486	tidak lolos
4.518	22	1.039375	1.18145	tidak lolos
4.572	33	0.347071	1.188486	tidak lolos
5.325	26	0.652736	1.142463	tidak lolos
6.67	22	0.998538	1.142463	tidak lolos
7.211	22	0.998538	1.142463	tidak lolos
8.059	23	0.920364	1.16442	tidak lolos
10.076	21	1.106953	1.142463	tidak lolos
10.444	28	0.521668	1.142463	tidak lolos
10.899	24	0.82827	1.16442	tidak lolos
13.69	22	0.998538	1.142463	tidak lolos
14.283	21	1.152446	1.18145	tidak lolos
14.963	27	0.603664	1.18145	tidak lolos
17.435	24	0.810312	1.142463	tidak lolos
20.067	21	1.132243	1.16442	tidak lolos
21.898	25	0.756532	1.18145	tidak lolos
22.91	23	0.936612	1.18145	tidak lolos

Tabel 47. Hasil screening VIV arah *in-line* (lanjutan)

KP Start	Span (m)	$f_{n,IL}$ (Hz)	$\frac{U_{ext} V_{f,IL}}{V_{R,onset IL} D}$	Screening
23.723	30	0.425686	1.188486	tidak lolos
25.347	22	1.066582	1.188486	tidak lolos
0.451	24	0.810312	1.142463	tidak lolos
0.501	24	0.810312	1.142463	tidak lolos
0.6	21	1.106953	1.142463	tidak lolos
0.634	22	1.021226	1.16442	tidak lolos
0.916	22	0.998538	1.142463	tidak lolos
0.947	21	1.132243	1.16442	tidak lolos
1.084	24	0.82827	1.16442	tidak lolos
1.185	22	0.998538	1.142463	tidak lolos

Dari 173 bentangan yang perlu ditinjau, pada arah *in-line* terdapat 38 bentangan yang dapat terjadi VIV. Sedangkan, bentangan pada KP 6.091 dengan panjang bentangan aktual 183 m termasuk dalam gagal statis. Sedangkan, pada arah *cross-flow* tidak ditemui bentangan yang terjadi VIV. Hasil *screening* kriteria VIV pada arah *cross-flow* terlampir.

4.9 Respon model

4.9.1 Respon model arah *in-line*

Untuk melakukan *screening* kriteria *fatigue*, perlu diketahui nilai $V_{R,onset}$ pada arah *in-line*. Perhitungan $V_{R,onset}$ pada arah *in-line* dilakukan menurut Persamaan 2.65. Perhitungan respon model dilakukan pada seluruh bentangan untuk digunakan pada *screening* kriteria ULS. Perhitungan $V_{R,onset}$ lima bentangan pertama pada arah *in-line* dapat dilihat pada Tabel 48. Untuk perhitungan pada seluruh bentangan terlampir.

Tabel 48. Perhitungan $V_{R,onset}$ arah *in-line*

KP Start	Span (m)	Gap (e) (m)	Ksd	$V_{R,onset} IL$ (m/s)
0.108	24.45865	0.15	0.420668	0.92787978
0.206	21.47098	0.1	0.440284	0.94571306
0.302	23.46324	0.1	0.440284	0.94571306
0.419	21.47098	0.1	0.440284	0.94571306
0.451	30.41337	0.1	0.440284	0.94571306

Apabila $V_{R,onset}$ sudah diketahui, maka *stress range* arah *in-line* pada tiap bentangan dapat diketahui. Menurut DNV RP F015 (2017), pada perhitungan $R_{I0,2}$ dan $R_{I0,1}$, nilai I_c atau *turbulent intensity* bernilai 5%. Perhitungan respon model arah *in-line* pada lima bentangan pertama dapat dilihat pada Tabel 49. Untuk respon model pada setiap bentangan terlampir.

Tabel 49. Respon model arah *in-line*

KP Start	Span (m)	$R_{I0,2}$	$R_{I0,1}$	$A_{Y,2}/D$	$A_{Y,1}/D$	A_{IL}	S_{IL}
0.108	24.458	0.8824	1.1284	0.0879	0.1319	4.E+08	1.E+08
0.206	21.470	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	5.E+08	2.E+08
0.302	23.463	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
0.419	21.470	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	5.E+08	2.E+08
0.451	30.413	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	2.E+08	8.E+07

4.9.2 Respon model arah *cross-flow*

Kecepatan *reduced onset* arah *cross flow* dipengaruhi oleh perkiraan *seabed* dan dampak geometri *trench*. Faktor koreksi terhadap dampak pipa pada *trench* bernilai satu. Hal ini dikarenakan pipa yang ditinjau hanya diletakkan pada *seabed* tanpa dikubur. Perhitungan kecepatan *reduced onset* arah *cross flow* pada lima bentangan pertama dapat dilihat pada Tabel 50. Untuk perhitungan kecepatan *reduced onset* arah *cross flow* pada setiap bentangan terlampir.

Tabel 50. Perhitungan $V_{R,onset}$ arah *cross-flow*

KP Start	Span (m)	Gap (e) (m)	e/D	$\psi_{proxi,onset}$	ψ_{trench}	$V_{R,onset}$ CF
0.108	18	0.15	0.3197	0.8799	1	2.1998
0.206	15	0.1	0.2131	0.8533	1	2.1332
0.302	17	0.1	0.2131	0.8533	1	2.1332
0.419	15	0.1	0.2131	0.8533	1	2.1332
0.451	24	0.1	0.2131	0.8533	1	2.1332

Setelah kecepatan *onset* pada arah *cross-flow* diketahui, maka *stress range* pada arah *cross-flow* dapat dihitung. Amplitudo respon maksimum VIV arah *cross flow* bergantung pada nilai rasio arus (α) dan rasio frekuensi. Dari perhitungan sebelumnya, diketahui bahwa α masing-masing bentangan bernilai lebih dari 0.8, dan rasio frekuensi dua mode *cross-flow* lebih dari 2.3, sehingga amplitudo respon maksimum VIV arah *cross flow* memiliki nilai 1.3. Perhitungan *stress range* pada arah *cross-flow* pada lima bentangan pertama dapat dilihat pada Tabel 51. Untuk respon model pada setiap bentangan terlampir.

Tabel 51. Respon model arah *cross-flow*

KP Start	Span (m)	A_z/D	A_{CF}	R_k	S_{CF}
0.108	23.82148	1.3	4.E+08	0.93690	1.2.E+09
0.206	20.83708	1.3	5.E+08	0.93396	1.5.E+09
0.302	22.82755	1.3	4.E+08	0.93396	1.3.E+09
0.419	20.83708	1.3	5.E+08	0.93396	1.5.E+09
0.451	29.76424	1.3	2.E+08	0.93396	7.7.E+08

4.10 Screening kriteria *fatigue*

Dari *screening* kriteria VIV yang sudah dilakukan, terdapat 39 bentangan yang terjadi VIV. Berdasarkan DNV RP F105 (2017), bentangan-bentangan yang terjadi VIV perlu dilakukan *screening* kriteria *fatigue*. Dari pertidaksamaan 2.59 dan 2.60, dapat diketahui bentangan-bentangan mana saja yang

mungkin terjadi *fatigue* akibat VIV. Tabel 52 menunjukkan hasil *screening* kriteria *fatigue* pada arah *in-line* untuk bentangan-bentangan yang terjadi VIV.

Tabel 52. Hasil *screening* kriteria *fatigue*

KP Start	L_{eff} (m)	$f_{n,IL}/\gamma_{IL}$	Ruas kanan	Screening
0.451	30.413	0.578794	0.433277	lolos
0.501	30.413	0.578794	0.433277	lolos
0.6	27.440	0.790681	0.448104	lolos
0.634	28.432	0.729447	0.451686	lolos
0.916	28.432	0.713241	0.443157	lolos
0.947	27.440	0.808745	0.456728	lolos
1.084	30.413	0.591622	0.441616	lolos
1.146	28.432	0.713241	0.443157	lolos
1.185	30.413	0.578794	0.433277	lolos
1.255	35.352	0.334471	0.408648	tidak lolos
1.374	35.352	0.334471	0.408648	tidak lolos
1.461	36.338	0.303613	0.411503	tidak lolos
1.698	28.432	0.713241	0.443157	lolos
1.772	29.423	0.669009	0.453193	lolos
1.809	28.432	0.742411	0.458305	lolos
1.917	29.423	0.669009	0.453193	lolos
2.114	33.379	0.431189	0.432793	tidak lolos
2.384	42.241	0.238988	0.389421	tidak lolos
2.505	30.413	0.601948	0.448087	lolos
3.073	31.403	0.585408	0.445681	lolos
3.771	28.432	0.742411	0.458305	lolos
4.249	39.291	0.247908	0.404751	tidak lolos
4.378	32.391	0.46624	0.423414	lolos
4.518	28.432	0.713241	0.443157	lolos

Tabel 52. Hasil *screening* kriteria *fatigue* (lanjutan)

KP Start	L_{eff}	f_{nIL}/γ_{IL}	Ruas kanan	Screening
4.572	28.432	0.713241	0.443157	lolos
5.325	29.423	0.657403	0.446648	lolos
6.091	27.440	0.790681	0.448104	lolos
6.67	34.366	0.37262	0.413567	tidak lolos
7.211	30.413	0.591622	0.441616	lolos
8.059	28.432	0.713241	0.443157	lolos
8.25	27.440	0.823176	0.46342	lolos
10.076	33.379	0.431189	0.432793	tidak lolos
10.444	30.413	0.578794	0.433277	lolos
10.899	27.440	0.808745	0.456728	lolos
11.463	31.403	0.54038	0.442985	lolos
11.488	29.423	0.669009	0.453193	lolos
13.69	36.338	0.304061	0.420046	tidak lolos
14.283	28.432	0.761844	0.461062	lolos
14.963	30.413	0.578794	0.433277	lolos
15.079	30.413	0.578794	0.433277	lolos
17.435	27.440	0.790681	0.448104	lolos
20.067	28.432	0.729447	0.451686	lolos
21.898	28.432	0.713241	0.443157	lolos
22.91	27.440	0.808745	0.456728	lolos
23.681	30.413	0.591622	0.441616	lolos
23.723	28.432	0.713241	0.443157	lolos
25.347	30.413	0.578794	0.433277	lolos

Dari tabel diatas, diketahui bahwa dari 31 bentangan yang terjadi VIV pada arah *in-line*, terdapat 9 bentangan yang tidak lolos kriteria *fatigue*. Hal ini menunjukkan bahwa perlu dilakukannya analisis *full fatigue* pada bentangan-bentangan tersebut. Namun, dalam tugas akhir ini analisis *full*

fatigue tidak dilakukan. Sedangkan, pada bentangan-bentangan yang terjadi VIV namun lolos kriteria *fatigue*, DNV RP F015 (2017) menyebutkan bahwa bentangan-bentangan tersebut akan bertahan selama masa operasinya.

4.10 Perhitungan *design moment*

Menurut DNV OS F101 (2010), *bending moment* yang terjadi pada pipa bawah laut diakibatkan oleh momen akibat beban fungsional, momen akibat beban lingkungan, momen akibat beban *interference*, momen akibat beban *accidental*. Dalam tugas akhir ini, beban *interference* dan beban *accidental* diasumsikan tidak ada. Sehingga, *bending moment* yang terjadi pada pipa bawah laut yang ditinjau pada tugas akhir ini adalah akibat dua momen saja. Dua momen ini akan dijelaskan pada subbab berikut.

4.10.1 Beban fungsional

Bending moment akibat beban fungsional maksimum yang terjadi pada pipa bawah laut diakibatkan oleh gaya *drag*. Sedangkan, *bending moment* akibat beban fungsional merupakan pengaruh dari gaya *lift* dan berat terendam pipa itu sendiri. Perhitungan *bending moment* akibat beban fungsional pada lima bentangan pertama dapat dilihat pada Tabel 53. Untuk perhitungan *bending moment* akibat beban fungsional pada tiap bentangan terlampir.

Tabel 53. *Bending moment* akibat beban fungsional

KP Start	Span	$M_{F,max}$	M_F
	(m)	(N/m)	(N/m)
0.108	18	2.E+04	8.E+04
0.206	15	1.E+04	6.E+04
0.302	17	2.E+04	7.E+04
0.419	15	1.E+04	6.E+04
0.451	24	4.E+04	1.E+05

4.10.2 Beban lingkungan

Bending moment akibat beban lingkungan bergantung pada tegangan lingkungan maksimum pada arah *in-line* maupun *cross flow*. Pada arah *in-line* ditambahkan oleh tegangan yang bekerja akibat beban fungsional maksimum. Sedangkan, pada arah *cross-flow* tergantung pada

VIV yang terjadi. Perhitungan *bending moment* akibat beban lingkungan pada lima bentangan pertama dapat dilihat pada Tabel 54. Untuk perhitungan *bending moment* akibat beban lingkungan pada tiap bentangan terlampir.

Tabel 54. *Bending moment* akibat beban lingkungan

KP Start	$\sigma_{FM,max}$	$\sigma_{E,IL}$	$\sigma_{E,CF}$	$M_{E,IL}$ (N/m)	$M_{E,CF}$ (N/m)
0.108	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00
0.206	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00
0.302	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00
0.419	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00
0.451	4.E+07	8.E+07	0.E+00	1.E+04	0.E+00

4.10.3 Design moment

Dari *bending moment* akibat beban fungsional dan *bending moment* akibat beban lingkungan, maka dapat diketahui *design moment* pada setiap bentangan. *Bending moment* tersebut disubstitusi pada Persamaan 2.85 dengan faktor beban ULS untuk kombinasi beban *local check*. Perhitungan *design moment* total pada lima bentangan pertama dapat dilihat pada Tabel 55. Untuk perhitungan *design moment* total pada tiap bentangan terlampir.

Tabel 55. *Total design moment*

KP Start	Span (m)	M_{sd} (N/m)
0.108	18	1.E+05
0.206	15	8.E+04
0.302	17	1.E+05
0.419	15	8.E+04
0.451	24	2.E+05

4.11 Screening kriteria ULS

Dalam melakukan *screening* ULS untuk mengecek terjadinya *local buckling*, terdapat beberapa parameter yang harus diketahui. Parameter-parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 56. Selain itu, juga diperlukan desain gaya efektif aksial pada tiap bentangan. Perhitungan desain gaya efektif aksial pada lima bentangan pertama dapat dilihat pada Tabel 57. Untuk perhitungan desain gaya efektif aksial pada tiap bentangan terlampir.

Tabel 56. Parameter ULS

Parameter	Nilai	Satuan
β	0.3904	
f_y	3.E+08	Pa
f_u	4.E+08	Pa
f_{eb}	3.E+08	Pa
P_i	5.E+06	Pa
P_e	6.E+05	Pa
P_b	3.E+07	Pa
S_p	5.E+06	N
M_p	6.E+05	N.m
α_c	1.043	
α_p	0.6096	

Tabel 57. Perhitungan desain gaya aksial efektif

KP Start	Span	S_{eff}	S_{sd}
	(m)	(N)	(N)
0.108	18	-1.5.E+06	-1.9.E+06
0.206	15	-1.5.E+06	-1.9.E+06
0.302	17	-1.5.E+06	-1.9.E+06
0.419	15	-1.5.E+06	-1.9.E+06
0.451	24	-1.5.E+06	-1.9.E+06

Dari tabel tersebut, diketahui bahwa tekanan internal pipa lebih besar dari pada tekanan eksternal. Maka dari itu, persamaan yang digunakan adalah persamaan 2.93. Untuk mempermudah perhitungan, maka dilakukan pengelompokkan seperti pada Persamaan 4.3 dan 4.4 dibawah. Bentangan-bentangan yang tidak memenuhi persamaan tersebut berisiko terjadi *local*

buckling. Bentangan-bentangan yang tidak lolos kriteria ULS dapat dilihat pada Tabel 58. Untuk *screening* kriteria ULS pada seluruh bentangan terlampir.

$$\left(\gamma_m \gamma_{SC} \frac{|M_{Sd}|}{\alpha_c M_p(t_2)} + \left(\frac{\gamma_m \gamma_{SC} S_{Sd}(p_i)}{\alpha_c S_p(t_2)} \right)^2 \right)^2 + \left(\alpha_p \frac{p_i - p_e}{\alpha_c p_b(t_2)} \right)^2 \leq 1 \quad (4.3)$$

$$(a + b)^2 + (c)^2 \leq 1 \quad (4.4)$$

Tabel 58. Tidak lolos screening ULS

KP Start	Span	Total	Screening
	(m)		
3.073	36	1.51	tidak lolos
4.378	34	1.44	tidak lolos
4.572	33	1.13	tidak lolos

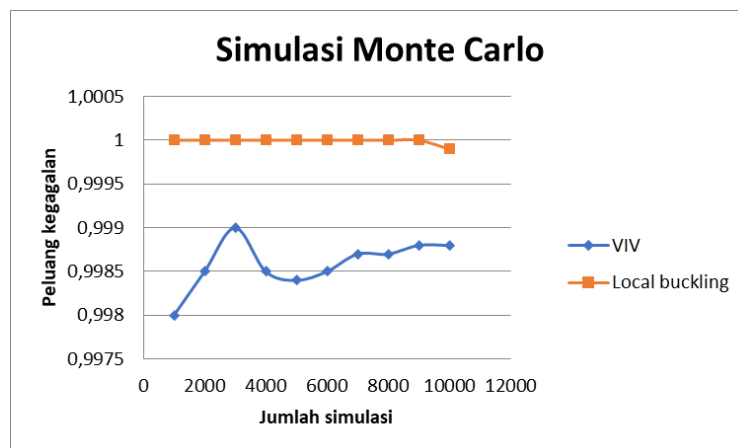
4.12 Simulasi Monte Carlo

Simulasi monte carlo dilakukan untuk mengetahui keandalan dan probabilitas kegagalan suatu sistem yang ditinjau. Dalam tugas akhir ini dilakukan simulasi terhadap dua moda kegagalan, yakni moda kegagalan *fatigue* akibat *viv* pada arah *in-line* maupun *cross-flow* dan juga keandalan terhadap *local buckling*. Moda kegagalan *local buckling* yang digunakan pada simulasi ini adalah Persamaan 2.107 dikarenakan tekanan internal pipa lebih besar daripada tekanan eksternal. Distribusi variabel acak dan parameter-parameternya diketahui dengan menggunakan perangkat lunak EasyFit. Distribusi dan parameter-parameternya dapat dilihat pada Tabel 59. Simulasi keandalan monte carlo dilakukan terhadap bentangan yang dinilai paling kritis, dengan asumsi bahwa apabila terdapat kegagalan pada salah satu KP, maka keseluruhan sistem pipa bawah laut akan mengalami kegagalan. Bentangan yang dinilai paling kritis adalah bentangan pada KP 6.091 dengan panjang 183 m dan *gap* 0.2 m. Pada analisis bentangan bebas yang telah dilakukan sebelumnya, bentangan ini mengalami gagal statis.

Tabel 59. Parameter dan distribusi variabel acak

No.	Variabel acak	Distribusi	Parameter
1	Modulus young	Log-Normal	$\mu = 2.1 \times 10^{11}$ C.O.V = 0.05
2	$U_{w,1th}$	Frechet	$\alpha = 1237$ $\beta = 0.00117$
3	$U_{w,100th}$	Frechet	$\alpha = 1237$ $\beta = 0.00117$
4	F_y	Normal	$\mu = 4.48 \times 10^8$ C.O.V = 0.1
5	F_u	Normal	$\mu = 5.4 \times 10^8$ C.O.V = 0.1

Simulasi keandalan monte carlo dilakukan sebanyak 10.000 kali. Nilai keandalan dan probabilitas kegagalan pada jumlah simulasi 1000 dan kelipatannya dapat dilihat pada Tabel 60 dan Gambar 17. Nilai PoF pada simulasi ke 10.000 digunakan sebagai nilai PoF pada perhitungan risiko. Dengan nilai PoF 0.9988 untuk moda kegagalan VIV dan nilai PoF 0.9999 untuk moda kegagalan *local buckling*, dapat dikatakan bahwa bentangan sepanjang 183 m berpotensi sangat tinggi untuk terjadi kegagalan, terutama pada kegagalan *local buckling*. Gagalnya bentangan ini dapat menyebabkan kegagalan sistem dan berhentinya proses produksi. Berdasarkan kategori PoF pada API RP 580 (2009), maka kedua moda kegagalan memiliki kategori *very high*, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 61.



Gambar 17. Grafik simulasi keandalan monte carlo

Tabel 60. Hasil simulasi keandalan monte carlo

No.	VIV			<i>Local buckling</i>		
	Jumlah simulasi	Keandalan	PoF	Jumlah simulasi	Keandalan	PoF
1	1000	0.002	0.998	1000	0	1
2	2000	0.0015	0.9985	2000	0	1
3	3000	0.001	0.999	3000	0	1
4	4000	0.0015	0.9985	4000	0	1
5	5000	0.0016	0.9984	5000	0	1
6	6000	0.0015	0.9985	6000	0	1
7	7000	0.0013	0.9987	7000	0	1
8	8000	0.0013	0.9987	8000	0	1
9	9000	0.0012	0.9988	9000	0	1
10	10000	0.0012	0.9988	10000	0.0001	0.9999

Tabel 61. Kategori PoF VIV dan *local buckling*

<i>Possible qualitative rank</i>	PoF
<i>Remote</i>	< 0.00001
<i>Very low</i>	0.00001 to 0.0001
<i>Low</i>	0.0001 to 0.001
<i>Moderate</i>	0.001 to 0.01
<i>High</i>	0.01 to 0.1
<i>Very high</i>	>0.1

4.13 Konsekuensi kegagalan dan matriks risiko

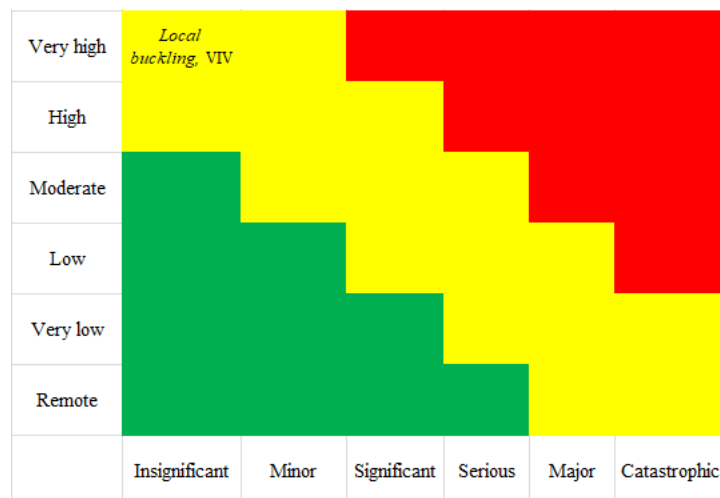
Untuk mengetahui tingkat risiko pipa bawah laut yang sedang ditinjau, maka diperlukan analisis konsekuensi apabila terjadi kegagalan pada pipa bawah laut tersebut. Menurut API RP 580 (2009), terdapat tiga kategori, yakni kategori *safety*, kategori *environment* atau lingkungan, dan kategori *economic loss* atau kerugian finansial. Analisis konsekuensi yang dilakukan dalam tugas akhir ini adalah analisis secara kualitatif.

4.13.1 Konsekuensi kegagalan *safety*

Berdasarkan letak pipa yang berada di bawah laut, kegagalan yang mungkin terjadi, baik akibat *fatigue* maupun *local buckling*, memiliki dampak *safety* yang kecil. Menurut Rudyanto (2014), kegagalan bentangan bebas memiliki dampak yang kecil terhadap *safety* apabila ditinjau berdasarkan kegagalan bentangan bebas akibat *buckling*. Maka, kategori konsekuensi *safety* menurut API RP 580 (2009) termasuk dalam kategori VI (*insignificant*) seperti yang dapat dilihat pada Tabel 62. Dengan perhitungan PoF yang sudah dilakukan sebelumnya, PoF dari kedua moda kegagalan adalah *very high*. Maka risiko aspek *safety* memiliki tingkat risiko *medium*. Tingkat risiko ini dapat diketahui melalui matriks risiko yang dapat dilihat pada Gambar 18.

Tabel 62. Konsekuensi *safety*

<i>Category</i>	<i>Description</i>	<i>Safety</i>
I	Catastrophic	Large number of fatalities
II	Major	A few fatalities
III	Serious	Serious injuries
IV	Significant	Minor injuries
V	Minor	First aid injuries only
VI	Insignificant	No significant consequence



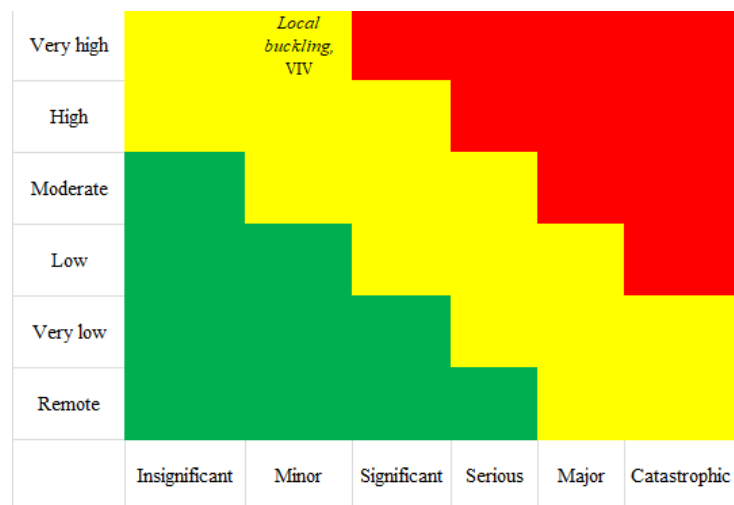
Gambar 18. Matriks risiko *safety*

4.13.2 Konsekuensi kegagalan lingkungan

Fluida yang dialirkan oleh pipa bawah laut berpengaruh pada konsekuensi yang ditimbulkan untuk lingkungan. Pada pipa bawah laut yang ditinjau ini, fluida yang dialirkan adalah gas. Apabila gas yang dialirkan didalam pipa bocor, kerusakan lingkungan yang ditimbulkan akan sangat kecil. Namun, akan tetap berpengaruh terhadap ekosistem dan biota laut. Maka dari itu, berdasarkan Tabel 63, konsekuensi kegagalan pada lingkungan termasuk dalam kategori V atau *minor*. Dengan perhitungan PoF yang sudah dilakukan sebelumnya, PoF dari kedua moda kegagalan adalah *very high*. Maka risiko lingkungan memiliki tingkat risiko *medium*. Tingkat risiko ini dapat diketahui melalui matriks risiko yang dapat dilihat pada Gambar 19.

Tabel 63. Konsekuensi lingkungan

<i>Category</i>	<i>Description</i>	<i>Environment</i>
I	Catastrophic	major long-term environmental impact
II	Major	major short-term environmental impact
III	Serious	Significant environmental impact
IV	Significant	Short-term environmental impact
V	Minor	Minimal environmental impact
VI	Insignificant	No significant consequence



Gambar 19. Matriks risiko lingkungan

4.13.3 Konsekuensi kegagalan aset

Dengan adanya kegagalan pada pipa bawah laut, maka produksi akan terhenti. Hal ini menyebabkan perusahaan merugi. Diketahui bahwa *flowrate* gas yang dialirkan pipa ini adalah 70.000 MMBTU. Dengan harga gas \$6/MMBTU berdasarkan yang ditetapkan oleh Direktur Utama PGN per 1 April 2020 (Umah, 2020), maka akan diketahui kerugian finansial yang mungkin diterima oleh perusahaan. Harga gas per MMBTU ini dapat berubah sewaktu-waktu. Perhitungan kerugian dapat dilihat pada Tabel 64.

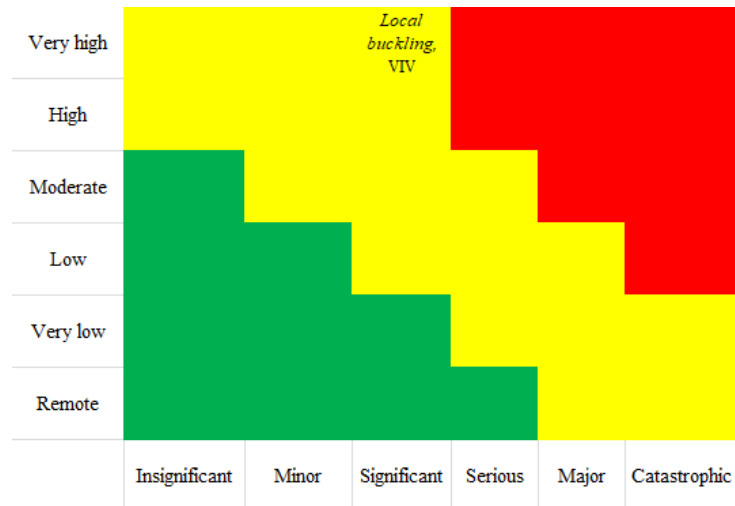
Tabel 64 Perhitungan total gas

Gas dalam pipa		Flowrate (MMBTU)	Total Gas (MMBTU)	Total kerugian (\$)
(m ³)	(MMBTU)			
6455.45	227.94	70000	70227.94	421367.66

Berdasarkan kategori kerugian finansial yang ada pada API RP 580 (2009), maka kerugian finansial yang akan ditanggung termasuk dalam kategori IV atau *significant*, dapat dilihat pada Tabel 65. Dengan kategori PoF *very high*, maka dapat dikatakan bahwa tingkat risiko finansial ada pada kategori *high*. Matriks risiko dapat dilihat pada Gambar 20.

