TUGAS AKHIR – ME184834

# KAJIAN TEKNIS PERHITUNGAN *BOLLARD PULL* UNTUK PEMANDUAN *SHUTTLE TANKER* PADA FSO TIPE *SPREAD MOORING SYSTEM*

RAFLY RAMA PUTERA
NRP 04211640000116

DOSEN PEMBIMBING
Dr. I Made Ariana, S.T., M.Sc.
Fadilla Indrayuni Prastyasari, S.T., M.Sc.

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

**TUGAS AKHIR – ME184834**

# KAJIAN TEKNIS PERHITUNGAN *BOLLARD PULL* UNTUK PEMANDUAN *SHUTTLE TANKER* PADA FSO TIPE *SPREAD MOORING SYSTEM*

RAFLY RAMA PUTERA
04211640000116

DOSEN PEMBIMBING
Dr. I Made Ariana, S.T., M.Sc.
Fadilla Indrayuni Prastyasari, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**BACHELOR THESIS – ME184834**

# TECHNICAL REVIEW OF BOLLARD PULL CALCULATION TO SUPPORT SHUTTLE TANKER FROM SPREAD MOORING SYSTEM FSO

RAFLY RAMA PUTERA
04211640000116

SUPERVISORS
Dr. I Made Ariana, S.T., M.Sc.
Fadilla Indrayuni Prastyasari, S.T., M.Sc.

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# LEMBAR PENGESAHAN

**Kajian Teknis Perhitungan *Bollard Pull* untuk Pemanduan *Shuttle Tanker* pada FSO Tipe *Spread Mooring System***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi *Marine Power Plant* (MPP)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Rafly Rama Putera**
**NRP. 04211640000116**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Dr. I Made Ariana, S.T., M.Sc. ( )

Fadilla Indrayuni Prastyasari, S.T., M.Sc. ( )

**SURABAYA**
**AGUSTUS, 2020**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# LEMBAR PENGESAHAN

**Kajian Teknis Perhitungan *Bollard Pull* untuk Pemanduan *Shuttle Tanker* pada FSO Tipe *Spread Mooring System***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi *Marine Power Plant* (MPP)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Penulis:
**Rafly Rama Putera**
**NRP. 04211640000116**

Disetujui Oleh,
Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Beny Cahyono, ST, MT, Ph.D.
NIP 197903192008011008

**SURABAYA**
**AGUSTUS, 2020**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**KAJIAN TEKNIS PERHITUNGAN *BOLLARD PULL* UNTUK PEMANDUAN *SHUTTLE TANKER* PADA FSO TIPE *SPREAD MOORING SYSTEM***


Nama mahasiswa : Rafly Rama Putera
NRP : 04211640000116
Pembimbing : 1. Dr. I Made Ariana, S.T., M.Sc.
2. Fadilla Indrayuni Prastyasari, S.T., M.Sc.


# ABSTRAK


FSO XX didesain dengan konfigurasi penambatan *Spread Mooring System (SMS)* untuk menggantikan FSO terdahulu yang mulanya memiliki konfigurasi penambatan *Turret Mooring System*. Secara teori, beban lingkungan yang diterima oleh *shuttle tanker* saat dilakukannya pemanduan pada proses *crude oil transfer* dari FSO XX akan lebih besar yang berdampak pada dibutuhkannya spesifikasi *bollard pull* kapal AHTS yang lebih besar. Hal itu dikarenakan pada konfigurasi penambatan *Spread Mooring System* tidak memungkinkan untuk FSO XX maupun *shuttle tanker* untuk bergerak menghadap arah datang cuaca untuk meminimalisir beban lingkungan yang diterima oleh *shuttle tanker*. Oleh karena itu, maka perhitungan beban lingkungan harus dilakukan kembali dengan mempertimbangkan konfigurasi penambatan *Spread Mooring System*. Perhitungan beban lingkungan yang diperhitungkan dalam penelitian ini mengikuti rekomendasi dari DNV-GL dengan memperimbangkan beban angin, gelombang, arus, dan inersia. Beban lingkungan transversal terbesar dalam batasan *weather restricted operations* didapatkan bernilai 262.96 MT menuju kutub positif. Sedangkan beban longitudinal terbesar didapatkan bernilai 105.44 MT menuju kutub negatif. Dengan mempertimbangkan safety factor, usia, efisiensi, dan konfigurasi penundaan dari kapal AHTS, maka didapatkan spesifikasi *bollard pull* kapal AHTS yang direkomendasikan dalam penelitian kali ini adalah 200 MT yang terletak pada *stern* dan 220 MT yang terletak pada *port side* atau *starboard side* dari *shuttle tanker*.



Kata kunci: FSO, *Bollard Pull*, Kapal AHTS, *Crude Oil Transfer*, Penundaan.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**TECHNICAL REVIEW OF BOLLARD PULL CALCULATION TO SUPPORT SHUTTLE TANKER FROM SPREAD MOORING SYSTEM FSO**

*Name* : Rafly Rama Putera
NRP : 04211640000116
*Supervisors* : 1. Dr. I Made Ariana, S.T., M.Sc.
2. Fadilla Indrayuni Prastyasari, S.T., M.Sc.

# ABSTRACT

*FSO XX was designed with Spread Mooring System to substitute the former FSO whose mooring system was designed with Turret Mooring System. Theoritically, the environmental loads affecting the shuttle tanker when the crude oil transfer process from FSO XX undergo will have a bigger number and require a bigger bollard pull specification of the AHTS vessels to assist the shuttle tanker in place. It is because the weathervaning flexibility to adjust the heading direction of either FSO XX and shuttle tanker which found in Turret Mooring System is absent in Spread Mooring System. The calculation of environmental loads in this research is conducted using recommendation from DNV-GL and took accounts of wind, wave, current, and inertia loads. The biggest transversal environmental load is recorded by the magnitude of 262.96 MT towards positive vector. Whilst the biggest longitudinal environmental load is recorded by the magnitude of 105.44 MT towards negative vectors. By considering safety factor, age, efficiency, and towing configuration of the AHTS vessels, the recommended specification of the AHTS vessels in this research are 200 MT AHTS vessel in stern of the shuttle tanker and 220 MT AHTS vessel in port side or starboard side of the shuttle tanker.*

Keyword: FSO, *Bollard Pull, AHTS Vessel*, *Crude Oil Transfer*, Towing.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan bimbingan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "Kajian Teknis Perhitungan *Bollard Pull* untuk Pemanduan *Shuttle Tanker* pada FSO Tipe *Spread Mooring System*". Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan yang harus diselesaikan untuk kelulusan Program Studi Sarjana Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih sedalam-dalamnya kepada semua pihak yang telah membantu menyelesaikan Tugas Akhir ini. Secara khusus penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Ibu Eny Purwatiningsih dan Bapak Akhsan Djawar yang selalu memberikan dukungan moral maupun material untuk penulis.
2. Bapak Dr. I Made Ariana, S.T., M.Sc. dan Ibu Fadilla Indrayuni Prastyasari, S.T., M.Sc. yang selalu mengarahkan dan membimbing penulis dengan sabar selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Beny Cahyono, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
4. Bapak Sardono Sarwito, S.T., M.Sc. selaku Dosen Wali penulis yang selalu memberikan motivasi dan dukungan selama proses perkuliahan.
5. Kepada *Marine Facilities Operations Engineering Team,* yaitu Bapak F.X. Agus Darminto, Mohamad Kadafi, dan Giri Djatmiko yang telah mengizinkan penulis untuk mengambil data untuk kebutuhan penulisan Tugas Akhir ini.
6. Nadhira Azane Putri selaku sahabat penulis yang selalu bersedia meluangkan waktunya menemani penulis dengan canda tawanya selama masa perkuliahan.
7. Denise Sonia Rahmadina, Devita Auliana Putri, dan Safira Anis Rahmawati atas semua wisata dadakan, canda tawa, mobil brio-nya yang sangat nyaman untuk dinaiki, dan bersedia menjadi tempat pelipur lara selama masa perkuliahan.
8. Attariq Ario Damayanto, Dovianandа Achiruddin, Raihan Abdurrasyid, Rafdi Ario Nugroho, dan teman-teman Kosyans21 yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas kenangan dan canda tawanya selama penulis menempuh pendidikan di ITS.
9. Sahabat-sahabat Marvel University yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang selalu menjadi penghibur dikala sendu.
10. Nadyanti Larasati dan Vinda Hafsari selaku sahabat yang bersedia untuk dituangkan atas keluh kesah penulis selama ini.
11. Arek-arek selaku grup teman-teman penulis atas segala hiburannya dan bimbingan professionalnya selama masa perkuliahan.
12. Teman-teman VOYAGE P56, khususnya member lab RAMS dan MPP, yang selalu menjadi tempat bertukar pikiran.

Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini belumlah sempurna, oleh karena itu saran dan kritik yang membangun dari pembaca sangatlah dibutuhkan untuk penyempurnaan laporan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ..... i
ABSTRAK ..... v
ABSTRACT ..... vii
KATA PENGANTAR ..... ix
DAFTAR ISI ..... xi
DAFTAR GAMBAR ..... xv
DAFTAR TABEL ..... xvii
DAFTAR GRAFIK ..... xix
BAB 1 PENDAHULUAN ..... 21
1.1 Latar Belakang ..... 21
1.2 Rumusan Masalah ..... 23
1.3 Tujuan ..... 24
1.4 Batasan Masalah ..... 24
1.5 Kontribusi ..... 25
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA ..... 27
2.1 *Crude Oil Transfer* ..... 27
2.2 Kondisi *Existing* Penundaan ..... 27
2.3 Kondisi Lingkungan ..... 28
2.4 Penentuan Beban Lingkungan ..... 30
2.4.1 Beban Angin ($F_{wind}$) ..... 31
2.4.2 Beban Gelombang ($F_{wave}$) ..... 31
2.4.3 Beban Arus ($F_{current}$) ..... 32
2.4.4 Beban Inersia ($F_{HR/VR}$) ..... 33
2.5 Kebutuhan *Bollard Pull* ..... 34
2.5.1 Efisiensi Penundaan ..... 35
2.5.2 Penuruan Efisiensi ..... 35
2.6 Penundaan Kapal ..... 36
2.6.1 Kapal Tunda ..... 36
2.6.2 Penundaan Kapal ..... 36

2.6.3 *Bollard Pull* ..... 36
2.6.4 Skenario Penundaan ..... 36
2.7 Regulasi-Regulasi Terkait ..... 37
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN ..... 39
3.1 Metodologi ..... 39
3.2 Perumusan Masalah ..... 40
3.3 Studi Literatur ..... 40
3.4 Pengumpulan Data Lapangan dan Lingkungan ..... 40
3.5 Evaluasi Kondisi Penundaan ..... 41
3.6 Perhitungan Beban Lingkungan ..... 41
3.7 Perhitungan Empiris Kebutuhan *Bollard Pull* ..... 41
3.8 Validasi ..... 41
3.9 Skenario Penundaan *Shuttle Tanker* ..... 41
3.10 Kesimpulan, Rekomendasi, dan Saran ..... 42
3.11 Jadwal Pengerjaan ..... 42
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN ..... 45
4.1 Penentuan Spesifikasi *Shuttle Tanker* ..... 45
4.2 Perhitungan *Bollard Pull* Riil dari Kapal AHTS Kondisi *Existing* ..... 50
4.3 Perhitungan Beban Lingkungan pada Kondisi *Connected* ..... 51
4.3.1 Perhitungan Beban Angin ($F_{wind}$) ..... 51
4.3.2 Perhitungan Beban Gelombang ($F_{wave}$) ..... 53
4.3.3 Perhitungan Beban Arus ($F_{current}$) ..... 55
4.3.4 Perhitungan Beban Lingkungan Total ($F_{Tconnected}$) ..... 58
4.4 Perhitungan Beban Lingkungan pada Kondisi *Connecting* ..... 60
4.4.1 Perhitungan Beban Angin ($F_{wind}$) ..... 61
4.4.2 Perhitungan Beban Gelombang ($F_{wave}$) ..... 63
4.4.3 Perhitungan Beban Arus ($F_{current}$) ..... 65
4.4.4 Perhitungan Beban Inersia ($F_{HR/VR}$) ..... 68
4.4.5 Perhitungan Beban Lingkungan Total ($F_{Tconnecting}$) ..... 69
4.5 Pembatasan Jendela Operasi ..... 72

4.6 Perhitungan Beban Lingkungan pada Kondisi *Connected* dalam Batasan *Weather Restricted Operations* ..... 73
4.6.1 Perhitungan Beban Angin ($F_{wind}$) ..... 73
4.6.2 Perhitungan Beban Gelombang ($F_{wave}$) ..... 75
4.6.3 Perhitungan Beban Arus ($F_{current}$) ..... 78
4.6.4 Perhitungan Beban Lingkungan Total ($F_{Tconnected}$) ..... 80
4.7 Perhitungan Beban Lingkungan pada Kondisi *Connecting* dalam Batasan *Weather Restricted Operations* ..... 83
4.7.1 Perhitungan Beban Angin ($F_{wind}$) ..... 83
4.7.2 Perhitungan Beban Gelombang ($F_{wave}$) ..... 85
4.7.3 Perhitungan Beban Arus ($F_{current}$) ..... 87
4.7.4 Perhitungan Beban Inersia ($F_{HR/VR}$) ..... 89
4.7.5 Perhitungan Beban Lingkungan Total ($F_{Tconnecting}$) ..... 91
4.8 Pembuatan Skenario Penundaan ..... 94
4.8.1 Pemilihan Kebutuhan *Bollard Pull* pada *Worst Case Scenario* ..... 94
4.8.2 Pembuatan Skenario Penundaan ..... 96
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN ..... 99
5.1 Kesimpulan ..... 99
5.2 Saran ..... 100
DAFTAR PUSTAKA ..... 101
LAMPIRAN ..... 103
BIODATA PENULIS ..... 128

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Grafik Produksi-Konsumsi Migas Indonesia (2000-2017).....21
Gambar 1.2. Skema FSO.....22
Gambar 2.1. Skenario Penundaan *Shuttle Tanker* Kondisi *Existing* .....28
Gambar 2.2. Arah Datang Cuaca.....29
Gambar 3.1. Diagram Alir.....39
Gambar 4.1. Beaufort Scale .....72
Gambar 4.2. Skenario Penundaan Rekomendasi.....96

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Spesifikasi *Shuttle Tanker* ..... 28
Tabel 2.2. Spesifikasi Kapal-Kapal AHTS (Kondisi *Existing*) ..... 28
Tabel 2.3. Karakteristik Cuaca Belida *Field* ..... 29
Tabel 3.1. Jadwal Pengerjaan ..... 42
Tabel 4.1. Spesifikasi MT Mare Oriens ..... 45
Tabel 4.2. Spesifikasi MT Bull Kalimantan ..... 46
Tabel 4.3. Spesifikasi MT Csk Vanguard ..... 46
Tabel 4.4. Spesifikasi MT Nectar ..... 47
Tabel 4.5. Spesifikasi MT Nusa Merdeka ..... 47
Tabel 4.6. Spesifikasi MT Gede ..... 48
Tabel 4.7. Perhitungan *Area Factor Shuttle Tankers* ..... 49
Tabel 4.8. Perhitungan *Bollard Pull* Riil Kondisi *Existing* ..... 50
Tabel 4.9. *Principal Dimension Shuttle Tanker* Kondisi *Fully Loaded* ..... 51
Tabel 4.10. *Principal Dimension Shuttle Tanker* Kondisi *Ballasted* ..... 61
Tabel 4.11. Pembatasan Jendela Operasi ..... 73
Tabel 4.12. Beban Lingkungan Total *Worst Case Scenario* ..... 94
Tabel 4.13. Beban Lingkungan Resultan *Worst Case Scenario* ..... 95
Tabel 4.14. Spesifikasi Kapal AHTS *New Scenario* ..... 96
Tabel 4.15. Validasi Kondisi Penundaan ..... 97

*"Halaman ini sengaja dikosongkan"*

# DAFTAR GRAFIK

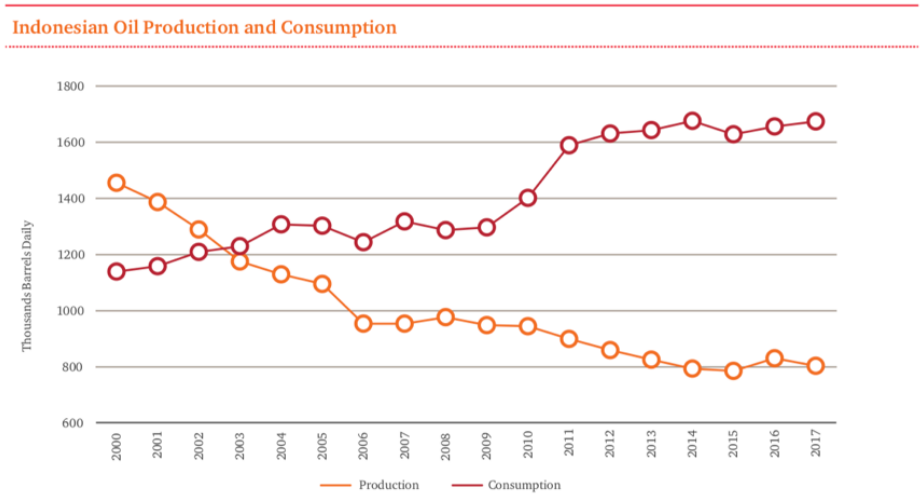
Grafik 4.1. Grafik Beban Angin Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected* .....52
Grafik 4.2. Grafik Beban Angin Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected* .....53
Grafik 4.3. Grafik Beban Gelombang Transversal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected*.....54
Grafik 4.4. Grafik Beban Gelombang Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected*.....55
Grafik 4.5. Grafik Beban Arus Transversal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected*..56
Grafik 4.6. Grafik Beban Arus Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected* 57
Grafik 4.7. Grafik Beban-Beban Lingkungan Transversal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected*.....58
Grafik 4.8. Grafik Beban-Beban Lingkungan Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected* .....59
Grafik 4.9. Grafik Beban Lingkungan Total Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected*.60
Grafik 4.10. Grafik Beban Angin Transversal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting* .....62
Grafik 4.11. Grafik Beban Angin Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting* .....63
Grafik 4.12. Grafik Beban Gelombang Transversal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting* .....64
Grafik 4.13. Grafik Beban Gelombang Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting* .....65
Grafik 4.14. Grafik Beban Arus Transversal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting* .....66
Grafik 4.15. Grafik Beban Arus Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting* .....67
Grafik 4.16. Grafik Beban-Beban Lingkungan Transversal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting*.....69
Grafik 4.17. Grafik Beban-Beban Lingkungan Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting*.....70
Grafik 4.18. Grafik Beban Lingkungan Total Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting* .....71
Grafik 4.19. Grafik Beban Angin Transversal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected* dalam Batasan *Weather Restricted Operations*.....74
Grafik 4.20. Grafik Beban Angin Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected* dalam Batasan *Weather Restricted Operations*.....75
Grafik 4.21. Grafik Beban Gelombang Transversal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting* dalam Batasan *Weather Restricted Operations*.....76
Grafik 4.22. Grafik Beban Gelombang Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected* dalam Batasan *Weather Restricted Operations*.....77

Grafik 4.23. Grafik Beban Arus Transversal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected* dalam Batasan *Weather Restricted Operations* .....78
Grafik 4.24. Grafik Beban Gelombang Arus Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected* dalam Batasan *Weather Restricted Operations* .....79
Grafik 4.25. Grafik Beban-Beban Lingkungan Transversal pada Kondisi *Connected* Dalam Batasan *Weather Restricted Operations* .....80
Grafik 4.26. Grafik Beban-Beban Lingkungan Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected* dalam Batasan *Weather Restricted Operations* .....81
Grafik 4.27. Grafik Beban Lingkungan Total Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected* dalam Batasan *Weather Restricted Operations* .....82
Grafik 4.28. Grafik Beban Angin Transversal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting* dalam Batasan *Weather Restricted Operations* .....83
Grafik 4.29. Grafik Beban Angin Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting* dalam Batasan *Weather Restricted Operations*.....84
Grafik 4.30. Grafik Beban Gelombang Transversal vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting* dalam Batasan *Weather Restricted Operations*.....85
Grafik 4.31. Grafik Beban Gelombang Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting* dalam Batasan O*Weather Restricted Operations*.....86
Grafik 4.32. Grafik Beban Arus Transversal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting* dalam Batasan *Weather Restricted Operations* .....88
Grafik 4.33. Grafik Beban Arus Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting* dalam Batasan *Weather Restricted Operations* .....89
Grafik 4.34. Grafik Beban-Beban Lingkungan Transversal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting* dalam Batasan *Weather Restricted Operations* .....91
Grafik 4.35. Grafik Beban-Beban Lingkungan Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting* dalam Batasan *Weather Restricted Operations* .....92
Grafik 4.36. Grafik Beban Lingkungan Total Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting* dalam Batasan *Weather Restricted Operations* .....93

# BAB 1
# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

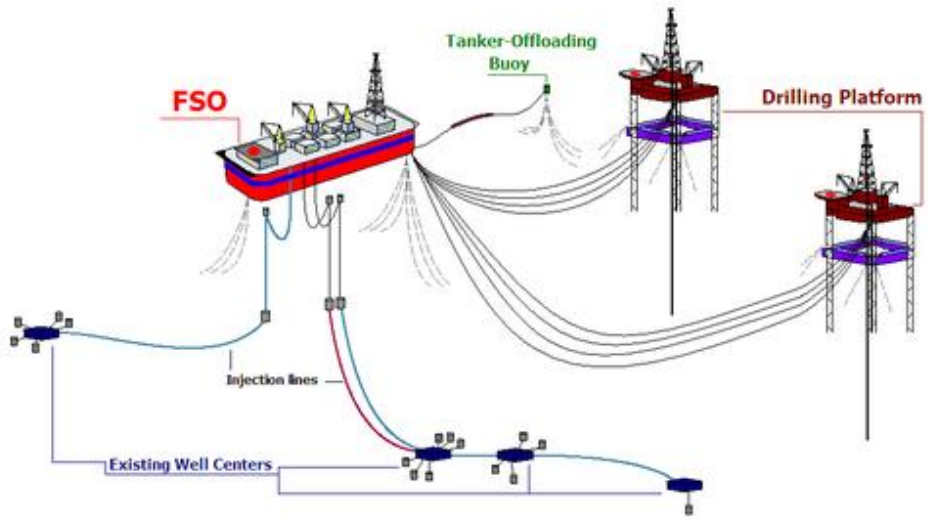
Penggunaan energi minyak dan gas (migas) masih sangat penting dalam kehidupan sehari-hari. Gambar 1.1 menunjukkan seiring dengan berjalannya waktu, kebutuhan masyarakat akan migas di Indonesia selalu bertumbuh setiap tahunnya (PwC Indonesia, 2019). Hal ini bertolak belakang dengan semakin sedikitnya lapangan migas di Indonesia yang terletak di daratan. Pengembangan dalam perencanaan eksplorasi migas dilakukan demi mengatasi polemik tersebut. Salah satu langkah yang diambil adalah dengan melakukan eksploitasi migas di wilayah-wilayah non-daratan, salah satunya adalah daerah lepas pantai.




Gambar 1.1. Grafik Produksi-Konsumsi Migas Indonesia (2000-2017)
Sumber: PwC Indonesia, 2019

Demi menunjang kegiatan eksploitasi migas lepas pantai yang memiliki karakteristik terisolasi tersebut dibutuhkan fasilitas lepas pantai yang memadai dan dapat diandalkan. Salah satu fasilitas lepas pantai yang umum digunakan adalah Floating Storage and Offloading (FSO). Gambar 1.2. menunjukkan skema FSO yang umum digunakan pada eksploitasi migas di lepas pantai. FSO sejatinya merupakan bangunan apung berbentuk kapal atau hasil konversi dari kapal tanker yang ditambatkan dan

berguna untuk mengakomodasi hasil minyak mentah yang diperolah dari sumur-sumur yang ada di sekitarnya yang ditransfer melalui production riser (Shimamura, 2002). Minyak mentah yang telah disimpan di dalam tangki-tangki FSO nantinya akan dipindahkan ke shuttle tanker secara berkala untuk didistribusikan ke daratan.




Gambar 1.2. Skema FSO
Sumber: Putera, 2020

Salah satu FSO yang beroperasi di Indonesia adalah FSO XX yang terletak di Laut Natuna Selatan. FSO XX merupakan FSO hasil konversi dari kapal *tanker* atas permintaan dari perusahaan penyewa. FSO XX mulai beroperasi semenjak tahun 2018 sebagai pengganti FSO terdahulu yang menurut Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 92 Tahun 2018 sudah tidak diperbolehkan beroperasi dikarenakan ber-bendera luar Indonesia.

Penggantian FSO terdahulu yang memiliki sistem penambatan menggunakan *Turret Mooring System* menjadi FSO XX yang memiliki sistem penambatan menggunakan *Spread Mooring System* (SMS) memunculkan permasalahan baru. Sistem penambatan menggunakan *Turret Mooring System* memungkinkan untuk FSO bergerak dinamis mengikuti arah arus yang berubah-ubah namun tetap dalam satu poros (*weathervaning*), sedangkan SMS tidak memungkinkan hal tersebut. Hal tersebut memberi keunggulan bagi sistem penambatan turret karena dapat meminimalisir beban

lingkungan dengan cara menyesuaikan posisi FSO dan *shuttle tanker* ketika tali *hawser* telah terhubung.

Hal ini menjadi sangat berbeda pada saat proses *crude oil transfer* dari FSO dilakukan. Konfigurasi *crude oil transfer* dari FSO XX yang menggunakan sistem tandem dimana *shuttle tanker* berada paralel dengan FSO pada sistem penambatan SMS menyebabkan beban lingkungan yang diterima oleh *shuttle tanker* akan sangat dipengaruhi oleh arah datang cuaca, terlebih lagi pada saat cuaca datang dari arah *port side* atau *starboard side* kapal, yang dikenal dengan istilah *beam sea*. Hipotesa ini terbukti dengan terjadinya beberapa kasus kapal AHTS yang digunakan untuk membantu pemanduan *shuttle tanker* pada FSO terdahulu mengalami kesulitan dan akhirnya terbawa arus pada saat melakukan pemanduan *shuttle tanker* untuk *crude oil transfer* dari FSO XX dengan spesifikasi *shuttle tanker* yang identik.

Oleh karena itu, perhitungan kebutuhan *bollard pull* dalam operasi penundaan *shuttle tanker* pada saaat proses *crude oil transfer* haruslah dilakukan kembali mengingat kondisi beban lingkungan yang sudah jauh berbeda. Skenario penggunaan kapal AHTS sebagai kapal tunda juga harus dipertimbangkan demi mengetahui skenario terbaik dari segi teknis dengan mempertimbangkan *safety* yang ada selama operasi *crude oil transfer* dilakukan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dalam pelaksanaan kegiatan pemanduan selama proses *crude oil transfer* dari FSO XX diperlukan pemilihan terhadap perancanaan pengadaan kapal AHTS. Maka dari itu, didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Seberapa besar beban lingkungan yang diterima oleh *shuttle tanker* pada saat proses *conencting* tali *hawser* dan saat tali *hawser* telah *connected* FSO XX?
2. Berapa *bollard pull* yang dibutuhkan untuk membantu penundaan *shuttle tanker* pada proses *connecting* tali *hawser* dan mempertahankan posisi *shuttle tanker* pada saat tali *hawser* telah *connected* dengan FSO XX?

3. Bagaimana skenario penundaan yang paling optimal untuk membantu penundaan *shuttle tanker* pada proses *connecting* tali *hawser* dan mempertahankan posisi *shuttle tanker* pada saat tali *hawser* telah *connected* dengan FSO XX?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan besar beban lingkungan yang diterima oleh *shuttle tanker* pada saat proses *conencting* tali *hawser* dan saat tali *hawser* telah *connected* dengan FSO XX
2. Menentukan besar kebutuhan *bollard pull* untuk membantu penundaan *shuttle tanker* pada proses *connecting* tali *hawser* dan mempertahankan posisi *shuttle tanker* pada saat tali *hawser* telah *connected* dengan FSO XX.
3. Membuat skenario-skenario penundaan yang memungkinkan dan memilih skenario yang paling optimal untuk membantu penundaan *shuttle tanker* pada proses *connecting* tali *hawser* dan mempertahankan posisi *shuttle tanker* pada saat tali *hawser* telah *connected* dengan FSO XX.

## 1.4 Batasan Masalah

Agar penyusunan penelitian ini dapat dipahami dan lebih terfokus pada suatu nilai tertentu, maka dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Daerah penelitian dilakukan pada proses *connecting* tali *hawser* dan pada saat tali *hawser* telah *connected* dengan FSO XX.
2. Kondisi lingkungan penundaan termasuk kedalam *weather restricted operations*.

## 1.5 Kontribusi

Dengan diadakannya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan manfaat kepada Institutsi dan Perusahaan tentang rekomendasi pemilihan untuk pengadaan kapal AHTS pada proses *crude oil transfer* di FSO dengan sistem penambatan *Spread Mooring System*. Secara khusus, penelitian ini diharapkan dapat membantu pemilik maupun penyewa FSO XX untuk menentukan nilai beban lingkungan, kebutuhan bollard pull, dan skenario penundaan yang optimal dengan tetap mempertimbangkan aspek *safety* sesuai dengan regulasi yang ada. Kemudian, penulis berharap penelitian ini dapat menjadi referensi yang dapat dipertanggungjawabkan bagi para akademisi maupun mahasiswa yang tertarik untuk melakukan penelitian lebih lanjut terhadap topik terkait.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# BAB 2
# KAJIAN PUSTAKA

## 2.1 *Crude Oil Transfer*

*Crude oil transfer* merupakah salah satu fungsi dari FSO (*Floating Storage Offloading)* untuk memindahkan minyak mentah yang sudah ditampung di tanki penyimpanan ke *shuttle tanker* untuk nantinya didistribusikan ke daratan. Ada beberapa cara yang digunakan untuk memindahkan minyak mentah dari FSO ke *shuttle tanker*, antara lain adalah:

1. Pipa bawah laut
2. *Submarine hose*
3. *Floating hose*
4. CALM (*Catenary Anchor Leg Mooring*) buoy

Untuk sistem *crude oil transfer* yang digunakan oleh FSO XX adalah *floating hose* yang ditambatkan pada buoy yang terletak di sekitar FSO. *Floating hose* merupakan sistem *crude oil transfer* yang memungkinkan untuk mentransferkan minyak mentak dari *manifold* yang ada di FSO ke *manifold* yang terletak di *shuttle tanker* menggunakan sebuah selang yang dapat mengapung di lautan.

## 2.2 Kondisi *Existing* Penundaan

Kondisi operasi penundaan *crude oil transfer* dari FSO XX ke *shuttle tanker* saat dilakukannya penelitian adalah dengan menggunakan dua buah kapal AHTS. Pada penelitian kali ini, spesifikasi dari *shuttle tanker* dipilih berdasarkan spesifikasi terbesar dari *shuttle tanker* yang pernah melaksanakan *crude oil transfer* dari FSO XX. Spesifikasi dari *shuttle tanker* dan kapal AHTS yang digunakan pada kondisi *existing* dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

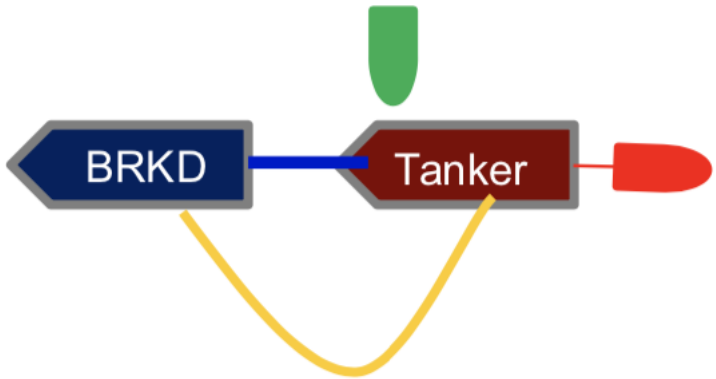
Tabel 2.1. Spesifikasi *Shuttle Tanker*

| | |
|---|---|
| **Tipe** | *Crude Oil Tanker* |
| **Loa** | 245,55 m |
| **Lpp** | 235,72 m |
| **Breadth** | 42,01 m |
| **Height** | 21,51 m |
| **Draught** | 14,98 m |
| **DWT** | 110295 m |

Tabel 2.2. Spesifikasi Kapal-Kapal AHTS (Kondisi *Existing*)

| **Name** | Catherine Queen | SMS Steady |
|---|---|---|
| **Type** | AHTS | AHTS |
| ***Year of Built*** | 2014 | 2015 |
| **Length** | 65 m | 50 m |
| **Breadth** | 15 m | 13 m |
| **Bollard Pull** | 85 Ton | 48 Ton |
| **Daya Mesin** | 6,526 HP | 4,400 HP |

Dengan skenario penundaan *existing* seperti pada Gambar 2.1 di bawah.




Gambar 2.1. Skenario Penundaan *Shuttle Tanker* Kondisi *Existing*
Sumber: Putera, 2020

## 2.3 Kondisi Lingkungan

Data kondisi lingkungan pada penelitian kali ini didapatkan dari *Final Report Metocean Survey at West Natuna Sea Area* yang berisikan data cuaca selama 20 tahun (1986-2001) yang diolah untuk memprediksikan cuaca hingga 100 tahun kedepan.

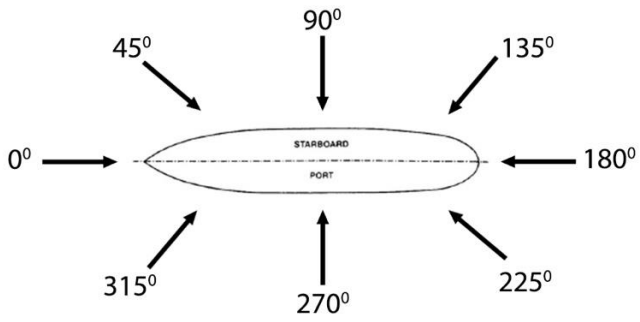
Menurut DNV-GL-OSE301 *Chapter 2, Section 1: Environmental Conditions and Loads,* data-data yang digunakan untuk perhitungan beban lingkungan adalah sebagai berikut:

1. Untuk perhitungan beban gelombang ($F_{wave}$), data gelombang rata-rata dengan periode pengulangan 100 tahunan yang digunakan.
2. Untuk perhitungan beban angin ($F_{wind}$), data angin rata-rata dengan periode pengulangan 100 tahunan yang digunakan.
3. Untuk perhitungan beban arus ($F_{current}$), data arus dengan periode pengulangan 10 tahunan yang digunakan.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan menggunakan karakteristik cuaca dan lapangan awal yang telah terrangkum pada Tabel 2.3 dan Gambar 2.2.

Tabel 2.3. Karakteristik Cuaca Belida *Field*

| **Parameter** | **Arah Datang** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $0^0$ | $45^0$ | $90^0$ | $135^0$ | $180^0$ | $225^0$ | $270^0$ | $315^0$ |
| **Hs (m)** | 1.66 | 2.17 | 1.62 | 1.77 | 2.69 | 5.15 | 2.10 | 5.15 |
| **Angin (m/s)** | 19.16 | 18.53 | 16.00 | 17.24 | 18.35 | 17.12 | 17.81 | 19.27 |
| **Arus (m/s)** | 1.32 | 1.00 | 0.95 | 0.95 | 1.05 | 1.04 | 0.95 | 1.22 |
| **Kedalaman (m)** | 77 | | | | | | | |




Gambar 2.2. Arah Datang Cuaca
Sumber: Putera, 2020

## 2.4 Penentuan Beban Lingkungan

Menurut (The Naval Arch Team, 2017), dalam perhitungan kebutuhan *bollard pull* harus mempertimbangkan kondisi lingkungan yang memberikan dampak pada pergerakan kapal di laut lepas. Hal itu meliputi beban yang diberikan akibat gaya yang diberikan oleh arus, ombak, dan angin. Maka dari itu, dapat disimpulkan bahwa perhitungan kebutuhan *bollard pull* pada saat tali *hawser conencted* dengan FSO dapat dirumuskan dengan formula:

$$F_{Tconnected} = F_{wind} + F_{wave} + F_{current} \quad (2.1)$$

Dimana,

$F_{Tconencted}$ = Beban total pada keadaan tali *hawser connected* (kN)
$F_{wind}$ = Beban akibat gaya yang diberikan oleh angin (kN)
$F_{wave}$ = Beban akibat gaya yang diberikan oleh gelombang (kN)
$F_{current}$ = Beban akibat gaya yang diberikan oleh arus (kN)

Menurut DNV-OS-H102 *Section 4: Load Effects,* adanya gerakan dinamis kapal di lepas pantai menyebabkan timbulnya beban lain yang harus diperhitungkan ketika melakukan perencanaan penundaan lepas pantai. Maka dari itu, rumus beban lingkungan total yang diterima oleh kapal dapat dirumuskan dalam formula:

$$F_{Tconnecting} = F_{wind} + F_{wave} + F_{current} + F_{HR/VR} \quad (2.2)$$

Dimana,

$F_{Tconnecting}$ = Beban total pada proses *connecting* tali *hawser* (kN)
$F_{wind}$ = Beban akibat gaya yang diberikan oleh angin (kN)
$F_{wave}$ = Beban akibat gaya yang diberikan oleh gelombang (kN)
$F_{current}$ = Beban akibat gaya yang diberikan oleh arus (kN)
$F_{HR/vr}$ = Beban akibat gaya inersia kapal (kN)

### 2.4.1 Beban Angin ($F_{wind}$)

Beban angin adalah beban yang diterima oleh kapal akibat pengaruh dari gaya yang diberikan oleh angin di lingkungan. Menurut (Thoresen, 2014), beban angin yang diterima oleh kapal dapat beragam bergantung dari jenis dan ukuran dari kapal tersebut. Terdapat beberapa metode dan rumus untuk menghitung beban angin yang diterima oleh kapal, OCIMF merekomendasikan perhitungan beban angin yang diterima oleh kapal dilakukan dengan menggunakan formula:

Beban angin transversal yang bekerja pada *shuttle tanker* adalah:

$$F_{YW} = C_{YW} \text{ x } \rho \; x \; A_L \; x \; \frac{V_w^2}{20\,000} \tag{2.3}$$

Beban angin longitudinal yang bekerja pada *shuttle tanker* adalah:

$$F_{XW} = C_{XW} \; x \; \rho \; x \; A_L \; x \; \frac{V_w^2}{20\,000} \tag{2.4.}$$

Dimana,

$F_{Ywind}$ = Beban angin transversal (kN)
$F_{Xwind}$ = Beban angin longitudinal (kN)
$C_{TW}$ = Koefisien beban angin transversal pada derajat tertentu
$C_{LW}$ = Koefisien beban angin longitudinal pada derajat tertentu
$\rho$ = Massa jenis udara (kg/m$^3$)
$V_w$ = Kecepatan angin pada ketinggian 10 m di atas sarat air (m/s)
$A_L$ = Luas proyeksi di atas sarat air (m$^2$)

### 2.4.2 Beban Gelombang ($F_{wave}$)

Pada keadaan laut yang tidak tenang, muncul gelombang yang memberi pengaruh pada keadaan kapal di laut lepas. Oleh karena itu, dalam perhitungan kebutuhan bollard pull haruslah mempertimbangkan beban yang diterima kapal akibat gaya yang diberikan oleh gelombang. Menurut (Thoresen, 2014), tidak ada standar prosedur tertentu untuk melakukan perhitungan beban ombak. Akan tetapi, the Spanish Standard ROM 0.2-90 mengatakan bahwa besarnya wave force dapat dihitung menggunakan formula:

Beban gelombang transvesal yang bekerja pada *shuttle tanker* adalah:

$$F_{Ywave} = C_{fw}\ x\ C_{dw}\ x\ \gamma_{dw}\ x\ H_s^2\ x\ D'x\ \sin a \quad (2.5)$$

Beban gelombang longitudinal yang bekerja pada *shuttle tanker* adalah:

$$F_{Xwave} = C_{fw}\ x\ C_{dw}\ x\ \gamma_{dw}\ x\ H_s^2\ x\ D'x\ \cos \alpha \quad (2.6)$$

Dimana,

$C_{fw}$ = Koefisien *waterplane* bergantung pada *wave longitude* $L_w$ dan sarat kapal

$C_{dw}$ = Koefisien kedalaman bergantung pada *wave longitude* $L_w$ dan sarat kapal

$\gamma_w$ = *Specific gravity* dari air laut (1.034 t/m$^3$)

$H_s$ = Tinggi gelombang signifikan (m)

$\alpha$ = Sudut antara sumbu longitudinal kapal dari haluan ke buritan dengan arah datang gelombang

D' = Proyeksi panjang kapal dari arah datang gelombang

= $L_{bp}$ x sin $\alpha$ + B x cos $\alpha$

$L_{bp}$ = *Length between perpendiculars* (m)

B = Lebar kapal (m)

D = Sarat kapal (m)

h = Kedalaman lokasi (m)

### 2.4.3 Beban Arus ($F_{current}$)

Beban arus adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sehingga menyebabkan pergerakan pada kapal dalam kondisi laut tenang. Ada beberapa metode untuk melakukan perhitungan tahanan kapal, menurut rekomendasi dari DNV GL dalam DNV-GL-E301 *Chapter 2, Section 1: Environmental Conditions*

*and Loads*, perhitungan beban arus dapat dilakukan melalui formula yang ada dalam OCIMF sebagai berikut (Thoresen, 2014):

Beban arus transversal yang bekerja pada *shuttle tanker* adalah:

$$F_{YC} = \frac{C_{YC} \; x \; \gamma_w \; x \; D \; x \; L_{bp} \; x \; V_c^2}{20000} \tag{2.7}$$

Beban arus longitudinal yang bekerja pada *shuttle tanker* adalah:

$$F_{XC} = \frac{C_{XC} \; x \; \gamma_w \; x \; L_{bp} \; x \; B \; x \; V_c^2}{20000} \tag{2.8}$$

Dimana,

$F_{YC}$ = Beban arus transversal (MT)

$F_{XC}$ = Beban arus longitudinal (MT)

$C_{YC}$ = Koefisien beban arus transversal sesuai dengan arah datang arus dan *underkeel clearance*

$C_{Xc}$ = Koefisien beban arus longitudinal sesuai dengan arah datang arus dan *underkeel clearance*

$\gamma_w$ = Massa jenis air laut (kg/m$^3$)

$L_{bp}$ = *Length between perpendiculars* (m)

D = Sarat kapal rata-rata (m)

$V_C$ = Kecepatan arus rata-rata (m/s)

### 2.4.4 Beban Inersia ($F_{HR/VR}$)

Inersia adalah kecenderungan dari sebuah benda untuk mempertahankan posisinya. Pada saat ketidaktersediaan data analisa gerakan kapal, maka beban inersia yang diterima oleh kapal dapat ditentukan menggunakan rumus (Chakrabarti, 2005):

$$F_{HR} = \frac{W\left[\pm \frac{4\pi^2 \theta_Z}{T_R^2 g} + (1 \pm 0.2) \sin\theta\right]}{g \; x \; 1000} \tag{2.9}$$

$$F_{VR} = \frac{W\left[\pm\frac{4\pi^2\theta y}{T_R^2 g} + (1 \pm 0.2)\cos\theta\right]}{g\ x\ 1000} \quad (2.10)$$

Dimana,

$F_{HR}$ = Gaya inersia longitudinal kapal (MT)

$F_{VR}$ = Gaya inersia transversal kapal (MT)

$T_R$ = Periode *roll* atau *pitch* kapal (s)

= $\frac{2.3\pi k_r}{\sqrt{g\ GM}}$ untuk *roll*

= $\sqrt{\frac{2\pi\lambda_\varphi}{g}}$ untuk *pitch*

θ = Sudut *roll* atau *pitch* kapal (rad)

= $\frac{9000\ (1.4-0.035T_R) f_p f_{BK}}{(1.15B+55)\pi}$ untuk *roll*

= $920 f_p L^{-0.84}\left\{1.0 + \left(\frac{2.57}{\sqrt{gL}}\right)^{1.2}\right\}$ untuk *pitch*

z = Jarak vertikal dari *center of rotation* (diasumsikan di sarat kapal) (m)

y = Jarak horizontal dari *centerline* kapal (m)

g = gravitasi (m/s$^2$)

## 2.5 Kebutuhan *Bollard Pull*

Menurut DNV GL dalam DNV-GL-OSE301 *Chapter 2 Section 3: Thruster Assisted Mooring*, untuk menentukan daya yang dibutuhkan untuk melakukan penundaaan selama proses *crude oil transfer* haruslah mempertimbangkan nilai dari *thrust reduction factors* yang dapat dipengaruhi oleh:

1. Instalasi geometri dari mesin pendorong
2. *Inflow velocity* dari propeller
3. *Propeller sense of rotation* (*ahead or reverse*)

Total kebutuhan *bollard pull* dapat dirumuskan menggunakan rumus:

$$BP_{connecting} = \frac{F_{Tconnecting}\ x\ g}{100} \quad (2.11)$$

$$BP_{connected} = \frac{F_{Tconnected}\ x\ g}{100} \quad (2.12)$$

Dimana,

$BP_{conecting}$ = Kebutuhan bollard pull kondisi *connecting* (T)

$BP_{connected}$ = Kebutuhan *bollard pull* posisi *connected* (T)

$F_{Tconencted}$ = Beban total pada keadaan tali *hawser connected* (kN)

$F_{Tconnecting}$ = Beban total pada proses *connecting* tali *hawser* (kN)

g = gravitasi ($m/s^2$)

### 2.5.1 Efisiensi Penundaan

Menurut regulasi yang ditetapkan oleh DNV GL dalam DNV-OS-H202, dalam prinsipnya penentuan efisiensi keluaran *bollard pull* dari kapal AHTS sangatlah dipengaruhi oleh besar, tipe, dan *bollard pull* statis dari kapal AHTS tersebut. Maka dari itu, *towing efficiency* dari kapal AHTS dapat diperkirakan menggunakan formula:

$$\gamma_{TE} = \frac{\left[80-\left(18-(0{,}0417\ x\ LOA\ x\ \sqrt{BP-20})\right)\ x\ (Hs-1)\right]}{100} \qquad (2.13)$$

Dimana,

$\gamma_{TE}$ = Faktor *towing efficiency*

LOA = Panjang keseluruhan kapal AHTS (m)

BP = *Bollard pull* kapal AHTS (Ton)

$H_s$ = Tinggi gelombang signifikan (m)

### 2.5.2 Penuruan Efisiensi

Menurut DNV-OS-H202 *Section 4: Towing*, nilai dari *effective continuous bollard pull* dari kapal AHTS haruslah terdokumentasi, pada umumnya dalam bentuk *bollard pull certificate* yang diterbitkan oleh badan regulasi terkait selama jangka waktu 10 tahun. Bila *bollard pull certificate* berusia lebih dari 10 tahun, maka perlu dilakukan reduksi terhadap nilai riil *bollard pull* kapal AHTS

sebesar setidaknya 10% + 2% per tahun yang dihitung dari berakhirnya *bollard pull certificate* tersebut.