Tabel 65. Konsekuensi aset

<i>Category</i>	<i>Description</i>	<i>Economic</i>
I	Catastrophic	≥\$100,000,000
II	Major	≥\$10,000,000 < \$100,000,000
III	Serious	≥\$1,000,000 < \$10,000,000
IV	Significant	≥\$100,000 < \$1,000,000
V	Minor	≥ \$10,000 < \$100,000
VI	Insignificant	< \$10,000



Gambar 20. Matriks risiko aset

4.14 Risk based inspection

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan sebelumnya, diketahui tingkat risiko pada aspek *safety*, lingkungan, dan aset. Dari tingkat risiko tersebut, penjadwalan inspeksi berikutnya dapat dilakukan. Menurut API RP 2SIM, penjadwalan inspeksi berdasarkan aspek *safety* dan lingkungan yang memiliki risiko medium dapat dilakukan 6 tahun sekali. Sedangkan untuk aspek aset dengan tingkat risiko *high*, dapat dilakukan inspeksi 3 tahun sekali, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 66.

Tabel 66. Penjadwalan inspeksi

Aspek	PoF VIV & local buckling	CoF	Risiko	Interval inspeksi
<i>Safety</i>	<i>Very high</i>	<i>Insignificant</i>	<i>Medium</i>	6 tahun
Lingkungan	<i>Very high</i>	<i>Minor</i>	<i>Medium</i>	6 tahun
Aset	<i>Very high</i>	<i>Significant</i>	<i>High</i>	3 tahun

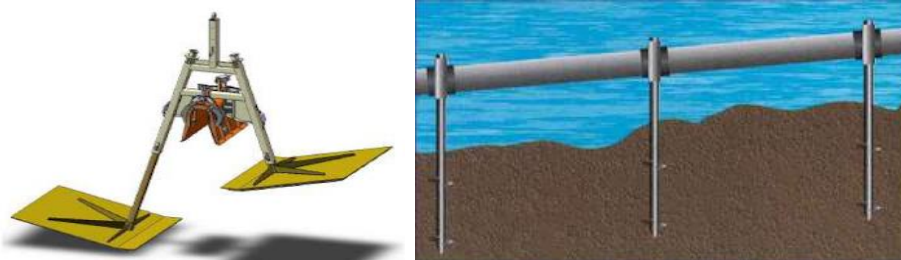
Inspeksi yang dapat dilakukan pada pipa bawah laut terdapat beberapa macam. Pada tugas akhir ini, metode inspeksi yang disarankan adalah dengan menggunakan ROV dan *intelligent pigging*. Kedua metode inspeksi ini dapat menginspeksi bentangan bebas, sesuai dengan DNV RP F116 (2015).

Intelligent pigging berguna untuk membersihkan pipa dan juga mengecek diameter luar maupun dalam pipa bawah laut, *crack*, dan juga *dent*. Peluncuran *intelligent pigging* pada pipa bawah laut juga dapat mengecek adanya bentangan bebas dan juga *local buckling*.

Selain itu, ROV juga akan digunakan dalam inspeksi. ROV akan menyelam dan dikendalikan oleh operator yang berada di *survey vessel* untuk memeriksa bentangan bebas yang terjadi pada pipa bawah laut. Informasi yang didapatkan oleh ROV antara lain adalah visual pipa bawah laut dan keadaan eksternal dari pipa bawah laut, katodik proteksi, dan kemungkinan gangguan-gangguan eksternal lainnya, seperti jangkar (Erfando, 2019). Informasi-informasi yang diperoleh dari hasil inspeksi ROV ini akan dibandingkan dengan survey geofisika.

4.15 Mitigasi

Salah satu upaya untuk meminimalisir terjadinya kegagalan terhadap VIV dan *local buckling* adalah adanya tindakan mitigasi terhadap bentangan kritis. Bentangan kritis yang akan dianalisis adalah bentangan-bentangan yang tidak lolos *screening* terhadap kriteria *fatigue* maupun ULS. Salah satu tindakan mitigasi yang dapat dilakukan adalah dengan memasang *support* terhadap bentangan-bentangan kritis tersebut. *Support* yang biasa digunakan untuk bentangan bebas adalah *clamp-on supports with telescoping legs* dan *clamp-on support with auger screw legs*, seperti dapat dilihat pada Gambar 21. Pada *support* dengan menggunakan *Telescoping legs* terbatas pada sudut diantara kedua kaki teleskop tersebut. Maka dari itu, tindakan mitigasi yang dipilih adalah dengan menggunakan *clamp-on supports with auger screw legs*.



Gambar 21. *Clamp-on supports with telcecosping legs* (kiri) dan *Clamp-on supports with auger screw legs* (kanan) (Lee, 2002).

Tabel 67. Perhitungan panjang bentangan bebas dengan *supports*

KP Start	L (m)	$L_{cr,IL}$ (m)	$L_{cr,CF}$ (m)	Jumlah support	L (m)	L/D
1.374	29	30.60	26.11	2	9.7	20.602
1.461	29	30.60	26.11	2	9.7	20.602
1.698	30	31.01	26.21	2	10	21.313
2.505	27	31.34	26.29	1	13.5	28.772
3.073	36	32.07	26.83	2	12	25.575
4.378	34	33.94	28.39	2	11.3	24.155
4.572	33	33.94	28.39	2	11	23.444
6.091	183	31.34	26.29	13	13.1	27.859
10.444	28	30.60	26.11	1	14	29.838
14.963	27	31.34	26.29	1	13.5	28.772
23.723	30	32.07	26.83	2	10	21.313

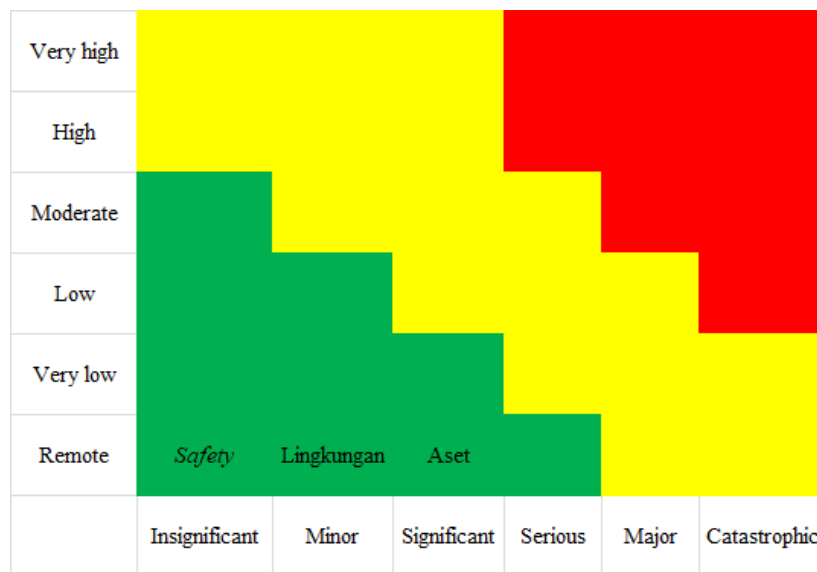
Dari Tabel 67 diatas dapat dilihat bahwa terdapat 11 bentangan bebas yang tidak lolos *screening fatigue* akibat VIV. Dari ke-sepuluh bentangan tersebut, bentangan pada KP 3.073, 4.378, dan KP 4.572 juga tidak lolos *screening* ULS. Sedangkan, bentangan bebas pada KP 6.091 dengan panjang 183 m mengalami gagal statis. Bentangan-bentangan bebas tersebut dapat diminimalisir panjang bentangan yang terjadi dengan *supports* sejumlah yang tertera pada tabel. Sehingga, bentangan tersebut menjadi aman dan sudah tidak termasuk dalam bentangan kritis.

Pada subbab sebelumnya, simulasi monte carlo dilakukan terhadap bentangan pada KP 6.091. Panjang bentangan dengan menggunakan *support* ini tentunya akan mengubah keandalan dan PoF dari pipa bawah laut. Pada Tabel 68 menunjukkan nilai keandalan dan PoF dengan panjang bentangan yang sudah dimitigasi. Probabilitas kegagalan terhadap bentangan pada KP 6.091 yang sudah dimitigasi bernilai 0.00 atau dapat dikatakan sangat andal, hal ini didukung dengan rasio L/D 27.859. Rasio ini menunjukkan bahwa dengan bentangan yang sudah dimitigasi menjadi 13.1 m, maka bentangan pada KP 6.091 sudah tidak berpotensi terjadi VIV dan respon dinamis terhadap

beban lingkungan dinilai tidak signifikan. Berdasarkan *codes* yang digunakan, maka dapat diketahui bahwa PoF untuk moda kegagalan VIV dan *local buckling* setelah mitigasi dapat dikategorikan *remote*. Sehingga, tingkat risiko pada aspek *safety*, lingkungan, dan aset terhadap kedua moda kegagalan adalah *low*. Matriks risiko setelah mitigasi dapat dilihat pada Gambar 22.

Tabel 68. Hasil simulasi keandalan monte carlo setelah mitigasi

No	VIV			<i>Local buckling</i>		
	Jumlah simulasi	Keandalan	PoF	Jumlah simulasi	Keandalan	PoF
1	1000	1.00	0.00	1000	1.00	0.00
2	5000	1.00	0.00	2000	1.00	0.00
3	10000	1.00	0.00	3000	1.00	0.00



Gambar 22. Matriks risiko setelah mitigasi

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan dan analisis yang dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut

1. Pada arah *cross-flow* tidak terdapat bentangan yang berpotensi menyebabkan kelelahan akibat VIV. Sedangkan, panjang bentangan yang dapat menyebabkan kelelahan akibat VIV pada arah *in-line* antara lain

- Bentangan sepanjang 29 m pada KP 1.374
- Bentangan sepanjang 29 m pada KP 1.461
- Bentangan sepanjang 30 m pada KP 1.698
- Bentangan sepanjang 27 m pada KP 2.505
- Bentangan sepanjang 36 m pada KP 3.073
- Bentangan sepanjang 33 m pada KP 4.572
- Bentangan sepanjang 28 m pada KP 10.444
- Bentangan sepanjang 27 m pada KP 14.963
- Bentangan sepanjang 30 m pada KP 23.723

Panjang bentangan yang dapat menyebabkan *local buckling* antara lain

- Bentangan sepanjang 36 m pada KP 3.073
- Bentangan sepanjang 34 m pada KP 4.378
- Bentangan sepanjang 33 m pada KP 4.572

Bentangan pada KP 6.091 dengan panjang 183 m mengalami gagal statis.

2. Tingkat risiko pada moda kegagalan *fatigue* akibat VIV

- Aspek *safety* berada pada kategori *medium*

- Aspek lingkungan berada pada kategori *medium*
- Aspek aset berada pada kategori *high*

Tingkat risiko pada moda kegagalan *local buckling*

- Aspek *safety* berada pada kategori *medium*
- Aspek lingkungan berada pada kategori *medium*
- Aspek aset berada pada kategori *high*

3. Penjadwalan inspeksi pada pipa bawah laut yang ditinjau terhadap moda kegagalan *fatigue* dan *local buckling* dilakukan setiap 6 tahun sekali berdasarkan aspek *safety* dan lingkungan. Sedangkan, berdasarkan aspek aset inspeksi dilakukan 3 tahun sekali. Inspeksi dilakukan dengan menggunakan *intelligent pigging* dan ROV.

4. Mitigasi dilakukan pada bentangan-bentangan yang tidak lolos *screening* terhadap kriteria *fatigue* dan ULS. Mitigasi dilakukan dengan menggunakan *clamp-on support with auger screw legs* dengan jumlah sebagai berikut

- Bentangan pada KP 1.374 membutuhkan 2 *support*
- Bentangan pada KP 1.461 membutuhkan 2 *support*
- Bentangan pada KP 1.698 membutuhkan 2 *support*
- Bentangan pada KP 2.505 membutuhkan 1 *support*
- Bentangan pada KP 3.073 membutuhkan 2 *support*
- Bentangan pada KP 4.378 membutuhkan 2 *support*
- Bentangan pada KP 4.572 membutuhkan 2 *support*
- Bentangan pada KP 6.091 membutuhkan 13 *support*
- Bentangan pada KP 10.444 membutuhkan 1 *support*
- Bentangan pada KP 14.963 membutuhkan 1 *support*

- Bentangan pada KP 23.723 membutuhkan 2 *support*

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan penulis untuk kedepannya antara lain

1. Dibutuhkan analisis bentangan bebas dengan menggunakan tumpuan *pinned-fixed* dan multispun untuk analisis yang lebih terperinci
2. Diperlukan analisis umur kelelahan terhadap bentangan bebas yang tidak lolos *screening fatigue* untuk mengetahui *fatigue life* pada bentangan-bentangan tersebut
3. Diperlukan analisis risiko pada setiap bentangan-bentangan krisis dengan perhitungan biaya kemungkinan pergantian pipa.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Khair, J, dkk. 2015. Buckling Criteria for Subsea Pipeline. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*. Vol. 74 (5): 69-72.
- Ahmadian, Pakhsan, dkk. 2016. Allowable Span Length of Submerged Pipes Under the Effect of Hydrodynamics Forces. *Proceeding Engineering World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium*: 324-331.
- Alamsyah, M Fruqon. 2013. *Analisa Risk Based Inspection Pada Pipeline 16" Jalur Sukowati – CPA yang Mengalami Upheaval Buckling*. Tugas Akhir Departemen Teknik Kelautan-FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- API RP 580. 2009. *Risk-Based Inspection*. Recommended Practice. American Petroleum Institut.
- Badan Pengembangan Bahasa dan Perbukuan. 2016. *Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) Daring*. diakses melalui (kbbi.kemdikbud.go.id) pada 11 Januari 2019.
- Bai, Yong, dkk. 2014. *Subsea Pipeline Design, Analysis, and Installation*. Oxford: Gulf Professional Publishing.
- Bai, Yong, dkk. 2014. *Subsea Pipeline Integrity and Risk Management*. Oxford: Gulf Professional Publishing.
- Bakhtiary, Abbas Yeganeh, dkk. 2007. Analysis of Offshore Pipeline Allowable Free Span Length. *International Journal of Civil Engineering*, Vol 5 (1): 84-91.
- Basir, Idham Aulia M. 2015. *Analisis Tegangan dan Kelelahan Akibat Pengaruh Vortex Induced Vibration (VIV) 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.

- Dey, Prasanta Kumar, dkk. 2004. Risk Based Maintenance Model for Offshore Oil and Gas Pipelines: A Case Study. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol 10 (3): 169-183.
- Djarmiko, Eko Budi. 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. Surabaya: ITS Press.
- DNV GL RP F105. 2006. *Free Spanning Pipeline Recommended Practice*. Det Norske Veritas.
- DNV GL RP F105. 2017. *Free Spanning Pipeline Recommended Practice*. Det Norske Veritas.
- DNV GL RP F116. 2015. *Integrity Management of Submarine Pipeline Systems Recommended Practice*. Det Norske Veritas.
- DNV GL OS F101. 2010. *Submarine Pipeline Systems*. Offshore Standard. Det Norske Veritas.
- Dong, J, dkk. 2015. Local Buckling Analysis of Free Span for Submarine Pipelines. *Procedia Engineering 14th International Conference on Pressure Vessel Technology*: 408-413.
- Erfando, Tomi, dkk. 2019. Free Span Investigation of the Longest Subsea Gas Pipeline in Indonesia Using Remotely Operated Vehicle ROV. *Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference*. Abu Dhabi: 11-14 November 2019.
- Guo, Boyun, dkk. 2005. *Offshore Pipelines*. Oxford: Gulf Professional Publishing.
- Khanifudin, Ibnu. 2015. *Analisis Ultimate Limit State (ULS) pada Free Span (Studi Kasus: South Sumatera-West Java Gas Pipeline Project Phase II Labuhan Maringgai-Muara Bekasi Offshore Pipeline)*. Tugas Akhir Departemen Teknik Kelautan-FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

- Lee, Jaeyoung. 2002. Design and Installation of Deepwater Petroleum Pipeline. *Marine Pipeline Engineer, Houston*. Texas, USA.
- Lomantoro, Nonnia Dewi P. 2018. *Analisis Ultimate Limit State (ULS) pada Pipa Bawah Laut yang Mengalami Freespan*. Tugas Akhir Departemen Teknik Kelautan-FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Mouselli, A H. 1981. *Offshore Pipeline Design, Analysis, and Methods*. Oklahoma: Penwell Publishing.
- Mulyadi, Yeyes, dkk. 2013. Developing Risk Based Inspection for Subsea Pipeline in the Madura Strait using AIS Data. *The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers*.
- Nuraini, Ika Puspita. 2016. *Analisis Resiko Pipa Bawah Laut Akibat Tarikan Jangkar Dengan Metode Monte Carlo : Studi Kasus Jaringan Pipa Bawah Laut Tunu Field, Blok Mahakam, Kalimantan Timur*. Tugas Akhir Departemen Teknik Kelautan-FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Rudiyanto, Achmad. 2014. *Analisis Risiko pada Offshore Pipeline Milik PT. Trans Pacific Petrochemical Indotama (PT. TPPI) Tuban akibat Free Span dengan Menggunakan Metode Risk Based Inspection (RBI)*. Tugas Akhir Departemen Teknik Kelautan-FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Singh, Ramesh. 2017. *Pipeline Integrity Management and Risk Evaluation*. Oxford: Gulf Professional Publishing.
- Shabani, Mohammad Mahdi, dkk. 2019. Probabilistic Modelling of Free Spanning Pipelines Considering Multiple Failure Modes. *Engineering Value Analysis*.
- Soegiono. 2007. *Pipa Laut*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Syahroni, Ahmad. 2019. *Analisis Umur Kelelahan Akibat Vortex Induced Vibration pada Pipa Bawah Laut Saat Kondisi Operasi Staudi Kasus: Export Pipeline 14” Jalur Central Processing Platform – Onshore Receiving Facility, Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore*. Tugas

Akhir Departemen Teknik Kelautan-FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

Tiratsoo, J.N.H. 1999. *Pipeline Pigging Technology*. Texas: Gulf Publishing Company.

Umah, Anisatul. 2020. PGN: 1 April 2020 Harga Gas Industri US\$ 6 Per MMBTU. <https://www.cnbcindonesia.com/news/20200203163851-4-134858/pgn-1-april-2020-harga-gas-industri-us--6-per-mmbtu> (diakses pada 29 April 2020).

Wahyuni, Novia Candra. 2019. *Analisis Local Buckling Pipa Bawah Laut dengan Free Span Pada Kriteria Ultimate Limit State (Studi Kasus: Meliwis Subsea Pipeline)*. Tugas Akhir Departemen Teknik Kelautan-FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

Xu, Jishang, dkk. 2010. Calculation of Maximum Allowable Free Span Length and Safety Assessment of the DF1-1 Submarine Pipelines. *J. Ocean Univ. Chine (Oceanic and Coastal Sea Research)*, 2010 (9): 1-10.

Xue, Jianghong dan Gan, Neng. 2014. A Comprehensive Study on A Propagation Buckle in Externally Pressurized Pipelines. *Journal of Mechanical Science and Technology*. Vol 28 (12): 4907-4919.

Yttervik, Rune, dkk. 2003. Fatigue from Vortex-Induced Vibrations of Free Span Pipelines Using Statistics of Current Speed and Direction. *Proceedings of Offshore Mechanics and Arctic Engineering '03*, Cancun Mexico: 8-13 Juni 2003.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN A
PERHITUNGAN MASSA EFEKTIF PIPA

PERHITUNGAN MASSA EFEKTIF PIPA

KP Start	Gap (e)	Span (m)	e/Dt	Koef. Tambah Ca	Massa Tambah Ma (kg/m)	Massa Efektif Me (kg/m)
0.108	0.15	18	0.319693	1.5943	282.5504	554.8059
0.206	0.1	15	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
0.302	0.1	17	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
0.419	0.1	15	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
0.451	0.1	24	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
0.501	0.1	24	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
0.6	0.1	21	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
0.634	0.15	22	0.319693	1.5943	282.5504	554.8059
0.677	0.15	18	0.319693	1.5943	282.5504	554.8059
0.769	0.1	19	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
0.809	0.1	19	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
0.916	0.1	22	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
0.947	0.15	21	0.319693	1.5943	282.5504	554.8059
0.986	0.1	17	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
1.038	0.1	19	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
1.084	0.15	24	0.319693	1.5943	282.5504	554.8059
1.146	0.1	20	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
1.185	0.1	22	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
1.255	0.1	24	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
1.374	0.1	29	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
1.461	0.1	29	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
1.508	0.1	15	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
1.532	0.1	18	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
1.62	0.1	17	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
1.643	0.1	16	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
1.669	0.1	19	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
1.698	0.15	30	0.319693	1.5943	282.5504	554.8059
1.772	0.1	22	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
1.809	0.1	20	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
1.852	0.1	17	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
1.895	0.2	15	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
1.917	0.2	23	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
1.953	0.2	19	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
1.979	0.2	16	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514

2.015	0.2	18	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
2.062	0.2	15	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
2.083	0.2	19	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
2.114	0.2	22	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
2.167	0.2	15	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
2.212	0.2	16	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
2.265	0.1	16	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
2.324	0.2	19	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
2.36	0.1	17	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
2.384	0.2	23	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
2.505	0.2	27	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
2.543	0.1	19	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
2.707	0.2	19	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
2.929	0.3	20	0.639386	1.3200	233.9396	506.1951
3.073	0.3	36	0.639386	1.3200	233.9396	506.1951
3.122	0.2	17	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
3.242	0.2	19	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
3.265	0.2	17	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
3.293	0.2	17	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
3.589	0.2	17	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
3.639	0.1	16	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
3.686	0.2	18	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
3.771	0.2	24	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
3.843	0.2	17	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
3.877	0.2	16	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
3.954	0.2	16	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
4.006	0.1	18	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
4.14	0.3	20	0.639386	1.3200	233.9396	506.1951
4.249	0.4	25	0.852515	1.0000	177.2269	449.4825
4.292	0.2	18	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
4.331	0.3	16	0.639386	1.3200	233.9396	506.1951
4.378	0.4	34	0.852515	1.0000	177.2269	449.4825
4.428	0.3	18	0.639386	1.3200	233.9396	506.1951
4.518	0.2	22	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
4.572	0.4	33	0.852515	1.0000	177.2269	449.4825
4.615	0.2	19	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
4.664	0.1	19	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
4.751	0.1	16	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
4.881	0.1	18	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
5.181	0.1	19	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
5.325	0.1	26	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
5.36	0.2	19	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
5.627	0.2	16	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514

6.091	0.2	183	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
6.607	0.3	15	0.639386	1.3200	233.9396	506.1951
6.67	0.1	22	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
6.733	0.1	15	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
6.768	0.2	19	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
7.01	0.2	16	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
7.064	0.1	16	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
7.128	0.1	19	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
7.211	0.1	22	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
7.243	0.1	17	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
7.292	0.2	15	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
7.746	0.1	18	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
7.831	0.1	17	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
7.953	0.1	15	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
8.059	0.15	23	0.319693	1.5943	282.5504	554.8059
8.25	0.1	20	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
8.368	0.1	18	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
8.643	0.1	17	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
8.721	0.1	16	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
8.877	0.1	15	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
9.209	0.1	18	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
9.262	0.1	17	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
9.339	0.1	19	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
9.464	0.1	17	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
9.497	0.1	19	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
9.564	0.1	15	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
9.615	0.1	15	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
9.679	0.15	15	0.319693	1.5943	282.5504	554.8059
9.771	0.1	18	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
9.959	0.1	17	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
10.047	0.1	17	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
10.076	0.1	21	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
10.11	0.1	15	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
10.444	0.1	28	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
10.479	0.1	15	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
10.512	0.1	16	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
10.718	0.1	17	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
10.899	0.15	24	0.319693	1.5943	282.5504	554.8059
10.952	0.1	15	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
10.996	0.1	19	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
11.051	0.1	16	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
11.144	0.1	19	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
11.231	0.1	16	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119

11.463	0.1	20	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
11.488	0.1	20	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
11.521	0.1	16	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
11.612	0.1	18	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
11.646	0.1	19	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
11.92	0.4	16	0.852515	1.0000	177.2269	449.4825
12.284	0.2	18	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
12.6	0.1	16	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
12.806	0.2	15	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
13.409	0.2	19	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
13.69	0.1	22	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
13.819	0.2	15	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
14.09	0.3	17	0.639386	1.3200	233.9396	506.1951
14.283	0.2	21	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
14.373	0.3	19	0.639386	1.3200	233.9396	506.1951
14.898	0.3	16	0.639386	1.3200	233.9396	506.1951
14.935	0.2	19	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
14.963	0.2	27	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
14.994	0.1	16	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
15.079	0.2	20	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
16.99	0.15	15	0.319693	1.5943	282.5504	554.8059
17.218	0.1	17	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
17.402	0.15	15	0.319693	1.5943	282.5504	554.8059
17.435	0.1	24	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
17.922	0.1	15	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
18.378	0.1	15	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
18.666	0.1	15	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
19.665	0.1	17	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
19.789	0.1	17	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
19.825	0.1	18	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
19.859	0.1	16	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
20.067	0.15	21	0.319693	1.5943	282.5504	554.8059
20.318	0.1	16	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
20.461	0.1	16	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
21.479	0.1	16	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
21.807	0.2	16	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
21.898	0.2	25	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
21.938	0.2	18	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
22.006	0.2	18	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
22.091	0.2	16	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
22.243	0.2	17	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
22.539	0.3	17	0.639386	1.3200	233.9396	506.1951
22.685	0.2	16	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514

22.808	0.2	16	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
22.91	0.2	23	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
23.681	0.4	21	0.852515	1.0000	177.2269	449.4825
23.723	0.3	30	0.639386	1.3200	233.9396	506.1951
24.026	0.2	18	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514
24.243	0.1	18	0.213129	1.7467	309.5564	581.8119
25.347	0.3	22	0.639386	1.3200	233.9396	506.1951
25.534	0.2	19	0.426257	1.4800	262.2959	534.5514

LAMPIRAN B
SPEKTRAL GELOMBANG
PERIODE ULANG 1 TAHUN DAN 100 TAHUN

SPEKTRAL GELOMBANG PERIODE ULANG 1 TAHUN

Spektral gelombang 1 tahun untuk e = 0.15						
ω	$S_{\eta\eta}(\omega)$	$G(\omega)$	$S_{uu}(\omega)$	SM	$S_{uu}(\omega)*SM$	$S_{uu}(\omega)*SM*\omega^2$
0.01	0	8.03E-06	0	1	0	0
0.1	0	8.03E-05	0	4	0	0
0.2	0	0.000161	0	2	0	0
0.3	2.68501E-96	0.000241	1.5578E-103	4	6.2312E-103	5.6E-104
0.4	1.14283E-29	0.000321	1.17876E-36	2	2.35753E-36	3.77E-37
0.5	8.9519E-12	0.000401	1.44272E-18	4	5.77087E-18	1.44E-18
0.6	1.43709E-05	0.000482	3.33512E-12	2	6.67025E-12	2.4E-12
0.7	0.004495995	0.000562	1.42019E-09	4	5.68078E-09	2.78E-09
0.8	0.055350282	0.000642	2.28363E-08	2	4.56726E-08	2.92E-08
0.9	0.200023393	0.000723	1.04446E-07	4	4.17784E-07	3.38E-07
1	0.656313318	0.000803	4.23094E-07	2	8.46188E-07	8.46E-07
1.1	1.395871336	0.000883	1.08882E-06	4	4.35529E-06	5.27E-06
1.2	0.691778738	0.000963	6.42178E-07	2	1.28436E-06	1.85E-06
1.3	0.275953808	0.001044	3.00642E-07	4	1.20257E-06	2.03E-06
1.4	0.184654042	0.001124	2.33314E-07	2	4.66628E-07	9.15E-07
1.5	0.144374039	0.001204	2.0941E-07	4	8.3764E-07	1.88E-06
1.6	0.113489364	0.001285	1.87293E-07	2	3.74586E-07	9.59E-07
1.7	0.089021001	0.001365	1.6585E-07	4	6.63401E-07	1.92E-06
1.8	0.06996407	0.001445	1.46132E-07	2	2.92264E-07	9.47E-07
1.9	0.05523739	0.001526	1.28548E-07	4	5.14193E-07	1.86E-06
2	0.043872655	0.001606	1.13131E-07	1	1.13131E-07	4.53E-07
SUM					1.14194E-05	1.93E-05

Parameter	Nilai	Satuan
$M_0 =$	3.8.E-07	
$M_2 =$	6.4.E-07	
$U_s =$	1.2.E-03	m/s
$T_u =$	4.833	s
$R_D =$	0.95	
$U_w =$	0.0012	m/s