## 2.6 Penundaan Kapal

### 2.6.1 Kapal Tunda

Menurut (Menteri Perhubungan Republik Indonesia, 2015), Kapal tunda yang berfungsi sebagai sara bantu pemanduan adalah kapal dengan karakteristik tertentu digunakan untuk kegiatan mendorong, menarik, menggandeng, mengawal (*escort*), dan membantu (*assist*) kapal yang berolah-gerak di alur-pelayaran, daerah labuh jangkar maupun kolam pelabuhan, baik untuk bertambat ke atau untuk melepas dari dermaga, *jetty, trestle, pier,* pelampung, *dolphin,* kapal, dan fasilitas tambat lainnya.

### 2.6.2 Penundaan Kapal

Menurut (Menteri Perhubungan Republik Indonesia, 2015), Penundaan kapal adalah bagian dari pemanduan yang meliputi kegiatan mendorong, menarik, menggandeng, mengawal (*escort*), dan membantu (*assist*) kapal yang berolah-gerak di alur-pelayaran, daerah labuh jangkar maupun kolam pelabuhan, baik untuk bertambat ke atau untuk melepas dari dermaga, *jetty, trestle, pier, pelambung, dolphin,* kapal, dan fasilitas tambat lainnya dengan mempergunakan kapal tunda sesuai dengan ketentuan yang dipersyaratkan.

### 2.6.3 *Bollard Pull*

Menurut (Menteri Perhubungan Republik Indonesia, 2014), *Bollard pull* adalah ukuran kekuatan daya tarik dari suatu kapal tunda yang menggunakan tali tunda yang dibuktikan dengan sertifikat pengujian (test sertifikat) dari klasifikasi yang diakui oleh Pemerintah.

### 2.6.4 Skenario Penundaan

Penentuan skenario konfigurasi penundaan yang digunakan mengikuti regulasi yang tertuang pada DNV-OS-H202 *Chapter* 4.2.2 *Towing Configurations*

dan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 57 Tahun 2015 tentang Pemanduan dan Penundaan Kapal.

## 2.7 Regulasi-Regulasi Terkait

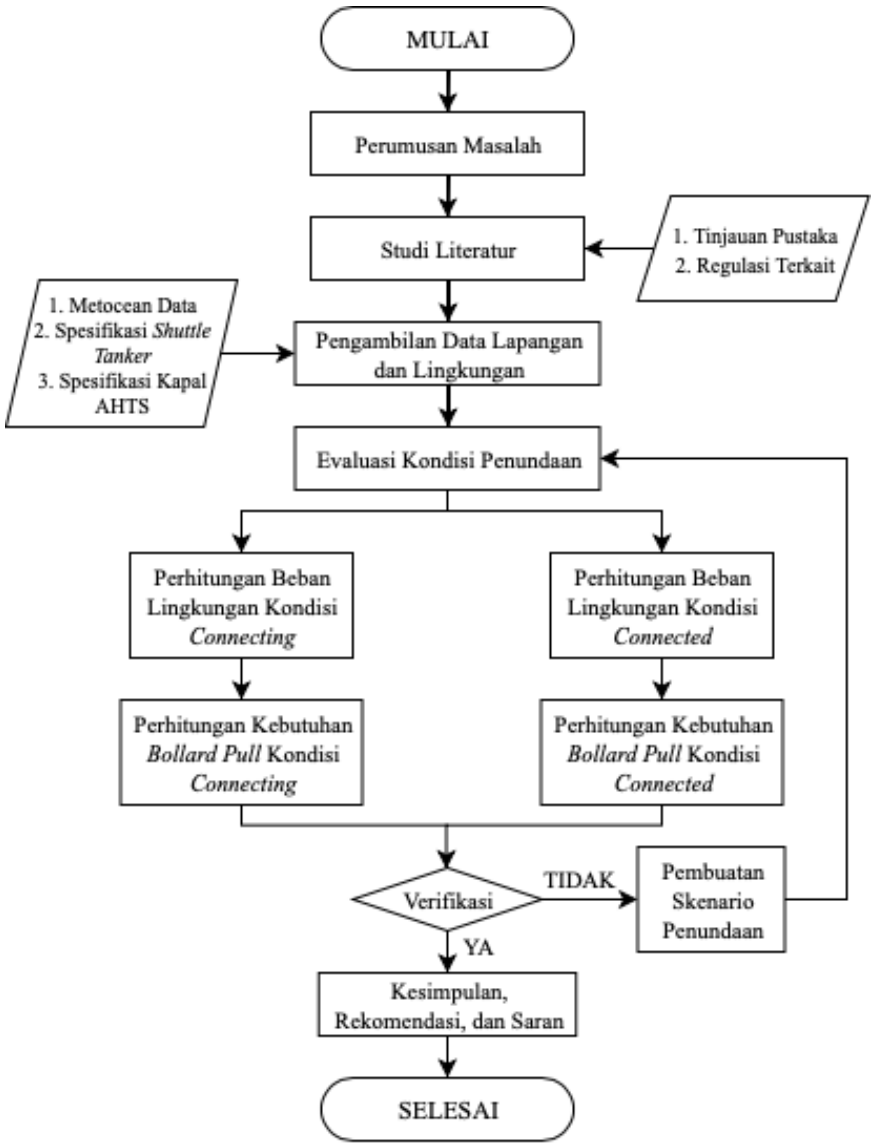
Perhitungan akan dilakukan dengan mengacu pada regulasi-regulasi yang mengatur tentang *towing operations*, *marine operations*, dan topik-topik terkait. Regulasi-regulasi tersebut adalah:

1. DNVGL-OS-E301: *Position Mooring*
2. DNVGL-RU-SHIP *Pt.3 Ch.4*: *Loads*
3. DNVGL-ST-N001: *Marine Operations and Marine Warranty*
4. DNV-OS-H101: *Marine Operations, General*
5. DNV-OS-H102: *Marine Operations, Design, and Fabrications*
6. DNV-OS-H202: *Sea Transport Operations*
7. DNV-OS-H203: *Transit and Positioning of Offshore Units*
8. DNV-RP-H103: *Modelling and Analysis of Marine Operations*
9. API RP 2SK: *Recommendation Practice for Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures*
10. PM 57 Tahun 2015: Pemanduan dan Penundaan Kapal

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# BAB 3
# METODOLOGI PENELITIAN

## 3.1 Metodologi




Gambar 3.1. Diagram Alir
Sumber: Putera, 2020

## 3.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah digunakan untuk menjelaskan masalah-masalah yang akan dibahas pana penelitian kali ini. Perumusan masalah dalam penelitian ini muncul karena bergantinya FSO serta konfigurasi penambatan dan sistem *crude oil transfer* dari FSO ke *shuttle tanker*. Konfigurasi pada FSO terdahulu memiliki sistem penambatan menggunakan *Turret Mooring System* dan sistem *crude oil transfer* menggunakan *Catenary Anchor Leg* Mooring (CALM) *buoy*. Sedangkan kondisi terkini, yaitu pada FSO XX, memiliki sistem penambatan menggunakan *Spread Mooring System* (SMS) dan *crude oil transfer* menggunakan *floating hose* dengan posisi *tandem*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi kepada perusahaan penyewa dan pihak terkait.

## 3.3 Studi Literatur

Studi literatur adalah mencari referensi teori yang berkaitan dengan penelitian. Studi literatur dapat dilakukan dengan membaca jurnal, buku, penelitian, publikasi ilmiah dan tulisan *online* yang resmi. Studi literatur dilakukan dengan cara memahami bahasan dengan cara membaca referensi mengenai perusahaan terkait, regulasi-regulasi dan juga tentang penundaan di laut lepas. Penelitian ini akan dilakukan pada operasi *crude oil transfer* dari FSO XX ke *shuttle tanker*.

## 3.4 Pengumpulan Data Lapangan dan Lingkungan

Pengumpulan data lapangan dan kondisi lingkungan pada penelitian ini dilakukan dengan mengambil data dari "*Final Report Metocean Survey at West Natuna Sea Area"* yang berisikan tentang perkiraan cuaca pada Laut Natuna dari 2002 hingga 100 tahun kedepan yang diolah dari data cuaca pada rentang waktu 20 tahun (1986-2001).

1. Dalam penelitian ini memerlukan data-data sebagai berikut:
2. Metocean data (data gelombang periode pengulangan 100 tahunan, data angin periode pengulangan 100 tahunan, dan data arus periode pengulangan 10 tahunan)
3. Data spesifikasi *shuttle tanker*
4. Data kapal AHTS

### 3.5 Evaluasi Kondisi Penundaan

Evaluasi kondisi penundaan adalah perhitungan kembali keluaran *bollard pull* kapal AHTS yang digunakan setelah mengalami reduksi-reduksi akibat usia kapal dan dimensi dari kapal AHTS tersebut. Faktor dan perhitungan reduksi yang digunakan dengan mengacu pada rekomendasi yang diberikan oleh DNV-GL.

### 3.6 Perhitungan Beban Lingkungan

Perhitungan beban pada penelitian ini dilakukan dengan mengacu pada formula yang ada di (Thorensen, 2014), (Chakrabarti, 2005), dan mengacu pada regulasi yang dibuat oleh DNV-GL. Perhitungan beban lingkungan dilakukan pada dua kondisi, yaitu pada saat proses *connecting* tali *hawser* ke FSO XX dan pada saat tali *hawser* telah *connected* dengan FSO XX.

### 3.7 Perhitungan Empiris Kebutuhan *Bollard Pull*

Perhitungan empiris untuk mencari kebutuhan *bollard pull* dilakukan setelah mengolah data yang ada sudah diambil dari data yang tertera pada sub-bab 3.4. Data diolah dengan mempertimbangkan efisiensi penundaan dan faktor reduksi mesin utama dari kapal AHTS sesuai dengan formula dan rekomendasi dari DNV-GL.

### 3.8 Validasi

Validasi digunakan untuk mengetahui apabila kapal AHTS yang digunakan dan skenario penundaan *existing* sudah bisa memenuhi kebutuhan *bollard pull* yang telah dihitung atau belum. Jika skenario penundaan *existing* belum mencakupi sesuai dengan perhitungan yang dilakukan, maka perlu dibuat skenario penundaan yang baru agar faktor kecelakaan dapat diminimalisir.

### 3.9 Skenario Penundaan *Shuttle Tanker*

Jika kapal AHTS yang digunakan dan skenario penundaan *existing* tidak memenuhi perhitungan yang dilakukan, maka perlu dibuat skenario penundaan *shuttle tanker* yang baru. Pembuatan skenario penundaan dilakukan dengan cara memodifikasi

penggunaan kapal AHTS *existing* dengan cara merubah skenario penundaan maupun dengan membuat skenario penundaan baru dengan kapal AHTS rekomendasi dari penulis. Skenario penundaan harus mampu untuk digunakan pada dua kondisi, yaitu pada saat kondisi *connecting* dengan PT XX dan pada saat proses *crude oil transfer* sedang dilakukan (tali *hawser connencted*). Pada penelitian ini, skenario penundaan akan dilakukan dengan kemungkinan-kemungkinan yang dapat dilakukan dan sesuai dengan regulasi-regulasi terkait.

### 3.10 Kesimpulan, Rekomendasi, dan Saran

Tahap terakhir dari penulisan ini adalah melakukan analisa secara komprehensif terhadap hasil perhitungan hingga konfigurasi penundaan dari *shuttle tanker*. Hasil analisa haruslah menjawab poin-poin dari rumusan masalah yang telah dibuat pada penelitian ini.

### 3.11 Jadwal Pengerjaan

Dikarenakan banyaknya tahap yang perlu dilakukan untuk menyelesaikan penelitian ini, diperlukan adanya penjadwalan terhadap poin-poin untuk menyesuaikan distribusi kegiatan dengan waktu yang tersedia. Maka dari itu, penulis membuat jadwal pengerjaan berikut dengan harapan dapat membawa pengaruh positif dalam penyelesaian penelitian ini.

Tabel 3.1. Jadwal Pengerjaan

| No | Rencana Kegiatan | Februari | | | | Maret | | | | April | | | | Mei | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Perumusan Masalah | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Studi Literatur | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Pengumpulan Data | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Evaluasi Penundaan | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Perhitungan Beban Lingkungan | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | Perhitungan Kebutuhan *Bollard Pull* | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Pembuatan Skenario Penundaan | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | Kesimpulan & Saran | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | Penyusunan Laporan | | | | | | | | | | | | | | | |

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# BAB 4
# HASIL DAN PEMBAHASAN

## 4.1 Penentuan Spesifikasi *Shuttle Tanker*

Pada penelitian ini dibutuhkan pemilihan spesifikasi *shuttle tanker* acuan yang akan digunakan pada perhitungan beban lingkungan nantinya. Proses pemilihan spesifikasi *shuttle tanker* dilakukan dengan mengumpulkan data spesifikasi *shuttle tanker* yang pernah melakukan operasi *crude oil* dari FSO XX pada rentang waktu enam bulan terakhir terlebih dahulu, yaitu bulan September 2019 – Januari 2020. Spesifikasi kapal-kapal tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1. Spesifikasi MT Mare Oriens

| | | |
|---|---|---|
| **Nama** | MT Mare Oriens | |
| **Type** | Oil Tanker | |
| **Year of Build** | 2008 | |
| **Class Register** | RINA | |
| **Flag** | Italy | |
| **IMO** | 93468773 | |
| **Call Sign** | ICDY/247254100 | |
| **GT** | 59,611.00 | Ton |
| **DWT** | 113,179.00 | Ton |
| **LOA** | 245.55 | M |
| **LPP** | 235.72 | M |
| **B** | 42.01 | M |
| **H** | 21.51 | M |
| **F (full)** | 6.58 | M |
| **F (ballast)** | 14.68 | M |
| **T (full)** | 14.98 | M |
| **T (ballast)** | 6.89 | M |
| **Speed** | 16 | Knots |

Tabel 4.2. Spesifikasi MT Bull Kalimantan

| | | |
|---|---|---|
| **Nama** | MT Bull Kalimantan | |
| **Type** | Oil Tanker | |
| **Year of Build** | 2002 | |
| **Class Register** | ClassNK | |
| **Flag** | Indonesia | |
| **IMO** | 9223318 | |
| **Call Sign** | YBTQ2/525107004 | |
| **GT** | 57,683.00 | Ton |
| **DWT** | 109,384.00 | Ton |
| **LOA** | 241.59 | M |
| **LPP** | 231.42 | M |
| **B** | 42 | M |
| **H** | 21.2 | M |
| **F (full)** | 6.4 | M |
| **F (ballast)** | 13.94 | M |
| **T (full)** | 14.85 | M |
| **T (ballast)** | 7.31 | M |
| **Speed** | 15.6 | Knots |

Tabel 4.3. Spesifikasi MT Csk Vanguard

| | | |
|---|---|---|
| **Nama** | MT Csk Vanguard | |
| **Type** | Oil Tanker | |
| **Year of Build** | 2016 | |
| **Class Register** | ABS | |
| **Flag** | Singapore | |
| **IMO** | 9728423 | |
| **Call Sign** | 9V3881 | |
| **GT** | 63,497.00 | Ton |
| **DWT** | 117,765.00 | Ton |

| | | |
|---|---|---|
| **LOA** | 250 | M |
| **LPP** | 241 | M |
| **B** | 44 | M |
| **H** | 21.2 | M |
| **F (full)** | 6.42 | M |
| **F (ballast)** | 14.49 | M |
| **T (full)** | 14.84 | M |
| **T (ballast)** | 6.76 | M |
| **Speed** | 15.6 | Knots |

Tabel 4.4. Spesifikasi MT Nectar

| | | |
|---|---|---|
| **Nama** | **MT Nectar** | |
| **Type** | Oil Tanker | |
| **Year of Build** | 2005 | |
| **Class Register** | DNV-GL | |
| **Flag** | Indonesia | |
| **IMO** | 930017 | |
| **Call Sign** | YCVE2/525121004 | |
| **GT** | 56,373.00 | Ton |
| **DWT** | 108,081.00 | Ton |
| **LOA** | 239 | M |
| **LPP** | 229 | M |
| **B** | 42 | M |
| **H** | 21.3 | M |
| **F (summer)** | 6.47 | M |
| **F (ballast)** | 15.06 | M |
| **T (summer)** | 14.88 | M |
| **T (ballast)** | 6.29 | M |
| **Speed** | 15.3 | Knots |

Tabel 4.5. Spesifikasi MT Nusa Merdeka

| | | |
|---|---|---|
| **Nama** | MT Nusa Merdeka | |
| **Type** | Oil Tanker | |
| **Year of Build** | 2003 | |
| **Class Register** | ABS | |
| **Flag** | Indonesia | |
| **IMO** | 9249178 | |
| **Call Sign** | YCUS2/538007716 | |
| **GT** | 58,088.00 | Ton |
| **DWT** | 107,708.00 | Ton |
| **LOA** | 243.54 | M |
| **LPP** | 234.88 | M |
| **B** | 42 | M |
| **H** | 21.3 | M |
| **F (summer)** | 6.57 | M |
| **F (ballast)** | 14.19 | M |
| **T (summer)** | 14.77 | M |
| **T (ballast)** | 7.16 | M |
| **Speed** | 16.5 | Knots |

Tabel 4.6. Spesifikasi MT Gede

| | | |
|---|---|---|
| **Nama** | MT Gede | |
| **Type** | Oil Tanker | |
| **Year of Build** | 2011 | |
| **Class Register** | ABS & BKI | |
| **Flag** | Indonesia | |
| **IMO** | 9455789 | |
| **Call Sign** | PNZP/525008066 | |
| **GT** | 63,055.00 | Ton |
| **DWT** | 90,858.00 | Ton |
| **LOA** | 244.5 | M |

| | | |
|---|---|---|
| **LPP** | 233 | M |
| **B** | 44 | M |
| **H** | 21.5 | M |
| **F (summer)** | 8.62 | M |
| **F (ballast)** | 13.2 | M |
| **T (summer)** | 12.7 | M |
| **T (ballast)** | 8.11 | M |
| **Speed** | 12 | Knots |

Faktor yang paling mempengaruhi dalam perhitungan beban lingkungan nantinya adalah dimensi dari kapal, maka dari itu pemilihan spesifikasi *shuttle tanker* dilakukan dengan mempertimbangkan aspek *principal dimension* dari kapal. Dengan mengalikan faktor-faktor *principal dimension* dari kapal-kapal yang pernah melakukan operasi *crude oil transfer* dari FSO XX, nantinya akan diketahui kapal yang dipilih berdasarkan faktor terbesar.

Faktor *principal dimension* kapal untuk perhitungan beban lingkungan yang diakibatkan oleh arus ($F_{current}$) dipilih sebagai acuan dikarenakan memiliki pengaruh yang paling besar terhadap pergerakan kapal di laut lepas. Dengan mengalikan dimensi kapal, yaitu Lpp dan *fully loaded draught,* maka didapatkan hasil perhitungan dari *area factor* dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Perhitungan *Area Factor Shuttle Tankers*

| **Name** | **Lpp (M)** | **Fully Loaded Draught (M)** | **Area Factor ($M^2$)** |
|---|---|---|---|
| MT Mare Oriens | 235,72 | 14,98 | 3531,09 |
| MT Bull Kalimantan | 231,42 | 14,85 | 3436,59 |
| MT Csk Vanguard | 241 | 14,49 | 3492,09 |
| MT Nectar | 229 | 14.88 | 3407.52 |
| MT Nusa Merdeka | 234,88 | 14.77 | 3469.18 |
| MT Gede | 233 | 12.7 | 2959.10 |

Dengan melihat Tabel 4.7. maka dapat diketahui bahwa kapal dengan *area factor* terbesar adalah MT Mare Oriens dengan nilai *area factor* 3531.09 $m^2$. Oleh karena itu, dalam penelitian kali ini spesifikasi *shuttle tanker* yang akan digunakan adalah spesifikasi dari MT Mare Oriens.

## 4.2 Perhitungan *Bollard Pull* Riil dari Kapal AHTS Kondisi *Existing*

Daya keluaran penundaan yang diberikan oleh kapal AHTS sejatinya akan mengalami reduksi seiring dengan lamanya pemakaian dari kapal AHTS tersebut. Besarnya nilai reduksi menurut rekomendasi dari DNV-OS-H202 adalah 2% per tahun terhitung dari tahun kapal AHTS itu dibuat. Untuk mengetahui daya keluaran riil dari kapal AHTS, maka dilakukan perhitungan dengan rumus sebagai berikut:

$$BP_{riil} = BP_c - (F_R \; x \; BP_c \; x \; n) \tag{4.2}$$

Dimana:

$BP_{riil}$ = *Bollard pull* kondisi *existing* (T)

$BP_c$ = *Bollard pull* kondisi baru sesuai dengan *bollard pull certificate* (T)

$F_R$ = Faktor reduksi

n = Usia kapal AHTS

Tabel 4.8. Perhitungan *Bollard Pull* Riil Kondisi *Existing*

| Name | Initial Bollard Pull (T) | Year of Built | n | Reduction Factor | Existing Bollard Pull (T) |
|---|---|---|---|---|---|
| Catherine Queen | 85 | 2014 | 6 | 2% | 74.8 |
| SMS Steady | 48 | 2015 | 5 | 2% | 43.2 |

Tabel 4.8. memberikan kesimpulan data atas perhitungan *bollard pull riil* pada kondisi penundaan *existing*. Catherine Queen mendapatkan penuruan kekuatan *bollard pull* sebesar 10.2 MT dari besaran yang tertera pada *bollard pull certificate* yang dikeluarkan pada tahun 2014. Sedangkan SMS Steady mendapatkan penurunan *bollard*

*pull* sebesar 4.8 MT dari besaran yang tertera pada *bollard pull certiciate* yang dikeluarkan pada tahun 2015.

Nilai perhitungan *bollard pull riil* di atas nantinya akan digunakan sebagai acuan untuk memvalidasi perhitungan kebutuhan *bollard pull* untuk melihat apakah spesifikasi kapal AHTS kondisi *existing* sudah mencukupi untuk memandu *shuttle tanker* pada FSO XX pada peneliatian kali ini.

## 4.3 Perhitungan Beban Lingkungan pada Kondisi *Connected*

Tabel 4.9. *Principal Dimension Shuttle Tanker* Kondisi *Fully Loaded*

| **MT Mare Oriens** | | |
|---|---|---|
| **Loa** | 245,55 | M |
| **Lpp** | 235,72 | M |
| **B** | 42,01 | M |
| **H** | 21,51 | M |
| **T** | 14,98 | M |

Pada perhitungan beban lingkungan kondisi *shuttle tanker connected* dengan FSO XX, asumsi yang digunakan adalah proses *crude oil transfer* sedang dilakukan hingga cargo *shuttle tanker* terisi penuh. Hal ini mengindikasikan bahwa *principal dimension* dari *shuttle tanker* yang digunakan adalah pada saat kondisi *fully loaded* seperti yang tertera pada Tabel 4.9.

Vektor gaya bekerja pada kapal yang digunakan pada penelitian kali ini adalah sumbu x positif menuju *stern* dan sumbu y positif menuju bagian *starboard* kapal.

### 4.3.1 Perhitungan Beban Angin ($F_{wind}$)

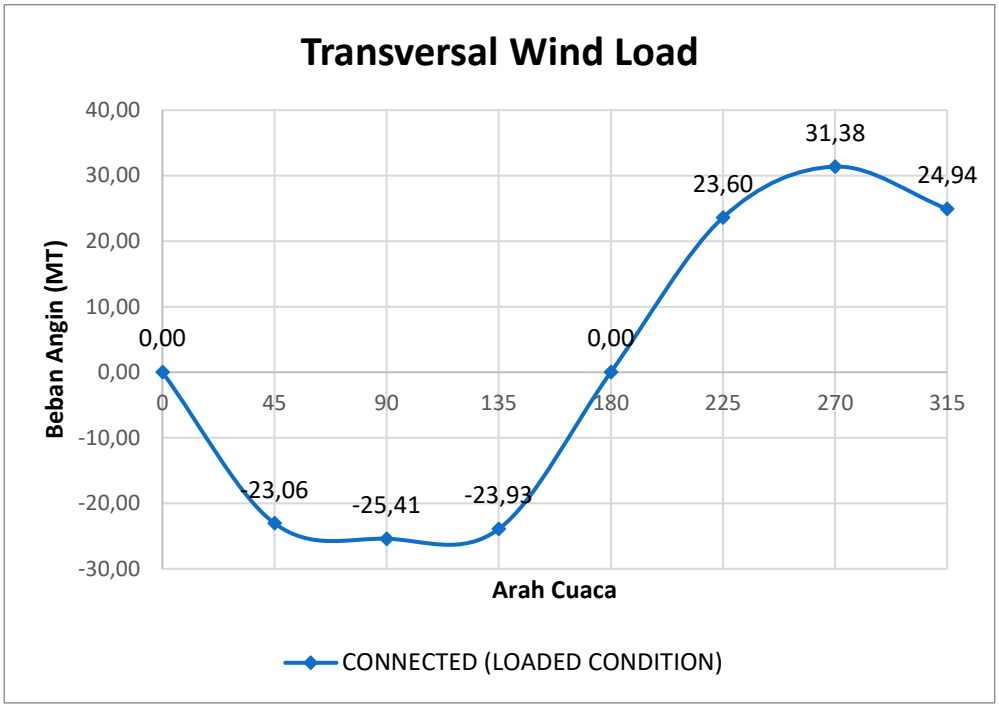
Arah datang $45^0$

Beban angin transversal:

$$F_{YW} = C_{YW} \text{ x } \rho \; x \; A_L \; x \; \frac{V_w^2}{10\,000}$$

$$F_{YW} = (-0.48) \text{ x } 1025 \; x \; 2270.33 \; x \; \frac{(18.53)^2}{20\,000}$$

$$F_{YW} = -23.06 \text{ MT}$$




Grafik 4.1. Grafik Beban Angin Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected*

Grafik 4.1. menunjukkan kesimpulan terhadap perhitungan beban angin transversal yang bekerja pada kondisi *shuttle tanker connected* dengan FSO dengan arah datang cuaca $0^0$ hingga $315^0$ dan interval $45^0$. Beban angin transversal terbesar tercatat pada saat arah datang $270^0$ dengan besarnya beban sebesar 31.38 MT menuju kutub positif. Hal ini dikarenakan pada saat arah datang $270^0$ terdapat perpaduan antara luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh angin secara transversal dan juga kecepatan angin desain yang besar (17.81 m/s).

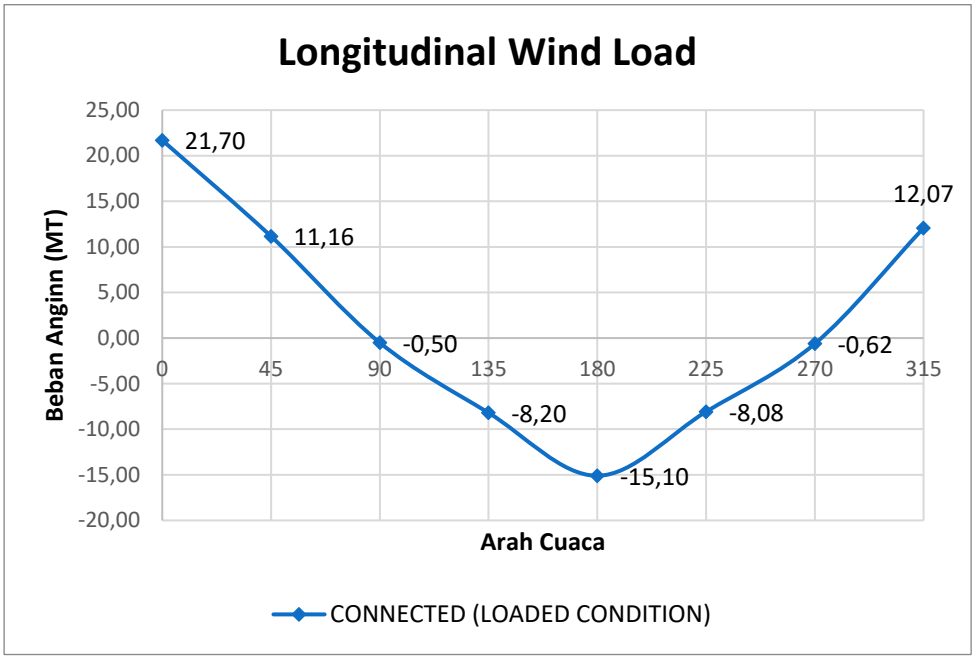
Arah datang $45^0$

Beban angin longitudinal:

$$F_{XW} = C_{XW}\ x\ \rho\ x\ A_L\ x\ \frac{V_w^2}{10\,000}$$

$$F_{XW} = 0.54\ x\ 1025\ x\ 2270.33\ x\ \frac{(18.53)^2}{20\,000}$$

$$F_{XW} = 11.16\ \text{MT}$$




Grafik 4.2. Grafik Beban Angin Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected*

Grafik 4.2. menunjukkan kesimpulan terhadap perhitungan beban angin longitudinal yang bekerja pada kondisi *shuttle tanker connected* dengan FSO dengan arah datang $0^0$ hingga $315^0$ dan interval $45^0$. Beban angin longitudinal terbesar tercatat pada saat arah datang $0^0$ (*head sea*) dengan besarnya beban sebesar 21.7 MT menuju kutub positif. Hal ini dikarenakan pada saat arah datang $0^0$ terdapat perpaduan antara luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh angin secara longitudinal dan juga kecepatan angin desain yang lebih besar dibandingkan dengan arah datang lainnya (19.16 m/s) menurut data yang digunakan.

### 4.3.2 Perhitungan Beban Gelombang ($F_{wave}$)

Arah datang $45^0$

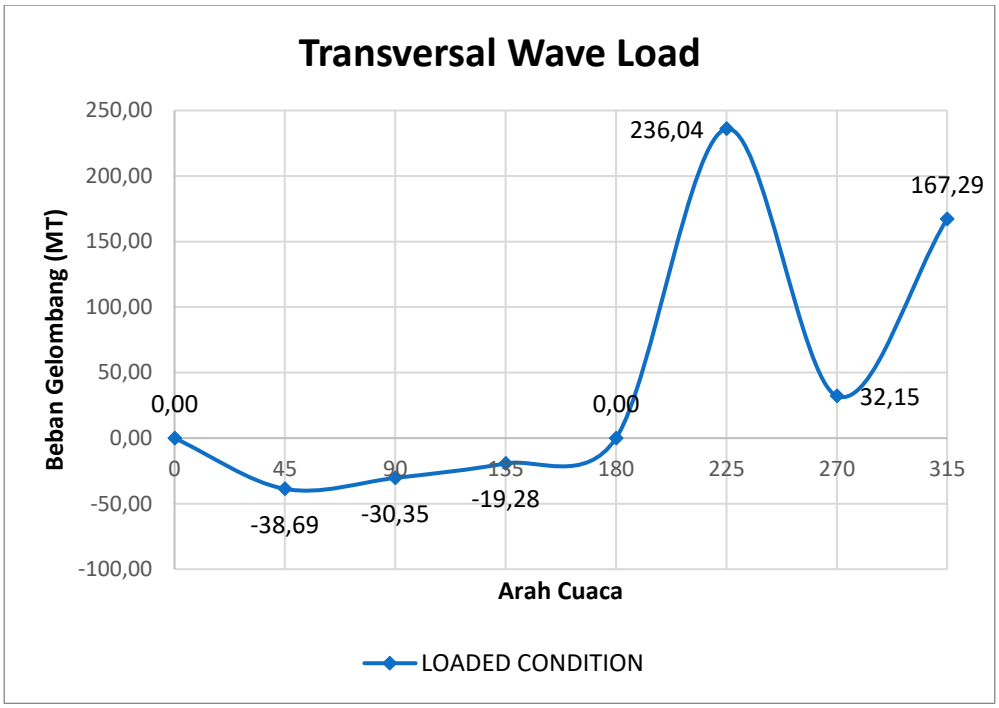
Beban gelombang transversal:

$$F_{Ywave} = C_{fw} \, x \, C_{dw} \, x \, \gamma_{dw} \, x \, H_s^2 \, x \, D' x \, \sin a$$

$$F_{Ywave} = 0.053 \text{ x } 1.08 \text{ x } 1.03 \text{ x } (2.17)^2 \, x \, 196.36 \, x \, \sin 45$$

$$F_{Ywave} = 0.053 \text{ x } 1.08 \text{ x } 1.03 \text{ x } 4.71 \, x \, (-0.71)$$

$$F_{Ywave} = -38.69 \text{ MT}$$




Grafik 4.3. Grafik Beban Gelombang Transversal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected*

Grafik 4.3. menunjukkan kesimpulan terhadap perhitungan beban gelombang transversal pada kondisi *shuttle tanker connected* dengan FSO dengan arah datang $0^0$ hingga $315^0$ dan interval $45^0$. Beban gelombang transversal terbesar tercatat pada saat arah cuaca $225^0$ dengan besarnya beban gelombang sebesar 236.04 MT. Hal ini dikarenakan pada saat arah datang $225^0$ terdapat perpaduan antara luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh gelombang secara transversal dan juga tinggi gelombang desain yang lebih besar dibandingkan dengan arah datang lainnya (5.15 m) menurut data yang digunakan.

Arah datang $45^0$

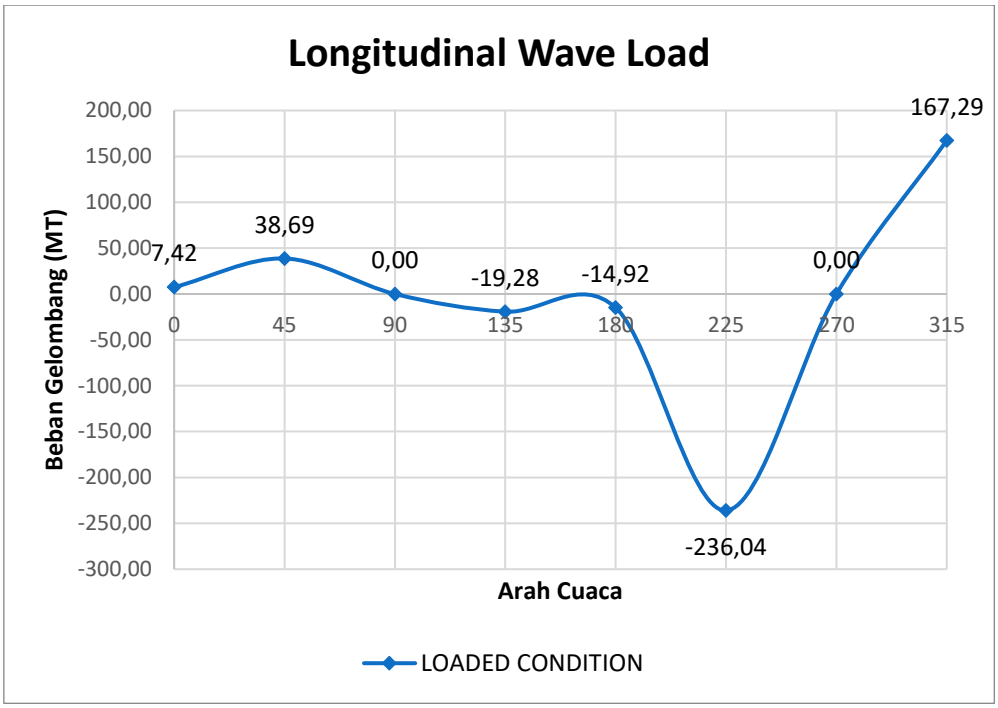
Beban angin longitudinal:

$$F_{Xwave} = C_{fw} \; x \; C_{dw} \; x \; \gamma_{dw} \; x \; H_s^2 \; x \; D' x \; \cos a$$

$$F_{Xwave} = 0.053 \text{ x } 1.08 \text{ x } 1.03 \text{ x } (2.17)^2 \; x \; \cos 45$$

$$F_{Xwave} = 0.053 \text{ x } 1.08 \text{ x } 1.03 \text{ x } 4.71 \; x \; 0.71$$

$$F_{Xwave} = 7.42 \text{ MT}$$




Grafik 4.4. Grafik Beban Gelombang Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected*

Grafik 4.4. menunjukkan kesimpulan terhadap perhitungan beban gelombang longitudinal pada kondisi *shuttle tanker connected* dengan FSO dengan arah datang $0^0$ hingga $315^0$ dan interval $45^0$. Beban gelombang longitudinal terbesar tercatat pada saat arah cuaca $225^0$ dengan besarnya beban gelombang sebesar 236.04 MT menuju kutub negatif. Hal ini dikarenakan pada saat arah datang $225^0$ terdapat perpaduan antara luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh gelombang secara longitudinal dan juga tinggi gelombang desain yang lebih besar dibandingkan dengan arah datang lainnya (5.15 m) menurut data yang digunakan.

### 4.3.3 Perhitungan Beban Arus ($F_{current}$)

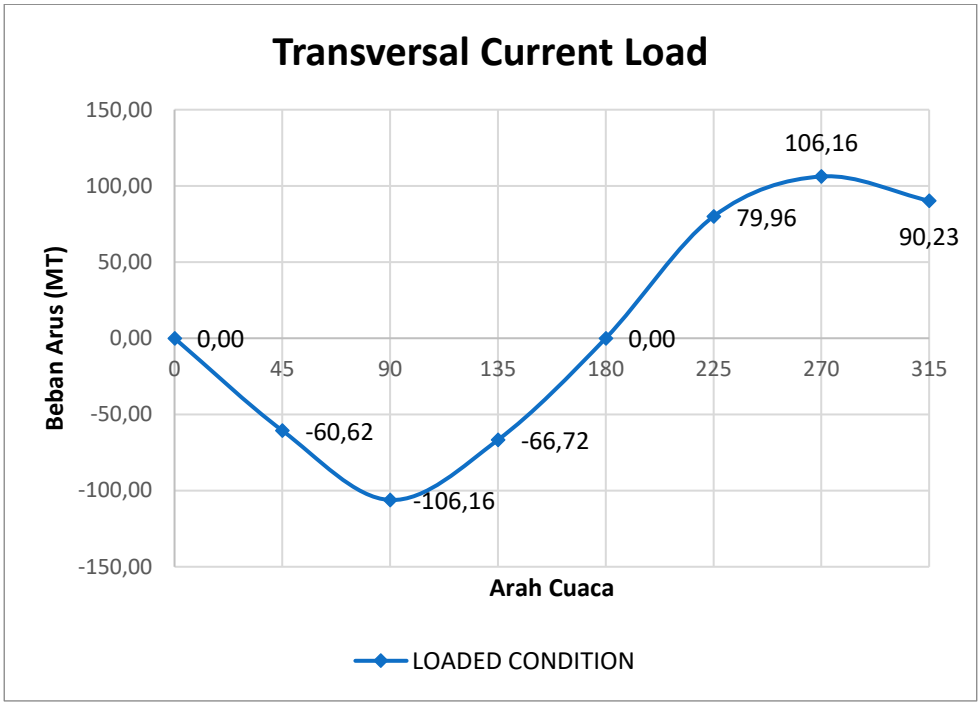
Arah datang $45^0$

Beban arus transversal:

$$F_{YC} = \frac{C_{YC}\ x\ \gamma_w\ x\ D\ x\ L_{bp}\ x\ V_c^2}{20000}$$

$$F_{YC} = \frac{(-0.34)\ x\ 1025\ x\ 14.98\ x\ 235.72\ x\ (1)^2}{20000}$$

$$F_{YC} = -60.62 \text{ MT}$$




Grafik 4.5. Grafik Beban Arus Transversal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected*

Grafik 4.5. menunjukkan tentang kesimpulan perhitungan beban arus transversal pada kondisi *shuttle tanker connected* dengan FSO dengan arah datang $0^0$ hingga $315^0$ dan interval $45^0$. Beban arus transversal terbesar tercatat ada pada dua kondisi, yaitu pada saat arah datang $90^0$ dan $270^0$ (*beam* sea) dengan besarnya beban arus sebesar 106.16 MT menuju kutub negatif dan positif. Hal ini dikarenakan pada saat arah datang $90^0$ dan $270^0$ luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh arus secara transversal lebih besar dibandingkan dengan arah datang lainnya.

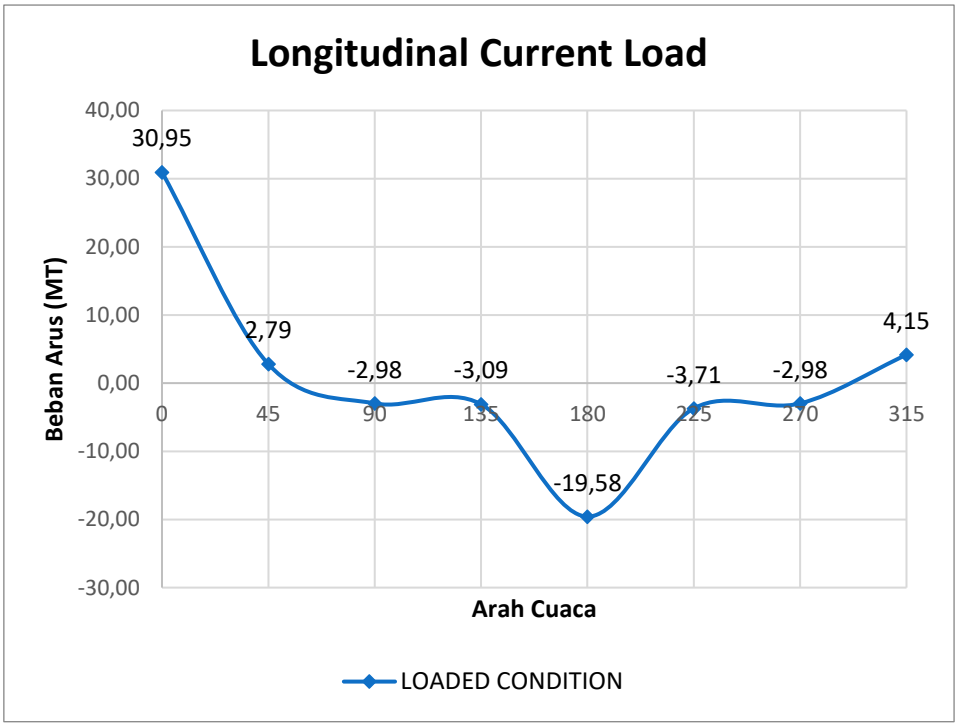
Arah datang $45^0$

Beban arus longitudinal:

$$F_{XC} = \frac{C_{XC}\ x\ \gamma_w\ x\ B\ x\ L_{bp}\ x\ V_c^2}{20000}$$

$$F_{XC} = \frac{0.006\ x\ 1025\ x\ 42.01\ x\ 235.72\ x\ (1)^2}{20000}$$

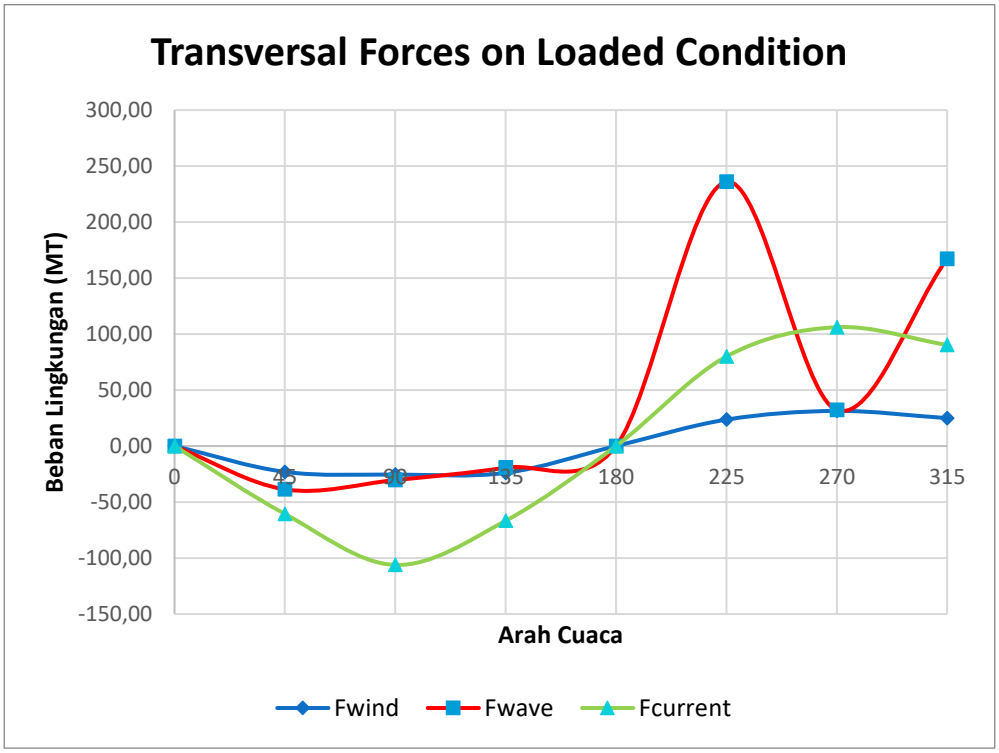
$$F_{XC} = 2.79 \text{ MT}$$




Grafik 4.6. Grafik Beban Arus Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected*

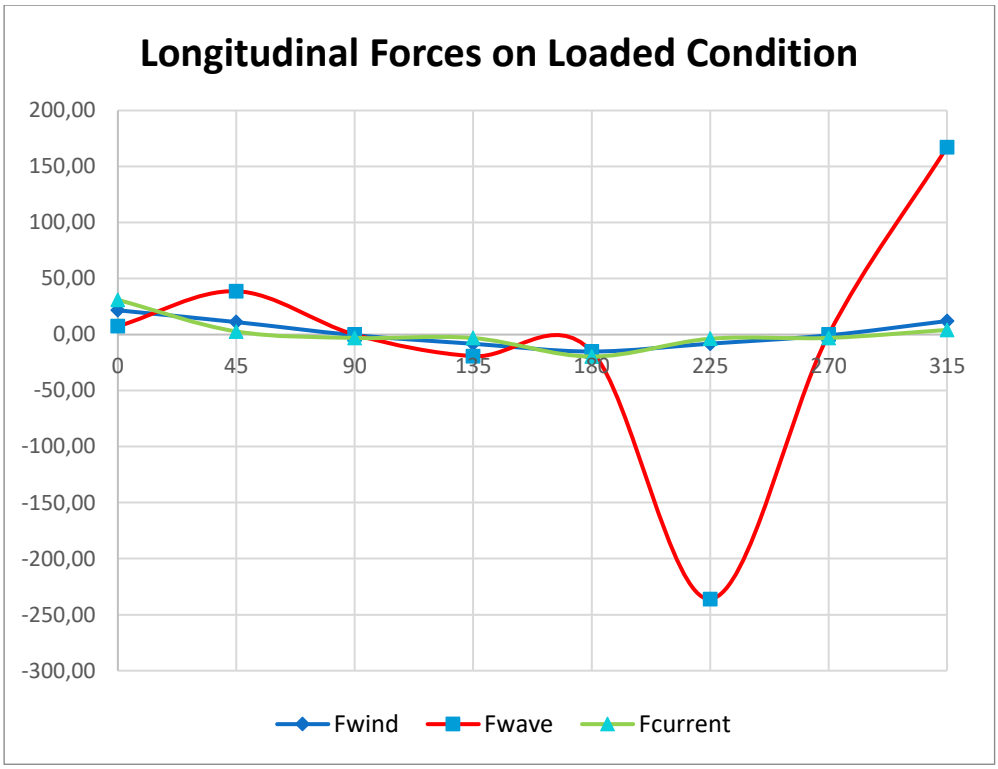
Grafik 4.6. menunjukkan tentang kesimpulan perhitungan beban arus transversal pada kondisi *shuttle tanker connected* dengan FSO dengan arah datang $0^0$ hingga $315^0$ dan interval $45^0$. Beban arus transversal terbesar tercatat ada pada saat arah datang $0^0$ dengan besarnya beban arus sebesar 30.95 MT menuju kutub positif. Hal ini dikarenakan pada saat arah datang $0^0$ luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh arus lebih besar secara longitudinal dibandingkan dengan arah datang lainnya.