Spektral gelombang 1 tahun untuk e = 0.2						
ω	$S_{\eta\eta}(\omega)$	$G(\omega)$	$S_{uu}(\omega)$	SM	$S_{uu}(\omega)*SM$	$S_{uu}(\omega)*SM*\omega^2$
0.01	0	8.03E-06	0	1	0	0
0.1	0	8.03E-05	0	4	0	0
0.2	0	0.000161	0	2	0	0
0.3	2.68501E-96	0.000241	1.5597E-103	4	6.2389E-103	5.6E-104
0.4	1.14283E-29	0.000321	1.18021E-36	2	2.36042E-36	3.78E-37
0.5	8.9519E-12	0.000402	1.44448E-18	4	5.77794E-18	1.44E-18
0.6	1.43709E-05	0.000482	3.33921E-12	2	6.67841E-12	2.4E-12
0.7	0.004495995	0.000562	1.42193E-09	4	5.68773E-09	2.79E-09
0.8	0.055350282	0.000643	2.28643E-08	2	4.57285E-08	2.93E-08
0.9	0.200023393	0.000723	1.04574E-07	4	4.18295E-07	3.39E-07
1	0.656313318	0.000803	4.23612E-07	2	8.47225E-07	8.47E-07
1.1	1.395871336	0.000884	1.09015E-06	4	4.36062E-06	5.28E-06
1.2	0.691778738	0.000964	6.42965E-07	2	1.28593E-06	1.85E-06
1.3	0.275953808	0.001044	3.0101E-07	4	1.20404E-06	2.03E-06
1.4	0.184654042	0.001125	2.336E-07	2	4.67199E-07	9.16E-07
1.5	0.144374039	0.001205	2.09666E-07	4	8.38666E-07	1.89E-06
1.6	0.113489364	0.001285	1.87522E-07	2	3.75044E-07	9.6E-07
1.7	0.089021001	0.001366	1.66053E-07	4	6.64213E-07	1.92E-06
1.8	0.06996407	0.001446	1.46311E-07	2	2.92622E-07	9.48E-07
1.9	0.05523739	0.001526	1.28706E-07	4	5.14823E-07	1.86E-06
2	0.043872655	0.001607	1.13269E-07	1	1.13269E-07	4.53E-07
				SUM	1.14334E-05	1.93E-05

Parameter	Nilai	Satuan
$M_0 =$	3.81112E-07	
$M_2 =$	6.44103E-07	
$U_s =$	0.001234686	m/s
$T_u =$	4.833131463	s
$R_D =$	0.95	
$U_w =$	0.001172951	m/s

Spektral gelombang 1 tahun untuk e = 0.3						
ω	$S_{\eta\eta}(\omega)$	$G(\omega)$	$S_{uu}(\omega)$	SM	$S_{uu}(\omega)*SM$	$S_{uu}(\omega)*SM*\omega^2$
0.01	0	8.04E-06	0	1	0	0
0.1	0	8.04E-05	0	4	0	0
0.2	0	0.000161	0	2	0	0
0.3	2.68501E-96	0.000241	1.564E-103	4	6.2559E-103	5.6E-104
0.4	1.14283E-29	0.000322	1.18344E-36	2	2.36687E-36	3.79E-37
0.5	8.9519E-12	0.000402	1.44843E-18	4	5.79374E-18	1.45E-18
0.6	1.43709E-05	0.000483	3.34834E-12	2	6.69667E-12	2.41E-12
0.7	0.004495995	0.000563	1.42582E-09	4	5.70329E-09	2.79E-09
0.8	0.055350282	0.000644	2.29268E-08	2	4.58536E-08	2.93E-08
0.9	0.200023393	0.000724	1.0486E-07	4	4.19439E-07	3.4E-07
1	0.656313318	0.000804	4.24771E-07	2	8.49541E-07	8.5E-07
1.1	1.395871336	0.000885	1.09314E-06	4	4.37254E-06	5.29E-06
1.2	0.691778738	0.000965	6.44723E-07	2	1.28945E-06	1.86E-06
1.3	0.275953808	0.001046	3.01833E-07	4	1.20733E-06	2.04E-06
1.4	0.184654042	0.001126	2.34238E-07	2	4.68477E-07	9.18E-07
1.5	0.144374039	0.001207	2.1024E-07	4	8.40959E-07	1.89E-06
1.6	0.113489364	0.001287	1.88035E-07	2	3.7607E-07	9.63E-07
1.7	0.089021001	0.001368	1.66507E-07	4	6.6603E-07	1.92E-06
1.8	0.06996407	0.001448	1.46711E-07	2	2.93422E-07	9.51E-07
1.9	0.05523739	0.001529	1.29058E-07	4	5.1623E-07	1.86E-06
2	0.043872655	0.001609	1.13579E-07	1	1.13579E-07	4.54E-07
				SUM	1.14646E-05	1.94E-05

Parameter	Nilai	Satuan
$M_0 =$	3.82154E-07	
$M_2 =$	6.45864E-07	
$U_s =$	0.001236373	m/s
$T_u =$	4.833131463	s
$R_D =$	0.95	
$U_w =$	0.001174554	m/s

Spektral gelombang 1 tahun untuk e = 0.4						
ω	$S_{\eta\eta}(\omega)$	$G(\omega)$	$S_{uu}(\omega)$	SM	$S_{uu}(\omega)*SM$	$S_{uu}(\omega)*SM*\omega^2$
0.01	0	8.06E-06	0	1	0	0
0.1	0	8.06E-05	0	4	0	0
0.2	0	0.000161	0	2	0	0
0.3	2.68501E-96	0.000242	1.5688E-103	4	6.2754E-103	5.6E-104
0.4	1.14283E-29	0.000322	1.18712E-36	2	2.37424E-36	3.8E-37
0.5	8.9519E-12	0.000403	1.45294E-18	4	5.81177E-18	1.45E-18
0.6	1.43709E-05	0.000483	3.35876E-12	2	6.71752E-12	2.42E-12
0.7	0.004495995	0.000564	1.43026E-09	4	5.72103E-09	2.8E-09
0.8	0.055350282	0.000645	2.29981E-08	2	4.59963E-08	2.94E-08
0.9	0.200023393	0.000725	1.05186E-07	4	4.20745E-07	3.41E-07
1	0.656313318	0.000806	4.26093E-07	2	8.52185E-07	8.52E-07
1.1	1.395871336	0.000886	1.09654E-06	4	4.38615E-06	5.31E-06
1.2	0.691778738	0.000967	6.46729E-07	2	1.29346E-06	1.86E-06
1.3	0.275953808	0.001047	3.02772E-07	4	1.21109E-06	2.05E-06
1.4	0.184654042	0.001128	2.34967E-07	2	4.69935E-07	9.21E-07
1.5	0.144374039	0.001209	2.10894E-07	4	8.43576E-07	1.9E-06
1.6	0.113489364	0.001289	1.8862E-07	2	3.7724E-07	9.66E-07
1.7	0.089021001	0.00137	1.67026E-07	4	6.68102E-07	1.93E-06
1.8	0.06996407	0.00145	1.47168E-07	2	2.94336E-07	9.54E-07
1.9	0.05523739	0.001531	1.29459E-07	4	5.17837E-07	1.87E-06
2	0.043872655	0.001611	1.13932E-07	1	1.13932E-07	4.56E-07
				SUM	1.15003E-05	1.94E-05

Parameter	Nilai	Satuan
$M_0 =$	3.83344E-07	
$M_2 =$	6.47874E-07	
$U_s =$	0.001238295	m/s
$T_u =$	4.833131463	s
$R_D =$	0.95	
$U_w =$	0.00117638	m/s

SPEKTRAL GELOMBANG PERIODE ULANG 100 TAHUN

Spektral gelombang 100 tahun untuk e = 0.1						
ω	$S_{\eta\eta}(\omega)$	$G(\omega)$	$S_{uu}(\omega)$	SM	$S_{uu}(\omega)*SM$	$S_{uu}(\omega)*SM*\omega^2$
0.01	0	0.000346	0	1	0	0
0.1	0	0.003459	0	4	0	0
0.2	1.1E-130	0.006918	0	2	1.0842E-134	4.3E-136
0.3	3.83E-24	0.010377	0	4	1.64853E-27	1.48E-28
0.4	1.08E-06	0.013837	0	2	4.12022E-10	6.59E-11
0.5	0.030651	0.017296	0	4	3.66761E-05	9.17E-06
0.6	0.763398	0.020755	0	2	0.000657697	0.000237
0.7	3.904703	0.024214	0	4	0.009157696	0.004487
0.8	11.60103	0.027673	0.01	2	0.017768408	0.011372
0.9	3.424681	0.031132	0	4	0.013277223	0.010755
1	1.598313	0.034592	0	2	0.003825022	0.003825
1.1	1.133664	0.038051	0	4	0.006565559	0.007944
1.2	0.809975	0.04151	0	2	0.002791297	0.004019
1.3	0.579371	0.044969	0	4	0.004686464	0.00792
1.4	0.418089	0.048428	0	2	0.001961086	0.003844
1.5	0.305419	0.051887	0	4	0.003289132	0.007401
1.6	0.22614	0.055347	0	2	0.001385447	0.003547
1.7	0.169734	0.058806	0	4	0.002347848	0.006785
1.8	0.12909	0.062265	0	2	0.001000944	0.003243
1.9	0.099416	0.065724	0	4	0.001717766	0.006201
2	0.077468	0.069183	0	1	0.000370786	0.001483
				SUM	0.070839052	0.083072

Parameter	Nilai	Satuan
$M_0 =$	0.002361	
$M_2 =$	0.002769	
$U_s =$	0.097186	m/s
$T_u =$	5.802145	s
$R_D =$	0.95	

$U_w =$	0.092327	m/s
---------	----------	-----

Spektral gelombang 100 tahun untuk $e = 0.15$						
ω	$S_{\eta\eta}(\omega)$	$G(\omega)$	$S_{uu}(\omega)$	SM	$S_{uu}(\omega)*SM$	$S_{uu}(\omega)*SM*\omega^2$
0.01	0	0.000346	0	1	0	0
0.1	0	0.00346	0	4	0	0
0.2	1.1E-130	0.006919	0	2	1.0845E-134	4.3E-136
0.3	3.83E-24	0.010379	0	4	1.64903E-27	1.48E-28
0.4	1.08E-06	0.013839	0	2	4.12148E-10	6.59E-11
0.5	0.030651	0.017298	0	4	3.66873E-05	9.17E-06
0.6	0.763398	0.020758	0	2	0.000657897	0.000237
0.7	3.904703	0.024218	0	4	0.009160484	0.004489
0.8	11.60103	0.027678	0.01	2	0.017773816	0.011375
0.9	3.424681	0.031137	0	4	0.013281264	0.010758
1	1.598313	0.034597	0	2	0.003826186	0.003826
1.1	1.133664	0.038057	0	4	0.006567558	0.007947
1.2	0.809975	0.041516	0	2	0.002792146	0.004021
1.3	0.579371	0.044976	0	4	0.00468789	0.007923
1.4	0.418089	0.048436	0	2	0.001961683	0.003845
1.5	0.305419	0.051895	0	4	0.003290133	0.007403
1.6	0.22614	0.055355	0	2	0.001385869	0.003548
1.7	0.169734	0.058815	0	4	0.002348562	0.006787
1.8	0.12909	0.062274	0	2	0.001001248	0.003244
1.9	0.099416	0.065734	0	4	0.001718289	0.006203
2	0.077468	0.069194	0	1	0.000370899	0.001484
				SUM	0.070860612	0.083097

Parameter	Nilai	Satuan
$M_0 =$	0.002362	
$M_2 =$	0.00277	
$U_s =$	0.097201	m/s
$T_u =$	5.802145	s
$R_D =$	0.95	
$U_w =$	0.092341	m/s

Spektral gelombang 100 tahun untuk e = 0.2						
ω	$S_{\eta\eta}(\omega)$	$G(\omega)$	$S_{uu}(\omega)$	SM	$S_{uu}(\omega)*SM$	$S_{uu}(\omega)*SM*\omega^2$
0.01	0	0.000346	0	1	0	0
0.1	0	0.00346	0	4	0	0
0.2	1.1E-130	0.006921	0	2	1.0849E-134	4.3E-136
0.3	3.83E-24	0.010381	0	4	1.64957E-27	1.48E-28
0.4	1.08E-06	0.013841	0	2	4.12284E-10	6.6E-11
0.5	0.030651	0.017301	0	4	3.66994E-05	9.17E-06
0.6	0.763398	0.020762	0	2	0.000658114	0.000237
0.7	3.904703	0.024222	0	4	0.009163506	0.00449
0.8	11.60103	0.027682	0.01	2	0.017779681	0.011379
0.9	3.424681	0.031142	0	4	0.013285646	0.010761
1	1.598313	0.034603	0	2	0.003827449	0.003827
1.1	1.133664	0.038063	0	4	0.006569724	0.007949
1.2	0.809975	0.041523	0	2	0.002793068	0.004022
1.3	0.579371	0.044983	0	4	0.004689437	0.007925
1.4	0.418089	0.048444	0	2	0.001962331	0.003846
1.5	0.305419	0.051904	0	4	0.003291219	0.007405
1.6	0.22614	0.055364	0	2	0.001386326	0.003549
1.7	0.169734	0.058824	0	4	0.002349337	0.00679
1.8	0.12909	0.062285	0	2	0.001001579	0.003245
1.9	0.099416	0.065745	0	4	0.001718855	0.006205
2	0.077468	0.069205	0	1	0.000371021	0.001484
				SUM	0.070883992	0.083125

Parameter	Nilai	Satuan
$M_0 =$	0.002363	
$M_2 =$	0.002771	
$U_s =$	0.097217	m/s
$T_u =$	5.802145	s
$R_D =$	0.95	

$U_w =$	0.092356	m/s
---------	----------	-----

Spektral gelombang 100 tahun untuk $e = 0.3$						
ω	$S_{\eta\eta}(\omega)$	$G(\omega)$	$S_{uu}(\omega)$	SM	$S_{uu}(\omega)*SM$	$S_{uu}(\omega)*SM*\omega^2$
0.01	0	0.000346	0	1	0	0
0.1	0	0.003462	0	4	0	0
0.2	1.1E-130	0.006923	0	2	1.0857E-134	4.3E-136
0.3	3.83E-24	0.010385	0	4	1.65079E-27	1.49E-28
0.4	1.08E-06	0.013846	0	2	4.12587E-10	6.6E-11
0.5	0.030651	0.017308	0	4	3.67264E-05	9.18E-06
0.6	0.763398	0.020769	0	2	0.000658599	0.000237
0.7	3.904703	0.024231	0	4	0.009170257	0.004493
0.8	11.60103	0.027692	0.01	2	0.01779278	0.011387
0.9	3.424681	0.031154	0	4	0.013295434	0.010769
1	1.598313	0.034615	0	2	0.003830268	0.00383
1.1	1.133664	0.038077	0	4	0.006574565	0.007955
1.2	0.809975	0.041538	0	2	0.002795125	0.004025
1.3	0.579371	0.045	0	4	0.004692892	0.007931
1.4	0.418089	0.048461	0	2	0.001963776	0.003849
1.5	0.305419	0.051923	0	4	0.003293643	0.007411
1.6	0.22614	0.055385	0	2	0.001387348	0.003552
1.7	0.169734	0.058846	0	4	0.002351068	0.006795
1.8	0.12909	0.062308	0	2	0.001002317	0.003248
1.9	0.099416	0.065769	0	4	0.001720122	0.00621
2	0.077468	0.069231	0	1	0.000371294	0.001485
				SUM	0.070936215	0.083186

Parameter	Nilai	Satuan
$M_0 =$	0.002365	
$M_2 =$	0.002773	
$U_s =$	0.097253	m/s

$T_u =$	5.802145	s
$R_D =$	0.95	
$U_w =$	0.09239	m/s

Spektral gelombang 100 tahun untuk e = 0.4						
ω	$S_{\eta\eta}(\omega)$	$G(\omega)$	$S_{uu}(\omega)$	SM	$S_{uu}(\omega)*SM$	$S_{uu}(\omega)*SM*\omega^2$
0.01	0	0.000346	0	1	0	0
0.1	0	0.003463	0	4	0	0
0.2	1.1E-130	0.006926	0	2	1.0866E-134	4.3E-136
0.3	3.83E-24	0.010389	0	4	1.65217E-27	1.49E-28
0.4	1.08E-06	0.013852	0	2	4.12934E-10	6.61E-11
0.5	0.030651	0.017315	0	4	3.67572E-05	9.19E-06
0.6	0.763398	0.020778	0	2	0.000659152	0.000237
0.7	3.904703	0.024241	0	4	0.009177951	0.004497
0.8	11.60103	0.027704	0.01	2	0.017807708	0.011397
0.9	3.424681	0.031167	0	4	0.013306589	0.010778
1	1.598313	0.03463	0	2	0.003833482	0.003833
1.1	1.133664	0.038093	0	4	0.006580081	0.007962
1.2	0.809975	0.041556	0	2	0.00279747	0.004028
1.3	0.579371	0.045019	0	4	0.004696829	0.007938
1.4	0.418089	0.048482	0	2	0.001965424	0.003852
1.5	0.305419	0.051945	0	4	0.003296407	0.007417
1.6	0.22614	0.055408	0	2	0.001388512	0.003555
1.7	0.169734	0.058871	0	4	0.00235304	0.0068
1.8	0.12909	0.062334	0	2	0.001003158	0.00325
1.9	0.099416	0.065797	0	4	0.001721565	0.006215
2	0.077468	0.06926	0	1	0.000371606	0.001486
				SUM	0.07099573	0.083256

Parameter	Nilai	Satuan
$M_0 =$	0.002367	

$M_2 =$	0.002775	
$U_s =$	0.097294	m/s
$T_u =$	5.802145	s
$R_D =$	0.95	
$U_w =$	0.092429	m/s

LAMPIRAN C
PERHITUNGAN KECEPATAN PARTIKEL FLUIDA

PERHITUNGAN KECEPATAN PARTIKEL FLUIDA

KP START	Elevasi terhadap dasar laut (z)	$U_{c,1}$ tahun	$U_{c,100}$ tahun	$U_{w,1th} + U_{c,100th}$	$U_{w,100th} + U_{c,1th}$	Uw (1 tahun)	Uw (100 tahun)
	m	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
0.108	0.3846	0.22121	0.46086	0.46203	0.31355	0.00117	0.09234
0.206	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
0.302	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
0.419	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
0.451	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
0.501	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
0.6	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
0.634	0.3846	0.22121	0.46086	0.46203	0.31355	0.00117	0.09234
0.677	0.3846	0.22121	0.46086	0.46203	0.31355	0.00117	0.09234
0.769	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
0.809	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
0.916	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
0.947	0.3846	0.22121	0.46086	0.46203	0.31355	0.00117	0.09234
0.986	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
1.038	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
1.084	0.3846	0.22121	0.46086	0.46203	0.31355	0.00117	0.09234
1.146	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
1.185	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
1.255	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
1.374	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
1.461	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
1.508	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
1.532	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
1.62	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
1.643	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233

1.669	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
1.698	0.3846	0.22121	0.46086	0.46203	0.31355	0.00117	0.09234
1.772	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
1.809	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
1.852	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
1.895	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
1.917	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
1.953	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
1.979	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
2.015	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
2.062	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
2.083	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
2.114	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
2.167	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
2.212	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
2.265	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
2.324	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
2.36	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
2.384	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
2.505	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
2.543	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
2.707	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
2.929	0.5346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31360	0.00117	0.09239
3.073	0.5346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31360	0.00117	0.09239
3.122	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
3.242	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
3.265	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
3.293	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
3.589	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
3.639	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233

3.686	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
3.771	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
3.843	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
3.877	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
3.954	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
4.006	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
4.14	0.5346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31360	0.00117	0.09239
4.249	0.6346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31364	0.00118	0.09243
4.292	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
4.331	0.5346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31360	0.00117	0.09239
4.378	0.6346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31364	0.00118	0.09243
4.428	0.5346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31360	0.00117	0.09239
4.518	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
4.572	0.6346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31364	0.00118	0.09243
4.615	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
4.664	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
4.751	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
4.881	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
5.181	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
5.325	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
5.36	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
5.627	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
6.091	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
6.607	0.5346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31360	0.00117	0.09239
6.67	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
6.733	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
6.768	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
7.01	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
7.064	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
7.128	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233

7.211	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
7.243	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
7.292	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
7.746	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
7.831	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
7.953	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
8.059	0.3846	0.22121	0.46086	0.46203	0.31355	0.00117	0.09234
8.25	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
8.368	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
8.643	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
8.721	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
8.877	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
9.209	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
9.262	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
9.339	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
9.464	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
9.497	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
9.564	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
9.615	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
9.679	0.3846	0.22121	0.46086	0.46203	0.31355	0.00117	0.09234
9.771	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
9.959	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
10.047	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
10.076	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
10.11	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
10.444	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
10.479	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
10.512	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
10.718	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
10.899	0.3846	0.22121	0.46086	0.46203	0.31355	0.00117	0.09234

10.952	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
10.996	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
11.051	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
11.144	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
11.231	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
11.463	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
11.488	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
11.521	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
11.612	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
11.646	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
11.92	0.6346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31364	0.00118	0.09243
12.284	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
12.6	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
12.806	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
13.409	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
13.69	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
13.819	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
14.09	0.5346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31360	0.00117	0.09239
14.283	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
14.373	0.5346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31360	0.00117	0.09239
14.898	0.5346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31360	0.00117	0.09239
14.935	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
14.963	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
14.994	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
15.079	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
16.99	0.3846	0.22121	0.46086	0.46203	0.31355	0.00117	0.09234
17.218	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
17.402	0.3846	0.22121	0.46086	0.46203	0.31355	0.00117	0.09234
17.435	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
17.922	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233

18.378	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
18.666	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
19.665	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
19.789	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
19.825	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
19.859	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
20.067	0.3846	0.22121	0.46086	0.46203	0.31355	0.00117	0.09234
20.318	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
20.461	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
21.479	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
21.807	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
21.898	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
21.938	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
22.006	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
22.091	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
22.243	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
22.539	0.5346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31360	0.00117	0.09239
22.685	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
22.808	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
22.91	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
23.681	0.6346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31364	0.00118	0.09243
23.723	0.5346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31360	0.00117	0.09239
24.026	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236
24.243	0.3346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31354	0.00117	0.09233
25.347	0.5346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31360	0.00117	0.09239
25.534	0.4346	0.22121	0.46086	0.46203	0.31357	0.00117	0.09236

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN D
PERHITUNGAN GAYA DRAG & GAYA HIDRODINAMIS

PERHITUNGAN GAYA DRAG

KP	C_D (k/Dt)	C_D (KC,u)	C_D (proxi)	C_D (VIV)	C_D	F_D (N)
0.108	1.020304	1	2.824213	1	2.881556	212.0407
0.206	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
0.302	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
0.419	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
0.451	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
0.501	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
0.6	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
0.634	1.020304	1	2.824213	1	2.881556	212.0407
0.677	1.020304	1	2.824213	1	2.881556	212.0407
0.769	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
0.809	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
0.916	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
0.947	1.020304	1	2.824213	1	2.881556	212.0407
0.986	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
1.038	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
1.084	1.020304	1	2.824213	1	2.881556	212.0407
1.146	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
1.185	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
1.255	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
1.374	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
1.461	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
1.508	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
1.532	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
1.62	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
1.643	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
1.669	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
1.698	1.020304	1	2.824213	1	2.881556	212.0407
1.772	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
1.809	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
1.852	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
1.895	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
1.917	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
1.953	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
1.979	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
2.015	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
2.062	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
2.083	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
2.114	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577

2.167	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
2.212	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
2.265	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
2.324	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
2.36	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
2.384	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
2.505	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
2.543	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
2.707	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
2.929	1.020304	1	2.091347	1	2.13381	157.0174
3.073	1.020304	1	2.091347	1	2.13381	157.0174
3.122	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
3.242	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
3.265	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
3.293	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
3.589	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
3.639	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
3.686	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
3.771	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
3.843	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
3.877	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
3.954	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
4.006	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
4.14	1.020304	1	2.091347	1	2.13381	157.0174
4.249	1.020304	1	1	1	1.020304	75.07957
4.292	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
4.331	1.020304	1	2.091347	1	2.13381	157.0174
4.378	1.020304	1	1	1	1.020304	75.07957
4.428	1.020304	1	2.091347	1	2.13381	157.0174
4.518	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
4.572	1.020304	1	1	1	1.020304	75.07957
4.615	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
4.664	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
4.751	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
4.881	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
5.181	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
5.325	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
5.36	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
5.627	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
6.091	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
6.607	1.020304	1	2.091347	1	2.13381	157.0174
6.67	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
6.733	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057

6.768	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
7.01	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
7.064	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
7.128	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
7.211	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
7.243	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
7.292	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
7.746	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
7.831	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
7.953	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
8.059	1.020304	1	2.824213	1	2.881556	212.0407
8.25	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
8.368	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
8.643	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
8.721	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
8.877	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
9.209	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
9.262	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
9.339	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
9.464	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
9.497	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
9.564	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
9.615	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
9.679	1.020304	1	2.824213	1	2.881556	212.0407
9.771	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
9.959	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
10.047	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
10.076	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
10.11	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
10.444	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
10.479	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
10.512	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
10.718	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
10.899	1.020304	1	2.824213	1	2.881556	212.0407
10.952	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
10.996	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
11.051	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
11.144	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
11.231	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
11.463	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
11.488	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
11.521	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
11.612	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057

11.646	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
11.92	1.020304	1	1	1	1.020304	75.07957
12.284	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
12.6	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
12.806	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
13.409	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
13.69	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
13.819	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
14.09	1.020304	1	2.091347	1	2.13381	157.0174
14.283	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
14.373	1.020304	1	2.091347	1	2.13381	157.0174
14.898	1.020304	1	2.091347	1	2.13381	157.0174
14.935	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
14.963	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
14.994	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
15.079	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
16.99	1.020304	1	2.824213	1	2.881556	212.0407
17.218	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
17.402	1.020304	1	2.824213	1	2.881556	212.0407
17.435	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
17.922	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
18.378	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
18.666	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
19.665	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
19.789	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
19.825	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
19.859	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
20.067	1.020304	1	2.824213	1	2.881556	212.0407
20.318	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
20.461	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
21.479	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
21.807	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
21.898	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
21.938	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
22.006	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
22.091	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
22.243	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
22.539	1.020304	1	2.091347	1	2.13381	157.0174
22.685	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
22.808	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
22.91	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
23.681	1.020304	1	1	1	1.020304	75.07957
23.723	1.020304	1	2.091347	1	2.13381	157.0174

24.026	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577
24.243	1.020304	1	3.320553	1	3.387974	249.3057
25.347	1.020304	1	2.091347	1	2.13381	157.0174
25.534	1.020304	1	2.496787	1	2.547483	187.4577

PERHITUNGAN GAYA HIDRODINAMIS TOTAL

KP	Gap (m)	F _D (N)	F _L (N)	F _{tot} (N)
0.108	0.15	212.0407	46.19905	217.0152
0.206	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
0.302	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
0.419	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
0.451	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
0.501	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
0.6	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
0.634	0.15	212.0407	46.19905	217.0152
0.677	0.15	212.0407	46.19905	217.0152
0.769	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
0.809	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
0.916	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
0.947	0.15	212.0407	46.19905	217.0152
0.986	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
1.038	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
1.084	0.15	212.0407	46.19905	217.0152
1.146	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
1.185	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
1.255	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
1.374	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
1.461	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
1.508	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
1.532	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
1.62	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
1.643	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
1.669	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
1.698	0.15	212.0407	46.19905	217.0152
1.772	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
1.809	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
1.852	0.1	249.3057	46.19905	253.5502

1.895	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
1.917	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
1.953	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
1.979	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
2.015	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
2.062	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
2.083	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
2.114	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
2.167	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
2.212	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
2.265	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
2.324	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
2.36	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
2.384	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
2.505	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
2.543	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
2.707	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
2.929	0.3	157.0174	46.19905	163.6729
3.073	0.3	157.0174	46.19905	163.6729
3.122	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
3.242	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
3.265	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
3.293	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
3.589	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
3.639	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
3.686	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
3.771	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
3.843	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
3.877	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
3.954	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
4.006	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
4.14	0.3	157.0174	46.19905	163.6729
4.249	0.4	75.07957	46.19905	88.15495
4.292	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
4.331	0.3	157.0174	46.19905	163.6729
4.378	0.4	75.07957	46.19905	88.15495
4.428	0.3	157.0174	46.19905	163.6729
4.518	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
4.572	0.4	75.07957	46.19905	88.15495
4.615	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
4.664	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
4.751	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
4.881	0.1	249.3057	46.19905	253.5502

5.181	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
5.325	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
5.36	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
5.627	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
6.091	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
6.607	0.3	157.0174	46.19905	163.6729
6.67	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
6.733	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
6.768	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
7.01	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
7.064	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
7.128	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
7.211	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
7.243	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
7.292	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
7.746	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
7.831	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
7.953	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
8.059	0.15	212.0407	46.19905	217.0152
8.25	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
8.368	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
8.643	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
8.721	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
8.877	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
9.209	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
9.262	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
9.339	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
9.464	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
9.497	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
9.564	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
9.615	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
9.679	0.15	212.0407	46.19905	217.0152
9.771	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
9.959	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
10.047	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
10.076	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
10.11	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
10.444	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
10.479	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
10.512	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
10.718	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
10.899	0.15	212.0407	46.19905	217.0152
10.952	0.1	249.3057	46.19905	253.5502