### 4.3.4 Perhitungan Beban Lingkungan Total ($F_{Tconnected}$)




Grafik 4.7. Grafik Beban-Beban Lingkungan Transversal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected*

Grafik 4.7. Menjelaskan tentang distribusi beban-beban lingkungan transversal yang diterima oleh *shuttle tanker* pada kondisi *shuttle tanker connected* dengan FSO. Beban lingkungan yang memiliki dampak terbesar pada kondisi ini adalah variasi antara beban arus dan beban gelombang. Hal ini dikarenakan pada kondisi *shuttle tanker connected* dengan FSO, luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh gelombang dan arus secara transversal cenderung memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan oleh luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh angin.




Grafik 4.8. Grafik Beban-Beban Lingkungan Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected*

Grafik 4.8. Menjelaskan tentang distribusi beban-beban lingkungan longitudinal yang diterima oleh *shuttle tanker* pada kondisi *shuttle tanker connected* dengan FSO. Tidak seperti beban lingkungan transversal yang dimana beban lingkungan yang memiliki dampak terbesar adalah hanya beban gelombang, beban lingkungan longitudinal memiliki dampak terbesar variasi antara beban arus dan beban gelombang. Hal ini dikarenakan pada kondisi *shuttle tanker connected* dengan FSO, luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh gelombang dan arus cenderung lebih besar dibandingkan oleh angin.

Arah Datang $45^0$

Beban lingkungan tranversal total:

$$F_{TYconnected} = F_{wind} + F_{wave} + F_{current}$$

$$F_{TYconnected} = (-23.06) + (-38.69) + (-60.62)$$

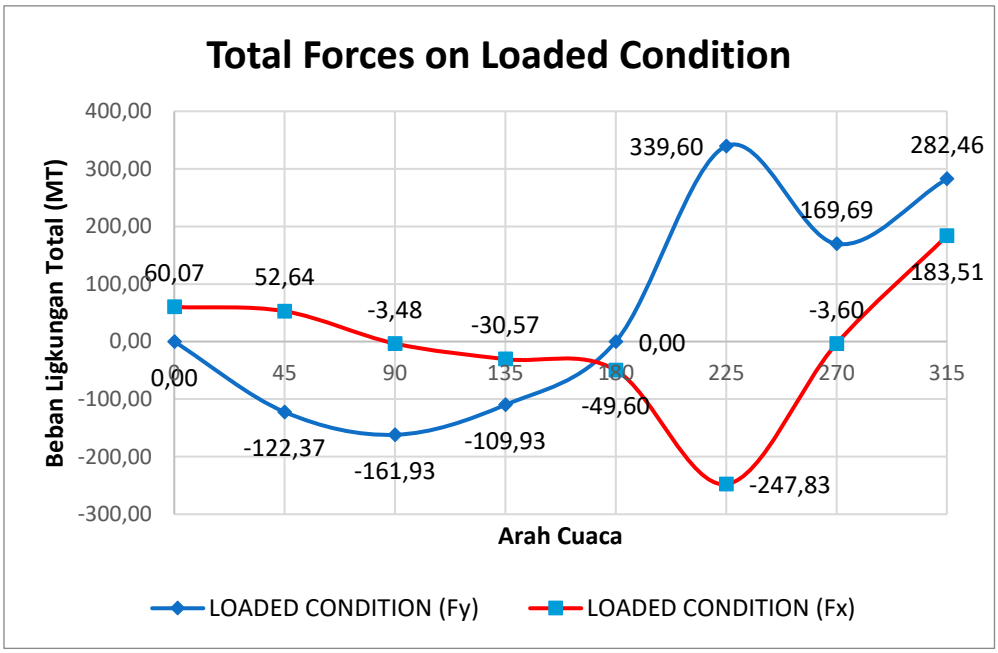
$$F_{TYconnected} = -122.37 \text{ MT}$$

Beban lingkungan longitudinal total:

$F_{TXconnected} = F_{wind} + F_{wave} + F_{current}$

$F_{TXconnected} = 11.16 + 38.69 + 2.79$

$F_{TXconnected} = 52.64$ MT




Grafik 4.9. Grafik Beban Lingkungan Total Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected*

Grafik 4.9. menjelaskan tentang beban lingkungan total yang diterima oleh *shuttle tanker* pada kondisi *shuttle tanker connected* dengan FSO XX. Beban lingkungan transversal terbesar tercatat berada pada arah datang yang sama, yaitu pada arah datang $225^0$. Beban lingkungan transversal terbesar bernilai 339.60 MT menuju kutub positif dan beban longitudinal terbesar bernilai 247.83 MT menuju kutub negatif.

## 4.4 Perhitungan Beban Lingkungan pada Kondisi *Connecting*

Pada perhitungan beban lingkungan kondisi *shuttle tanker* proses *connecting* dengan FSO XX, asumsi yang digunakan adalah *shuttle tanker* dalam keadaan ballast penuh dan cargo dalam keadaan kosong. Hal ini mengindikasikan bahwa *principal*

*dimension* dari *shuttle tanker* yang digunakan adalah pada saat kondisi *ballasted* seperti yang tertera pada Tabel 4.13. di bawah.

Tabel 4.10. *Principal Dimension Shuttle Tanker* Kondisi *Ballasted*

| **MT Mare Oriens** | | |
|---|---|---|
| **Loa** | 245,55 | M |
| **Lpp** | 235,72 | M |
| **B** | 42,01 | M |
| **H** | 21,51 | M |
| **T** | 6,89 | M |

Vektor gaya bekerja pada kapal yang digunakan pada penelitian kali ini adalah sumbu x positif menuju *stern* dan sumbu y positif menuju bagian *starboard* kapal.

### 4.4.1 Perhitungan Beban Angin ($F_{wind}$)

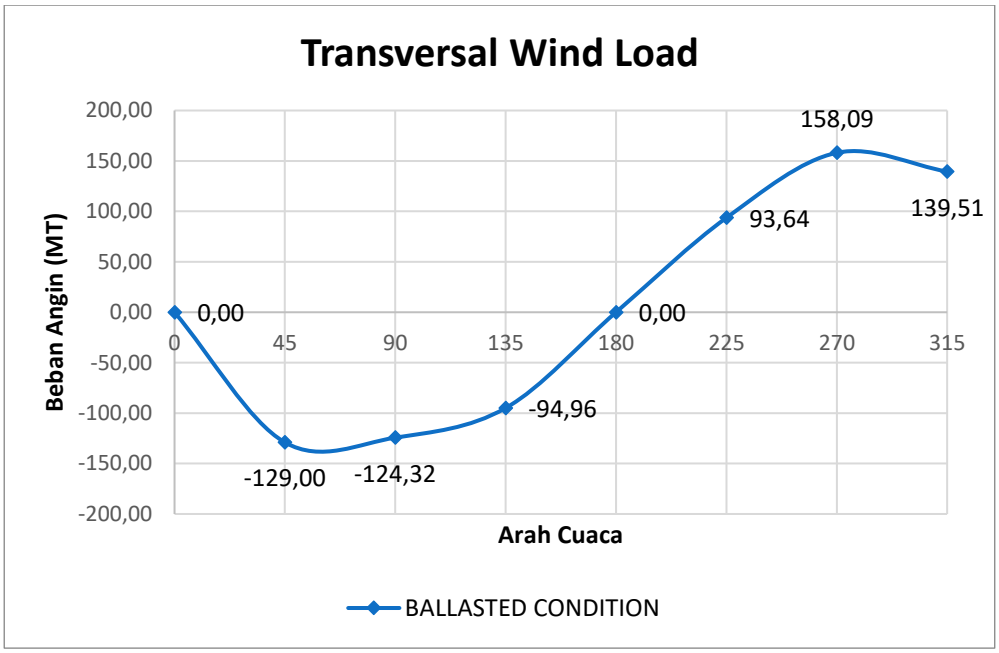
Arah datang $45^0$

Beban angin transversal:

$$F_{YW} = C_{YW} \text{ x } \rho \; x \; A_L \; x \; \frac{V_w^2}{10\,000}$$

$$F_{YW} = (-0.74) \text{ x } 1025 \; x \; 4179.66 \; x \; \frac{(18.53)^2}{20\,000}$$

$$F_{YW} = -129.00 \text{ MT}$$




Grafik 4.10. Grafik Beban Angin Transversal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting*

Grafik 4.10. menunjukkan kesimpulan terhadap perhitungan beban angin transversal yang bekerja pada kondisi *shuttle tanker connecting* dengan FSO dengan arah datang cuaca $0^0$ hingga $315^0$ dan interval $45^0$. Beban angin transversal terbesar tercatat pada saat arah datang $270^0$ dengan besarnya beban sebesar 158.09 MT menuju kutub positif. Hal ini dikarenakan pada saat arah datang $270^0$ terdapat perpaduan antara luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh angin secara transversal dan kecepatan angin desain yang besar (17.81 m/s).

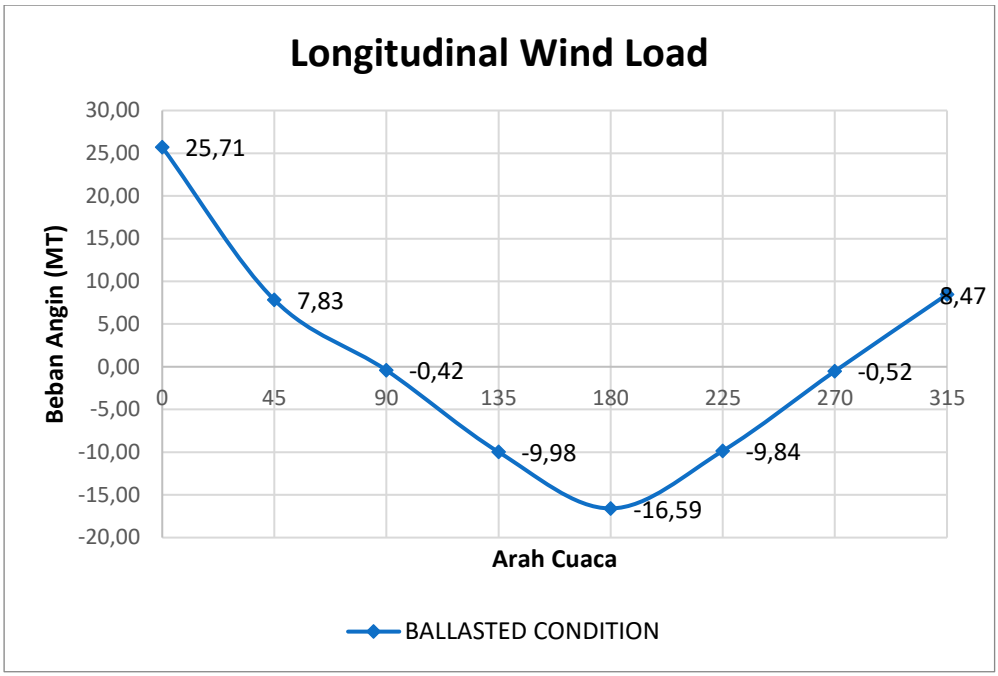
Arah datang $45^0$

Beban angin longitudinal:

$$F_{XW} = C_{XW}\ x\ \rho\ x\ A_L\ x\ \frac{V_w^2}{10\ 000}$$

$$F_{XW} = 0.28\ x\ 1025\ x\ 4179.66\ x\ \frac{(18.53)^2}{20\ 000}$$

$$F_{XW} = \ 7.83\ \text{MT}$$




Grafik 4.11. Grafik Beban Angin Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting*

Grafik 4.11. menunjukkan kesimpulan terhadap perhitungan beban angin longitudinal yang bekerja pada kondisi *shuttle tanker connecting* dengan FSO dengan arah datang $0^0$ hingga $315^0$ dan interval $45^0$. Beban angin longitudinal terbesar tercatat pada saat arah datang $0^0$ (*head sea*) dengan besarnya beban sebesar 25.71 MT menuju kutub positif. Hal ini dikarenakan pada saat arah datang $0^0$ terdapat perpaduan antara luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh angin secara longitudinal dan kecepatan angin desain yang lebih besar dibandingkan dengan arah datang lainnya (19.16 m/s) menurut data yang digunakan.

### 4.4.2 Perhitungan Beban Gelombang ($F_{wave}$)

Arah datang $45^0$

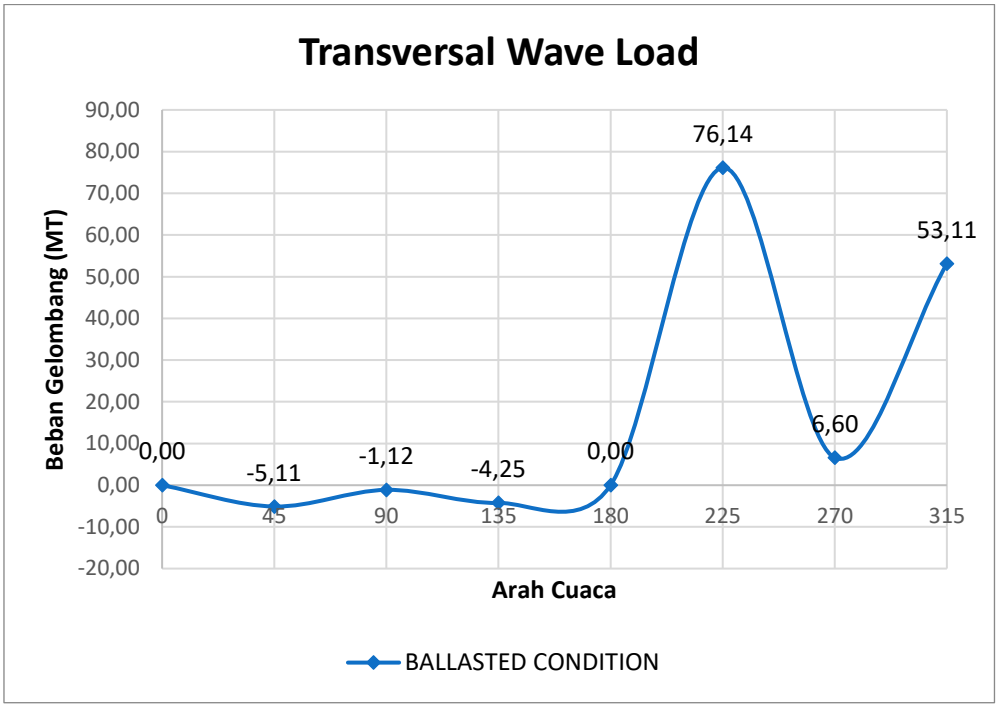
Beban gelombang transversal:

$$F_{Ywave} = C_{fw} \; x \; C_{dw} \; x \; \gamma_{dw} \; x \; H_s^2 \; x \; D' x \; \sin a$$

$$F_{Ywave} = 0.07 \text{ x } 1.08 \text{ x } 1.03 \text{ x } (2.17)^2 \; x \; 196.36 \; x \; \sin 45$$

$$F_{Ywave} = 0.07 \text{ x } 1.08 \text{ x } 1.03 \text{ x } 4.71 \; x \; (-0.71)$$

$F_{Ywave} = -5.11$ MT




Grafik 4.12. Grafik Beban Gelombang Transversal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting*

Grafik 4.12. menunjukkan kesimpulan terhadap perhitungan beban gelombang transversal pada kondisi *shuttle tanker connecting* dengan FSO dengan arah datang $0^0$ hingga $315^0$ dan interval $45^0$. Beban gelombang transversal terbesar tercatat pada saat arah cuaca $225^0$ dengan besarnya beban gelombang sebesar 76.14 MT. Hal ini dikarenakan pada saat arah datang $225^0$ terdapat perpaduan antara luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh gelombang secara transversal dan juga tinggi gelombang desain yang lebih besar dibandingkan dengan arah datang lainnya (5.15 m) menurut data yang digunakan.

Arah datang $45^0$

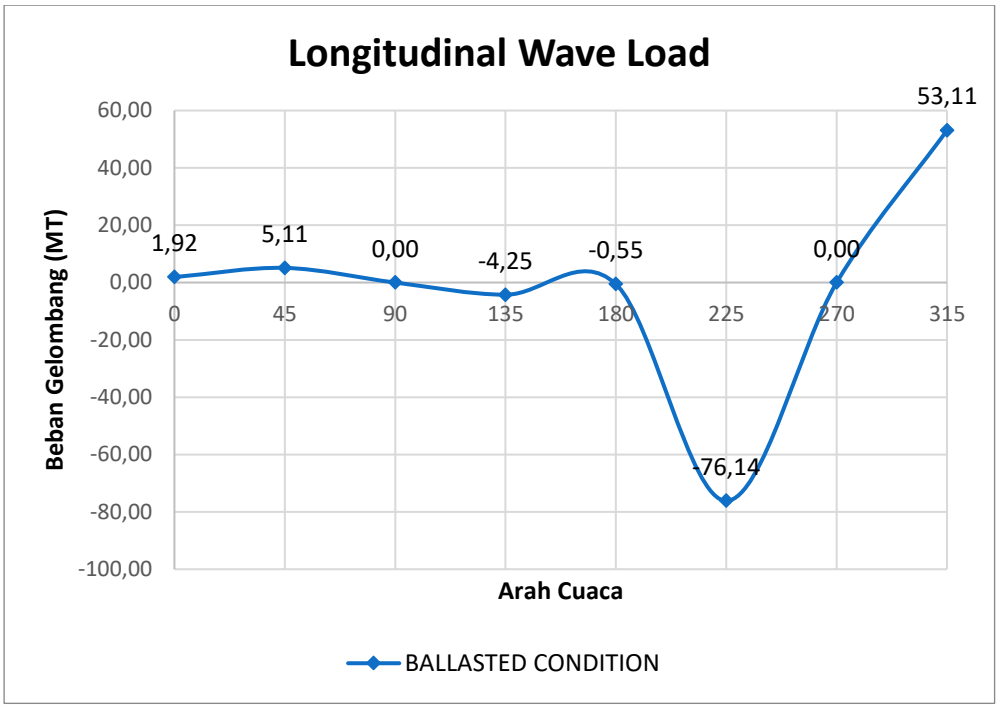
Beban angin longitudinal:

$F_{Xwave} = C_{fw}\ x\ C_{dw}\ x\ \gamma_{dw}\ x\ H_s^2\ x\ D'x\ \cos a$

$$F_{Xwave} = 0.053 \text{ x } 1.08 \text{ x } 1.03 \text{ x } (2.17)^2 \; x \; \cos 45$$

$$F_{Xwave} = 0.053 \text{ x } 1.08 \text{ x } 1.03 \text{ x } 4.71 \; x \; 0.71$$

$$F_{Xwave} = 5.11 \text{ MT}$$




Grafik 4.13. Grafik Beban Gelombang Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting*

Grafik 4.13. menunjukkan kesimpulan terhadap perhitungan beban gelombang longitudinal pada kondisi *shuttle tanker connecting* dengan FSO dengan arah datang $0^0$ hingga $315^0$ dan interval $45^0$. Beban gelombang longitudinal terbesar tercatat pada saat arah cuaca $225^0$ dengan besarnya beban gelombang sebesar 76.14 MT menuju kutub negatif. Hal ini dikarenakan pada saat arah datang $225^0$ terdapat perpaduan antara luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh gelombang secara longitudinal dan juga tinggi gelombang desain yang lebih besar dibandingkan dengan arah datang lainnya (5.15 m) menurut data yang digunakan.

### 4.4.3 Perhitungan Beban Arus ($F_{current}$)

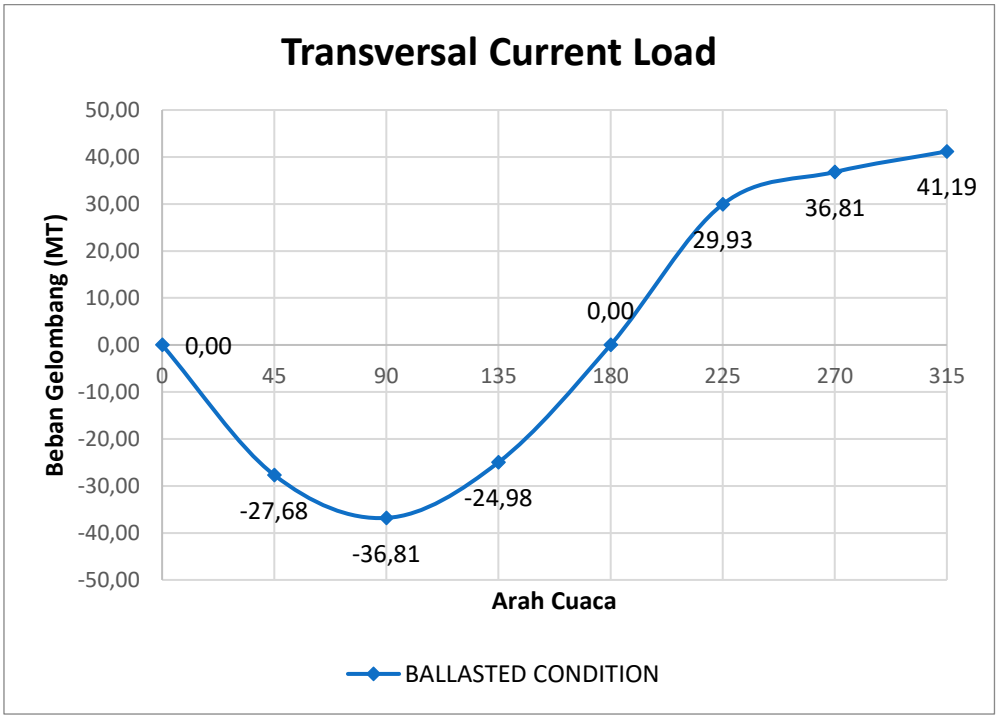
Arah datang $45^0$

Beban arus transversal:

$$F_{YC} = \frac{C_{YC}\ x\ \gamma_w\ x\ D\ x\ L_{bp}\ x\ V_c^2}{20000}$$

$$F_{YC} = \frac{(-0.33)\ x\ 1025\ x\ 6.89\ x\ 235.72\ x\ (1)^2}{20000}$$

$$F_{YC} = -27.68 \text{ MT}$$




Grafik 4.14. Grafik Beban Arus Transversal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting*

Grafik 4.14. menunjukkan tentang kesimpulan perhitungan beban arus transversal pada kondisi *shuttle tanker connecting* dengan FSO dengan arah datang $0^0$ hingga $315^0$ dan interval $45^0$. Beban arus transversal terbesar tercatat ada pada dua kondisi, yaitu pada saat arah datang $90^0$ dan $270^0$ (*beam* sea) dengan besarnya beban arus sebesar 36.81 MT menuju kutub negatif dan positif. Hal ini dikarenakan pada saat arah datang $90^0$ dan $270^0$ luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh arus secara transversal lebih besar dibandingkan dengan arah datang lainnya.