10.996	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
11.051	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
11.144	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
11.231	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
11.463	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
11.488	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
11.521	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
11.612	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
11.646	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
11.92	0.4	75.07957	46.19905	88.15495
12.284	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
12.6	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
12.806	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
13.409	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
13.69	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
13.819	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
14.09	0.3	157.0174	46.19905	163.6729
14.283	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
14.373	0.3	157.0174	46.19905	163.6729
14.898	0.3	157.0174	46.19905	163.6729
14.935	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
14.963	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
14.994	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
15.079	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
16.99	0.15	212.0407	46.19905	217.0152
17.218	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
17.402	0.15	212.0407	46.19905	217.0152
17.435	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
17.922	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
18.378	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
18.666	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
19.665	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
19.789	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
19.825	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
19.859	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
20.067	0.15	212.0407	46.19905	217.0152
20.318	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
20.461	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
21.479	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
21.807	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
21.898	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
21.938	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
22.006	0.2	187.4577	46.19905	193.0667

22.091	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
22.243	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
22.539	0.3	157.0174	46.19905	163.6729
22.685	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
22.808	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
22.91	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
23.681	0.4	75.07957	46.19905	88.15495
23.723	0.3	157.0174	46.19905	163.6729
24.026	0.2	187.4577	46.19905	193.0667
24.243	0.1	249.3057	46.19905	253.5502
25.347	0.3	157.0174	46.19905	163.6729
25.534	0.2	187.4577	46.19905	193.0667

LAMPIRAN E
PARAMETER STABILITAS

PARAMETER STABILITAS

KP	f_s	R_e	K_s	K_{sd}	α	KC
0.108	0.1969	19184.46	0.463	0.403	0.833	1.142
0.206	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
0.302	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
0.419	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
0.451	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
0.501	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
0.6	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
0.634	0.1969	19184.46	0.463	0.403	0.833	1.142
0.677	0.1969	19184.46	0.463	0.403	0.833	1.142
0.769	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
0.809	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
0.916	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
0.947	0.1969	19184.46	0.463	0.403	0.833	1.142
0.986	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
1.038	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
1.084	0.1969	19184.46	0.463	0.403	0.833	1.142
1.146	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
1.185	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
1.255	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
1.374	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
1.461	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
1.508	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
1.532	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
1.62	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
1.643	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
1.669	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
1.698	0.1969	19184.46	0.463	0.403	0.833	1.142
1.772	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
1.809	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
1.852	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
1.895	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
1.917	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
1.953	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
1.979	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
2.015	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
2.062	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
2.083	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
2.114	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
2.167	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142

2.212	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
2.265	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
2.324	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
2.36	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
2.384	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
2.505	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
2.543	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
2.707	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
2.929	0.1969	19184.55	0.423	0.368	0.833	1.143
3.073	0.1969	19184.55	0.423	0.368	0.833	1.143
3.122	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
3.242	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
3.265	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
3.293	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
3.589	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
3.639	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
3.686	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
3.771	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
3.843	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
3.877	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
3.954	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
4.006	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
4.14	0.1969	19184.55	0.423	0.368	0.833	1.143
4.249	0.1969	19184.63	0.375	0.326	0.833	1.143
4.292	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
4.331	0.1969	19184.55	0.423	0.368	0.833	1.143
4.378	0.1969	19184.63	0.375	0.326	0.833	1.143
4.428	0.1969	19184.55	0.423	0.368	0.833	1.143
4.518	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
4.572	0.1969	19184.63	0.375	0.326	0.833	1.143
4.615	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
4.664	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
4.751	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
4.881	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
5.181	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
5.325	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
5.36	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
5.627	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
6.091	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
6.607	0.1969	19184.55	0.423	0.368	0.833	1.143
6.67	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
6.733	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
6.768	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142

7.01	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
7.064	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
7.128	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
7.211	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
7.243	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
7.292	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
7.746	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
7.831	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
7.953	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
8.059	0.1969	19184.46	0.463	0.403	0.833	1.142
8.25	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
8.368	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
8.643	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
8.721	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
8.877	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
9.209	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
9.262	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
9.339	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
9.464	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
9.497	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
9.564	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
9.615	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
9.679	0.1969	19184.46	0.463	0.403	0.833	1.142
9.771	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
9.959	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
10.047	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
10.076	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
10.11	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
10.444	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
10.479	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
10.512	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
10.718	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
10.899	0.1969	19184.46	0.463	0.403	0.833	1.142
10.952	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
10.996	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
11.051	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
11.144	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
11.231	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
11.463	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
11.488	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
11.521	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
11.612	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
11.646	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142

11.92	0.1969	19184.63	0.375	0.326	0.833	1.143
12.284	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
12.6	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
12.806	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
13.409	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
13.69	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
13.819	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
14.09	0.1969	19184.55	0.423	0.368	0.833	1.143
14.283	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
14.373	0.1969	19184.55	0.423	0.368	0.833	1.143
14.898	0.1969	19184.55	0.423	0.368	0.833	1.143
14.935	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
14.963	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
14.994	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
15.079	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
16.99	0.1969	19184.46	0.463	0.403	0.833	1.142
17.218	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
17.402	0.1969	19184.46	0.463	0.403	0.833	1.142
17.435	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
17.922	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
18.378	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
18.666	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
19.665	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
19.789	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
19.825	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
19.859	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
20.067	0.1969	19184.46	0.463	0.403	0.833	1.142
20.318	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
20.461	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
21.479	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
21.807	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
21.898	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
21.938	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
22.006	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
22.091	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
22.243	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
22.539	0.1969	19184.55	0.423	0.368	0.833	1.143
22.685	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
22.808	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
22.91	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142
23.681	0.1969	19184.63	0.375	0.326	0.833	1.143
23.723	0.1969	19184.55	0.423	0.368	0.833	1.143
24.026	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142

24.243	0.1969	19184.43	0.486	0.423	0.833	1.142
25.347	0.1969	19184.55	0.423	0.368	0.833	1.143
25.534	0.1969	19184.49	0.447	0.388	0.833	1.142

LAMPIRAN F
PERHITUNGAN PANJANG BENTANGAN EFEKTIF

PANJANG BENTANGAN EFEKTIF *IN-LINE* DAN *CROSS-FLOW*

KP Start	L (m)	β_{IL}	β_{CF}	$L_{eff,IL}$ (m)	$L_{eff,CF}$ (m)
0.108	18	3.664	3.841	24.459	23.821
0.206	15	3.347	3.524	21.471	20.837
0.302	17	3.564	3.742	23.463	22.828
0.419	15	3.347	3.524	21.471	20.837
0.451	24	4.163	4.341	30.413	29.764
0.501	24	4.163	4.341	30.413	29.764
0.6	21	3.931	4.109	27.440	26.797
0.634	22	4.012	4.190	28.432	27.787
0.677	18	3.664	3.841	24.459	23.821
0.769	19	3.757	3.935	25.453	24.814
0.809	19	3.757	3.935	25.453	24.814
0.916	22	4.012	4.190	28.432	27.787
0.947	21	3.931	4.109	27.440	26.797
0.986	17	3.564	3.742	23.463	22.828
1.038	19	3.757	3.935	25.453	24.814
1.084	24	4.163	4.341	30.413	29.764
1.146	20	3.847	4.024	26.447	25.806
1.185	22	4.012	4.190	28.432	27.787
1.255	24	4.163	4.341	30.413	29.764
1.374	29	4.492	4.669	35.352	34.693
1.461	29	4.492	4.669	35.352	34.693
1.508	15	3.347	3.524	21.471	20.837
1.532	18	3.664	3.841	24.459	23.821
1.62	17	3.564	3.742	23.463	22.828
1.643	16	3.459	3.636	22.467	21.833
1.669	19	3.757	3.935	25.453	24.814
1.698	30	4.551	4.728	36.338	35.677
1.772	22	4.012	4.190	28.432	27.787
1.809	20	3.847	4.024	26.447	25.806
1.852	17	3.564	3.742	23.463	22.828
1.895	15	3.347	3.524	21.471	20.837
1.917	23	4.089	4.267	29.423	28.776
1.953	19	3.757	3.935	25.453	24.814
1.979	16	3.459	3.636	22.467	21.833
2.015	18	3.664	3.841	24.459	23.821
2.062	15	3.347	3.524	21.471	20.837

2.083	19	3.757	3.935	25.453	24.814
2.114	22	4.012	4.190	28.432	27.787
2.167	15	3.347	3.524	21.471	20.837
2.212	16	3.459	3.636	22.467	21.833
2.265	16	3.459	3.636	22.467	21.833
2.324	19	3.757	3.935	25.453	24.814
2.36	17	3.564	3.742	23.463	22.828
2.384	23	4.089	4.267	29.423	28.776
2.505	27	4.368	4.545	33.379	32.724
2.543	19	3.757	3.935	25.453	24.814
2.707	19	3.757	3.935	25.453	24.814
2.929	20	3.847	4.024	26.447	25.806
3.073	36	4.868	5.045	42.241	41.571
3.122	17	3.564	3.742	23.463	22.828
3.242	19	3.757	3.935	25.453	24.814
3.265	17	3.564	3.742	23.463	22.828
3.293	17	3.564	3.742	23.463	22.828
3.589	17	3.564	3.742	23.463	22.828
3.639	16	3.459	3.636	22.467	21.833
3.686	18	3.664	3.841	24.459	23.821
3.771	24	4.163	4.341	30.413	29.764
3.843	17	3.564	3.742	23.463	22.828
3.877	16	3.459	3.636	22.467	21.833
3.954	16	3.459	3.636	22.467	21.833
4.006	18	3.664	3.841	24.459	23.821
4.14	20	3.847	4.024	26.447	25.806
4.249	25	4.234	4.412	31.403	30.751
4.292	18	3.664	3.841	24.459	23.821
4.331	16	3.459	3.636	22.467	21.833
4.378	34	4.768	4.946	40.275	39.608
4.428	18	3.664	3.841	24.459	23.821
4.518	22	4.012	4.190	28.432	27.787
4.572	33	4.716	4.894	39.291	38.626
4.615	19	3.757	3.935	25.453	24.814
4.664	19	3.757	3.935	25.453	24.814
4.751	16	3.459	3.636	22.467	21.833
4.881	18	3.664	3.841	24.459	23.821
5.181	19	3.757	3.935	25.453	24.814
5.325	26	4.302	4.480	32.391	31.738
5.36	19	3.757	3.935	25.453	24.814
5.627	16	3.459	3.636	22.467	21.833
6.091	183	7.692	7.870	189.373	189.425
6.607	15	3.347	3.524	21.471	20.837

6.67	22	4.012	4.190	28.432	27.787
6.733	15	3.347	3.524	21.471	20.837
6.768	19	3.757	3.935	25.453	24.814
7.01	16	3.459	3.636	22.467	21.833
7.064	16	3.459	3.636	22.467	21.833
7.128	19	3.757	3.935	25.453	24.814
7.211	22	4.012	4.190	28.432	27.787
7.243	17	3.564	3.742	23.463	22.828
7.292	15	3.347	3.524	21.471	20.837
7.746	18	3.664	3.841	24.459	23.821
7.831	17	3.564	3.742	23.463	22.828
7.953	15	3.347	3.524	21.471	20.837
8.059	23	4.089	4.267	29.423	28.776
8.25	20	3.847	4.024	26.447	25.806
8.368	18	3.664	3.841	24.459	23.821
8.643	17	3.564	3.742	23.463	22.828
8.721	16	3.459	3.636	22.467	21.833
8.877	15	3.347	3.524	21.471	20.837
9.209	18	3.664	3.841	24.459	23.821
9.262	17	3.564	3.742	23.463	22.828
9.339	19	3.757	3.935	25.453	24.814
9.464	17	3.564	3.742	23.463	22.828
9.497	19	3.757	3.935	25.453	24.814
9.564	15	3.347	3.524	21.471	20.837
9.615	15	3.347	3.524	21.471	20.837
9.679	15	3.347	3.524	21.471	20.837
9.771	18	3.664	3.841	24.459	23.821
9.959	17	3.564	3.742	23.463	22.828
10.047	17	3.564	3.742	23.463	22.828
10.076	21	3.931	4.109	27.440	26.797
10.11	15	3.347	3.524	21.471	20.837
10.444	28	4.431	4.609	34.366	33.709
10.479	15	3.347	3.524	21.471	20.837
10.512	16	3.459	3.636	22.467	21.833
10.718	17	3.564	3.742	23.463	22.828
10.899	24	4.163	4.341	30.413	29.764
10.952	15	3.347	3.524	21.471	20.837
10.996	19	3.757	3.935	25.453	24.814
11.051	16	3.459	3.636	22.467	21.833
11.144	19	3.757	3.935	25.453	24.814
11.231	16	3.459	3.636	22.467	21.833
11.463	20	3.847	4.024	26.447	25.806
11.488	20	3.847	4.024	26.447	25.806

11.521	16	3.459	3.636	22.467	21.833
11.612	18	3.664	3.841	24.459	23.821
11.646	19	3.757	3.935	25.453	24.814
11.92	16	3.459	3.636	22.467	21.833
12.284	18	3.664	3.841	24.459	23.821
12.6	16	3.459	3.636	22.467	21.833
12.806	15	3.347	3.524	21.471	20.837
13.409	19	3.757	3.935	25.453	24.814
13.69	22	4.012	4.190	28.432	27.787
13.819	15	3.347	3.524	21.471	20.837
14.09	17	3.564	3.742	23.463	22.828
14.283	21	3.931	4.109	27.440	26.797
14.373	19	3.757	3.935	25.453	24.814
14.898	16	3.459	3.636	22.467	21.833
14.935	19	3.757	3.935	25.453	24.814
14.963	27	4.368	4.545	33.379	32.724
14.994	16	3.459	3.636	22.467	21.833
15.079	20	3.847	4.024	26.447	25.806
16.99	15	3.347	3.524	21.471	20.837
17.218	17	3.564	3.742	23.463	22.828
17.402	15	3.347	3.524	21.471	20.837
17.435	24	4.163	4.341	30.413	29.764
17.922	15	3.347	3.524	21.471	20.837
18.378	15	3.347	3.524	21.471	20.837
18.666	15	3.347	3.524	21.471	20.837
19.665	17	3.564	3.742	23.463	22.828
19.789	17	3.564	3.742	23.463	22.828
19.825	18	3.664	3.841	24.459	23.821
19.859	16	3.459	3.636	22.467	21.833
20.067	21	3.931	4.109	27.440	26.797
20.318	16	3.459	3.636	22.467	21.833
20.461	16	3.459	3.636	22.467	21.833
21.479	16	3.459	3.636	22.467	21.833
21.807	16	3.459	3.636	22.467	21.833
21.898	25	4.234	4.412	31.403	30.751
21.938	18	3.664	3.841	24.459	23.821
22.006	18	3.664	3.841	24.459	23.821
22.091	16	3.459	3.636	22.467	21.833
22.243	17	3.564	3.742	23.463	22.828
22.539	17	3.564	3.742	23.463	22.828
22.685	16	3.459	3.636	22.467	21.833
22.808	16	3.459	3.636	22.467	21.833
22.91	23	4.089	4.267	29.423	28.776

23.681	21	3.931	4.109	27.440	26.797
23.723	30	4.551	4.728	36.338	35.677
24.026	18	3.664	3.841	24.459	23.821
24.243	18	3.664	3.841	24.459	23.821
25.347	22	4.012	4.190	28.432	27.787
25.534	19	3.757	3.935	25.453	24.814

LAMPIRAN G
PERHITUNGAN FREKUENSI NATURAL & $V_{R,onset}$ *CROSS*
FLOW

FREKUENSI NATURAL *CROSS FLOW*

KP Start	L_{eff} (m)	Gap (e) (m)	S_{eff} (N)	P_{cr} (N)	δ_{cross-flow} (m)	f_{n,CF} (Hz)
0.108	23.821	0.15	-1.5.E+06	4.3.E+06	4.2.E-02	1.666
0.206	20.837	0.1	-1.5.E+06	5.6.E+06	2.2.E-02	0.989
0.302	22.828	0.1	-1.5.E+06	4.7.E+06	3.4.E-02	0.796
0.419	20.837	0.1	-1.5.E+06	5.6.E+06	2.2.E-02	0.989
0.451	29.764	0.1	-1.5.E+06	2.7.E+06	1.5.E-01	0.435
0.501	29.764	0.1	-1.5.E+06	2.7.E+06	1.5.E-01	0.435
0.6	26.797	0.1	-1.5.E+06	3.4.E+06	7.9.E-02	0.539
0.634	27.787	0.15	-1.5.E+06	3.1.E+06	9.7.E-02	0.508
0.677	23.821	0.15	-1.5.E+06	4.3.E+06	4.2.E-02	0.735
0.769	24.814	0.1	-1.5.E+06	3.9.E+06	5.2.E-02	0.650
0.809	24.814	0.1	-1.5.E+06	3.9.E+06	5.2.E-02	0.650
0.916	27.787	0.1	-1.5.E+06	3.1.E+06	9.7.E-02	0.496
0.947	26.797	0.15	-1.5.E+06	3.4.E+06	7.9.E-02	0.552
0.986	22.828	0.1	-1.5.E+06	4.7.E+06	3.4.E-02	0.796
1.038	24.814	0.1	-1.5.E+06	3.9.E+06	5.2.E-02	0.650
1.084	29.764	0.15	-1.5.E+06	2.7.E+06	1.5.E-01	0.445
1.146	25.806	0.1	-1.5.E+06	3.6.E+06	6.4.E-02	0.591
1.185	27.787	0.1	-1.5.E+06	3.1.E+06	9.7.E-02	0.496
1.255	29.764	0.1	-1.5.E+06	2.7.E+06	1.5.E-01	0.435
1.374	34.693	0.1	-1.5.E+06	2.0.E+06	4.7.E-01	0.536
1.461	34.693	0.1	-1.5.E+06	2.0.E+06	4.7.E-01	0.536
1.508	20.837	0.1	-1.5.E+06	5.6.E+06	2.2.E-02	0.989
1.532	23.821	0.1	-1.5.E+06	4.3.E+06	4.2.E-02	0.718
1.62	22.828	0.1	-1.5.E+06	4.7.E+06	3.4.E-02	0.796
1.643	21.833	0.1	-1.5.E+06	5.1.E+06	2.7.E-02	0.886
1.669	24.814	0.1	-1.5.E+06	3.9.E+06	5.2.E-02	0.650
1.698	35.677	0.15	-1.5.E+06	1.9.E+06	6.3.E-01	0.661
1.772	27.787	0.1	-1.5.E+06	3.1.E+06	9.7.E-02	0.496
1.809	25.806	0.1	-1.5.E+06	3.6.E+06	6.4.E-02	0.591
1.852	22.828	0.1	-1.5.E+06	4.7.E+06	3.4.E-02	0.796
1.895	20.837	0.2	-1.5.E+06	5.6.E+06	2.2.E-02	1.030
1.917	28.776	0.2	-1.5.E+06	2.9.E+06	1.2.E-01	0.480
1.953	24.814	0.2	-1.5.E+06	3.9.E+06	5.2.E-02	0.677
1.979	21.833	0.2	-1.5.E+06	5.1.E+06	2.7.E-02	0.923
2.015	23.821	0.2	-1.5.E+06	4.3.E+06	4.2.E-02	0.748
2.062	20.837	0.2	-1.5.E+06	5.6.E+06	2.2.E-02	1.030
2.083	24.814	0.2	-1.5.E+06	3.9.E+06	5.2.E-02	0.677

2.114	27.787	0.2	-1.5.E+06	3.1.E+06	9.7.E-02	0.517
2.167	20.837	0.2	-1.5.E+06	5.6.E+06	2.2.E-02	1.030
2.212	21.833	0.2	-1.5.E+06	5.1.E+06	2.7.E-02	0.923
2.265	21.833	0.1	-1.5.E+06	5.1.E+06	2.7.E-02	0.886
2.324	24.814	0.2	-1.5.E+06	3.9.E+06	5.2.E-02	0.677
2.36	22.828	0.1	-1.5.E+06	4.7.E+06	3.4.E-02	0.796
2.384	28.776	0.2	-1.5.E+06	2.9.E+06	1.2.E-01	0.480
2.505	32.724	0.2	-1.5.E+06	2.3.E+06	2.8.E-01	0.450
2.543	24.814	0.1	-1.5.E+06	3.9.E+06	5.2.E-02	0.650
2.707	24.814	0.2	-1.5.E+06	3.9.E+06	5.2.E-02	0.677
2.929	25.806	0.3	-1.5.E+06	3.6.E+06	6.4.E-02	0.631
3.073	41.571	0.3	-1.5.E+06	1.4.E+06	4.4.E+00	3.442
3.122	22.828	0.2	-1.5.E+06	4.7.E+06	3.4.E-02	0.829
3.242	24.814	0.2	-1.5.E+06	3.9.E+06	5.2.E-02	0.677
3.265	22.828	0.2	-1.5.E+06	4.7.E+06	3.4.E-02	0.829
3.293	22.828	0.2	-1.5.E+06	4.7.E+06	3.4.E-02	0.829
3.589	22.828	0.2	-1.5.E+06	4.7.E+06	3.4.E-02	0.829
3.639	21.833	0.1	-1.5.E+06	5.1.E+06	2.7.E-02	0.886
3.686	23.821	0.2	-1.5.E+06	4.3.E+06	4.2.E-02	0.748
3.771	29.764	0.2	-1.5.E+06	2.7.E+06	1.5.E-01	0.453
3.843	22.828	0.2	-1.5.E+06	4.7.E+06	3.4.E-02	0.829
3.877	21.833	0.2	-1.5.E+06	5.1.E+06	2.7.E-02	0.923
3.954	21.833	0.2	-1.5.E+06	5.1.E+06	2.7.E-02	0.923
4.006	23.821	0.1	-1.5.E+06	4.3.E+06	4.2.E-02	0.718
4.14	25.806	0.3	-1.5.E+06	3.6.E+06	6.4.E-02	0.631
4.249	30.751	0.4	-1.5.E+06	2.6.E+06	1.8.E-01	0.475
4.292	23.821	0.2	-1.5.E+06	4.3.E+06	4.2.E-02	0.748
4.331	21.833	0.3	-1.5.E+06	5.1.E+06	2.7.E-02	0.947
4.378	39.608	0.4	-1.5.E+06	1.5.E+06	5.3.E+00	4.785
4.428	23.821	0.3	-1.5.E+06	4.3.E+06	4.2.E-02	0.768
4.518	27.787	0.2	-1.5.E+06	3.1.E+06	9.7.E-02	0.517
4.572	38.626	0.4	-1.5.E+06	1.6.E+06	2.2.E+00	2.091
4.615	24.814	0.2	-1.5.E+06	3.9.E+06	5.2.E-02	0.677
4.664	24.814	0.1	-1.5.E+06	3.9.E+06	5.2.E-02	0.650
4.751	21.833	0.1	-1.5.E+06	5.1.E+06	2.7.E-02	0.886
4.881	23.821	0.1	-1.5.E+06	4.3.E+06	4.2.E-02	0.718
5.181	24.814	0.1	-1.5.E+06	3.9.E+06	5.2.E-02	0.650
5.325	31.738	0.1	-1.5.E+06	2.4.E+06	2.3.E-01	0.417
5.36	24.814	0.2	-1.5.E+06	3.9.E+06	5.2.E-02	0.677
5.627	21.833	0.2	-1.5.E+06	5.1.E+06	2.7.E-02	0.923

6.091	189.425	0.2	-1.5.E+06	6.8.E+04	5.2.E+00	0.180
6.607	20.837	0.3	-1.5.E+06	5.6.E+06	2.2.E-02	1.057
6.67	27.787	0.1	-1.5.E+06	3.1.E+06	9.7.E-02	0.496
6.733	20.837	0.1	-1.5.E+06	5.6.E+06	2.2.E-02	0.989
6.768	24.814	0.2	-1.5.E+06	3.9.E+06	5.2.E-02	0.677
7.01	21.833	0.2	-1.5.E+06	5.1.E+06	2.7.E-02	0.923
7.064	21.833	0.1	-1.5.E+06	5.1.E+06	2.7.E-02	0.886
7.128	24.814	0.1	-1.5.E+06	3.9.E+06	5.2.E-02	0.650
7.211	27.787	0.1	-1.5.E+06	3.1.E+06	9.7.E-02	0.496
7.243	22.828	0.1	-1.5.E+06	4.7.E+06	3.4.E-02	0.796
7.292	20.837	0.2	-1.5.E+06	5.6.E+06	2.2.E-02	1.030
7.746	23.821	0.1	-1.5.E+06	4.3.E+06	4.2.E-02	0.718
7.831	22.828	0.1	-1.5.E+06	4.7.E+06	3.4.E-02	0.796
7.953	20.837	0.1	-1.5.E+06	5.6.E+06	2.2.E-02	0.989
8.059	28.776	0.15	-1.5.E+06	2.9.E+06	1.2.E-01	0.472
8.25	25.806	0.1	-1.5.E+06	3.6.E+06	6.4.E-02	0.591
8.368	23.821	0.1	-1.5.E+06	4.3.E+06	4.2.E-02	0.718
8.643	22.828	0.1	-1.5.E+06	4.7.E+06	3.4.E-02	0.796
8.721	21.833	0.1	-1.5.E+06	5.1.E+06	2.7.E-02	0.886
8.877	20.837	0.1	-1.5.E+06	5.6.E+06	2.2.E-02	0.989
9.209	23.821	0.1	-1.5.E+06	4.3.E+06	4.2.E-02	0.718
9.262	22.828	0.1	-1.5.E+06	4.7.E+06	3.4.E-02	0.796
9.339	24.814	0.1	-1.5.E+06	3.9.E+06	5.2.E-02	0.650
9.464	22.828	0.1	-1.5.E+06	4.7.E+06	3.4.E-02	0.796
9.497	24.814	0.1	-1.5.E+06	3.9.E+06	5.2.E-02	0.650
9.564	20.837	0.1	-1.5.E+06	5.6.E+06	2.2.E-02	0.989
9.615	20.837	0.1	-1.5.E+06	5.6.E+06	2.2.E-02	0.989
9.679	20.837	0.15	-1.5.E+06	5.6.E+06	2.2.E-02	1.012
9.771	23.821	0.1	-1.5.E+06	4.3.E+06	4.2.E-02	0.718
9.959	22.828	0.1	-1.5.E+06	4.7.E+06	3.4.E-02	0.796
10.047	22.828	0.1	-1.5.E+06	4.7.E+06	3.4.E-02	0.796
10.076	26.797	0.1	-1.5.E+06	3.4.E+06	7.9.E-02	0.539
10.11	20.837	0.1	-1.5.E+06	5.6.E+06	2.2.E-02	0.989
10.444	33.709	0.1	-1.5.E+06	2.1.E+06	3.6.E-01	0.469
10.479	20.837	0.1	-1.5.E+06	5.6.E+06	2.2.E-02	0.989
10.512	21.833	0.1	-1.5.E+06	5.1.E+06	2.7.E-02	0.886
10.718	22.828	0.1	-1.5.E+06	4.7.E+06	3.4.E-02	0.796
10.899	29.764	0.15	-1.5.E+06	2.7.E+06	1.5.E-01	0.445
10.952	20.837	0.1	-1.5.E+06	5.6.E+06	2.2.E-02	0.989
10.996	24.814	0.1	-1.5.E+06	3.9.E+06	5.2.E-02	0.650

11.051	21.833	0.1	-1.5.E+06	5.1.E+06	2.7.E-02	0.886
11.144	24.814	0.1	-1.5.E+06	3.9.E+06	5.2.E-02	0.650
11.231	21.833	0.1	-1.5.E+06	5.1.E+06	2.7.E-02	0.886
11.463	25.806	0.1	-1.5.E+06	3.6.E+06	6.4.E-02	0.591
11.488	25.806	0.1	-1.5.E+06	3.6.E+06	6.4.E-02	0.591
11.521	21.833	0.1	-1.5.E+06	5.1.E+06	2.7.E-02	0.886
11.612	23.821	0.1	-1.5.E+06	4.3.E+06	4.2.E-02	0.718
11.646	24.814	0.1	-1.5.E+06	3.9.E+06	5.2.E-02	0.650
11.92	21.833	0.4	-1.5.E+06	5.1.E+06	2.7.E-02	1.002
12.284	23.821	0.2	-1.5.E+06	4.3.E+06	4.2.E-02	0.748
12.6	21.833	0.1	-1.5.E+06	5.1.E+06	2.7.E-02	0.886
12.806	20.837	0.2	-1.5.E+06	5.6.E+06	2.2.E-02	1.030
13.409	24.814	0.2	-1.5.E+06	3.9.E+06	5.2.E-02	0.677
13.69	27.787	0.1	-1.5.E+06	3.1.E+06	9.7.E-02	0.496
13.819	20.837	0.2	-1.5.E+06	5.6.E+06	2.2.E-02	1.030
14.09	22.828	0.3	-1.5.E+06	4.7.E+06	3.4.E-02	0.851
14.283	26.797	0.2	-1.5.E+06	3.4.E+06	7.9.E-02	0.562
14.373	24.814	0.3	-1.5.E+06	3.9.E+06	5.2.E-02	0.695
14.898	21.833	0.3	-1.5.E+06	5.1.E+06	2.7.E-02	0.947
14.935	24.814	0.2	-1.5.E+06	3.9.E+06	5.2.E-02	0.677
14.963	32.724	0.2	-1.5.E+06	2.3.E+06	2.8.E-01	0.450
14.994	21.833	0.1	-1.5.E+06	5.1.E+06	2.7.E-02	0.886
15.079	25.806	0.2	-1.5.E+06	3.6.E+06	6.4.E-02	0.615
16.99	20.837	0.15	-1.5.E+06	5.6.E+06	2.2.E-02	1.012
17.218	22.828	0.1	-1.5.E+06	4.7.E+06	3.4.E-02	0.796
17.402	20.837	0.15	-1.5.E+06	5.6.E+06	2.2.E-02	1.012
17.435	29.764	0.1	-1.5.E+06	2.7.E+06	1.5.E-01	0.435
17.922	20.837	0.1	-1.5.E+06	5.6.E+06	2.2.E-02	0.989
18.378	20.837	0.1	-1.5.E+06	5.6.E+06	2.2.E-02	0.989
18.666	20.837	0.1	-1.5.E+06	5.6.E+06	2.2.E-02	0.989
19.665	22.828	0.1	-1.5.E+06	4.7.E+06	3.4.E-02	0.796
19.789	22.828	0.1	-1.5.E+06	4.7.E+06	3.4.E-02	0.796
19.825	23.821	0.1	-1.5.E+06	4.3.E+06	4.2.E-02	0.718
19.859	21.833	0.1	-1.5.E+06	5.1.E+06	2.7.E-02	0.886
20.067	26.797	0.15	-1.5.E+06	3.4.E+06	7.9.E-02	0.552
20.318	21.833	0.1	-1.5.E+06	5.1.E+06	2.7.E-02	0.886
20.461	21.833	0.1	-1.5.E+06	5.1.E+06	2.7.E-02	0.886
21.479	21.833	0.1	-1.5.E+06	5.1.E+06	2.7.E-02	0.886
21.807	21.833	0.2	-1.5.E+06	5.1.E+06	2.7.E-02	0.923
21.898	30.751	0.2	-1.5.E+06	2.6.E+06	1.8.E-01	0.437
21.938	23.821	0.2	-1.5.E+06	4.3.E+06	4.2.E-02	0.748