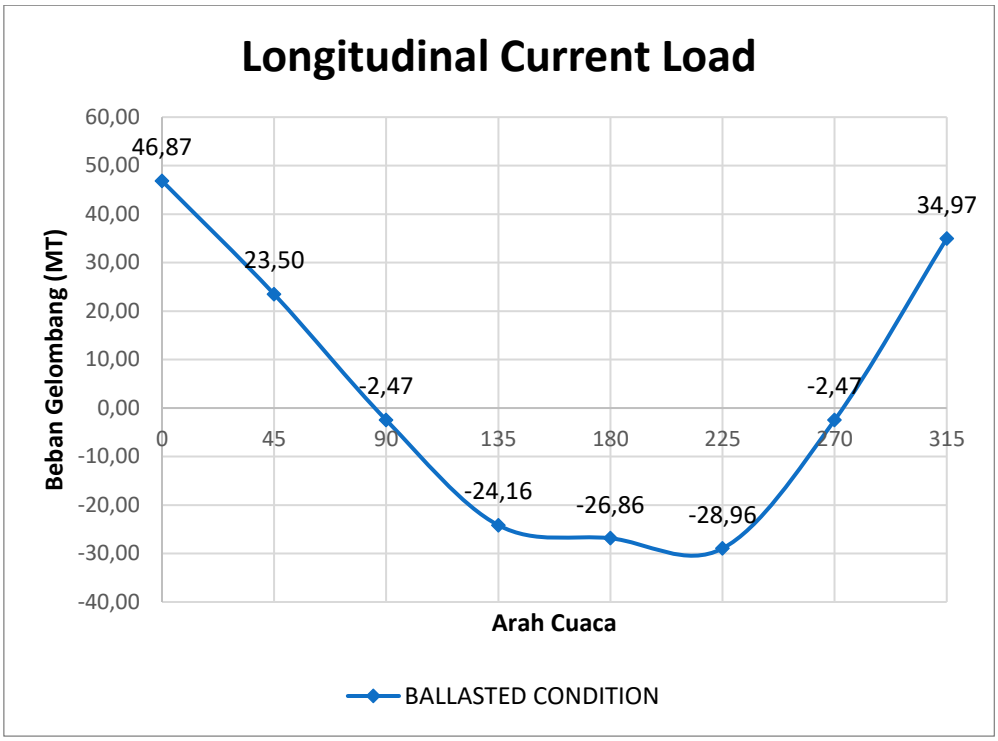
Arah datang $45^0$

Beban arus transversal:

$$F_{YC} = \frac{C_{YC}\ x\ \gamma_w\ x\ D\ x\ L_{bp}\ x\ V_c^2}{20000}$$

$$F_{YC} = \frac{(-0.33)\ x\ 1025\ x\ 6.89\ x\ 235.72\ x\ (1)^2}{20000}$$

$$F_{YC} = 23.50 \text{ MT}$$




Grafik 4.15. Grafik Beban Arus Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting*

Grafik 4.15. menunjukkan tentang kesimpulan perhitungan beban arus transversal pada kondisi *shuttle tanker connecting* dengan FSO dengan arah datang $0^0$ hingga $315^0$ dan interval $45^0$. Beban arus transversal terbesar tercatat ada pada saat arah datang $0^0$ dengan besarnya beban arus sebesar 46.87 MT menuju kutub positif. Hal ini dikarenakan pada saat arah datang $0^0$ luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh arus lebih besar secara longitudinal dibandingkan dengan arah datang lainnya.

### 4.4.4 Perhitungan Beban Inersia ($F_{HR/VR}$)

Beban inersia tranversal

Roll:

$$F_{HR} = \frac{W\left[\frac{4\pi^2\theta z}{T_R^2 g} + (1 \pm 0.2)\sin\theta\right]}{g\ x\ 1000}$$

$$F_{HR} = \frac{45258\left[\frac{4\ x\ (3.14)^2\ x\ 0.42\ x\ 3.17}{(15.11)^2\ x\ 9.8} + (1 \pm 0.2)\sin 24.2\right]}{9.8\ x\ 1000}$$

$$F_{HR} = 5.11 \text{ MT}$$

Pitch:

$$F_{HR} = \frac{W\left[\frac{4\pi^2\theta z}{T_R^2 g} + (1 \pm 0.2)\sin\theta\right]}{g\ x\ 1000}$$

$$F_{HR} = \frac{45258\left[\pm\frac{4\ x\ (3.14)^2\ x\ 0.16\ x\ 3.17}{(13.46)^2\ x\ 9.8} + (1 \pm 0.2)\sin 9.36\right]}{9.8\ x\ 1000}$$

$$F_{HR} = 5.49 \text{ MT}$$

Beban inersia tranversal

Roll:

$$F_R = \frac{W\left[\frac{4\pi^2\theta y}{T_R^2 g} + (1 \pm 0.2)\cos\theta\right]}{g\ x\ 1000}$$

$$F_{HR} = \frac{45258\left[\frac{4\ x\ (3.14)^2\ x\ 0.42\ x\ 1.32}{(15.11)^2\ x\ 9.8} + (1 \pm 0.2)\cos 24.2\right]}{9.8\ x\ 1000}$$

$$F_{HR} = 2.38 \text{ MT}$$

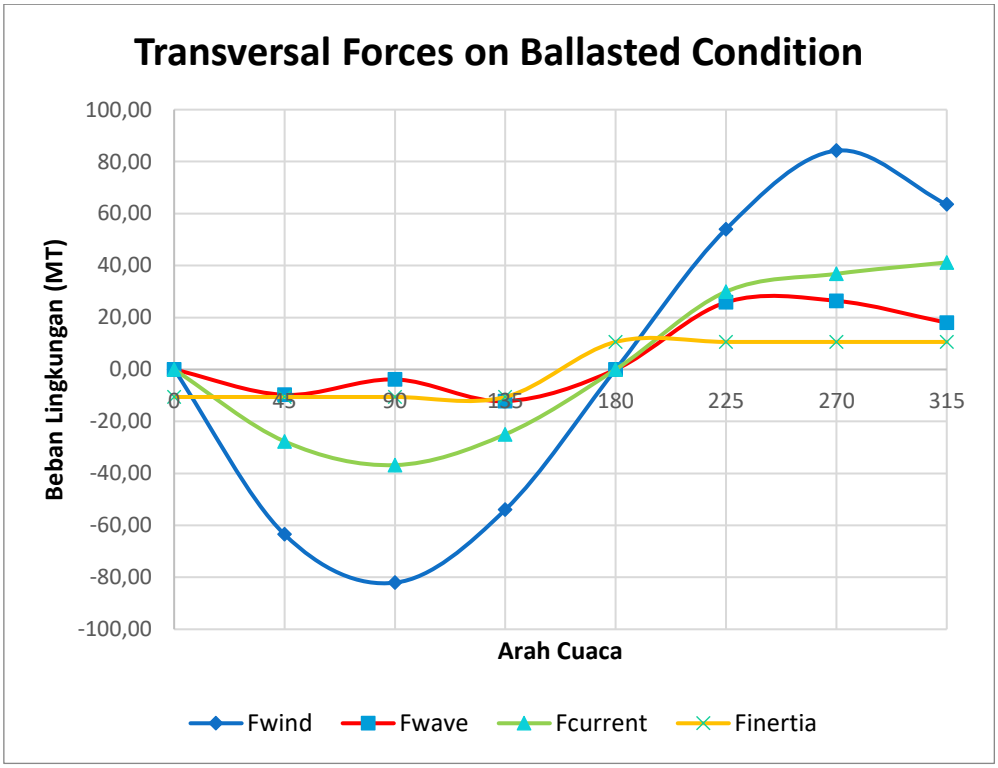
Pitch:

$$F_{HR} = \frac{W\left[\frac{4\pi^2\theta y}{T_R^2 g} + (1 \pm 0.2)\sin\theta\right]}{g\ x\ 1000}$$

$$F_{HR} = \frac{45258\left[\frac{4\ x\ (3.14)^2\ x\ 0.16\ x\ 1.32}{(13.46)^2\ x\ 9.8} + (1 \pm 0.2)\cos 9.36\right]}{9.8\ x\ 1000}$$

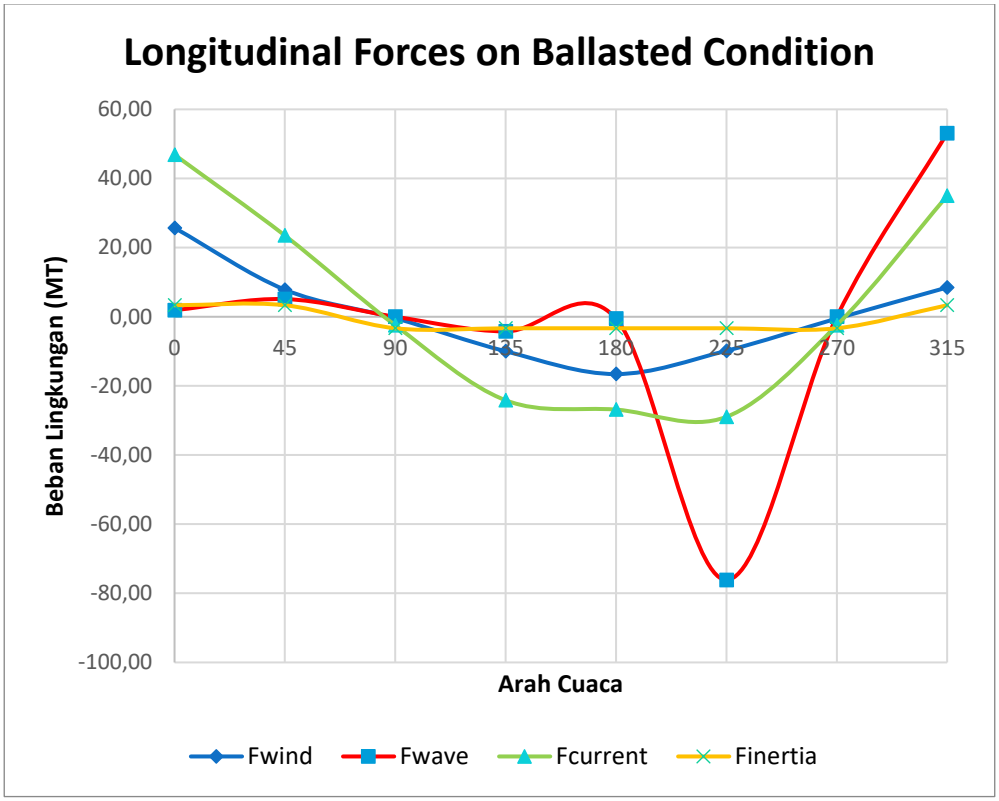
$$F_{HR} = 0.95 \text{ MT}$$

### 4.4.5 Perhitungan Beban Lingkungan Total ($F_{Tconnecting}$)




Grafik 4.16. Grafik Beban-Beban Lingkungan Transversal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting*

Grafik 4.16. Menjelaskan tentang distribusi beban-beban lingkungan transversal yang diterima oleh *shuttle tanker* pada kondisi *shuttle tanker connected* dengan FSO. Beban lingkungan yang memiliki dampak terbesar pada kondisi ini adalah beban angin. Hal ini dikarenakan pada kondisi *shuttle tanker connecting* dengan FSO, luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh angin secara transversal cenderung memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan oleh gelombang dan arus.




Grafik 4.17. Grafik Beban-Beban Lingkungan Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting*

Grafik 4.17. Menjelaskan tentang distribusi beban-beban lingkungan longitudinal yang diterima oleh *shuttle tanker* pada kondisi *shuttle tanker connecting* dengan FSO. Tidak seperti beban lingkungan longitudinal yang dimana beban lingkungan yang memiliki dampak terbesar adalah hanya beban angin, beban lingkungan

longitudinal memiliki dampak terbesar bervariasi antara beban gelombang dan beban arus. Hal ini dikarenakan tinggi gelombang dan kecepatan arus desain yang sangat tinggi dibandingkan dengan kecepatan angin desain.

Arah Datang $45^0$

Beban lingkungan tranversal total:

$$F_{TYconnected} = F_{wind} + F_{wave} + F_{current} + F_{inertia}$$

$$F_{TYconnected} = (-129) + (-5.11) + (-27.68) + (-10.59)$$

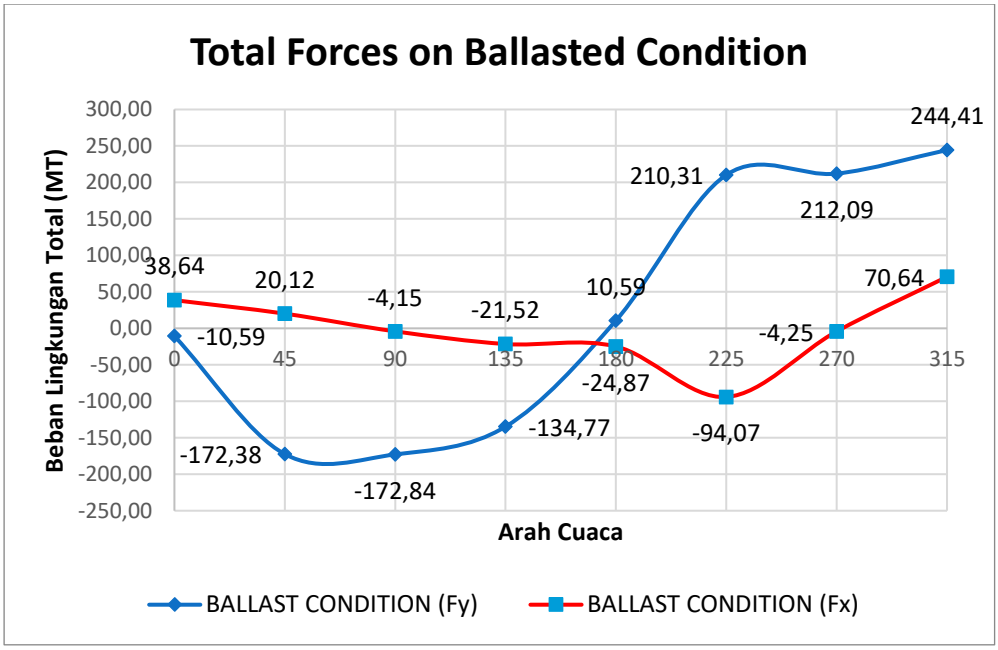
$$F_{TYconnected} = -172.38 \text{ MT}$$

Beban lingkungan longitudinal total:

$$F_{TXconnected} = F_{wind} + F_{wave} + F_{current} + F_{inertia}$$

$$F_{TXconnected} = 7.83 + 5.11 + 23.50 + 3.33$$

$$F_{TXconnected} = 39.77 \text{ MT}$$




Grafik 4.18. Grafik Beban Lingkungan Total Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting*

Grafik 4.18. menjelaskan tentang beban lingkungan total yang diterima oleh *shuttle tanker* pada kondisi *shuttle tanker connecting* dengan FSO XX. Beban lingkungan transversal total terbesar tercatat berada pada arah datang $270^0$ dengan besarnya beban bernilai 212.09 MT menuju kutub positif. Sedangkan beban lingkungan longitudinal total terbesar tercatat berada pada arah datang $225^0$ dengan besarnya beban bernilai 94.07 MT menuju kutub negatif.

## 4.5 Pembatasan Jendela Operasi

Dikarenakan durasi operasi *crude oil transfer* dari FSO XX ke *shuttle tanker* berlangsung kurang dari 72 jam, menurut DNV-OS-H101: *Marine Operations*, *General* operasi *crude oil transfer* masuk ke dalam kategori *weather restricted operation.* Maka dari itu, jendela pengoperasian *crude oil transfer* dari FSO XX ke *shuttle tanker* haruslah dibatasi sesuai dengan desain yang diinginkan.

**Beaufort scale**

**Specification and speeds**

| Force | Description | Specification for use at sea* | Equivalent speed at 10 m above sea level: Mean knots | Mean metres per second | Limits knots | Limits metres per second | Description in forecasts | State of sea | Probable height of waves* metres |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | Calm | Sea like a mirror. | 0 | 0.0 | <1 | 0.0-0.2 | Calm | Calm | 0.0 |
| 1 | Light air | Ripples with the appearance of scales are formed, but without foam crests. | 2 | 0.8 | 1-3 | 0.3-1.5 | Light | Calm | 0.1 (0.1) |
| 2 | Light breeze | Small wavelets, still short but more pronounced. Crests have a glassy appearance and do not break. | 5 | 2.4 | 4-6 | 1.6-3.3 | Light | Smooth | 0.2 (0.3) |
| 3 | Gentle breeze | Large wavelets. Crests begin to break. Foam of glassy appearance. Perhaps scattered white horses. | 9 | 4.3 | 7-10 | 3.4-5.4 | Light | Smooth | 0.6 (1.0) |
| 4 | Moderate breeze | Large waves begin to form; the white foam crests are more extensive everywhere. Probably some spray. | 13 | 6.7 | 11-16 | 5.5-7.9 | Moderate | Slight | 1.0 (1.5) |
| 5 | Fresh breeze | Moderate waves, taking a more pronounced long form; many white horses are formed. Chance of some spray | 19 | 9.3 | 17-21 | 8.0-10.7 | Fresh | Moderate | 2.0 (2.5) |
| 6 | Strong breeze | Large waves begin to form; the white foam crests are more extensive everywhere. Probably some spray. | 24 | 12.3 | 22-27 | 10.8-13.8 | Strong | Rough | 3.0 (4.0) |
| 7 | Near gale | Sea heaps up and white foam from breaking waves begins to be blown in streaks along the direction of the wind. | 30 | 15.5 | 28-33 | 13.9-17.1 | Strong | Very rough | 4.0 (5.5) |
| 8 | Gale | Moderately high waves of greater length; edges of crests begin to break into spindrift. The foam is blown in well-marked streaks along the direction of the wind. | 37 | 18.9 | 34-40 | 17.2-20.7 | Gale | High | 5.5 (7.5) |
| 9 | Strong gale | High waves. Dense streaks of foam along the direction of the wind. Crests of waves begin to topple, tumble and roll over. Spray may affect visibility. | 44 | 22.6 | 41-47 | 20.8-24.4 | Severe gale | Very high | 7.0 (10.0) |
| 10 | Storm | Very high waves with long overhanging crests. The resulting foam, in great patches, is blown in dense white streaks along the direction of the wind. On the whole, the surface of the sea takes a white appearance.The 'tumbling' of the sea becomes heavy and shock-like. Visibility affected. | 52 | 26.4 | 48-55 | 24.5-28.4 | Storm | Very high | 9.0 (12.5) |
| 11 | Violent storm | Exceptionally high waves (small and medium-sized ships might be lost to view for a time behind the waves). The sea is completely covered with long white patches of foam lying along the direction of the wind. Everywhere the edges of the wave crests are blown into froth. Visibility affected. | 60 | 30.5 | 56-63 | 28.5-32.6 | Violent storm | Phenomenal | 11.5 (16.0) |
| 12 | Hurricane | The air is filled with foam and spray. Sea completely white with driving spray; visibility seriously affected. | - | - | 64 and over | 32.7 and over | Hurricane force | Phenomenal | 14.0 (-) |

Gambar 4.1. Beaufort Scale
Sumber: www.spc.noaa.gov

Tabel 4.11. Pembatasan Jendela Operasi

| Parameter | Arah Datang | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **$0^0$** | **$45^0$** | **$90^0$** | **$135^0$** | **$180^0$** | **$225^0$** | **$270^0$** | **$315^0$** |
| **Hs (m)** | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| **Angin (m/s)** | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| **Arus (m/s)** | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **Kedalaman (m)** | 77 | | | | | | | |

Batasan cuaca pada jendela pengoperasian pada penelitian kali ini ditentukan mengacu pada Beaufort Scale seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1. Beaufort Scale adalah ukuran empiris yang digunakan untuk mengkategorikan karakteristik kondisi cuaca. Kategori karakteristik cuaca yang digunakan adalah level 5 (*strong breeze*) dengan karakteristik cuaca maksimal sesuai Tabel 4.11.

## 4.6 Perhitungan Beban Lingkungan pada Kondisi *Connected* dalam Batasan *Weather Restricted Operations*

### 4.6.1 Perhitungan Beban Angin ($F_{wind}$)

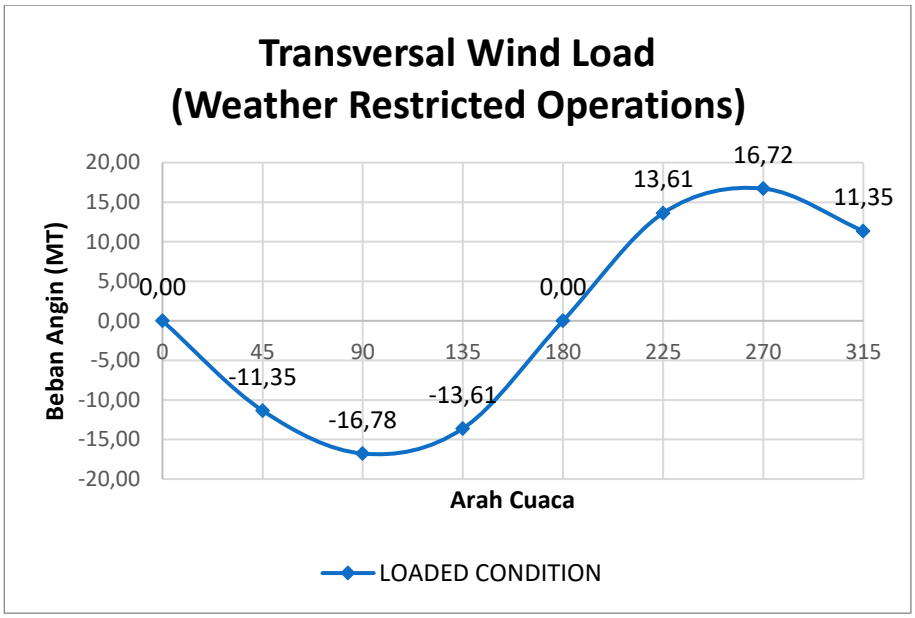
Arah datang $45^0$

Beban angin transversal:

$$F_{YW} = C_{YW} \text{ x } \rho \; x \; A_L \; x \; \frac{V_w^2}{10\,000}$$

$$F_{YW} = (-0.48) \text{ x } 1025 \; x \; 2270.33 \; x \; \frac{(13)^2}{20\,000}$$

$$F_{YW} = -11.35 \text{ MT}$$




Grafik 4.19. Grafik Beban Angin Transversal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected* dalam Batasan *Weather Restricted Operations*

Grafik 4.19. menunjukkan kesimpulan terhadap perhitungan beban angin transversal yang bekerja pada kondisi *shuttle tanker connected* dengan FSO dengan arah datang cuaca $0^0$ hingga $315^0$ dan interval $45^0$. Setelah dibatasi oleh batasan *weather restricted operations* dengan kecepatan angin maksimal 13 m/s, maka beban angin transversal terbesar tercatat pada saat arah datang $90^0$ dengan besarnya beban sebesar 16.78 MT menuju kutub negatif. Hal ini dikarenakan pada saat arah datang $90^0$, luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh angin secara transversal memiliki luasan paling besar dibandingkan dengan luasan *shuttle tanker* yang terdampak pada arah cuaca lainnya (*beam sea*).

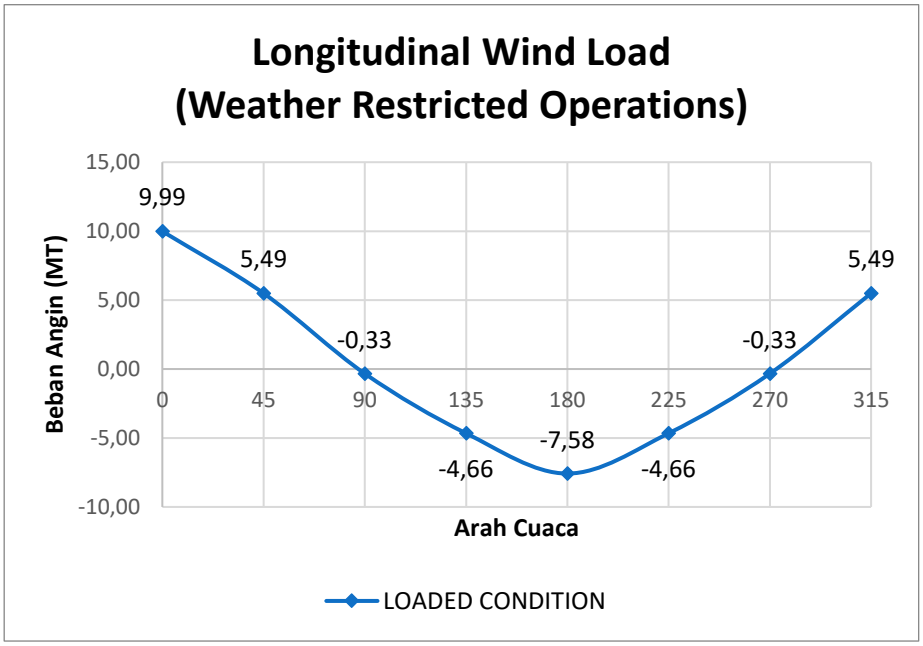
Arah datang $45^0$

Beban angin longitudinal:

$$F_{XW} = C_{XW}\ x\ \rho\ x\ A_L\ x\ \frac{V_w^2}{10\ 000}$$

$$F_{XW} = 0.54\ x\ 1025\ x\ 2270.33\ x\ \frac{(18.53)^2}{20\ 000}$$

$$F_{XW} = 11.16$$




Grafik 4.20. Grafik Beban Angin Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected* dalam Batasan *Weather Restricted Operations*

Grafik 4.20. menunjukkan kesimpulan terhadap perhitungan beban gelombang longitudinal pada kondisi *shuttle tanker connected* dengan FSO dengan arah datang $0^0$ hingga $315^0$ dan interval $45^0$. Setelah dibatasi oleh batasan *weather restricted operations* dengan kecepatan angin maksimal 13 m/s, beban gelombang longitudinal terbesar tercatat pada saat arah cuaca $0^0$ dengan besarnya beban gelombang sebesar 9.99 MT menuju kutub positif. Hal ini dikarenakan pada saat arah datang $90^0$, luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh angin secara longitudinal memiliki luasan paling besar dibandingkan dengan luasan *shuttle tanker* yang terdampak pada arah cuaca lainnya (*head sea*).

### 4.6.2 Perhitungan Beban Gelombang ($F_{wave}$)

Arah datang $45^0$

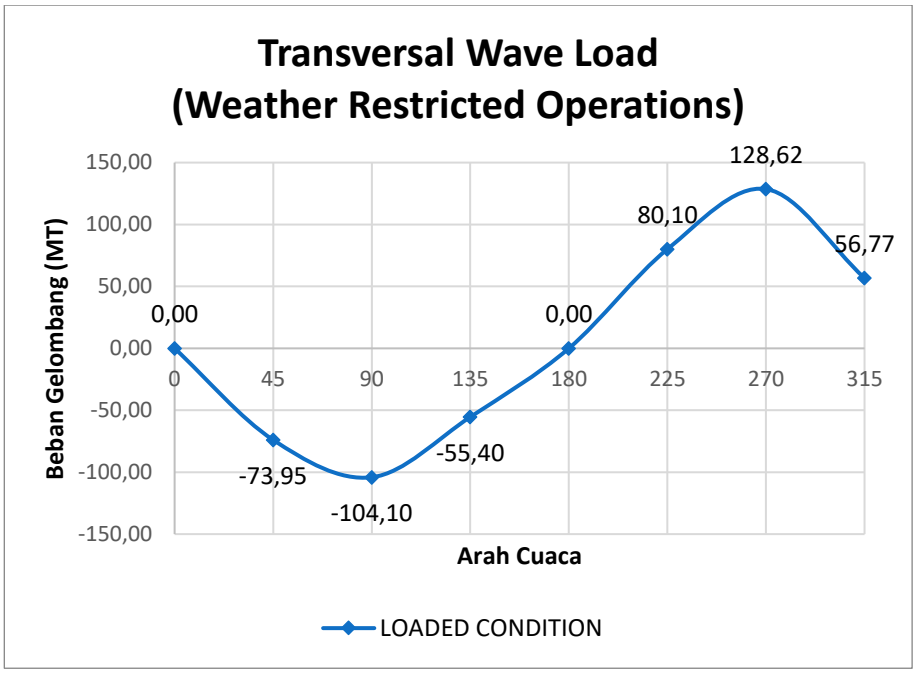
Beban gelombang transversal:

$$F_{Ywave} = C_{fw} \; x \; C_{dw} \; x \; \gamma_{dw} \; x \; H_s^2 \; x \; D' x \; \sin a$$

$$F_{Ywave} = 0.053 \text{ x } 1.08 \text{ x } 1.03 \text{ x } (3)^2 \; x \; 196.36 \; x \; \sin 45$$

$F_{Ywave} = 0.053$ x 1.08 x 1.03 x 4.71 $x$ $(-0.71)$

$F_{Ywave} = -38.69$ MT




Grafik 4.21. Grafik Beban Gelombang Transversal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting* dalam Batasan *Weather Restricted Operations*

Grafik 4.21. menunjukkan kesimpulan terhadap perhitungan beban gelombang transversal yang bekerja pada kondisi *shuttle tanker connected* dengan FSO dengan arah datang cuaca $0^0$ hingga $315^0$ dan interval $45^0$. Setelah dibatasi oleh batasan *weather restricted operations* dengan tinggi gelombang 3 m, maka beban gelombang transversal terbesar tercatat pada saat arah datang $270^0$ dengan besarnya beban sebesar 128.62 MT menuju kutub negatif. Hal ini dikarenakan pada saat arah datang $270^0$, luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh gelombang secara transversal memiliki pengaruh luasan paling besar dibandingkan dengan luasan *shuttle tanker* yang terdampak pada arah cuaca lainnya (*beam sea*).

Arah datang $45^0$

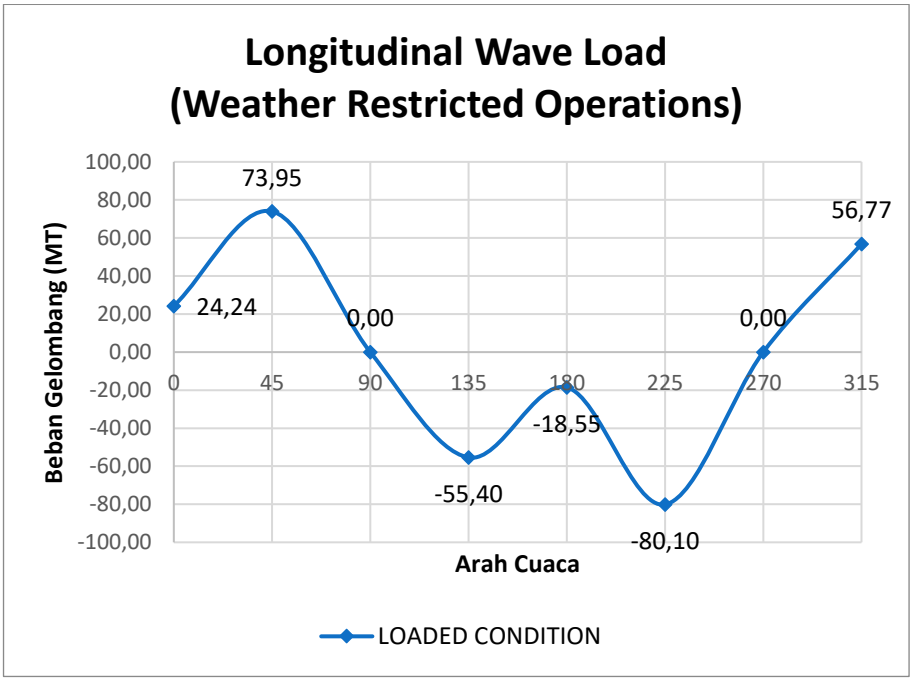
Beban angin longitudinal:

$F_{Xwave} = C_{fw}\ x\ C_{dw}\ x\ \gamma_{dw}\ x\ H_s^2\ x\ D'x\ \cos a$

$F_{Xwave} = 0.053$ x 1.08 x 1.03 x $(3)^2\ x\ \cos 45$

$F_{Xwave} = 0.053$ x 1.08 x 1.03 x $4.71\ x\ 0.71$

$F_{Xwave} = 7.42$ MT




Grafik 4.22. Grafik Beban Gelombang Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected* dalam Batasan *Weather Restricted Operations*

Grafik 4.22. menunjukkan kesimpulan terhadap perhitungan beban angin transversal yang bekerja pada kondisi *shuttle tanker connected* dengan FSO dengan arah datang cuaca $0^0$ hingga $315^0$ dan interval $45^0$. Setelah dibatasi oleh batasan *weather restricted operations* dengan tinggi gelombang 3 m, maka beban gelombang longitudinal terbesar tercatat pada saat arah datang $225^0$ dengan besarnya beban sebesar 80.10 MT menuju kutub negatif. Hal ini dikarenakan pada saat arah datang $225^0$, luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh gelombang secara longitudinal memiliki pengaruh luasan

paling besar dibandingkan dengan luasan *shuttle tanker* yang terdampak pada arah cuaca lainnya (*head sea*)

### 4.6.3 Perhitungan Beban Arus ($F_{current}$)

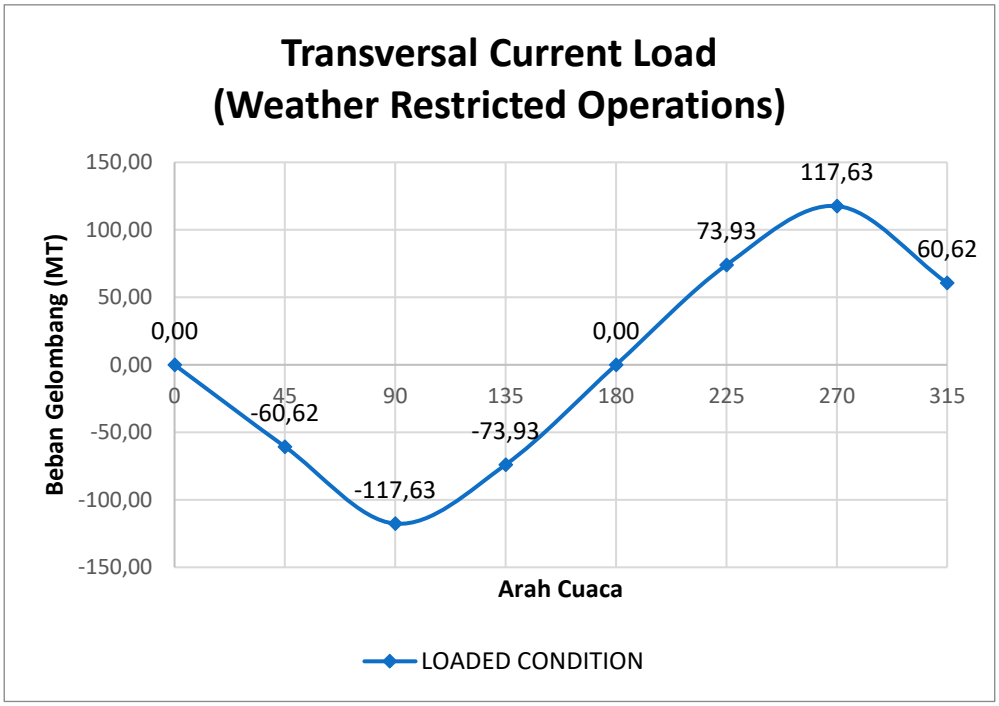
Arah datang $45^0$

Beban arus transversal:

$$F_{YC} = \frac{C_{YC}\ x\ \gamma_w\ x\ D\ x\ L_{bp}\ x\ V_c^2}{20000}$$

$$F_{YC} = \frac{(-0.34)\ x\ 1025\ x\ 14.98\ x\ 235.72\ x\ (1)^2}{20000}$$

$$F_{YC} = -60.62 \text{ MT}$$




Grafik 4.23. Grafik Beban Arus Transversal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected* dalam Batasan *Weather Restricted Operations*

Grafik 4.23. menunjukkan tentang kesimpulan perhitungan beban arus transversal pada kondisi *shuttle tanker connected* dengan FSO dengan arah datang $0^0$ hingga $315^0$ dan interval $45^0$. Setelah dibatasi oleh batasan *weather restricted operations*

dengan kecepatan arus 1 m/s, maka beban angin transversal terbesar tercatat pada dua arah cuaca datang, yaitu $90^0$ dan 270 $^0$dengan besarnya beban sebesar 117.63 MT menuju kutub negatif dan positif. Hal ini dikarenakan pada saat arah datang $90^0$ dan $270^0$, luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh gelombang secara transversal memiliki pengaruh luasan paling besar dibandingkan dengan luasan *shuttle tanker* yang terdampak pada arah cuaca lainnya (*beam sea*).

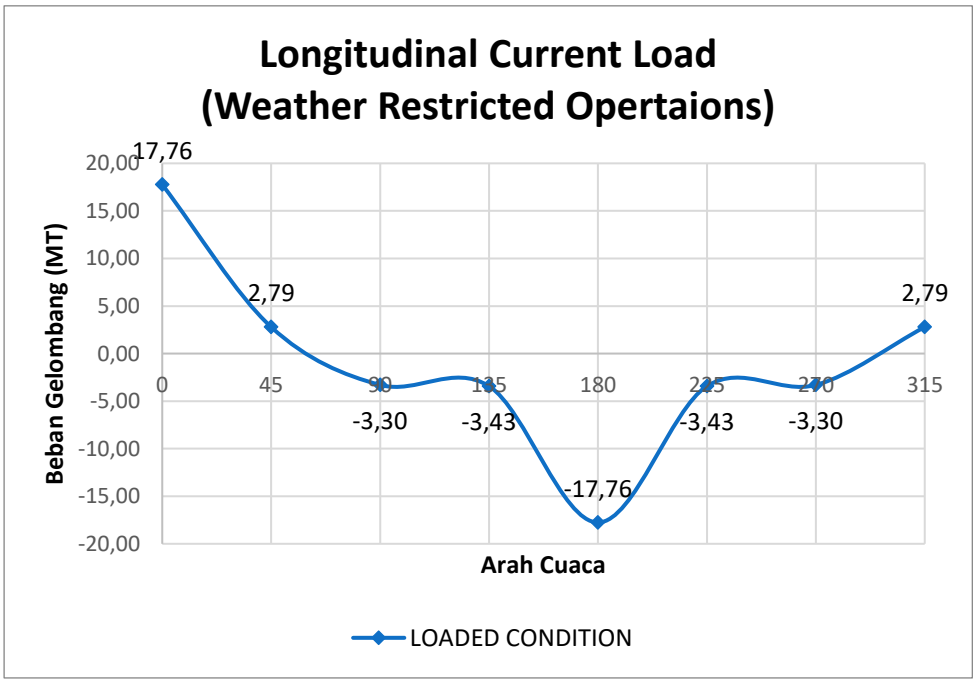
Arah datang $45^0$

Beban arus longitudinal:

$$F_{XC} = \frac{C_{XC}\ x\ \gamma_w\ x\ B\ x\ L_{bp}\ x\ V_c^2}{20000}$$

$$F_{XC} = \frac{0.006\ x\ 1025\ x\ 42.01\ x\ 235.72\ x\ (1)^2}{20000}$$

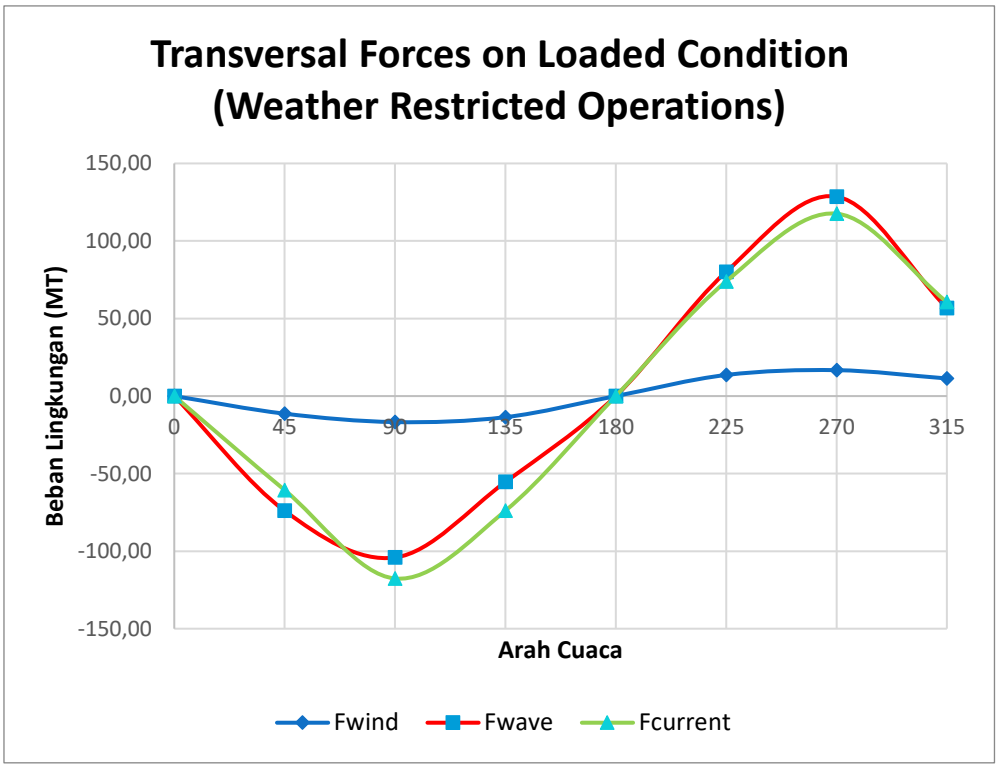
$$F_{XC} = 2.79 \text{ MT}$$




Grafik 4.24. Grafik Beban Gelombang Arus Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected* dalam Batasan *Weather Restricted Operations*

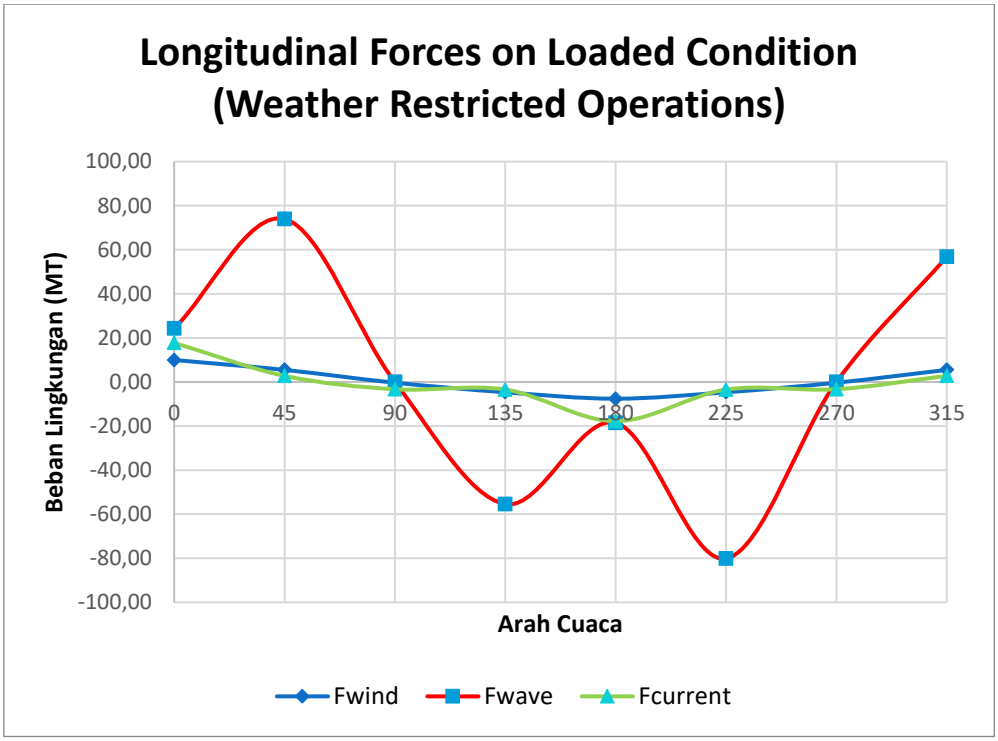
Grafik 4.24. menunjukkan tentang kesimpulan perhitungan beban arus transversal pada kondisi *shuttle tanker connected* dengan FSO dengan arah datang $0^0$ hingga $315^0$ dan interval $45^0$. Setelah dibatasi oleh batasan *weather restricted operations* dengan kecepatan arus 1 m/s, maka beban arus longitudinal terbesar tercatat pada dua arah cuaca datang, yaitu $0^0$ dan 180 $^0$dengan besarnya beban sebesar 17.76 MT menuju kutub negatif dan positif. Hal ini dikarenakan pada saat arah datang $0^0$ dan $180^0$, luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh gelombang secara longitudinal memiliki pengaruh luasan paling besar dibandingkan dengan luasan *shuttle tanker* yang terdampak pada arah cuaca lainnya (*head sea*).

### 4.6.4 Perhitungan Beban Lingkungan Total ($F_{Tconnected}$)




Grafik 4.25. Grafik Beban-Beban Lingkungan Transversal pada Kondisi *Connected* Dalam Batasan *Weather Restricted Operations*

Grafik 4.25. Menjelaskan tentang distribusi beban-beban lingkungan transversal yang diterima oleh *shuttle tanker* pada kondisi *shuttle tanker connected* dengan FSO. Beban lingkungan yang memiliki dampak terbesar pada kondisi ini adalah variasi antara beban arus dan beban gelombang. Hal ini dikarenakan pada kondisi *shuttle tanker connected* dengan FSO, luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh gelombang dan arus secara transversal cenderung memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan oleh luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh angin.




Grafik 4.26. Grafik Beban-Beban Lingkungan Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected* dalam Batasan *Weather Restricted Operations*

Grafik 4.26. Menjelaskan tentang distribusi beban-beban lingkungan longitudinal yang diterima oleh *shuttle tanker* pada kondisi *shuttle tanker connected* dengan FSO. Tidak seperti beban lingkungan transversal yang dimana beban lingkungan yang memiliki dampak terbesar adalah hanya beban gelombang, beban lingkungan longitudinal memiliki dampak terbesar variasi antara beban arus dan beban gelombang.