22.006	23.821	0.2	-1.5.E+06	4.3.E+06	4.2.E-02	0.748
22.091	21.833	0.2	-1.5.E+06	5.1.E+06	2.7.E-02	0.923
22.243	22.828	0.2	-1.5.E+06	4.7.E+06	3.4.E-02	0.829
22.539	22.828	0.3	-1.5.E+06	4.7.E+06	3.4.E-02	0.851
22.685	21.833	0.2	-1.5.E+06	5.1.E+06	2.7.E-02	0.923
22.808	21.833	0.2	-1.5.E+06	5.1.E+06	2.7.E-02	0.923
22.91	28.776	0.2	-1.5.E+06	2.9.E+06	1.2.E-01	0.480
23.681	26.797	0.4	-1.5.E+06	3.4.E+06	7.9.E-02	0.610
23.723	35.677	0.3	-1.5.E+06	1.9.E+06	6.3.E-01	0.691
24.026	23.821	0.2	-1.5.E+06	4.3.E+06	4.2.E-02	0.748
24.243	23.821	0.1	-1.5.E+06	4.3.E+06	4.2.E-02	0.718
25.347	27.787	0.3	-1.5.E+06	3.1.E+06	9.7.E-02	0.530
25.534	24.814	0.2	-1.5.E+06	3.9.E+06	5.2.E-02	0.677

PERHITUNGAN $V_{R,ONSET}$ *CROSS-FLOW*

KP Start	Span (m)	Gap (e) (m)	e/D	$\Psi_{\text{proxi,onset}}$	Ψ_{trench}	$V_{R,onset}$ CF (m/s)
0.108	23.821	0.15	0.320	0.880	1	2.200
0.206	20.837	0.1	0.213	0.853	1	2.133
0.302	22.828	0.1	0.213	0.853	1	2.133
0.419	20.837	0.1	0.213	0.853	1	2.133
0.451	29.764	0.1	0.213	0.853	1	2.133
0.501	29.764	0.1	0.213	0.853	1	2.133
0.6	26.797	0.1	0.213	0.853	1	2.133
0.634	27.787	0.15	0.320	0.880	1	2.200
0.677	23.821	0.15	0.320	0.880	1	2.200
0.769	24.814	0.1	0.213	0.853	1	2.133
0.809	24.814	0.1	0.213	0.853	1	2.133
0.916	27.787	0.1	0.213	0.853	1	2.133
0.947	26.797	0.15	0.320	0.880	1	2.200
0.986	22.828	0.1	0.213	0.853	1	2.133
1.038	24.814	0.1	0.213	0.853	1	2.133
1.084	29.764	0.15	0.320	0.880	1	2.200
1.146	25.806	0.1	0.213	0.853	1	2.133
1.185	27.787	0.1	0.213	0.853	1	2.133
1.255	29.764	0.1	0.213	0.853	1	2.133
1.374	34.693	0.1	0.213	0.853	1	2.133
1.461	34.693	0.1	0.213	0.853	1	2.133
1.508	20.837	0.1	0.213	0.853	1	2.133
1.532	23.821	0.1	0.213	0.853	1	2.133
1.62	22.828	0.1	0.213	0.853	1	2.133
1.643	21.833	0.1	0.213	0.853	1	2.133
1.669	24.814	0.1	0.213	0.853	1	2.133
1.698	35.677	0.15	0.320	0.880	1	2.200
1.772	27.787	0.1	0.213	0.853	1	2.133
1.809	25.806	0.1	0.213	0.853	1	2.133

1.852	22.828	0.1	0.213	0.853	1	2.133
1.895	20.837	0.2	0.426	0.907	1	2.266
1.917	28.776	0.2	0.426	0.907	1	2.266
1.953	24.814	0.2	0.426	0.907	1	2.266
1.979	21.833	0.2	0.426	0.907	1	2.266
2.015	23.821	0.2	0.426	0.907	1	2.266
2.062	20.837	0.2	0.426	0.907	1	2.266
2.083	24.814	0.2	0.426	0.907	1	2.266
2.114	27.787	0.2	0.426	0.907	1	2.266
2.167	20.837	0.2	0.426	0.907	1	2.266
2.212	21.833	0.2	0.426	0.907	1	2.266
2.265	21.833	0.1	0.213	0.853	1	2.133
2.324	24.814	0.2	0.426	0.907	1	2.266
2.36	22.828	0.1	0.213	0.853	1	2.133
2.384	28.776	0.2	0.426	0.907	1	2.266
2.505	32.724	0.2	0.426	0.907	1	2.266
2.543	24.814	0.1	0.213	0.853	1	2.133
2.707	24.814	0.2	0.426	0.907	1	2.266
2.929	25.806	0.3	0.639	0.960	1	2.400
3.073	41.571	0.3	0.639	0.960	1	2.400
3.122	22.828	0.2	0.426	0.907	1	2.266
3.242	24.814	0.2	0.426	0.907	1	2.266
3.265	22.828	0.2	0.426	0.907	1	2.266
3.293	22.828	0.2	0.426	0.907	1	2.266
3.589	22.828	0.2	0.426	0.907	1	2.266
3.639	21.833	0.1	0.213	0.853	1	2.133
3.686	23.821	0.2	0.426	0.907	1	2.266
3.771	29.764	0.2	0.426	0.907	1	2.266
3.843	22.828	0.2	0.426	0.907	1	2.266
3.877	21.833	0.2	0.426	0.907	1	2.266
3.954	21.833	0.2	0.426	0.907	1	2.266
4.006	23.821	0.1	0.213	0.853	1	2.133
4.14	25.806	0.3	0.639	0.960	1	2.400
4.249	30.751	0.4	0.853	1.000	1	2.500
4.292	23.821	0.2	0.426	0.907	1	2.266
4.331	21.833	0.3	0.639	0.960	1	2.400
4.378	39.608	0.4	0.853	1.000	1	2.500
4.428	23.821	0.3	0.639	0.960	1	2.400
4.518	27.787	0.2	0.426	0.907	1	2.266
4.572	38.626	0.4	0.853	1.000	1	2.500

4.615	24.814	0.2	0.426	0.907	1	2.266
4.664	24.814	0.1	0.213	0.853	1	2.133
4.751	21.833	0.1	0.213	0.853	1	2.133
4.881	23.821	0.1	0.213	0.853	1	2.133
5.181	24.814	0.1	0.213	0.853	1	2.133
5.325	31.738	0.1	0.213	0.853	1	2.133
5.36	24.814	0.2	0.426	0.907	1	2.266
5.627	21.833	0.2	0.426	0.907	1	2.266
6.091	189.425	0.2	0.426	0.907	1	2.266
6.607	20.837	0.3	0.639	0.960	1	2.400
6.67	27.787	0.1	0.213	0.853	1	2.133
6.733	20.837	0.1	0.213	0.853	1	2.133
6.768	24.814	0.2	0.426	0.907	1	2.266
7.01	21.833	0.2	0.426	0.907	1	2.266
7.064	21.833	0.1	0.213	0.853	1	2.133
7.128	24.814	0.1	0.213	0.853	1	2.133
7.211	27.787	0.1	0.213	0.853	1	2.133
7.243	22.828	0.1	0.213	0.853	1	2.133
7.292	20.837	0.2	0.426	0.907	1	2.266
7.746	23.821	0.1	0.213	0.853	1	2.133
7.831	22.828	0.1	0.213	0.853	1	2.133
7.953	20.837	0.1	0.213	0.853	1	2.133
8.059	28.776	0.15	0.320	0.880	1	2.200
8.25	25.806	0.1	0.213	0.853	1	2.133
8.368	23.821	0.1	0.213	0.853	1	2.133
8.643	22.828	0.1	0.213	0.853	1	2.133
8.721	21.833	0.1	0.213	0.853	1	2.133
8.877	20.837	0.1	0.213	0.853	1	2.133
9.209	23.821	0.1	0.213	0.853	1	2.133
9.262	22.828	0.1	0.213	0.853	1	2.133
9.339	24.814	0.1	0.213	0.853	1	2.133
9.464	22.828	0.1	0.213	0.853	1	2.133
9.497	24.814	0.1	0.213	0.853	1	2.133
9.564	20.837	0.1	0.213	0.853	1	2.133
9.615	20.837	0.1	0.213	0.853	1	2.133
9.679	20.837	0.15	0.320	0.880	1	2.200
9.771	23.821	0.1	0.213	0.853	1	2.133
9.959	22.828	0.1	0.213	0.853	1	2.133
10.047	22.828	0.1	0.213	0.853	1	2.133
10.076	26.797	0.1	0.213	0.853	1	2.133

10.11	20.837	0.1	0.213	0.853	1	2.133
10.444	33.709	0.1	0.213	0.853	1	2.133
10.479	20.837	0.1	0.213	0.853	1	2.133
10.512	21.833	0.1	0.213	0.853	1	2.133
10.718	22.828	0.1	0.213	0.853	1	2.133
10.899	29.764	0.15	0.320	0.880	1	2.200
10.952	20.837	0.1	0.213	0.853	1	2.133
10.996	24.814	0.1	0.213	0.853	1	2.133
11.051	21.833	0.1	0.213	0.853	1	2.133
11.144	24.814	0.1	0.213	0.853	1	2.133
11.231	21.833	0.1	0.213	0.853	1	2.133
11.463	25.806	0.1	0.213	0.853	1	2.133
11.488	25.806	0.1	0.213	0.853	1	2.133
11.521	21.833	0.1	0.213	0.853	1	2.133
11.612	23.821	0.1	0.213	0.853	1	2.133
11.646	24.814	0.1	0.213	0.853	1	2.133
11.92	21.833	0.4	0.853	1.000	1	2.500
12.284	23.821	0.2	0.426	0.907	1	2.266
12.6	21.833	0.1	0.213	0.853	1	2.133
12.806	20.837	0.2	0.426	0.907	1	2.266
13.409	24.814	0.2	0.426	0.907	1	2.266
13.69	27.787	0.1	0.213	0.853	1	2.133
13.819	20.837	0.2	0.426	0.907	1	2.266
14.09	22.828	0.3	0.639	0.960	1	2.400
14.283	26.797	0.2	0.426	0.907	1	2.266
14.373	24.814	0.3	0.639	0.960	1	2.400
14.898	21.833	0.3	0.639	0.960	1	2.400
14.935	24.814	0.2	0.426	0.907	1	2.266
14.963	32.724	0.2	0.426	0.907	1	2.266
14.994	21.833	0.1	0.213	0.853	1	2.133
15.079	25.806	0.2	0.426	0.907	1	2.266
16.99	20.837	0.15	0.320	0.880	1	2.200
17.218	22.828	0.1	0.213	0.853	1	2.133
17.402	20.837	0.15	0.320	0.880	1	2.200
17.435	29.764	0.1	0.213	0.853	1	2.133
17.922	20.837	0.1	0.213	0.853	1	2.133
18.378	20.837	0.1	0.213	0.853	1	2.133
18.666	20.837	0.1	0.213	0.853	1	2.133
19.665	22.828	0.1	0.213	0.853	1	2.133
19.789	22.828	0.1	0.213	0.853	1	2.133

19.825	23.821	0.1	0.213	0.853	1	2.133
19.859	21.833	0.1	0.213	0.853	1	2.133
20.067	26.797	0.15	0.320	0.880	1	2.200
20.318	21.833	0.1	0.213	0.853	1	2.133
20.461	21.833	0.1	0.213	0.853	1	2.133
21.479	21.833	0.1	0.213	0.853	1	2.133
21.807	21.833	0.2	0.426	0.907	1	2.266
21.898	30.751	0.2	0.426	0.907	1	2.266
21.938	23.821	0.2	0.426	0.907	1	2.266
22.006	23.821	0.2	0.426	0.907	1	2.266
22.091	21.833	0.2	0.426	0.907	1	2.266
22.243	22.828	0.2	0.426	0.907	1	2.266
22.539	22.828	0.3	0.639	0.960	1	2.400
22.685	21.833	0.2	0.426	0.907	1	2.266
22.808	21.833	0.2	0.426	0.907	1	2.266
22.91	28.776	0.2	0.426	0.907	1	2.266
23.681	26.797	0.4	0.853	1.000	1	2.500
23.723	35.677	0.3	0.639	0.960	1	2.400
24.026	23.821	0.2	0.426	0.907	1	2.266
24.243	23.821	0.1	0.213	0.853	1	2.133
25.347	27.787	0.3	0.639	0.960	1	2.400
25.534	24.814	0.2	0.426	0.907	1	2.266

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN H
PERHITUNGAN FREKUENSI NATURAL DAN $V_{R,onset}$ *IN-LINE*

FREKUENSI NATURAL *IN-LINE*

KP Start	Span (m)	Gap (e) (m)	S_{eff} (N)	P_{cr} (N)	δ_{in-line} (m)	f_{n,IL} (Hz)
0.108	24.459	0.15	-1.5.E+06	4.1.E+06	5.1.E-03	1.545
0.206	21.471	0.1	-1.5.E+06	5.3.E+06	3.1.E-03	2.085
0.302	23.463	0.1	-1.5.E+06	4.4.E+06	4.8.E-03	1.678
0.419	21.471	0.1	-1.5.E+06	5.3.E+06	3.1.E-03	2.085
0.451	30.413	0.1	-1.5.E+06	2.6.E+06	2.1.E-02	0.810
0.501	30.413	0.1	-1.5.E+06	2.6.E+06	2.1.E-02	0.810
0.6	27.440	0.1	-1.5.E+06	3.2.E+06	1.1.E-02	1.107
0.634	28.432	0.15	-1.5.E+06	3.0.E+06	1.2.E-02	1.021
0.677	24.459	0.15	-1.5.E+06	4.1.E+06	5.1.E-03	1.545
0.769	25.453	0.1	-1.5.E+06	3.7.E+06	7.3.E-03	1.360
0.809	25.453	0.1	-1.5.E+06	3.7.E+06	7.3.E-03	1.360
0.916	28.432	0.1	-1.5.E+06	3.0.E+06	1.4.E-02	0.999
0.947	27.440	0.15	-1.5.E+06	3.2.E+06	9.4.E-03	1.132
0.986	23.463	0.1	-1.5.E+06	4.4.E+06	4.8.E-03	1.678
1.038	25.453	0.1	-1.5.E+06	3.7.E+06	7.3.E-03	1.360
1.084	30.413	0.15	-1.5.E+06	2.6.E+06	1.8.E-02	0.828
1.146	26.447	0.1	-1.5.E+06	3.5.E+06	9.0.E-03	1.227
1.185	28.432	0.1	-1.5.E+06	3.0.E+06	1.4.E-02	0.999
1.255	30.413	0.1	-1.5.E+06	2.6.E+06	2.1.E-02	0.810
1.374	35.352	0.1	-1.5.E+06	1.9.E+06	7.0.E-02	0.468
1.461	35.352	0.1	-1.5.E+06	1.9.E+06	7.0.E-02	0.468
1.508	21.471	0.1	-1.5.E+06	5.3.E+06	3.1.E-03	2.085
1.532	24.459	0.1	-1.5.E+06	4.1.E+06	6.0.E-03	1.510
1.62	23.463	0.1	-1.5.E+06	4.4.E+06	4.8.E-03	1.678
1.643	22.467	0.1	-1.5.E+06	4.8.E+06	3.9.E-03	1.868
1.669	25.453	0.1	-1.5.E+06	3.7.E+06	7.3.E-03	1.360
1.698	36.338	0.15	-1.5.E+06	1.8.E+06	8.2.E-02	0.425
1.772	28.432	0.1	-1.5.E+06	3.0.E+06	1.4.E-02	0.999
1.809	26.447	0.1	-1.5.E+06	3.5.E+06	9.0.E-03	1.227
1.852	23.463	0.1	-1.5.E+06	4.4.E+06	4.8.E-03	1.678
1.895	21.471	0.2	-1.5.E+06	5.3.E+06	2.3.E-03	2.171
1.917	29.423	0.2	-1.5.E+06	2.8.E+06	1.3.E-02	0.937
1.953	25.453	0.2	-1.5.E+06	3.7.E+06	5.5.E-03	1.417
1.979	22.467	0.2	-1.5.E+06	4.8.E+06	2.9.E-03	1.945
2.015	24.459	0.2	-1.5.E+06	4.1.E+06	4.5.E-03	1.572

2.062	21.471	0.2	-1.5.E+06	5.3.E+06	2.3.E-03	2.171
2.083	25.453	0.2	-1.5.E+06	3.7.E+06	5.5.E-03	1.417
2.114	28.432	0.2	-1.5.E+06	3.0.E+06	1.0.E-02	1.039
2.167	21.471	0.2	-1.5.E+06	5.3.E+06	2.3.E-03	2.171
2.212	22.467	0.2	-1.5.E+06	4.8.E+06	2.9.E-03	1.945
2.265	22.467	0.1	-1.5.E+06	4.8.E+06	3.9.E-03	1.868
2.324	25.453	0.2	-1.5.E+06	3.7.E+06	5.5.E-03	1.417
2.36	23.463	0.1	-1.5.E+06	4.4.E+06	4.8.E-03	1.678
2.384	29.423	0.2	-1.5.E+06	2.8.E+06	1.3.E-02	0.937
2.505	33.379	0.2	-1.5.E+06	2.2.E+06	3.1.E-02	0.604
2.543	25.453	0.1	-1.5.E+06	3.7.E+06	7.3.E-03	1.360
2.707	25.453	0.2	-1.5.E+06	3.7.E+06	5.5.E-03	1.417
2.929	26.447	0.3	-1.5.E+06	3.5.E+06	5.7.E-03	1.311
3.073	42.241	0.3	-1.5.E+06	1.4.E+06	-2.3.E-01	0.335
3.122	23.463	0.2	-1.5.E+06	4.4.E+06	3.6.E-03	1.747
3.242	25.453	0.2	-1.5.E+06	3.7.E+06	5.5.E-03	1.417
3.265	23.463	0.2	-1.5.E+06	4.4.E+06	3.6.E-03	1.747
3.293	23.463	0.2	-1.5.E+06	4.4.E+06	3.6.E-03	1.747
3.589	23.463	0.2	-1.5.E+06	4.4.E+06	3.6.E-03	1.747
3.639	22.467	0.1	-1.5.E+06	4.8.E+06	3.9.E-03	1.868
3.686	24.459	0.2	-1.5.E+06	4.1.E+06	4.5.E-03	1.572
3.771	30.413	0.2	-1.5.E+06	2.6.E+06	1.6.E-02	0.843
3.843	23.463	0.2	-1.5.E+06	4.4.E+06	3.6.E-03	1.747
3.877	22.467	0.2	-1.5.E+06	4.8.E+06	2.9.E-03	1.945
3.954	22.467	0.2	-1.5.E+06	4.8.E+06	2.9.E-03	1.945
4.006	24.459	0.1	-1.5.E+06	4.1.E+06	6.0.E-03	1.510
4.14	26.447	0.3	-1.5.E+06	3.5.E+06	5.7.E-03	1.311
4.249	31.403	0.4	-1.5.E+06	2.5.E+06	7.8.E-03	0.820
4.292	24.459	0.2	-1.5.E+06	4.1.E+06	4.5.E-03	1.572
4.331	22.467	0.3	-1.5.E+06	4.8.E+06	2.5.E-03	1.997
4.378	40.275	0.4	-1.5.E+06	1.5.E+06	1.2.E+00	2.291
4.428	24.459	0.3	-1.5.E+06	4.1.E+06	3.8.E-03	1.614
4.518	28.432	0.2	-1.5.E+06	3.0.E+06	1.0.E-02	1.039
4.572	39.291	0.4	-1.5.E+06	1.6.E+06	1.4.E-01	0.347
4.615	25.453	0.2	-1.5.E+06	3.7.E+06	5.5.E-03	1.417
4.664	25.453	0.1	-1.5.E+06	3.7.E+06	7.3.E-03	1.360
4.751	22.467	0.1	-1.5.E+06	4.8.E+06	3.9.E-03	1.868
4.881	24.459	0.1	-1.5.E+06	4.1.E+06	6.0.E-03	1.510
5.181	25.453	0.1	-1.5.E+06	3.7.E+06	7.3.E-03	1.360
5.325	32.391	0.1	-1.5.E+06	2.3.E+06	3.2.E-02	0.653

5.36	25.453	0.2	-1.5.E+06	3.7.E+06	5.5.E-03	1.417
5.627	22.467	0.2	-1.5.E+06	4.8.E+06	2.9.E-03	1.945
6.091	189.373	0.2	-1.5.E+06	6.8.E+04	-4.9.E-01	#NUM!
6.607	21.471	0.3	-1.5.E+06	5.3.E+06	2.0.E-03	2.228
6.67	28.432	0.1	-1.5.E+06	3.0.E+06	1.4.E-02	0.999
6.733	21.471	0.1	-1.5.E+06	5.3.E+06	3.1.E-03	2.085
6.768	25.453	0.2	-1.5.E+06	3.7.E+06	5.5.E-03	1.417
7.01	22.467	0.2	-1.5.E+06	4.8.E+06	2.9.E-03	1.945
7.064	22.467	0.1	-1.5.E+06	4.8.E+06	3.9.E-03	1.868
7.128	25.453	0.1	-1.5.E+06	3.7.E+06	7.3.E-03	1.360
7.211	28.432	0.1	-1.5.E+06	3.0.E+06	1.4.E-02	0.999
7.243	23.463	0.1	-1.5.E+06	4.4.E+06	4.8.E-03	1.678
7.292	21.471	0.2	-1.5.E+06	5.3.E+06	2.3.E-03	2.171
7.746	24.459	0.1	-1.5.E+06	4.1.E+06	6.0.E-03	1.510
7.831	23.463	0.1	-1.5.E+06	4.4.E+06	4.8.E-03	1.678
7.953	21.471	0.1	-1.5.E+06	5.3.E+06	3.1.E-03	2.085
8.059	29.423	0.15	-1.5.E+06	2.8.E+06	1.4.E-02	0.920
8.25	26.447	0.1	-1.5.E+06	3.5.E+06	9.0.E-03	1.227
8.368	24.459	0.1	-1.5.E+06	4.1.E+06	6.0.E-03	1.510
8.643	23.463	0.1	-1.5.E+06	4.4.E+06	4.8.E-03	1.678
8.721	22.467	0.1	-1.5.E+06	4.8.E+06	3.9.E-03	1.868
8.877	21.471	0.1	-1.5.E+06	5.3.E+06	3.1.E-03	2.085
9.209	24.459	0.1	-1.5.E+06	4.1.E+06	6.0.E-03	1.510
9.262	23.463	0.1	-1.5.E+06	4.4.E+06	4.8.E-03	1.678
9.339	25.453	0.1	-1.5.E+06	3.7.E+06	7.3.E-03	1.360
9.464	23.463	0.1	-1.5.E+06	4.4.E+06	4.8.E-03	1.678
9.497	25.453	0.1	-1.5.E+06	3.7.E+06	7.3.E-03	1.360
9.564	21.471	0.1	-1.5.E+06	5.3.E+06	3.1.E-03	2.085
9.615	21.471	0.1	-1.5.E+06	5.3.E+06	3.1.E-03	2.085
9.679	21.471	0.15	-1.5.E+06	5.3.E+06	2.7.E-03	2.133
9.771	24.459	0.1	-1.5.E+06	4.1.E+06	6.0.E-03	1.510
9.959	23.463	0.1	-1.5.E+06	4.4.E+06	4.8.E-03	1.678
10.047	23.463	0.1	-1.5.E+06	4.4.E+06	4.8.E-03	1.678
10.076	27.440	0.1	-1.5.E+06	3.2.E+06	1.1.E-02	1.107
10.11	21.471	0.1	-1.5.E+06	5.3.E+06	3.1.E-03	2.085
10.444	34.366	0.1	-1.5.E+06	2.1.E+06	5.3.E-02	0.522
10.479	21.471	0.1	-1.5.E+06	5.3.E+06	3.1.E-03	2.085
10.512	22.467	0.1	-1.5.E+06	4.8.E+06	3.9.E-03	1.868
10.718	23.463	0.1	-1.5.E+06	4.4.E+06	4.8.E-03	1.678
10.899	30.413	0.15	-1.5.E+06	2.6.E+06	1.8.E-02	0.828

10.952	21.471	0.1	-1.5.E+06	5.3.E+06	3.1.E-03	2.085
10.996	25.453	0.1	-1.5.E+06	3.7.E+06	7.3.E-03	1.360
11.051	22.467	0.1	-1.5.E+06	4.8.E+06	3.9.E-03	1.868
11.144	25.453	0.1	-1.5.E+06	3.7.E+06	7.3.E-03	1.360
11.231	22.467	0.1	-1.5.E+06	4.8.E+06	3.9.E-03	1.868
11.463	26.447	0.1	-1.5.E+06	3.5.E+06	9.0.E-03	1.227
11.488	26.447	0.1	-1.5.E+06	3.5.E+06	9.0.E-03	1.227
11.521	22.467	0.1	-1.5.E+06	4.8.E+06	3.9.E-03	1.868
11.612	24.459	0.1	-1.5.E+06	4.1.E+06	6.0.E-03	1.510
11.646	25.453	0.1	-1.5.E+06	3.7.E+06	7.3.E-03	1.360
11.92	22.467	0.4	-1.5.E+06	4.8.E+06	1.2.E-03	2.113
12.284	24.459	0.2	-1.5.E+06	4.1.E+06	4.5.E-03	1.572
12.6	22.467	0.1	-1.5.E+06	4.8.E+06	3.9.E-03	1.868
12.806	21.471	0.2	-1.5.E+06	5.3.E+06	2.3.E-03	2.171
13.409	25.453	0.2	-1.5.E+06	3.7.E+06	5.5.E-03	1.417
13.69	28.432	0.1	-1.5.E+06	3.0.E+06	1.4.E-02	0.999
13.819	21.471	0.2	-1.5.E+06	5.3.E+06	2.3.E-03	2.171
14.09	23.463	0.3	-1.5.E+06	4.4.E+06	3.0.E-03	1.793
14.283	27.440	0.2	-1.5.E+06	3.2.E+06	8.3.E-03	1.152
14.373	25.453	0.3	-1.5.E+06	3.7.E+06	4.6.E-03	1.454
14.898	22.467	0.3	-1.5.E+06	4.8.E+06	2.5.E-03	1.997
14.935	25.453	0.2	-1.5.E+06	3.7.E+06	5.5.E-03	1.417
14.963	33.379	0.2	-1.5.E+06	2.2.E+06	3.1.E-02	0.604
14.994	22.467	0.1	-1.5.E+06	4.8.E+06	3.9.E-03	1.868
15.079	26.447	0.2	-1.5.E+06	3.5.E+06	6.8.E-03	1.278
16.99	21.471	0.15	-1.5.E+06	5.3.E+06	2.7.E-03	2.133
17.218	23.463	0.1	-1.5.E+06	4.4.E+06	4.8.E-03	1.678
17.402	21.471	0.15	-1.5.E+06	5.3.E+06	2.7.E-03	2.133
17.435	30.413	0.1	-1.5.E+06	2.6.E+06	2.1.E-02	0.810
17.922	21.471	0.1	-1.5.E+06	5.3.E+06	3.1.E-03	2.085
18.378	21.471	0.1	-1.5.E+06	5.3.E+06	3.1.E-03	2.085
18.666	21.471	0.1	-1.5.E+06	5.3.E+06	3.1.E-03	2.085
19.665	23.463	0.1	-1.5.E+06	4.4.E+06	4.8.E-03	1.678
19.789	23.463	0.1	-1.5.E+06	4.4.E+06	4.8.E-03	1.678
19.825	24.459	0.1	-1.5.E+06	4.1.E+06	6.0.E-03	1.510
19.859	22.467	0.1	-1.5.E+06	4.8.E+06	3.9.E-03	1.868
20.067	27.440	0.15	-1.5.E+06	3.2.E+06	9.4.E-03	1.132
20.318	22.467	0.1	-1.5.E+06	4.8.E+06	3.9.E-03	1.868
20.461	22.467	0.1	-1.5.E+06	4.8.E+06	3.9.E-03	1.868
21.479	22.467	0.1	-1.5.E+06	4.8.E+06	3.9.E-03	1.868
21.807	22.467	0.2	-1.5.E+06	4.8.E+06	2.9.E-03	1.945

21.898	31.403	0.2	-1.5.E+06	2.5.E+06	1.9.E-02	0.757
21.938	24.459	0.2	-1.5.E+06	4.1.E+06	4.5.E-03	1.572
22.006	24.459	0.2	-1.5.E+06	4.1.E+06	4.5.E-03	1.572
22.091	22.467	0.2	-1.5.E+06	4.8.E+06	2.9.E-03	1.945
22.243	23.463	0.2	-1.5.E+06	4.4.E+06	3.6.E-03	1.747
22.539	23.463	0.3	-1.5.E+06	4.4.E+06	3.0.E-03	1.793
22.685	22.467	0.2	-1.5.E+06	4.8.E+06	2.9.E-03	1.945
22.808	22.467	0.2	-1.5.E+06	4.8.E+06	2.9.E-03	1.945
22.91	29.423	0.2	-1.5.E+06	2.8.E+06	1.3.E-02	0.937
23.681	27.440	0.4	-1.5.E+06	3.2.E+06	3.3.E-03	1.251
23.723	36.338	0.3	-1.5.E+06	1.8.E+06	6.0.E-02	0.426
24.026	24.459	0.2	-1.5.E+06	4.1.E+06	4.5.E-03	1.572
24.243	24.459	0.1	-1.5.E+06	4.1.E+06	6.0.E-03	1.510
25.347	28.432	0.3	-1.5.E+06	3.0.E+06	8.6.E-03	1.067
25.534	25.453	0.2	-1.5.E+06	3.7.E+06	5.5.E-03	1.417

PERHITUNGAN $V_{R,ONSET}$ *IN-LINE*

KP Start	Span (m)	Gap (e) (m)	Ksd	$V_{R, onset}$ IL (m/s)
0.108	24.459	0.15	0.421	0.928
0.206	21.471	0.1	0.440	0.946
0.302	23.463	0.1	0.440	0.946
0.419	21.471	0.1	0.440	0.946
0.451	30.413	0.1	0.440	0.946
0.501	30.413	0.1	0.440	0.946
0.6	27.440	0.1	0.440	0.946
0.634	28.432	0.15	0.421	0.928
0.677	24.459	0.15	0.421	0.928
0.769	25.453	0.1	0.440	0.946
0.809	25.453	0.1	0.440	0.946
0.916	28.432	0.1	0.440	0.946
0.947	27.440	0.15	0.421	0.928
0.986	23.463	0.1	0.440	0.946
1.038	25.453	0.1	0.440	0.946
1.084	30.413	0.15	0.421	0.928
1.146	26.447	0.1	0.440	0.946
1.185	28.432	0.1	0.440	0.946
1.255	30.413	0.1	0.440	0.946
1.374	35.352	0.1	0.440	0.946

1.461	35.352	0.1	0.440	0.946
1.508	21.471	0.1	0.440	0.946
1.532	24.459	0.1	0.440	0.946
1.62	23.463	0.1	0.440	0.946
1.643	22.467	0.1	0.440	0.946
1.669	25.453	0.1	0.440	0.946
1.698	36.338	0.15	0.421	0.928
1.772	28.432	0.1	0.440	0.946
1.809	26.447	0.1	0.440	0.946
1.852	23.463	0.1	0.440	0.946
1.895	21.471	0.2	0.406	0.915
1.917	29.423	0.2	0.406	0.915
1.953	25.453	0.2	0.406	0.915
1.979	22.467	0.2	0.406	0.915
2.015	24.459	0.2	0.406	0.915
2.062	21.471	0.2	0.406	0.915
2.083	25.453	0.2	0.406	0.915
2.114	28.432	0.2	0.406	0.915
2.167	21.471	0.2	0.406	0.915
2.212	22.467	0.2	0.406	0.915
2.265	22.467	0.1	0.440	0.946
2.324	25.453	0.2	0.406	0.915
2.36	23.463	0.1	0.440	0.946
2.384	29.423	0.2	0.406	0.915
2.505	33.379	0.2	0.406	0.915
2.543	25.453	0.1	0.440	0.946
2.707	25.453	0.2	0.406	0.915
2.929	26.447	0.3	0.385	0.909
3.073	42.241	0.3	0.385	0.909
3.122	23.463	0.2	0.406	0.915
3.242	25.453	0.2	0.406	0.915
3.265	23.463	0.2	0.406	0.915
3.293	23.463	0.2	0.406	0.915
3.589	23.463	0.2	0.406	0.915
3.639	22.467	0.1	0.440	0.946
3.686	24.459	0.2	0.406	0.915
3.771	30.413	0.2	0.406	0.915
3.843	23.463	0.2	0.406	0.915
3.877	22.467	0.2	0.406	0.915
3.954	22.467	0.2	0.406	0.915

4.006	24.459	0.1	0.440	0.946
4.14	26.447	0.3	0.385	0.909
4.249	31.403	0.4	0.344	0.909
4.292	24.459	0.2	0.406	0.915
4.331	22.467	0.3	0.385	0.909
4.378	40.275	0.4	0.344	0.909
4.428	24.459	0.3	0.385	0.909
4.518	28.432	0.2	0.406	0.915
4.572	39.291	0.4	0.344	0.909
4.615	25.453	0.2	0.406	0.915
4.664	25.453	0.1	0.440	0.946
4.751	22.467	0.1	0.440	0.946
4.881	24.459	0.1	0.440	0.946
5.181	25.453	0.1	0.440	0.946
5.325	32.391	0.1	0.440	0.946
5.36	25.453	0.2	0.406	0.915
5.627	22.467	0.2	0.406	0.915
6.091	189.373	0.2	0.406	0.915
6.607	21.471	0.3	0.385	0.909
6.67	28.432	0.1	0.440	0.946
6.733	21.471	0.1	0.440	0.946
6.768	25.453	0.2	0.406	0.915
7.01	22.467	0.2	0.406	0.915
7.064	22.467	0.1	0.440	0.946
7.128	25.453	0.1	0.440	0.946
7.211	28.432	0.1	0.440	0.946
7.243	23.463	0.1	0.440	0.946
7.292	21.471	0.2	0.406	0.915
7.746	24.459	0.1	0.440	0.946
7.831	23.463	0.1	0.440	0.946
7.953	21.471	0.1	0.440	0.946
8.059	29.423	0.15	0.421	0.928
8.25	26.447	0.1	0.440	0.946
8.368	24.459	0.1	0.440	0.946
8.643	23.463	0.1	0.440	0.946
8.721	22.467	0.1	0.440	0.946
8.877	21.471	0.1	0.440	0.946
9.209	24.459	0.1	0.440	0.946
9.262	23.463	0.1	0.440	0.946
9.339	25.453	0.1	0.440	0.946

9.464	23.463	0.1	0.440	0.946
9.497	25.453	0.1	0.440	0.946
9.564	21.471	0.1	0.440	0.946
9.615	21.471	0.1	0.440	0.946
9.679	21.471	0.15	0.421	0.928
9.771	24.459	0.1	0.440	0.946
9.959	23.463	0.1	0.440	0.946
10.047	23.463	0.1	0.440	0.946
10.076	27.440	0.1	0.440	0.946
10.11	21.471	0.1	0.440	0.946
10.444	34.366	0.1	0.440	0.946
10.479	21.471	0.1	0.440	0.946
10.512	22.467	0.1	0.440	0.946
10.718	23.463	0.1	0.440	0.946
10.899	30.413	0.15	0.421	0.928
10.952	21.471	0.1	0.440	0.946
10.996	25.453	0.1	0.440	0.946
11.051	22.467	0.1	0.440	0.946
11.144	25.453	0.1	0.440	0.946
11.231	22.467	0.1	0.440	0.946
11.463	26.447	0.1	0.440	0.946
11.488	26.447	0.1	0.440	0.946
11.521	22.467	0.1	0.440	0.946
11.612	24.459	0.1	0.440	0.946
11.646	25.453	0.1	0.440	0.946
11.92	22.467	0.4	0.344	0.909
12.284	24.459	0.2	0.406	0.915
12.6	22.467	0.1	0.440	0.946
12.806	21.471	0.2	0.406	0.915
13.409	25.453	0.2	0.406	0.915
13.69	28.432	0.1	0.440	0.946
13.819	21.471	0.2	0.406	0.915
14.09	23.463	0.3	0.385	0.909
14.283	27.440	0.2	0.406	0.915
14.373	25.453	0.3	0.385	0.909
14.898	22.467	0.3	0.385	0.909
14.935	25.453	0.2	0.406	0.915
14.963	33.379	0.2	0.406	0.915
14.994	22.467	0.1	0.440	0.946
15.079	26.447	0.2	0.406	0.915

16.99	21.471	0.15	0.421	0.928
17.218	23.463	0.1	0.440	0.946
17.402	21.471	0.15	0.421	0.928
17.435	30.413	0.1	0.440	0.946
17.922	21.471	0.1	0.440	0.946
18.378	21.471	0.1	0.440	0.946
18.666	21.471	0.1	0.440	0.946
19.665	23.463	0.1	0.440	0.946
19.789	23.463	0.1	0.440	0.946
19.825	24.459	0.1	0.440	0.946
19.859	22.467	0.1	0.440	0.946
20.067	27.440	0.15	0.421	0.928
20.318	22.467	0.1	0.440	0.946
20.461	22.467	0.1	0.440	0.946
21.479	22.467	0.1	0.440	0.946
21.807	22.467	0.2	0.406	0.915
21.898	31.403	0.2	0.406	0.915
21.938	24.459	0.2	0.406	0.915
22.006	24.459	0.2	0.406	0.915
22.091	22.467	0.2	0.406	0.915
22.243	23.463	0.2	0.406	0.915
22.539	23.463	0.3	0.385	0.909
22.685	22.467	0.2	0.406	0.915
22.808	22.467	0.2	0.406	0.915
22.91	29.423	0.2	0.406	0.915
23.681	27.440	0.4	0.344	0.909
23.723	36.338	0.3	0.385	0.909
24.026	24.459	0.2	0.406	0.915
24.243	24.459	0.1	0.440	0.946
25.347	28.432	0.3	0.385	0.909
25.534	25.453	0.2	0.406	0.915

LAMPIRAN I
HASIL *SCREENING* KRITERIA VIV

HASIL SCREENING KRITERIA VIV (CROSS-FLOW)

KP Start	Span (m)	$f_{n,CF}$ (Hz)	$U_{ext} \gamma_{f,CF}/2D$	Screening
0.108	18	1.666273	0.108243	lolos
0.206	15	0.98929	0.108227	lolos
0.302	17	0.796487	0.108227	lolos
0.419	15	0.98929	0.108227	lolos
0.451	24	0.435013	0.108227	lolos
0.501	24	0.435013	0.108227	lolos
0.6	21	0.539413	0.108227	lolos
0.634	22	0.507567	0.108243	lolos
0.677	18	0.734845	0.108243	lolos
0.769	19	0.650033	0.108227	lolos
0.809	19	0.650033	0.108227	lolos
0.916	22	0.496131	0.108227	lolos
0.947	21	0.551846	0.108243	lolos
0.986	17	0.796487	0.108227	lolos
1.038	19	0.650033	0.108227	lolos
1.084	24	0.44504	0.108243	lolos
1.146	20	0.590633	0.108227	lolos
1.185	22	0.496131	0.108227	lolos
1.255	24	0.435013	0.108227	lolos
1.374	29	0.535593	0.108227	lolos
1.461	29	0.535593	0.108227	lolos
1.508	15	0.98929	0.108227	lolos
1.532	18	0.718288	0.108227	lolos
1.62	17	0.796487	0.108227	lolos
1.643	16	0.886151	0.108227	lolos
1.669	19	0.650033	0.108227	lolos
1.698	30	0.661048	0.108243	lolos
1.772	22	0.496131	0.108227	lolos
1.809	20	0.590633	0.108227	lolos
1.852	17	0.796487	0.108227	lolos
1.895	15	1.030271	0.108261	lolos
1.917	23	0.480141	0.108261	lolos
1.953	19	0.67696	0.108261	lolos
1.979	16	0.922859	0.108261	lolos
2.015	18	0.748042	0.108261	lolos

2.062	15	1.030271	0.108261	lolos
2.083	19	0.67696	0.108261	lolos
2.114	22	0.516682	0.108261	lolos
2.167	15	1.030271	0.108261	lolos
2.212	16	0.922859	0.108261	lolos
2.265	16	0.886151	0.108227	lolos
2.324	19	0.67696	0.108261	lolos
2.36	17	0.796487	0.108227	lolos
2.384	23	0.480141	0.108261	lolos
2.505	27	0.45008	0.108261	lolos
2.543	19	0.650033	0.108227	lolos
2.707	19	0.67696	0.108261	lolos
2.929	20	0.631324	0.108301	lolos
3.073	36	3.442001	0.108301	lolos
3.122	17	0.829481	0.108261	lolos
3.242	19	0.67696	0.108261	lolos
3.265	17	0.829481	0.108261	lolos
3.293	17	0.829481	0.108261	lolos
3.589	17	0.829481	0.108261	lolos
3.639	16	0.886151	0.108227	lolos
3.686	18	0.748042	0.108261	lolos
3.771	24	0.453033	0.108261	lolos
3.843	17	0.829481	0.108261	lolos
3.877	16	0.922859	0.108261	lolos
3.954	16	0.922859	0.108261	lolos
4.006	18	0.718288	0.108227	lolos
4.14	20	0.631324	0.108301	lolos
4.249	25	0.474652	0.108346	lolos
4.292	18	0.748042	0.108261	lolos
4.331	16	0.947201	0.108301	lolos
4.378	34	4.785303	0.108346	lolos
4.428	18	0.767774	0.108301	lolos
4.518	22	0.516682	0.108261	lolos
4.572	33	2.090722	0.108346	lolos
4.615	19	0.67696	0.108261	lolos
4.664	19	0.650033	0.108227	lolos
4.751	16	0.886151	0.108227	lolos
4.881	18	0.718288	0.108227	lolos
5.181	19	0.650033	0.108227	lolos
5.325	26	0.417492	0.108227	lolos

5.36	19	0.67696	0.108261	lolos
5.627	16	0.922859	0.108261	lolos
6.091	183	0.179751	0.108261	lolos
6.607	15	1.057446	0.108301	lolos
6.67	22	0.496131	0.108227	lolos
6.733	15	0.98929	0.108227	lolos
6.768	19	0.67696	0.108261	lolos
7.01	16	0.922859	0.108261	lolos
7.064	16	0.886151	0.108227	lolos
7.128	19	0.650033	0.108227	lolos
7.211	22	0.496131	0.108227	lolos
7.243	17	0.796487	0.108227	lolos
7.292	15	1.030271	0.108261	lolos
7.746	18	0.718288	0.108227	lolos
7.831	17	0.796487	0.108227	lolos
7.953	15	0.98929	0.108227	lolos
8.059	23	0.47167	0.108243	lolos
8.25	20	0.590633	0.108227	lolos
8.368	18	0.718288	0.108227	lolos
8.643	17	0.796487	0.108227	lolos
8.721	16	0.886151	0.108227	lolos
8.877	15	0.98929	0.108227	lolos
9.209	18	0.718288	0.108227	lolos
9.262	17	0.796487	0.108227	lolos
9.339	19	0.650033	0.108227	lolos
9.464	17	0.796487	0.108227	lolos
9.497	19	0.650033	0.108227	lolos
9.564	15	0.98929	0.108227	lolos
9.615	15	0.98929	0.108227	lolos
9.679	15	1.012094	0.108243	lolos
9.771	18	0.718288	0.108227	lolos
9.959	17	0.796487	0.108227	lolos
10.047	17	0.796487	0.108227	lolos
10.076	21	0.539413	0.108227	lolos
10.11	15	0.98929	0.108227	lolos
10.444	28	0.468901	0.108227	lolos
10.479	15	0.98929	0.108227	lolos
10.512	16	0.886151	0.108227	lolos
10.718	17	0.796487	0.108227	lolos
10.899	24	0.44504	0.108243	lolos

10.952	15	0.98929	0.108227	lolos
10.996	19	0.650033	0.108227	lolos
11.051	16	0.886151	0.108227	lolos
11.144	19	0.650033	0.108227	lolos
11.231	16	0.886151	0.108227	lolos
11.463	20	0.590633	0.108227	lolos
11.488	20	0.590633	0.108227	lolos
11.521	16	0.886151	0.108227	lolos
11.612	18	0.718288	0.108227	lolos
11.646	19	0.650033	0.108227	lolos
11.92	16	1.002287	0.108346	lolos
12.284	18	0.748042	0.108261	lolos
12.6	16	0.886151	0.108227	lolos
12.806	15	1.030271	0.108261	lolos
13.409	19	0.67696	0.108261	lolos
13.69	22	0.496131	0.108227	lolos
13.819	15	1.030271	0.108261	lolos
14.09	17	0.85136	0.108301	lolos
14.283	21	0.561757	0.108261	lolos
14.373	19	0.694816	0.108301	lolos
14.898	16	0.947201	0.108301	lolos
14.935	19	0.67696	0.108261	lolos
14.963	27	0.45008	0.108261	lolos
14.994	16	0.886151	0.108227	lolos
15.079	20	0.615099	0.108261	lolos
16.99	15	1.012094	0.108243	lolos
17.218	17	0.796487	0.108227	lolos
17.402	15	1.012094	0.108243	lolos
17.435	24	0.435013	0.108227	lolos
17.922	15	0.98929	0.108227	lolos
18.378	15	0.98929	0.108227	lolos
18.666	15	0.98929	0.108227	lolos
19.665	17	0.796487	0.108227	lolos
19.789	17	0.796487	0.108227	lolos
19.825	18	0.718288	0.108227	lolos
19.859	16	0.886151	0.108227	lolos
20.067	21	0.551846	0.108243	lolos
20.318	16	0.886151	0.108227	lolos
20.461	16	0.886151	0.108227	lolos
21.479	16	0.886151	0.108227	lolos

21.807	16	0.922859	0.108261	lolos
21.898	25	0.437037	0.108261	lolos
21.938	18	0.748042	0.108261	lolos
22.006	18	0.748042	0.108261	lolos
22.091	16	0.922859	0.108261	lolos
22.243	17	0.829481	0.108261	lolos
22.539	17	0.85136	0.108301	lolos
22.685	16	0.922859	0.108261	lolos
22.808	16	0.922859	0.108261	lolos
22.91	23	0.480141	0.108261	lolos
23.681	21	0.610107	0.108346	lolos
23.723	30	0.69067	0.108301	lolos
24.026	18	0.748042	0.108261	lolos
24.243	18	0.718288	0.108227	lolos
25.347	22	0.530311	0.108301	lolos
25.534	19	0.67696	0.108261	lolos

HASIL SCREENING KRITERIA VIV (IN-LINE)

KP Start	Span (m)	$f_{n,IL}$ (Hz)	$\frac{U_{ext} \gamma_{f,IL}}{V_{R,onset IL} D}$	Screening
0.108	24.459	1.545	1.164	lolos
0.206	21.471	2.085	1.142	lolos
0.302	23.463	1.678	1.142	lolos
0.419	21.471	2.085	1.142	lolos
0.451	30.413	0.810	1.142	tidak lolos
0.501	30.413	0.810	1.142	tidak lolos
0.6	27.440	1.107	1.142	tidak lolos
0.634	28.432	1.021	1.164	tidak lolos
0.677	24.459	1.545	1.164	lolos
0.769	25.453	1.360	1.142	lolos
0.809	25.453	1.360	1.142	lolos
0.916	28.432	0.999	1.142	tidak lolos
0.947	27.440	1.132	1.164	tidak lolos
0.986	23.463	1.678	1.142	lolos
1.038	25.453	1.360	1.142	lolos
1.084	30.413	0.828	1.164	tidak lolos
1.146	26.447	1.227	1.142	lolos
1.185	28.432	0.999	1.142	tidak lolos
1.255	30.413	0.810	1.142	tidak lolos

1.374	35.352	0.468	1.142	tidak lolos
1.461	35.352	0.468	1.142	tidak lolos
1.508	21.471	2.085	1.142	lolos
1.532	24.459	1.510	1.142	lolos
1.62	23.463	1.678	1.142	lolos
1.643	22.467	1.868	1.142	lolos
1.669	25.453	1.360	1.142	lolos
1.698	36.338	0.425	1.164	tidak lolos
1.772	28.432	0.999	1.142	tidak lolos
1.809	26.447	1.227	1.142	lolos
1.852	23.463	1.678	1.142	lolos
1.895	21.471	2.171	1.181	lolos
1.917	29.423	0.937	1.181	tidak lolos
1.953	25.453	1.417	1.181	lolos
1.979	22.467	1.945	1.181	lolos
2.015	24.459	1.572	1.181	lolos
2.062	21.471	2.171	1.181	lolos
2.083	25.453	1.417	1.181	lolos
2.114	28.432	1.039	1.181	tidak lolos
2.167	21.471	2.171	1.181	lolos
2.212	22.467	1.945	1.181	lolos
2.265	22.467	1.868	1.142	lolos
2.324	25.453	1.417	1.181	lolos
2.36	23.463	1.678	1.142	lolos
2.384	29.423	0.937	1.181	tidak lolos
2.505	33.379	0.604	1.181	tidak lolos
2.543	25.453	1.360	1.142	lolos
2.707	25.453	1.417	1.181	lolos
2.929	26.447	1.311	1.188	lolos
3.073	42.241	0.335	1.188	tidak lolos
3.122	23.463	1.747	1.181	lolos
3.242	25.453	1.417	1.181	lolos
3.265	23.463	1.747	1.181	lolos
3.293	23.463	1.747	1.181	lolos
3.589	23.463	1.747	1.181	lolos
3.639	22.467	1.868	1.142	lolos
3.686	24.459	1.572	1.181	lolos
3.771	30.413	0.843	1.181	tidak lolos
3.843	23.463	1.747	1.181	lolos
3.877	22.467	1.945	1.181	lolos

3.954	22.467	1.945	1.181	lolos
4.006	24.459	1.510	1.142	lolos
4.14	26.447	1.311	1.188	lolos
4.249	31.403	0.820	1.188	tidak lolos
4.292	24.459	1.572	1.181	lolos
4.331	22.467	1.997	1.188	lolos
4.378	40.275	2.291	1.188	lolos
4.428	24.459	1.614	1.188	lolos
4.518	28.432	1.039	1.181	tidak lolos
4.572	39.291	0.347	1.188	tidak lolos
4.615	25.453	1.417	1.181	lolos
4.664	25.453	1.360	1.142	lolos
4.751	22.467	1.868	1.142	lolos
4.881	24.459	1.510	1.142	lolos
5.181	25.453	1.360	1.142	lolos
5.325	32.391	0.653	1.142	tidak lolos
5.36	25.453	1.417	1.181	lolos
5.627	22.467	1.945	1.181	lolos
6.091	189.373	#NUM!	1.181	#NUM!
6.607	21.471	2.228	1.188	lolos
6.67	28.432	0.999	1.142	tidak lolos
6.733	21.471	2.085	1.142	lolos
6.768	25.453	1.417	1.181	lolos
7.01	22.467	1.945	1.181	lolos
7.064	22.467	1.868	1.142	lolos
7.128	25.453	1.360	1.142	lolos
7.211	28.432	0.999	1.142	tidak lolos
7.243	23.463	1.678	1.142	lolos
7.292	21.471	2.171	1.181	lolos
7.746	24.459	1.510	1.142	lolos
7.831	23.463	1.678	1.142	lolos
7.953	21.471	2.085	1.142	lolos
8.059	29.423	0.920	1.164	tidak lolos
8.25	26.447	1.227	1.142	lolos
8.368	24.459	1.510	1.142	lolos
8.643	23.463	1.678	1.142	lolos
8.721	22.467	1.868	1.142	lolos
8.877	21.471	2.085	1.142	lolos
9.209	24.459	1.510	1.142	lolos
9.262	23.463	1.678	1.142	lolos

9.339	25.453	1.360	1.142	lolos
9.464	23.463	1.678	1.142	lolos
9.497	25.453	1.360	1.142	lolos
9.564	21.471	2.085	1.142	lolos
9.615	21.471	2.085	1.142	lolos
9.679	21.471	2.133	1.164	lolos
9.771	24.459	1.510	1.142	lolos
9.959	23.463	1.678	1.142	lolos
10.047	23.463	1.678	1.142	lolos
10.076	27.440	1.107	1.142	tidak lolos
10.11	21.471	2.085	1.142	lolos
10.444	34.366	0.522	1.142	tidak lolos
10.479	21.471	2.085	1.142	lolos
10.512	22.467	1.868	1.142	lolos
10.718	23.463	1.678	1.142	lolos
10.899	30.413	0.828	1.164	tidak lolos
10.952	21.471	2.085	1.142	lolos
10.996	25.453	1.360	1.142	lolos
11.051	22.467	1.868	1.142	lolos
11.144	25.453	1.360	1.142	lolos
11.231	22.467	1.868	1.142	lolos
11.463	26.447	1.227	1.142	lolos
11.488	26.447	1.227	1.142	lolos
11.521	22.467	1.868	1.142	lolos
11.612	24.459	1.510	1.142	lolos
11.646	25.453	1.360	1.142	lolos
11.92	22.467	2.113	1.188	lolos
12.284	24.459	1.572	1.181	lolos
12.6	22.467	1.868	1.142	lolos
12.806	21.471	2.171	1.181	lolos
13.409	25.453	1.417	1.181	lolos
13.69	28.432	0.999	1.142	tidak lolos
13.819	21.471	2.171	1.181	lolos
14.09	23.463	1.793	1.188	lolos
14.283	27.440	1.152	1.181	tidak lolos
14.373	25.453	1.454	1.188	lolos
14.898	22.467	1.997	1.188	lolos
14.935	25.453	1.417	1.181	lolos
14.963	33.379	0.604	1.181	tidak lolos
14.994	22.467	1.868	1.142	lolos

15.079	26.447	1.278	1.181	lolos
16.99	21.471	2.133	1.164	lolos
17.218	23.463	1.678	1.142	lolos
17.402	21.471	2.133	1.164	lolos
17.435	30.413	0.810	1.142	tidak lolos
17.922	21.471	2.085	1.142	lolos
18.378	21.471	2.085	1.142	lolos
18.666	21.471	2.085	1.142	lolos
19.665	23.463	1.678	1.142	lolos
19.789	23.463	1.678	1.142	lolos
19.825	24.459	1.510	1.142	lolos
19.859	22.467	1.868	1.142	lolos
20.067	27.440	1.132	1.164	tidak lolos
20.318	22.467	1.868	1.142	lolos
20.461	22.467	1.868	1.142	lolos
21.479	22.467	1.868	1.142	lolos
21.807	22.467	1.945	1.181	lolos
21.898	31.403	0.757	1.181	tidak lolos
21.938	24.459	1.572	1.181	lolos
22.006	24.459	1.572	1.181	lolos
22.091	22.467	1.945	1.181	lolos
22.243	23.463	1.747	1.181	lolos
22.539	23.463	1.793	1.188	lolos
22.685	22.467	1.945	1.181	lolos
22.808	22.467	1.945	1.181	lolos
22.91	29.423	0.937	1.181	tidak lolos
23.681	27.440	1.251	1.188	lolos
23.723	36.338	0.426	1.188	tidak lolos
24.026	24.459	1.572	1.181	lolos
24.243	24.459	1.510	1.142	lolos
25.347	28.432	1.067	1.188	tidak lolos
25.534	25.453	1.417	1.181	lolos

LAMPIRAN J
HASIL *SCREENING* KRITERIA *FATIGUE*

HASIL SCREENING KRITERIA *FATIGUE*

KP Start	Span (m)	$f_{n\ II}/\gamma_{II}$	Ruas kanan	<i>Screening</i>
0.108	24.459	1.103	0.472	lolos
0.206	21.471	1.489	0.478	lolos
0.302	23.463	1.199	0.468	lolos
0.419	21.471	1.489	0.478	lolos
0.451	30.413	0.579	0.433	lolos
0.501	30.413	0.579	0.433	lolos
0.6	27.440	0.791	0.448	lolos
0.634	28.432	0.729	0.452	lolos
0.677	24.459	1.103	0.472	lolos
0.769	25.453	0.972	0.458	lolos
0.809	25.453	0.972	0.458	lolos
0.916	28.432	0.713	0.443	lolos
0.947	27.440	0.809	0.457	lolos
0.986	23.463	1.199	0.468	lolos
1.038	25.453	0.972	0.458	lolos
1.084	30.413	0.592	0.442	lolos
1.146	26.447	0.876	0.453	lolos
1.185	28.432	0.713	0.443	lolos
1.255	30.413	0.579	0.433	lolos
1.374	35.352	0.334	0.409	tidak lolos
1.461	35.352	0.334	0.409	tidak lolos
1.508	21.471	1.489	0.478	lolos
1.532	24.459	1.078	0.463	lolos
1.62	23.463	1.199	0.468	lolos
1.643	22.467	1.334	0.473	lolos
1.669	25.453	0.972	0.458	lolos
1.698	36.338	0.304	0.412	tidak lolos
1.772	28.432	0.713	0.443	lolos
1.809	26.447	0.876	0.453	lolos
1.852	23.463	1.199	0.468	lolos
1.895	21.471	1.551	0.494	lolos
1.917	29.423	0.669	0.453	lolos
1.953	25.453	1.012	0.474	lolos

1.979	22.467	1.390	0.489	lolos
2.015	24.459	1.123	0.479	lolos
2.062	21.471	1.551	0.494	lolos
2.083	25.453	1.012	0.474	lolos
2.114	28.432	0.742	0.458	lolos
2.167	21.471	1.551	0.494	lolos
2.212	22.467	1.390	0.489	lolos
2.265	22.467	1.334	0.473	lolos
2.324	25.453	1.012	0.474	lolos
2.36	23.463	1.199	0.468	lolos
2.384	29.423	0.669	0.453	lolos
2.505	33.379	0.431	0.433	tidak lolos
2.543	25.453	0.972	0.458	lolos
2.707	25.453	1.012	0.474	lolos
2.929	26.447	0.937	0.471	lolos
3.073	42.241	0.239	0.389	tidak lolos
3.122	23.463	1.248	0.484	lolos
3.242	25.453	1.012	0.474	lolos
3.265	23.463	1.248	0.484	lolos
3.293	23.463	1.248	0.484	lolos
3.589	23.463	1.248	0.484	lolos
3.639	22.467	1.334	0.473	lolos
3.686	24.459	1.123	0.479	lolos
3.771	30.413	0.602	0.448	lolos
3.843	23.463	1.248	0.484	lolos
3.877	22.467	1.390	0.489	lolos
3.954	22.467	1.390	0.489	lolos
4.006	24.459	1.078	0.463	lolos
4.14	26.447	0.937	0.471	lolos
4.249	31.403	0.585	0.446	lolos
4.292	24.459	1.123	0.479	lolos
4.331	22.467	1.426	0.492	lolos
4.378	40.275	1.637	0.400	lolos
4.428	24.459	1.153	0.482	lolos
4.518	28.432	0.742	0.458	lolos
4.572	39.291	0.248	0.405	tidak lolos
4.615	25.453	1.012	0.474	lolos
4.664	25.453	0.972	0.458	lolos

4.751	22.467	1.334	0.473	lolos
4.881	24.459	1.078	0.463	lolos
5.181	25.453	0.972	0.458	lolos
5.325	32.391	0.466	0.423	lolos
5.36	25.453	1.012	0.474	lolos
5.627	22.467	1.390	0.489	lolos
6.091	189.373	#NUM!	0.372	#NUM!
6.607	21.471	1.592	0.497	lolos
6.67	28.432	0.713	0.443	lolos
6.733	21.471	1.489	0.478	lolos
6.768	25.453	1.012	0.474	lolos
7.01	22.467	1.390	0.489	lolos
7.064	22.467	1.334	0.473	lolos
7.128	25.453	0.972	0.458	lolos
7.211	28.432	0.713	0.443	lolos
7.243	23.463	1.199	0.468	lolos
7.292	21.471	1.551	0.494	lolos
7.746	24.459	1.078	0.463	lolos
7.831	23.463	1.199	0.468	lolos
7.953	21.471	1.489	0.478	lolos
8.059	29.423	0.657	0.447	lolos
8.25	26.447	0.876	0.453	lolos
8.368	24.459	1.078	0.463	lolos
8.643	23.463	1.199	0.468	lolos
8.721	22.467	1.334	0.473	lolos
8.877	21.471	1.489	0.478	lolos
9.209	24.459	1.078	0.463	lolos
9.262	23.463	1.199	0.468	lolos
9.339	25.453	0.972	0.458	lolos
9.464	23.463	1.199	0.468	lolos
9.497	25.453	0.972	0.458	lolos
9.564	21.471	1.489	0.478	lolos
9.615	21.471	1.489	0.478	lolos
9.679	21.471	1.523	0.487	lolos
9.771	24.459	1.078	0.463	lolos
9.959	23.463	1.199	0.468	lolos
10.047	23.463	1.199	0.468	lolos
10.076	27.440	0.791	0.448	lolos
10.11	21.471	1.489	0.478	lolos
10.444	34.366	0.373	0.414	tidak

				lolos
10.479	21.471	1.489	0.478	lolos
10.512	22.467	1.334	0.473	lolos
10.718	23.463	1.199	0.468	lolos
10.899	30.413	0.592	0.442	lolos
10.952	21.471	1.489	0.478	lolos
10.996	25.453	0.972	0.458	lolos
11.051	22.467	1.334	0.473	lolos
11.144	25.453	0.972	0.458	lolos
11.231	22.467	1.334	0.473	lolos
11.463	26.447	0.876	0.453	lolos
11.488	26.447	0.876	0.453	lolos
11.521	22.467	1.334	0.473	lolos
11.612	24.459	1.078	0.463	lolos
11.646	25.453	0.972	0.458	lolos
11.92	22.467	1.509	0.492	lolos
12.284	24.459	1.123	0.479	lolos
12.6	22.467	1.334	0.473	lolos
12.806	21.471	1.551	0.494	lolos
13.409	25.453	1.012	0.474	lolos
13.69	28.432	0.713	0.443	lolos
13.819	21.471	1.551	0.494	lolos
14.09	23.463	1.281	0.487	lolos
14.283	27.440	0.823	0.463	lolos
14.373	25.453	1.039	0.477	lolos
14.898	22.467	1.426	0.492	lolos
14.935	25.453	1.012	0.474	lolos
14.963	33.379	0.431	0.433	tidak lolos
14.994	22.467	1.334	0.473	lolos
15.079	26.447	0.913	0.469	lolos
16.99	21.471	1.523	0.487	lolos
17.218	23.463	1.199	0.468	lolos
17.402	21.471	1.523	0.487	lolos
17.435	30.413	0.579	0.433	lolos
17.922	21.471	1.489	0.478	lolos
18.378	21.471	1.489	0.478	lolos
18.666	21.471	1.489	0.478	lolos
19.665	23.463	1.199	0.468	lolos
19.789	23.463	1.199	0.468	lolos

19.825	24.459	1.078	0.463	lolos
19.859	22.467	1.334	0.473	lolos
20.067	27.440	0.809	0.457	lolos
20.318	22.467	1.334	0.473	lolos
20.461	22.467	1.334	0.473	lolos
21.479	22.467	1.334	0.473	lolos
21.807	22.467	1.390	0.489	lolos
21.898	31.403	0.540	0.443	lolos
21.938	24.459	1.123	0.479	lolos
22.006	24.459	1.123	0.479	lolos
22.091	22.467	1.390	0.489	lolos
22.243	23.463	1.248	0.484	lolos
22.539	23.463	1.281	0.487	lolos
22.685	22.467	1.390	0.489	lolos
22.808	22.467	1.390	0.489	lolos
22.91	29.423	0.669	0.453	lolos
23.681	27.440	0.894	0.466	lolos
23.723	36.338	0.304	0.420	tidak lolos
24.026	24.459	1.123	0.479	lolos
24.243	24.459	1.078	0.463	lolos
25.347	28.432	0.762	0.461	lolos
25.534	25.453	1.012	0.474	lolos

LAMPIRAN K
RESPON MODEL ARAH *IN-LINE* DAN *CROSS FLOW*

RESPON MODEL ARAH *IN-LINE*

KP Start	R_{10,2}	R_{10,1}	A_{Y,2/D}	A_{Y,1/D}	A_{IL} (Pa)	S_{IL} (Pa)
0.108	0.8824	1.1284	0.0879	0.1319	4.E+08	1.E+08
0.206	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	5.E+08	2.E+08
0.302	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
0.419	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	5.E+08	2.E+08
0.451	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	2.E+08	8.E+07
0.501	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	2.E+08	8.E+07
0.6	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	3.E+08	1.E+08
0.634	0.8824	1.1284	0.0879	0.1319	3.E+08	1.E+08
0.677	0.8824	1.1284	0.0879	0.1319	4.E+08	1.E+08
0.769	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	3.E+08	1.E+08
0.809	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	3.E+08	1.E+08
0.916	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	3.E+08	9.E+07
0.947	0.8824	1.1284	0.0879	0.1319	3.E+08	1.E+08
0.986	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
1.038	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	3.E+08	1.E+08
1.084	0.8824	1.1284	0.0879	0.1319	2.E+08	8.E+07
1.146	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	3.E+08	1.E+08
1.185	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	3.E+08	9.E+07
1.255	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	2.E+08	8.E+07
1.374	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	2.E+08	6.E+07
1.461	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	2.E+08	6.E+07
1.508	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	5.E+08	2.E+08
1.532	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
1.62	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
1.643	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
1.669	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	3.E+08	1.E+08
1.698	0.8824	1.1284	0.0879	0.1319	2.E+08	6.E+07
1.772	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	3.E+08	9.E+07
1.809	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	3.E+08	1.E+08
1.852	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
1.895	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	5.E+08	2.E+08
1.917	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	3.E+08	9.E+07
1.953	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	3.E+08	1.E+08
1.979	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	4.E+08	2.E+08
2.015	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	4.E+08	1.E+08

2.062	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	5.E+08	2.E+08
2.083	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	3.E+08	1.E+08
2.114	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	3.E+08	1.E+08
2.167	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	5.E+08	2.E+08
2.212	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	4.E+08	2.E+08
2.265	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
2.324	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	3.E+08	1.E+08
2.36	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
2.384	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	3.E+08	9.E+07
2.505	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	2.E+08	7.E+07
2.543	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	3.E+08	1.E+08
2.707	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	3.E+08	1.E+08
2.929	0.8824	1.1284	0.0901	0.1379	3.E+08	1.E+08
3.073	0.8824	1.1284	0.0901	0.1379	1.E+08	5.E+07
3.122	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	4.E+08	1.E+08
3.242	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	3.E+08	1.E+08
3.265	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	4.E+08	1.E+08
3.293	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	4.E+08	1.E+08
3.589	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	4.E+08	1.E+08
3.639	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
3.686	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	4.E+08	1.E+08
3.771	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	2.E+08	9.E+07
3.843	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	4.E+08	1.E+08
3.877	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	4.E+08	2.E+08
3.954	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	4.E+08	2.E+08
4.006	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
4.14	0.8824	1.1284	0.0901	0.1379	3.E+08	1.E+08
4.249	0.8824	1.1284	0.0928	0.1449	2.E+08	9.E+07
4.292	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	4.E+08	1.E+08
4.331	0.8824	1.1284	0.0901	0.1379	4.E+08	2.E+08
4.378	0.8824	1.1284	0.0928	0.1449	1.E+08	5.E+07
4.428	0.8824	1.1284	0.0901	0.1379	4.E+08	1.E+08
4.518	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	3.E+08	1.E+08
4.572	0.8824	1.1284	0.0928	0.1449	1.E+08	6.E+07
4.615	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	3.E+08	1.E+08
4.664	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	3.E+08	1.E+08
4.751	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
4.881	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
5.181	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	3.E+08	1.E+08
5.325	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	2.E+08	7.E+07
5.36	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	3.E+08	1.E+08

5.627	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	4.E+08	2.E+08
6.091	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	6.E+06	2.E+06
6.607	0.8824	1.1284	0.0901	0.1379	5.E+08	2.E+08
6.67	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	3.E+08	9.E+07
6.733	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	5.E+08	2.E+08
6.768	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	3.E+08	1.E+08
7.01	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	4.E+08	2.E+08
7.064	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
7.128	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	3.E+08	1.E+08
7.211	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	3.E+08	9.E+07
7.243	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
7.292	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	5.E+08	2.E+08
7.746	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
7.831	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
7.953	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	5.E+08	2.E+08
8.059	0.8824	1.1284	0.0879	0.1319	3.E+08	9.E+07
8.25	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	3.E+08	1.E+08
8.368	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
8.643	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
8.721	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
8.877	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	5.E+08	2.E+08
9.209	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
9.262	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
9.339	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	3.E+08	1.E+08
9.464	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
9.497	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	3.E+08	1.E+08
9.564	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	5.E+08	2.E+08
9.615	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	5.E+08	2.E+08
9.679	0.8824	1.1284	0.0879	0.1319	5.E+08	2.E+08
9.771	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
9.959	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
10.047	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
10.076	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	3.E+08	1.E+08
10.11	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	5.E+08	2.E+08
10.444	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	2.E+08	6.E+07
10.479	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	5.E+08	2.E+08
10.512	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
10.718	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
10.899	0.8824	1.1284	0.0879	0.1319	2.E+08	8.E+07
10.952	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	5.E+08	2.E+08
10.996	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	3.E+08	1.E+08

11.051	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
11.144	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	3.E+08	1.E+08
11.231	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
11.463	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	3.E+08	1.E+08
11.488	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	3.E+08	1.E+08
11.521	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
11.612	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
11.646	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	3.E+08	1.E+08
11.92	0.8824	1.1284	0.0928	0.1449	4.E+08	2.E+08
12.284	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	4.E+08	1.E+08
12.6	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
12.806	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	5.E+08	2.E+08
13.409	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	3.E+08	1.E+08
13.69	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	3.E+08	9.E+07
13.819	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	5.E+08	2.E+08
14.09	0.8824	1.1284	0.0901	0.1379	4.E+08	1.E+08
14.283	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	3.E+08	1.E+08
14.373	0.8824	1.1284	0.0901	0.1379	3.E+08	1.E+08
14.898	0.8824	1.1284	0.0901	0.1379	4.E+08	2.E+08
14.935	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	3.E+08	1.E+08
14.963	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	2.E+08	7.E+07
14.994	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
15.079	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	3.E+08	1.E+08
16.99	0.8824	1.1284	0.0879	0.1319	5.E+08	2.E+08
17.218	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
17.402	0.8824	1.1284	0.0879	0.1319	5.E+08	2.E+08
17.435	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	2.E+08	8.E+07
17.922	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	5.E+08	2.E+08
18.378	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	5.E+08	2.E+08
18.666	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	5.E+08	2.E+08
19.665	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
19.789	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
19.825	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
19.859	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
20.067	0.8824	1.1284	0.0879	0.1319	3.E+08	1.E+08
20.318	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
20.461	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
21.479	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
21.807	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	4.E+08	2.E+08
21.898	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	2.E+08	8.E+07
21.938	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	4.E+08	1.E+08

22.006	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	4.E+08	1.E+08
22.091	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	4.E+08	2.E+08
22.243	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	4.E+08	1.E+08
22.539	0.8824	1.1284	0.0901	0.1379	4.E+08	1.E+08
22.685	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	4.E+08	2.E+08
22.808	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	4.E+08	2.E+08
22.91	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	3.E+08	9.E+07
23.681	0.8824	1.1284	0.0928	0.1449	3.E+08	1.E+08
23.723	0.8824	1.1284	0.0901	0.1379	2.E+08	6.E+07
24.026	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	4.E+08	1.E+08
24.243	0.8824	1.1284	0.0866	0.1286	4.E+08	1.E+08
25.347	0.8824	1.1284	0.0901	0.1379	3.E+08	1.E+08
25.534	0.8824	1.1284	0.0888	0.1344	3.E+08	1.E+08

RESPON MODEL ARAH *CROSS-FLOW*

KP Start	A_Z/D	A_{CF} (Pa)	R_k	S_{CF} (Pa)
0.108	1.3	4.E+08	0.93690	1.2.E+09
0.206	1.3	5.E+08	0.93396	1.5.E+09
0.302	1.3	4.E+08	0.93396	1.3.E+09
0.419	1.3	5.E+08	0.93396	1.5.E+09
0.451	1.3	2.E+08	0.93396	7.7.E+08
0.501	1.3	2.E+08	0.93396	7.7.E+08
0.6	1.3	3.E+08	0.93396	9.5.E+08
0.634	1.3	3.E+08	0.93690	8.9.E+08
0.677	1.3	4.E+08	0.93690	1.2.E+09
0.769	1.3	3.E+08	0.93396	1.1.E+09
0.809	1.3	3.E+08	0.93396	1.1.E+09
0.916	1.3	3.E+08	0.93396	8.8.E+08
0.947	1.3	3.E+08	0.93690	9.5.E+08
0.986	1.3	4.E+08	0.93396	1.3.E+09
1.038	1.3	3.E+08	0.93396	1.1.E+09
1.084	1.3	2.E+08	0.93690	7.7.E+08
1.146	1.3	3.E+08	0.93396	1.0.E+09
1.185	1.3	3.E+08	0.93396	8.8.E+08
1.255	1.3	2.E+08	0.93396	7.7.E+08
1.374	1.3	2.E+08	0.93396	5.7.E+08
1.461	1.3	2.E+08	0.93396	5.7.E+08
1.508	1.3	5.E+08	0.93396	1.5.E+09

1.532	1.3	4.E+08	0.93396	1.2.E+09
1.62	1.3	4.E+08	0.93396	1.3.E+09
1.643	1.3	4.E+08	0.93396	1.4.E+09
1.669	1.3	3.E+08	0.93396	1.1.E+09
1.698	1.3	2.E+08	0.93690	5.4.E+08
1.772	1.3	3.E+08	0.93396	8.8.E+08
1.809	1.3	3.E+08	0.93396	1.0.E+09
1.852	1.3	4.E+08	0.93396	1.3.E+09
1.895	1.3	5.E+08	0.93911	1.6.E+09
1.917	1.3	3.E+08	0.93911	8.3.E+08
1.953	1.3	3.E+08	0.93911	1.1.E+09
1.979	1.3	4.E+08	0.93911	1.4.E+09
2.015	1.3	4.E+08	0.93911	1.2.E+09
2.062	1.3	5.E+08	0.93911	1.6.E+09
2.083	1.3	3.E+08	0.93911	1.1.E+09
2.114	1.3	3.E+08	0.93911	8.9.E+08
2.167	1.3	5.E+08	0.93911	1.6.E+09
2.212	1.3	4.E+08	0.93911	1.4.E+09
2.265	1.3	4.E+08	0.93396	1.4.E+09
2.324	1.3	3.E+08	0.93911	1.1.E+09
2.36	1.3	4.E+08	0.93396	1.3.E+09
2.384	1.3	3.E+08	0.93911	8.3.E+08
2.505	1.3	2.E+08	0.93911	6.4.E+08
2.543	1.3	3.E+08	0.93396	1.1.E+09
2.707	1.3	3.E+08	0.93911	1.1.E+09
2.929	1.3	3.E+08	0.94220	1.0.E+09
3.073	1.3	1.E+08	0.94220	4.0.E+08
3.122	1.3	4.E+08	0.93911	1.3.E+09
3.242	1.3	3.E+08	0.93911	1.1.E+09
3.265	1.3	4.E+08	0.93911	1.3.E+09
3.293	1.3	4.E+08	0.93911	1.3.E+09
3.589	1.3	4.E+08	0.93911	1.3.E+09
3.639	1.3	4.E+08	0.93396	1.4.E+09
3.686	1.3	4.E+08	0.93911	1.2.E+09
3.771	1.3	2.E+08	0.93911	7.8.E+08
3.843	1.3	4.E+08	0.93911	1.3.E+09
3.877	1.3	4.E+08	0.93911	1.4.E+09
3.954	1.3	4.E+08	0.93911	1.4.E+09
4.006	1.3	4.E+08	0.93396	1.2.E+09
4.14	1.3	3.E+08	0.94220	1.0.E+09
4.249	1.3	2.E+08	0.94838	7.4.E+08

4.292	1.3	4.E+08	0.93911	1.2.E+09
4.331	1.3	4.E+08	0.94220	1.4.E+09
4.378	1.3	1.E+08	0.94838	4.5.E+08
4.428	1.3	4.E+08	0.94220	1.2.E+09
4.518	1.3	3.E+08	0.93911	8.9.E+08
4.572	1.3	1.E+08	0.94838	4.7.E+08
4.615	1.3	3.E+08	0.93911	1.1.E+09
4.664	1.3	3.E+08	0.93396	1.1.E+09
4.751	1.3	4.E+08	0.93396	1.4.E+09
4.881	1.3	4.E+08	0.93396	1.2.E+09
5.181	1.3	3.E+08	0.93396	1.1.E+09
5.325	1.3	2.E+08	0.93396	6.8.E+08
5.36	1.3	3.E+08	0.93911	1.1.E+09
5.627	1.3	4.E+08	0.93911	1.4.E+09
6.091	1.3	6.E+06	0.93911	2.0.E+07
6.607	1.3	5.E+08	0.94220	1.6.E+09
6.67	1.3	3.E+08	0.93396	8.8.E+08
6.733	1.3	5.E+08	0.93396	1.5.E+09
6.768	1.3	3.E+08	0.93911	1.1.E+09
7.01	1.3	4.E+08	0.93911	1.4.E+09
7.064	1.3	4.E+08	0.93396	1.4.E+09
7.128	1.3	3.E+08	0.93396	1.1.E+09
7.211	1.3	3.E+08	0.93396	8.8.E+08
7.243	1.3	4.E+08	0.93396	1.3.E+09
7.292	1.3	5.E+08	0.93911	1.6.E+09
7.746	1.3	4.E+08	0.93396	1.2.E+09
7.831	1.3	4.E+08	0.93396	1.3.E+09
7.953	1.3	5.E+08	0.93396	1.5.E+09
8.059	1.3	3.E+08	0.93690	8.3.E+08
8.25	1.3	3.E+08	0.93396	1.0.E+09
8.368	1.3	4.E+08	0.93396	1.2.E+09
8.643	1.3	4.E+08	0.93396	1.3.E+09
8.721	1.3	4.E+08	0.93396	1.4.E+09
8.877	1.3	5.E+08	0.93396	1.5.E+09
9.209	1.3	4.E+08	0.93396	1.2.E+09
9.262	1.3	4.E+08	0.93396	1.3.E+09
9.339	1.3	3.E+08	0.93396	1.1.E+09
9.464	1.3	4.E+08	0.93396	1.3.E+09
9.497	1.3	3.E+08	0.93396	1.1.E+09
9.564	1.3	5.E+08	0.93396	1.5.E+09
9.615	1.3	5.E+08	0.93396	1.5.E+09

9.679	1.3	5.E+08	0.93690	1.6.E+09
9.771	1.3	4.E+08	0.93396	1.2.E+09
9.959	1.3	4.E+08	0.93396	1.3.E+09
10.047	1.3	4.E+08	0.93396	1.3.E+09
10.076	1.3	3.E+08	0.93396	9.5.E+08
10.11	1.3	5.E+08	0.93396	1.5.E+09
10.444	1.3	2.E+08	0.93396	6.0.E+08
10.479	1.3	5.E+08	0.93396	1.5.E+09
10.512	1.3	4.E+08	0.93396	1.4.E+09
10.718	1.3	4.E+08	0.93396	1.3.E+09
10.899	1.3	2.E+08	0.93690	7.7.E+08
10.952	1.3	5.E+08	0.93396	1.5.E+09
10.996	1.3	3.E+08	0.93396	1.1.E+09
11.051	1.3	4.E+08	0.93396	1.4.E+09
11.144	1.3	3.E+08	0.93396	1.1.E+09
11.231	1.3	4.E+08	0.93396	1.4.E+09
11.463	1.3	3.E+08	0.93396	1.0.E+09
11.488	1.3	3.E+08	0.93396	1.0.E+09
11.521	1.3	4.E+08	0.93396	1.4.E+09
11.612	1.3	4.E+08	0.93396	1.2.E+09
11.646	1.3	3.E+08	0.93396	1.1.E+09
11.92	1.3	4.E+08	0.94838	1.4.E+09
12.284	1.3	4.E+08	0.93911	1.2.E+09
12.6	1.3	4.E+08	0.93396	1.4.E+09
12.806	1.3	5.E+08	0.93911	1.6.E+09
13.409	1.3	3.E+08	0.93911	1.1.E+09
13.69	1.3	3.E+08	0.93396	8.8.E+08
13.819	1.3	5.E+08	0.93911	1.6.E+09
14.09	1.3	4.E+08	0.94220	1.3.E+09
14.283	1.3	3.E+08	0.93911	9.5.E+08
14.373	1.3	3.E+08	0.94220	1.1.E+09
14.898	1.3	4.E+08	0.94220	1.4.E+09
14.935	1.3	3.E+08	0.93911	1.1.E+09
14.963	1.3	2.E+08	0.93911	6.4.E+08
14.994	1.3	4.E+08	0.93396	1.4.E+09
15.079	1.3	3.E+08	0.93911	1.0.E+09
16.99	1.3	5.E+08	0.93690	1.6.E+09
17.218	1.3	4.E+08	0.93396	1.3.E+09
17.402	1.3	5.E+08	0.93690	1.6.E+09
17.435	1.3	2.E+08	0.93396	7.7.E+08
17.922	1.3	5.E+08	0.93396	1.5.E+09

18.378	1.3	5.E+08	0.93396	1.5.E+09
18.666	1.3	5.E+08	0.93396	1.5.E+09
19.665	1.3	4.E+08	0.93396	1.3.E+09
19.789	1.3	4.E+08	0.93396	1.3.E+09
19.825	1.3	4.E+08	0.93396	1.2.E+09
19.859	1.3	4.E+08	0.93396	1.4.E+09
20.067	1.3	3.E+08	0.93690	9.5.E+08
20.318	1.3	4.E+08	0.93396	1.4.E+09
20.461	1.3	4.E+08	0.93396	1.4.E+09
21.479	1.3	4.E+08	0.93396	1.4.E+09
21.807	1.3	4.E+08	0.93911	1.4.E+09
21.898	1.3	2.E+08	0.93911	7.3.E+08
21.938	1.3	4.E+08	0.93911	1.2.E+09
22.006	1.3	4.E+08	0.93911	1.2.E+09
22.091	1.3	4.E+08	0.93911	1.4.E+09
22.243	1.3	4.E+08	0.93911	1.3.E+09
22.539	1.3	4.E+08	0.94220	1.3.E+09
22.685	1.3	4.E+08	0.93911	1.4.E+09
22.808	1.3	4.E+08	0.93911	1.4.E+09
22.91	1.3	3.E+08	0.93911	8.3.E+08
23.681	1.3	3.E+08	0.94838	9.6.E+08
23.723	1.3	2.E+08	0.94220	5.5.E+08
24.026	1.3	4.E+08	0.93911	1.2.E+09
24.243	1.3	4.E+08	0.93396	1.2.E+09
25.347	1.3	3.E+08	0.94220	8.9.E+08
25.534	1.3	3.E+08	0.93911	1.1.E+09

LAMPIRAN L
***DESIGN BENDING MOMENT* DAN DESAIN GAYA AKSIAL**
EFEKTIF

**PERHITUNGAN DESIGN BENDING MOMENT DAN DESAIN GAYA
AKSIAL EFEKTIF**

KP Start	$M_{F,max}$	M_F	$\sigma_{FM,max}$ (Pa)	$\sigma_{E,IL}$ (Pa)	$\sigma_{E,CF}$ (Pa)	$M_{E,IL}$	$M_{E,CF}$	M_{sd}	S_{sd}
	(N/m)	(N/m)				(N/m)	(N/m)		
0.108	2.E+04	8.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
0.206	1.E+04	6.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00	8.E+04	-1.9.E+06
0.302	2.E+04	7.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
0.419	1.E+04	6.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00	8.E+04	-1.9.E+06
0.451	4.E+04	1.E+05	4.E+07	8.E+07	0.E+00	1.E+04	0.E+00	2.E+05	-1.9.E+06
0.501	4.E+04	1.E+05	4.E+07	8.E+07	0.E+00	1.E+04	0.E+00	2.E+05	-1.9.E+06
0.6	3.E+04	1.E+05	2.E+07	7.E+07	0.E+00	9.E+03	0.E+00	2.E+05	-1.9.E+06
0.634	3.E+04	1.E+05	2.E+07	7.E+07	0.E+00	9.E+03	0.E+00	2.E+05	-1.9.E+06
0.677	2.E+04	8.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
0.769	2.E+04	9.E+04	2.E+07	2.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
0.809	2.E+04	9.E+04	2.E+07	2.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
0.916	3.E+04	1.E+05	3.E+07	7.E+07	0.E+00	9.E+03	0.E+00	2.E+05	-1.9.E+06
0.947	2.E+04	1.E+05	2.E+07	7.E+07	0.E+00	9.E+03	0.E+00	2.E+05	-1.9.E+06
0.986	2.E+04	7.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
1.038	2.E+04	9.E+04	2.E+07	2.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
1.084	4.E+04	1.E+05	3.E+07	7.E+07	0.E+00	9.E+03	0.E+00	2.E+05	-1.9.E+06
1.146	3.E+04	1.E+05	2.E+07	2.E+07	0.E+00	3.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
1.185	3.E+04	1.E+05	3.E+07	7.E+07	0.E+00	9.E+03	0.E+00	2.E+05	-1.9.E+06
1.255	4.E+04	1.E+05	4.E+07	8.E+07	0.E+00	1.E+04	0.E+00	2.E+05	-1.9.E+06
1.374	1.E+05	2.E+05	9.E+07	1.E+08	0.E+00	1.E+04	0.E+00	3.E+05	-1.9.E+06
1.461	1.E+05	2.E+05	9.E+07	1.E+08	0.E+00	1.E+04	0.E+00	3.E+05	-1.9.E+06
1.508	1.E+04	6.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00	8.E+04	-1.9.E+06
1.532	2.E+04	8.E+04	2.E+07	2.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
1.62	2.E+04	7.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
1.643	2.E+04	6.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	9.E+04	-1.9.E+06
1.669	2.E+04	9.E+04	2.E+07	2.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
1.698	1.E+05	2.E+05	1.E+08	1.E+08	0.E+00	2.E+04	0.E+00	3.E+05	-1.9.E+06
1.772	3.E+04	1.E+05	3.E+07	7.E+07	0.E+00	9.E+03	0.E+00	2.E+05	-1.9.E+06
1.809	3.E+04	1.E+05	2.E+07	2.E+07	0.E+00	3.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
1.852	2.E+04	7.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
1.895	1.E+04	6.E+04	8.E+06	8.E+06	0.E+00	1.E+03	0.E+00	8.E+04	-1.9.E+06
1.917	3.E+04	1.E+05	2.E+07	7.E+07	0.E+00	9.E+03	0.E+00	2.E+05	-1.9.E+06
1.953	2.E+04	9.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
1.979	1.E+04	6.E+04	9.E+06	9.E+06	0.E+00	1.E+03	0.E+00	9.E+04	-1.9.E+06
2.015	1.E+04	8.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06

2.062	1.E+04	6.E+04	8.E+06	8.E+06	0.E+00	1.E+03	0.E+00	8.E+04	-1.9.E+06
2.083	2.E+04	9.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
2.114	2.E+04	1.E+05	2.E+07	7.E+07	0.E+00	9.E+03	0.E+00	2.E+05	-1.9.E+06
2.167	1.E+04	6.E+04	8.E+06	8.E+06	0.E+00	1.E+03	0.E+00	8.E+04	-1.9.E+06
2.212	1.E+04	6.E+04	9.E+06	9.E+06	0.E+00	1.E+03	0.E+00	9.E+04	-1.9.E+06
2.265	2.E+04	6.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	9.E+04	-1.9.E+06
2.324	2.E+04	9.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
2.36	2.E+04	7.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
2.384	3.E+04	1.E+05	2.E+07	7.E+07	0.E+00	9.E+03	0.E+00	2.E+05	-1.9.E+06
2.505	5.E+04	2.E+05	4.E+07	8.E+07	0.E+00	1.E+04	0.E+00	3.E+05	-1.9.E+06
2.543	2.E+04	9.E+04	2.E+07	2.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
2.707	2.E+04	9.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
2.929	2.E+04	1.E+05	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
3.073	-3.E+05	3.E+05	-2.E+08	-2.E+08	0.E+00	-2.E+04	0.E+00	5.E+05	-1.9.E+06
3.122	1.E+04	7.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
3.242	2.E+04	9.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
3.265	1.E+04	7.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
3.293	1.E+04	7.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
3.589	1.E+04	7.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
3.639	2.E+04	6.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	9.E+04	-1.9.E+06
3.686	1.E+04	8.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
3.771	3.E+04	1.E+05	3.E+07	7.E+07	0.E+00	9.E+03	0.E+00	2.E+05	-1.9.E+06
3.843	1.E+04	7.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
3.877	1.E+04	6.E+04	9.E+06	9.E+06	0.E+00	1.E+03	0.E+00	9.E+04	-1.9.E+06
3.954	1.E+04	6.E+04	9.E+06	9.E+06	0.E+00	1.E+03	0.E+00	9.E+04	-1.9.E+06
4.006	2.E+04	8.E+04	2.E+07	2.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
4.14	2.E+04	1.E+05	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
4.249	2.E+04	2.E+05	1.E+07	6.E+07	0.E+00	7.E+03	0.E+00	2.E+05	-1.9.E+06
4.292	1.E+04	8.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
4.331	1.E+04	6.E+04	8.E+06	8.E+06	0.E+00	1.E+03	0.E+00	9.E+04	-1.9.E+06
4.378	1.E+06	3.E+05	1.E+09	1.E+09	0.E+00	1.E+05	0.E+00	5.E+05	-1.9.E+06
4.428	1.E+04	8.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
4.518	2.E+04	1.E+05	2.E+07	7.E+07	0.E+00	9.E+03	0.E+00	2.E+05	-1.9.E+06
4.572	2.E+05	3.E+05	1.E+08	2.E+08	0.E+00	2.E+04	0.E+00	4.E+05	-1.9.E+06
4.615	2.E+04	9.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
4.664	2.E+04	9.E+04	2.E+07	2.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
4.751	2.E+04	6.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	9.E+04	-1.9.E+06
4.881	2.E+04	8.E+04	2.E+07	2.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
5.181	2.E+04	9.E+04	2.E+07	2.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
5.325	6.E+04	2.E+05	5.E+07	8.E+07	0.E+00	1.E+04	0.E+00	2.E+05	-1.9.E+06

5.36	2.E+04	9.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
5.627	1.E+04	6.E+04	9.E+06	9.E+06	0.E+00	1.E+03	0.E+00	9.E+04	-1.9.E+06
6.091	-3.E+04	8.E+06	-2.E+07	#NUM!	0.E+00	#NUM!	0.E+00	#NUM!	-1.9.E+06
6.607	8.E+03	6.E+04	7.E+06	7.E+06	0.E+00	8.E+02	0.E+00	8.E+04	-1.9.E+06
6.67	3.E+04	1.E+05	3.E+07	7.E+07	0.E+00	9.E+03	0.E+00	2.E+05	-1.9.E+06
6.733	1.E+04	6.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00	8.E+04	-1.9.E+06
6.768	2.E+04	9.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
7.01	1.E+04	6.E+04	9.E+06	9.E+06	0.E+00	1.E+03	0.E+00	9.E+04	-1.9.E+06
7.064	2.E+04	6.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	9.E+04	-1.9.E+06
7.128	2.E+04	9.E+04	2.E+07	2.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
7.211	3.E+04	1.E+05	3.E+07	7.E+07	0.E+00	9.E+03	0.E+00	2.E+05	-1.9.E+06
7.243	2.E+04	7.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
7.292	1.E+04	6.E+04	8.E+06	8.E+06	0.E+00	1.E+03	0.E+00	8.E+04	-1.9.E+06
7.746	2.E+04	8.E+04	2.E+07	2.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
7.831	2.E+04	7.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
7.953	1.E+04	6.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00	8.E+04	-1.9.E+06
8.059	3.E+04	1.E+05	3.E+07	7.E+07	0.E+00	9.E+03	0.E+00	2.E+05	-1.9.E+06
8.25	3.E+04	1.E+05	2.E+07	2.E+07	0.E+00	3.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
8.368	2.E+04	8.E+04	2.E+07	2.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
8.643	2.E+04	7.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
8.721	2.E+04	6.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	9.E+04	-1.9.E+06
8.877	1.E+04	6.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00	8.E+04	-1.9.E+06
9.209	2.E+04	8.E+04	2.E+07	2.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
9.262	2.E+04	7.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
9.339	2.E+04	9.E+04	2.E+07	2.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
9.464	2.E+04	7.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
9.497	2.E+04	9.E+04	2.E+07	2.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
9.564	1.E+04	6.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00	8.E+04	-1.9.E+06
9.615	1.E+04	6.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00	8.E+04	-1.9.E+06
9.679	1.E+04	6.E+04	9.E+06	9.E+06	0.E+00	1.E+03	0.E+00	8.E+04	-1.9.E+06
9.771	2.E+04	8.E+04	2.E+07	2.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
9.959	2.E+04	7.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
10.047	2.E+04	7.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
10.076	3.E+04	1.E+05	2.E+07	7.E+07	0.E+00	9.E+03	0.E+00	2.E+05	-1.9.E+06
10.11	1.E+04	6.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00	8.E+04	-1.9.E+06
10.444	9.E+04	2.E+05	7.E+07	1.E+08	0.E+00	1.E+04	0.E+00	3.E+05	-1.9.E+06
10.479	1.E+04	6.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00	8.E+04	-1.9.E+06
10.512	2.E+04	6.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	9.E+04	-1.9.E+06
10.718	2.E+04	7.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
10.899	4.E+04	1.E+05	3.E+07	7.E+07	0.E+00	9.E+03	0.E+00	2.E+05	-1.9.E+06
10.952	1.E+04	6.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00	8.E+04	-1.9.E+06

10.996	2.E+04	9.E+04	2.E+07	2.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
11.051	2.E+04	6.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	9.E+04	-1.9.E+06
11.144	2.E+04	9.E+04	2.E+07	2.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
11.231	2.E+04	6.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	9.E+04	-1.9.E+06
11.463	3.E+04	1.E+05	2.E+07	2.E+07	0.E+00	3.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
11.488	3.E+04	1.E+05	2.E+07	2.E+07	0.E+00	3.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
11.521	2.E+04	6.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	9.E+04	-1.9.E+06
11.612	2.E+04	8.E+04	2.E+07	2.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
11.646	2.E+04	9.E+04	2.E+07	2.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
11.92	5.E+03	6.E+04	4.E+06	4.E+06	0.E+00	5.E+02	0.E+00	9.E+04	-1.9.E+06
12.284	1.E+04	8.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
12.6	2.E+04	6.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	9.E+04	-1.9.E+06
12.806	1.E+04	6.E+04	8.E+06	8.E+06	0.E+00	1.E+03	0.E+00	8.E+04	-1.9.E+06
13.409	2.E+04	9.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
13.69	3.E+04	1.E+05	3.E+07	7.E+07	0.E+00	9.E+03	0.E+00	2.E+05	-1.9.E+06
13.819	1.E+04	6.E+04	8.E+06	8.E+06	0.E+00	1.E+03	0.E+00	8.E+04	-1.9.E+06
14.09	1.E+04	7.E+04	9.E+06	9.E+06	0.E+00	1.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
14.283	2.E+04	1.E+05	2.E+07	7.E+07	0.E+00	9.E+03	0.E+00	2.E+05	-1.9.E+06
14.373	1.E+04	9.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
14.898	1.E+04	6.E+04	8.E+06	8.E+06	0.E+00	1.E+03	0.E+00	9.E+04	-1.9.E+06
14.935	2.E+04	9.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
14.963	5.E+04	2.E+05	4.E+07	8.E+07	0.E+00	1.E+04	0.E+00	3.E+05	-1.9.E+06
14.994	2.E+04	6.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	9.E+04	-1.9.E+06
15.079	2.E+04	1.E+05	2.E+07	2.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
16.99	1.E+04	6.E+04	9.E+06	9.E+06	0.E+00	1.E+03	0.E+00	8.E+04	-1.9.E+06
17.218	2.E+04	7.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
17.402	1.E+04	6.E+04	9.E+06	9.E+06	0.E+00	1.E+03	0.E+00	8.E+04	-1.9.E+06
17.435	4.E+04	1.E+05	4.E+07	8.E+07	0.E+00	1.E+04	0.E+00	2.E+05	-1.9.E+06
17.922	1.E+04	6.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00	8.E+04	-1.9.E+06
18.378	1.E+04	6.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00	8.E+04	-1.9.E+06
18.666	1.E+04	6.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00	8.E+04	-1.9.E+06
19.665	2.E+04	7.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
19.789	2.E+04	7.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
19.825	2.E+04	8.E+04	2.E+07	2.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
19.859	2.E+04	6.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	9.E+04	-1.9.E+06
20.067	2.E+04	1.E+05	2.E+07	7.E+07	0.E+00	9.E+03	0.E+00	2.E+05	-1.9.E+06
20.318	2.E+04	6.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	9.E+04	-1.9.E+06
20.461	2.E+04	6.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	9.E+04	-1.9.E+06
21.479	2.E+04	6.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	9.E+04	-1.9.E+06
21.807	1.E+04	6.E+04	9.E+06	9.E+06	0.E+00	1.E+03	0.E+00	9.E+04	-1.9.E+06
21.898	4.E+04	2.E+05	3.E+07	7.E+07	0.E+00	9.E+03	0.E+00	2.E+05	-1.9.E+06

21.938	1.E+04	8.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
22.006	1.E+04	8.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
22.091	1.E+04	6.E+04	9.E+06	9.E+06	0.E+00	1.E+03	0.E+00	9.E+04	-1.9.E+06
22.243	1.E+04	7.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
22.539	1.E+04	7.E+04	9.E+06	9.E+06	0.E+00	1.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
22.685	1.E+04	6.E+04	9.E+06	9.E+06	0.E+00	1.E+03	0.E+00	9.E+04	-1.9.E+06
22.808	1.E+04	6.E+04	9.E+06	9.E+06	0.E+00	1.E+03	0.E+00	9.E+04	-1.9.E+06
22.91	3.E+04	1.E+05	2.E+07	7.E+07	0.E+00	9.E+03	0.E+00	2.E+05	-1.9.E+06
23.681	9.E+03	1.E+05	7.E+06	7.E+06	0.E+00	9.E+02	0.E+00	2.E+05	-1.9.E+06
23.723	9.E+04	2.E+05	7.E+07	1.E+08	0.E+00	1.E+04	0.E+00	3.E+05	-1.9.E+06
24.026	1.E+04	8.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	1.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
24.243	2.E+04	8.E+04	2.E+07	2.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06
25.347	2.E+04	1.E+05	2.E+07	7.E+07	0.E+00	8.E+03	0.E+00	2.E+05	-1.9.E+06
25.534	2.E+04	9.E+04	1.E+07	1.E+07	0.E+00	2.E+03	0.E+00	1.E+05	-1.9.E+06

LAMPIRAN M
HASIL *SCREENING* KRITERIA ULS

HASIL SCREENING KRITERIA ULS

KP Start	Span	a	b	c	Total	Screening
	(m)					
0.108	18	0.2548	0.2042	0.0061	2.2.E-01	lolos
0.206	15	0.1769	0.2042	0.0061	1.5.E-01	lolos
0.302	17	0.2273	0.2042	0.0061	1.9.E-01	lolos
0.419	15	0.1769	0.2042	0.0061	1.5.E-01	lolos
0.451	24	0.4537	0.2042	0.0061	4.4.E-01	lolos
0.501	24	0.4537	0.2042	0.0061	4.4.E-01	lolos
0.6	21	0.3477	0.2042	0.0061	3.1.E-01	lolos
0.634	22	0.3814	0.2042	0.0061	3.5.E-01	lolos
0.677	18	0.2548	0.2042	0.0061	2.2.E-01	lolos
0.769	19	0.2839	0.2042	0.0061	2.4.E-01	lolos
0.809	19	0.2839	0.2042	0.0061	2.4.E-01	lolos
0.916	22	0.3814	0.2042	0.0061	3.5.E-01	lolos
0.947	21	0.3477	0.2042	0.0061	3.1.E-01	lolos
0.986	17	0.2273	0.2042	0.0061	1.9.E-01	lolos
1.038	19	0.2839	0.2042	0.0061	2.4.E-01	lolos
1.084	24	0.4536	0.2042	0.0061	4.4.E-01	lolos
1.146	20	0.3146	0.2042	0.0061	2.8.E-01	lolos
1.185	22	0.3814	0.2042	0.0061	3.5.E-01	lolos
1.255	24	0.4537	0.2042	0.0061	4.4.E-01	lolos
1.374	29	0.6626	0.2042	0.0061	7.6.E-01	lolos
1.461	29	0.6626	0.2042	0.0061	7.6.E-01	lolos
1.508	15	0.1769	0.2042	0.0061	1.5.E-01	lolos
1.532	18	0.2548	0.2042	0.0061	2.2.E-01	lolos
1.62	17	0.2273	0.2042	0.0061	1.9.E-01	lolos
1.643	16	0.2013	0.2042	0.0061	1.7.E-01	lolos
1.669	19	0.2839	0.2042	0.0061	2.4.E-01	lolos
1.698	30	0.7090	0.2042	0.0061	8.4.E-01	lolos
1.772	22	0.3814	0.2042	0.0061	3.5.E-01	lolos
1.809	20	0.3146	0.2042	0.0061	2.8.E-01	lolos
1.852	17	0.2273	0.2042	0.0061	1.9.E-01	lolos
1.895	15	0.1769	0.2042	0.0061	1.5.E-01	lolos
1.917	23	0.4166	0.2042	0.0061	3.9.E-01	lolos
1.953	19	0.2839	0.2042	0.0061	2.4.E-01	lolos
1.979	16	0.2013	0.2042	0.0061	1.7.E-01	lolos
2.015	18	0.2548	0.2042	0.0061	2.2.E-01	lolos
2.062	15	0.1769	0.2042	0.0061	1.5.E-01	lolos

2.083	19	0.2839	0.2042	0.0061	2.4.E-01	lolos
2.114	22	0.3813	0.2042	0.0061	3.5.E-01	lolos
2.167	15	0.1769	0.2042	0.0061	1.5.E-01	lolos
2.212	16	0.2013	0.2042	0.0061	1.7.E-01	lolos
2.265	16	0.2013	0.2042	0.0061	1.7.E-01	lolos
2.324	19	0.2839	0.2042	0.0061	2.4.E-01	lolos
2.36	17	0.2273	0.2042	0.0061	1.9.E-01	lolos
2.384	23	0.4166	0.2042	0.0061	3.9.E-01	lolos
2.505	27	0.5739	0.2042	0.0061	6.1.E-01	lolos
2.543	19	0.2839	0.2042	0.0061	2.4.E-01	lolos
2.707	19	0.2839	0.2042	0.0061	2.4.E-01	lolos
2.929	20	0.3145	0.2042	0.0061	2.8.E-01	lolos
3.073	36	1.0210	0.2042	0.0061	1.5.E+00	tidak lolos
3.122	17	0.2273	0.2042	0.0061	1.9.E-01	lolos
3.242	19	0.2839	0.2042	0.0061	2.4.E-01	lolos
3.265	17	0.2273	0.2042	0.0061	1.9.E-01	lolos
3.293	17	0.2273	0.2042	0.0061	1.9.E-01	lolos
3.589	17	0.2273	0.2042	0.0061	1.9.E-01	lolos
3.639	16	0.2013	0.2042	0.0061	1.7.E-01	lolos
3.686	18	0.2548	0.2042	0.0061	2.2.E-01	lolos
3.771	24	0.4535	0.2042	0.0061	4.4.E-01	lolos
3.843	17	0.2273	0.2042	0.0061	1.9.E-01	lolos
3.877	16	0.2013	0.2042	0.0061	1.7.E-01	lolos
3.954	16	0.2013	0.2042	0.0061	1.7.E-01	lolos
4.006	18	0.2548	0.2042	0.0061	2.2.E-01	lolos
4.14	20	0.3145	0.2042	0.0061	2.8.E-01	lolos
4.249	25	0.4918	0.2042	0.0061	4.9.E-01	lolos
4.292	18	0.2548	0.2042	0.0061	2.2.E-01	lolos
4.331	16	0.2013	0.2042	0.0061	1.7.E-01	lolos
4.378	34	0.9914	0.2042	0.0061	1.4.E+00	tidak lolos
4.428	18	0.2548	0.2042	0.0061	2.2.E-01	lolos
4.518	22	0.3813	0.2042	0.0061	3.5.E-01	lolos
4.572	33	0.8583	0.2042	0.0061	1.1.E+00	tidak lolos
4.615	19	0.2839	0.2042	0.0061	2.4.E-01	lolos
4.664	19	0.2839	0.2042	0.0061	2.4.E-01	lolos
4.751	16	0.2013	0.2042	0.0061	1.7.E-01	lolos
4.881	18	0.2548	0.2042	0.0061	2.2.E-01	lolos
5.181	19	0.2839	0.2042	0.0061	2.4.E-01	lolos
5.325	26	0.5323	0.2042	0.0061	5.5.E-01	lolos
5.36	19	0.2839	0.2042	0.0061	2.4.E-01	lolos
5.627	16	0.2013	0.2042	0.0061	1.7.E-01	lolos

6.091	183	#NUM!	0.2042	0.0061	#NUM!	#NUM!
6.607	15	0.1769	0.2042	0.0061	1.5.E-01	lolos
6.67	22	0.3814	0.2042	0.0061	3.5.E-01	lolos
6.733	15	0.1769	0.2042	0.0061	1.5.E-01	lolos
6.768	19	0.2839	0.2042	0.0061	2.4.E-01	lolos
7.01	16	0.2013	0.2042	0.0061	1.7.E-01	lolos
7.064	16	0.2013	0.2042	0.0061	1.7.E-01	lolos
7.128	19	0.2839	0.2042	0.0061	2.4.E-01	lolos
7.211	22	0.3814	0.2042	0.0061	3.5.E-01	lolos
7.243	17	0.2273	0.2042	0.0061	1.9.E-01	lolos
7.292	15	0.1769	0.2042	0.0061	1.5.E-01	lolos
7.746	18	0.2548	0.2042	0.0061	2.2.E-01	lolos
7.831	17	0.2273	0.2042	0.0061	1.9.E-01	lolos
7.953	15	0.1769	0.2042	0.0061	1.5.E-01	lolos
8.059	23	0.4167	0.2042	0.0061	3.9.E-01	lolos
8.25	20	0.3146	0.2042	0.0061	2.8.E-01	lolos
8.368	18	0.2548	0.2042	0.0061	2.2.E-01	lolos
8.643	17	0.2273	0.2042	0.0061	1.9.E-01	lolos
8.721	16	0.2013	0.2042	0.0061	1.7.E-01	lolos
8.877	15	0.1769	0.2042	0.0061	1.5.E-01	lolos
9.209	18	0.2548	0.2042	0.0061	2.2.E-01	lolos
9.262	17	0.2273	0.2042	0.0061	1.9.E-01	lolos
9.339	19	0.2839	0.2042	0.0061	2.4.E-01	lolos
9.464	17	0.2273	0.2042	0.0061	1.9.E-01	lolos
9.497	19	0.2839	0.2042	0.0061	2.4.E-01	lolos
9.564	15	0.1769	0.2042	0.0061	1.5.E-01	lolos
9.615	15	0.1769	0.2042	0.0061	1.5.E-01	lolos
9.679	15	0.1769	0.2042	0.0061	1.5.E-01	lolos
9.771	18	0.2548	0.2042	0.0061	2.2.E-01	lolos
9.959	17	0.2273	0.2042	0.0061	1.9.E-01	lolos
10.047	17	0.2273	0.2042	0.0061	1.9.E-01	lolos
10.076	21	0.3477	0.2042	0.0061	3.1.E-01	lolos
10.11	15	0.1769	0.2042	0.0061	1.5.E-01	lolos
10.444	28	0.6175	0.2042	0.0061	6.8.E-01	lolos
10.479	15	0.1769	0.2042	0.0061	1.5.E-01	lolos
10.512	16	0.2013	0.2042	0.0061	1.7.E-01	lolos
10.718	17	0.2273	0.2042	0.0061	1.9.E-01	lolos
10.899	24	0.4536	0.2042	0.0061	4.4.E-01	lolos
10.952	15	0.1769	0.2042	0.0061	1.5.E-01	lolos
10.996	19	0.2839	0.2042	0.0061	2.4.E-01	lolos
11.051	16	0.2013	0.2042	0.0061	1.7.E-01	lolos

11.144	19	0.2839	0.2042	0.0061	2.4.E-01	lolos
11.231	16	0.2013	0.2042	0.0061	1.7.E-01	lolos
11.463	20	0.3146	0.2042	0.0061	2.8.E-01	lolos
11.488	20	0.3146	0.2042	0.0061	2.8.E-01	lolos
11.521	16	0.2013	0.2042	0.0061	1.7.E-01	lolos
11.612	18	0.2548	0.2042	0.0061	2.2.E-01	lolos
11.646	19	0.2839	0.2042	0.0061	2.4.E-01	lolos
11.92	16	0.2013	0.2042	0.0061	1.7.E-01	lolos
12.284	18	0.2548	0.2042	0.0061	2.2.E-01	lolos
12.6	16	0.2013	0.2042	0.0061	1.7.E-01	lolos
12.806	15	0.1769	0.2042	0.0061	1.5.E-01	lolos
13.409	19	0.2839	0.2042	0.0061	2.4.E-01	lolos
13.69	22	0.3814	0.2042	0.0061	3.5.E-01	lolos
13.819	15	0.1769	0.2042	0.0061	1.5.E-01	lolos
14.09	17	0.2272	0.2042	0.0061	1.9.E-01	lolos
14.283	21	0.3476	0.2042	0.0061	3.1.E-01	lolos
14.373	19	0.2839	0.2042	0.0061	2.4.E-01	lolos
14.898	16	0.2013	0.2042	0.0061	1.7.E-01	lolos
14.935	19	0.2839	0.2042	0.0061	2.4.E-01	lolos
14.963	27	0.5739	0.2042	0.0061	6.1.E-01	lolos
14.994	16	0.2013	0.2042	0.0061	1.7.E-01	lolos
15.079	20	0.3145	0.2042	0.0061	2.8.E-01	lolos
16.99	15	0.1769	0.2042	0.0061	1.5.E-01	lolos
17.218	17	0.2273	0.2042	0.0061	1.9.E-01	lolos
17.402	15	0.1769	0.2042	0.0061	1.5.E-01	lolos
17.435	24	0.4537	0.2042	0.0061	4.4.E-01	lolos
17.922	15	0.1769	0.2042	0.0061	1.5.E-01	lolos
18.378	15	0.1769	0.2042	0.0061	1.5.E-01	lolos
18.666	15	0.1769	0.2042	0.0061	1.5.E-01	lolos
19.665	17	0.2273	0.2042	0.0061	1.9.E-01	lolos
19.789	17	0.2273	0.2042	0.0061	1.9.E-01	lolos
19.825	18	0.2548	0.2042	0.0061	2.2.E-01	lolos
19.859	16	0.2013	0.2042	0.0061	1.7.E-01	lolos
20.067	21	0.3477	0.2042	0.0061	3.1.E-01	lolos
20.318	16	0.2013	0.2042	0.0061	1.7.E-01	lolos
20.461	16	0.2013	0.2042	0.0061	1.7.E-01	lolos
21.479	16	0.2013	0.2042	0.0061	1.7.E-01	lolos
21.807	16	0.2013	0.2042	0.0061	1.7.E-01	lolos
21.898	25	0.4920	0.2042	0.0061	4.9.E-01	lolos
21.938	18	0.2548	0.2042	0.0061	2.2.E-01	lolos
22.006	18	0.2548	0.2042	0.0061	2.2.E-01	lolos

22.091	16	0.2013	0.2042	0.0061	1.7.E-01	lolos
22.243	17	0.2273	0.2042	0.0061	1.9.E-01	lolos
22.539	17	0.2272	0.2042	0.0061	1.9.E-01	lolos
22.685	16	0.2013	0.2042	0.0061	1.7.E-01	lolos
22.808	16	0.2013	0.2042	0.0061	1.7.E-01	lolos
22.91	23	0.4166	0.2042	0.0061	3.9.E-01	lolos
23.681	21	0.3467	0.2042	0.0061	3.1.E-01	lolos
23.723	30	0.7086	0.2042	0.0061	8.4.E-01	lolos
24.026	18	0.2548	0.2042	0.0061	2.2.E-01	lolos
24.243	18	0.2548	0.2042	0.0061	2.2.E-01	lolos
25.347	22	0.3813	0.2042	0.0061	3.5.E-01	lolos
25.534	19	0.2839	0.2042	0.0061	2.4.E-01	lolos

BIODATA PENULIS



Iftinaniffah Qonitah, lahir pada tanggal 11 November 1998 di Sidoarjo adalah anak terakhir dari tiga bersaudara dari pasangan M Subekti dan Asfarina Hidayah. Pendidikan SD dan SMP penulis diselesaikan di kota kelahiran, yakni SD Hang Tuah 10 Juanda dan SMPN 1 Waru. Kemudian, penulis memutuskan untuk melanjutkan pendidikan di Kota Malang, yakni SMAN 8 Malang. Semasa SMA penulis aktif di beberapa organisasi, seperti OSIS, ekstrakurikuler jurnalistik, dan kepanitiaan pentas seni SMAN 8 Malang. Ketertarikan penulis terhadap dunia migas, membuat penulis memilih Teknik Kelautan ITS sebagai pendidikan selanjutnya. Penulis diterima di Teknik Kelautan ITS melalui jalur SNMPTN tahun 2016. Sejak tahun pertama menjadi mahasiswa, penulis bergabung dengan *volunteer* Kelautan Mengajar selama satu tahun. Pada tahun kedua, penulis melanjutkan kegiatan pada bidang sosial masyarakat dengan menjadi Sekretaris Departemen Sosial Masyarakat HIMATEKLA. Sedangkan, pada tahun ketiga penulis menjabat sebagai Kadiv Internal Departemen Sosial Masyarakat. Selain himpunan mahasiswa, penulis juga aktif mengikuti kepanitiaan di dalam dan luar jurusan. Penulis berkesempatan untuk melakukan kuliah praktik di *Piping Department*, PT. IKPT selama dua bulan. Penulis belajar mengenai *piping material* dan *pipe stress analysis*. Ketertarikan terhadap *pipeline* dan juga manajemen, membuat penulis mengangkat judul RBI terhadap bentangan bebas pipa bawah laut sebagai Tugas Akhir. Penulis dapat dihubungi melalui iftinaniffahq@gmail.com.