Hal ini dikarenakan pada kondisi *shuttle tanker connected* dengan FSO, luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh gelombang dan arus cenderung lebih besar dibandingkan oleh angin.

Arah Datang $45^0$

Beban lingkungan tranversal total:

$$F_{TYconnected} = F_{wind} + F_{wave} + F_{current}$$

$$F_{TYconnected} = (-11.35) + (-73.95) + (-60.62)$$

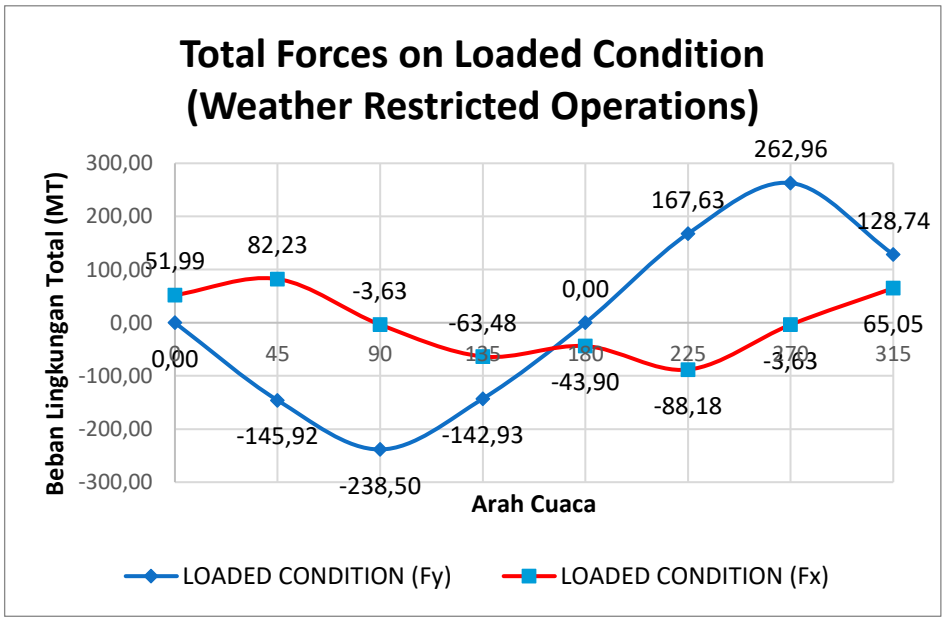
$$F_{TYconnected} = -145.92 \text{ MT}$$

Beban lingkungan longitudinal total:

$$F_{TXconnected} = F_{wind} + F_{wave} + F_{current}$$

$$F_{TXconnected} = 5.49 + 73.95 + 2.79$$

$$F_{TXconnected} = 82.23 \text{ MT}$$




Grafik 4.27. Grafik Beban Lingkungan Total Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connected* dalam Batasan *Weather Restricted Operations*

Grafik 4.27. menjelaskan tentang beban lingkungan total yang diterima oleh *shuttle tanker* pada kondisi *shuttle tanker connected* dengan FSO XX setelah dibatasi oleh batasan *weather restricted operation*. Beban lingkungan transversal terbesar tercatat

berada pada arah datang $270^0$ dengan besarnya beban bernilai 262.96 MT menuju kutub positif. Sedangkan beban lingkungan longitudinal terbesar tercatat berada pada arah datang $225^0$ dengan besarnya beban bernilai 88.18 MT menuju kutub negatif.

## 4.7 Perhitungan Beban Lingkungan pada Kondisi *Connecting* dalam Batasan *Weather Restricted Operations*

### 4.7.1 Perhitungan Beban Angin ($F_{wind}$)

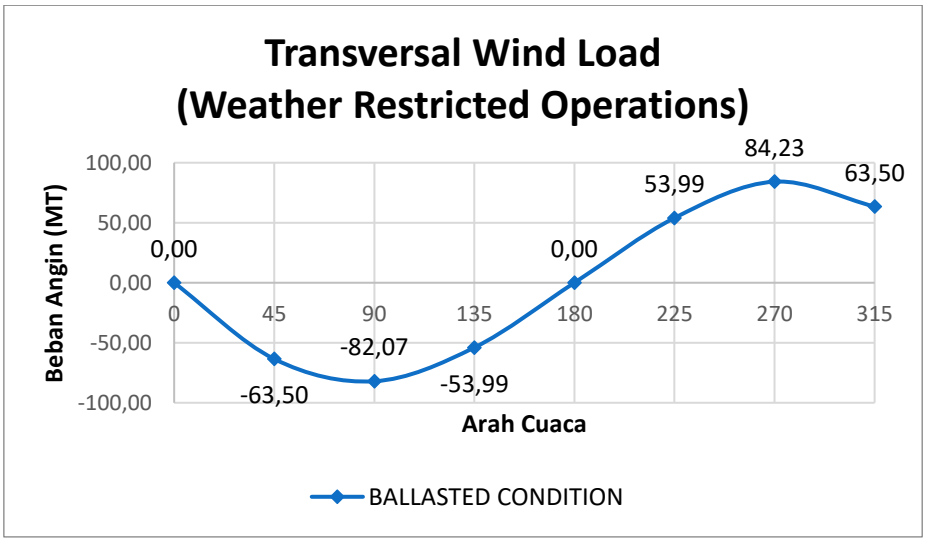
Arah datang $45^0$

Beban angin transversal:

$$F_{YW} = C_{YW} \text{ x } \rho \; x \; A_L \; x \; \frac{V_w^2}{10\,000}$$

$$F_{YW} = (-0.74) \text{ x } 1025 \; x \; 4179.66 \; x \; \frac{(13)^2}{20\,000}$$

$$F_{YW} = -63.50 \text{ MT}$$




Grafik 4.28. Grafik Beban Angin Transversal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting* dalam Batasan *Weather Restricted Operations*

Grafik 4.28. menunjukkan kesimpulan terhadap perhitungan beban angin transversal yang bekerja pada kondisi *shuttle tanker connecting* dengan FSO dengan arah datang cuaca $0^0$ hingga $315^0$ dan interval $45^0$. Setelah dibatasi oleh batasan *weather restricted operations* dengan kecepatan angin maksimal 13 m/s, maka beban angin

transversal terbesar tercatat pada saat arah datang $270^0$ dengan besarnya beban sebesar 84.23 MT menuju kutub positif. Hal ini dikarenakan pada saat arah datang $270^0$, luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh angin secara transversal memiliki luasan paling besar dibandingkan dengan luasan *shuttle tanker* yang terdampak pada arah cuaca lainnya (*beam sea*).

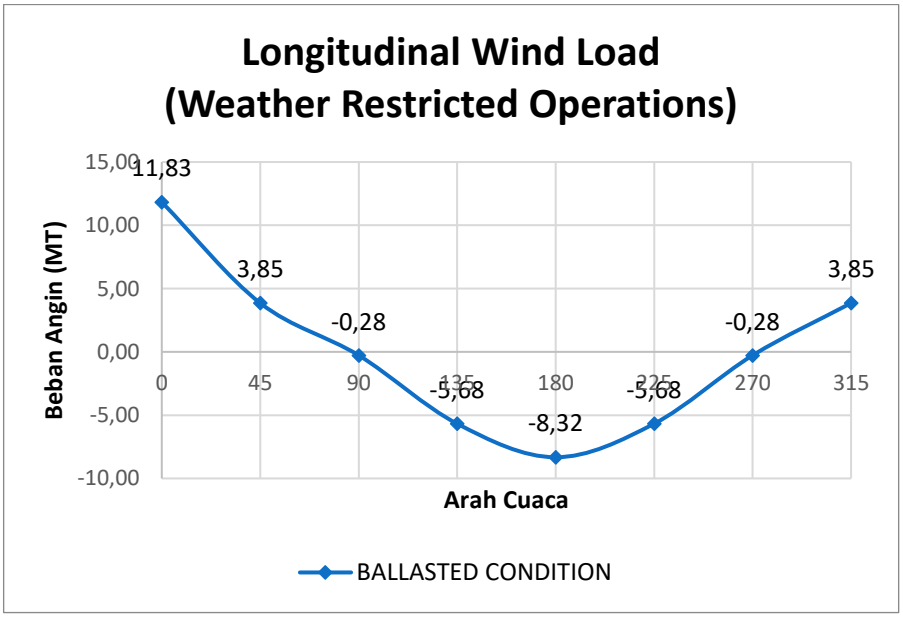
Arah datang $45^0$

Beban angin longitudinal:

$$F_{XW} = C_{XW}\ x\ \rho\ x\ A_L\ x\ \frac{V_w^2}{10\ 000}$$

$$F_{XW} = 0.28\ x\ 1025\ x\ 4179.66\ x\ \frac{(13)^2}{20\ 000}$$

$$F_{XW} = 3.85 \text{ MT}$$




Grafik 4.29. Grafik Beban Angin Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting* dalam Batasan *Weather Restricted Operations*

Grafik 4.29. menunjukkan kesimpulan terhadap perhitungan beban angin longitudinal yang bekerja pada kondisi *shuttle tanker connecting* dengan FSO dengan arah datang $0^0$ hingga $315^0$ dan interval $45^0$. Setelah dibatasi oleh batasan *weather restricted operations* dengan kecepatan angin maksimal 13 m/s, maka beban angin transversal terbesar tercatat pada saat arah datang $0^0$ dengan besarnya beban sebesar

11.83 MT menuju kutub positif.. Hal ini dikarenakan pada saat arah datang $0^0$, luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh angin secara longitudinal lebih besar dibandingkan dengan luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh angin pada arah datang lainnya.

### 4.7.2 Perhitungan Beban Gelombang ($F_{wave}$)

Arah datang $45^0$

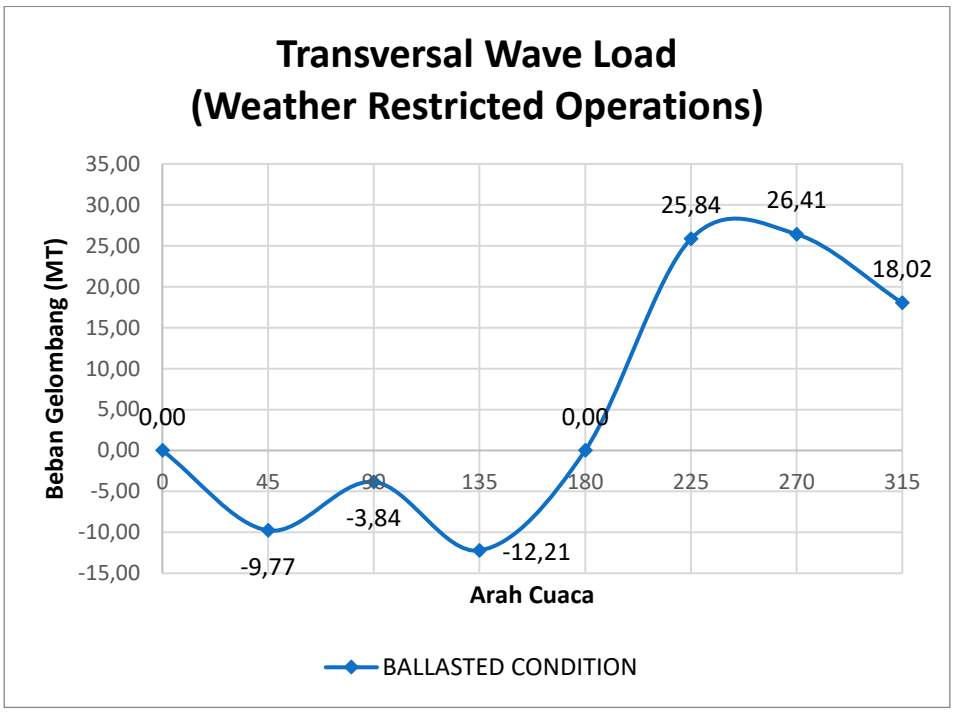
Beban gelombang transversal:

$$F_{Ywave} = C_{fw} \; x \; C_{dw} \; x \; \gamma_{dw} \; x \; H_s^2 \; x \; D' x \; \sin a$$

$$F_{Ywave} = 0.07 \text{ x } 1.08 \text{ x } 1.03 \text{ x } (3)^2 \; x \; 196.36 \; x \; \sin 45$$

$$F_{Ywave} = 0.07 \text{ x } 1.08 \text{ x } 1.03 \text{ x } 3 \; x \; (-0.71)$$

$$F_{Ywave} = -9.77 \text{ MT}$$




Grafik 4.30. Grafik Beban Gelombang Transversal vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting* dalam Batasan *Weather Restricted Operations*

Grafik 4.30. menunjukkan kesimpulan terhadap perhitungan beban gelombang transversal pada kondisi *shuttle tanker connecting* dengan FSO dengan arah datang $0^0$

hingga $315^0$ dan interval $45^0$. Setelah dibatasi oleh batasan *weather restricted operations* dengan tinggi gelombang 3 m, maka beban gelombang transversal terbesar tercatat pada saat arah datang $270^0$ dengan besarnya beban sebesar 26.41 MT menuju kutub negatif. Hal ini dikarenakan pada saat arah datang $270^0$, luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh gelombang secara transversal memiliki pengaruh luasan paling besar dibandingkan dengan luasan *shuttle tanker* yang terdampak pada arah cuaca lainnya (*beam sea*).

Arah datang $45^0$

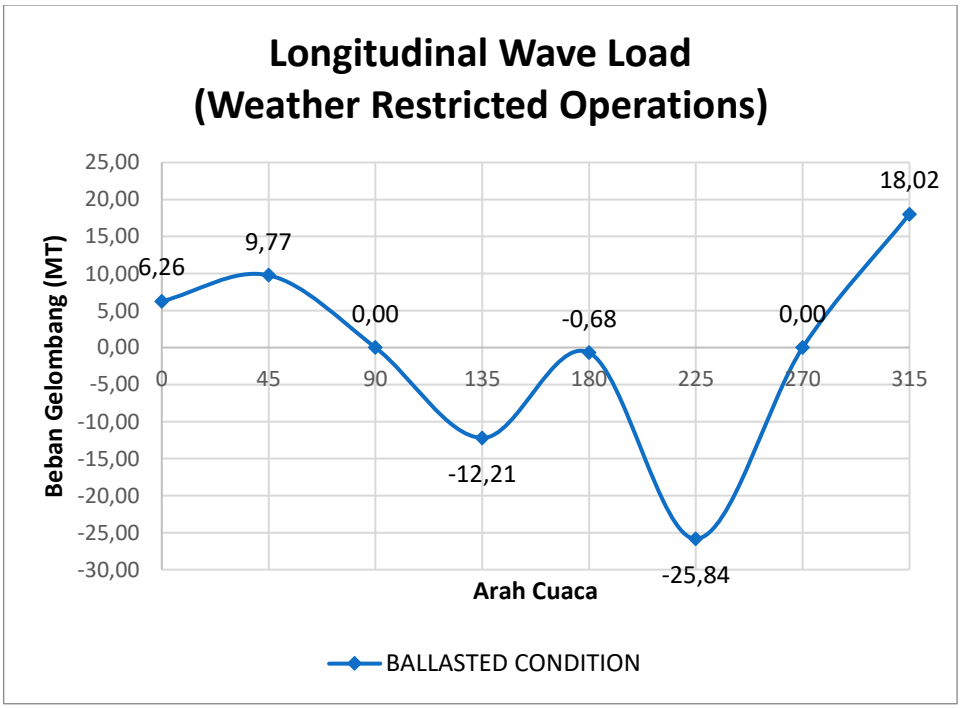
Beban angin longitudinal:

$$F_{Xwave} = C_{fw} \; x \; C_{dw} \; x \; \gamma_{dw} \; x \; H_s^2 \; x \; D' x \; \cos a$$

$$F_{Xwave} = 0.053 \text{ x } 1.08 \text{ x } 1.03 \text{ x } (3)^2 \; x \; \cos 45$$

$$F_{Xwave} = 0.053 \text{ x } 1.08 \text{ x } 1.03 \text{ x } 3 \; x \; 0.71$$

$$F_{Xwave} = 9.77 \text{ MT}$$




Grafik 4.31. Grafik Beban Gelombang Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting* dalam Batasan O*Weather Restricted Operations*

Grafik 4.31. menunjukkan kesimpulan terhadap perhitungan beban gelombang longitudinal pada kondisi *shuttle tanker connecting* dengan FSO dengan arah datang $0^0$ hingga $315^0$ dan interval $45^0$. Setelah dibatasi oleh batasan *weather restricted operations* dengan tinggi gelombang 3 m, maka beban gelombang longitudinal terbesar tercatat pada saat arah datang $225^0$ dengan besarnya beban sebesar 25.84 MT menuju kutub negatif. Hal ini dikarenakan pada saat arah datang $225^0$, luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh gelombang secara longitudinal memiliki pengaruh luasan paling besar dibandingkan dengan luasan *shuttle tanker* yang terdampak pada arah cuaca lainnya (*head sea*)

### 4.7.3 Perhitungan Beban Arus ($F_{current}$)

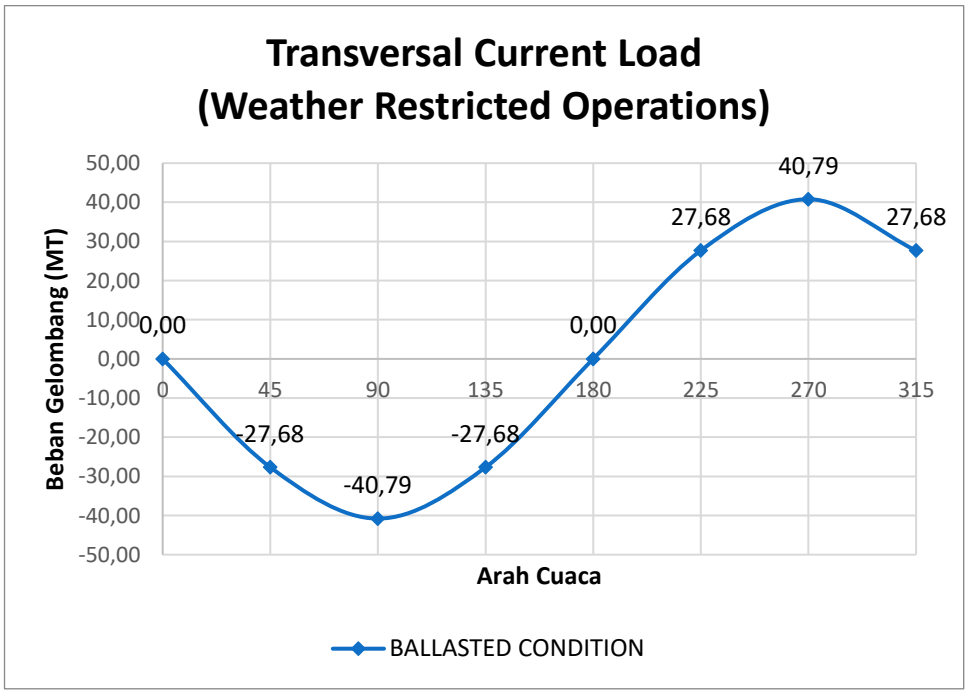
Arah datang $45^0$

Beban arus transversal:

$$F_{YC} = \frac{C_{YC}\ x\ \gamma_w\ x\ D\ x\ L_{bp}\ x\ V_c^2}{20000}$$

$$F_{YC} = \frac{(-0.33)\ x\ 1025\ x\ 6.89\ x\ 235.72\ x\ (1)^2}{20000}$$

$$F_{YC} = -27.68 \text{ MT}$$



Grafik 4.32. Grafik Beban Arus Transversal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting* dalam Batasan *Weather Restricted Operations*

Grafik 4.32. menunjukkan tentang kesimpulan perhitungan beban arus transversal pada kondisi *shuttle tanker connecting* dengan FSO dengan arah datang $0^0$ hingga $315^0$ dan interval $45^0$. Setelah dibatasi oleh batasan *weather restricted operations* dengan kecepatan arus 1 m/s, maka beban angin transversal terbesar tercatat pada dua arah cuaca datang, yaitu $90^0$ dan $270\ ^0$dengan besarnya beban sebesar 40.79 MT menuju kutub negatif dan positif. Hal ini dikarenakan pada saat arah datang $90^0$ dan $270^0$, luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh gelombang secara transversal memiliki pengaruh luasan paling besar dibandingkan dengan luasan *shuttle tanker* yang terdampak pada arah cuaca lainnya (*beam sea*).

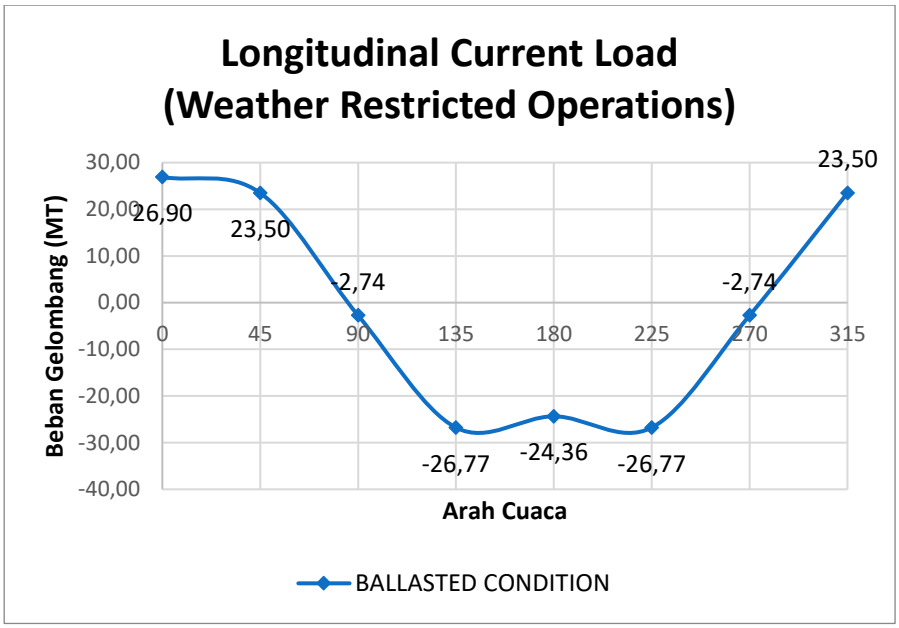
Arah datang $45^0$

Beban arus transversal:

$$F_{YC} = \frac{C_{YC}\ x\ \gamma_w\ x\ D\ x\ L_{bp}\ x\ V_c^2}{20000}$$

$$F_{YC} = \frac{(-0.33)\ x\ 1025\ x\ 6.89\ x\ 235.72\ x\ (1)^2}{20000}$$

$$F_{YC} = 23.50 \text{ MT}$$




Grafik 4.33. Grafik Beban Arus Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting* dalam Batasan *Weather Restricted Operations*

Grafik 4.33. menunjukkan tentang kesimpulan perhitungan beban arus transversal pada kondisi *shuttle tanker connecting* dengan FSO dengan arah datang $0^0$ hingga $315^0$ dan interval $45^0$. Setelah dibatasi oleh batasan *weather restricted operations* dengan kecepatan arus 1 m/s, maka beban arus longitudinal terbesar tercatat pada arah cuaca datang $0^0$ dengan besarnya beban sebesar 26.90 MT menuju kutub positif. Hal ini dikarenakan pada saat arah datang $0^0$, luasan *shuttle tanker* yang terdampak oleh arus secara longitudinal memiliki pengaruh luasan paling besar dibandingkan dengan luasan *shuttle tanker* yang terdampak pada arah cuaca lainnya (*head sea*).

### 4.7.4 Perhitungan Beban Inersia ($F_{HR/VR}$)

Beban inersia tranversal

Roll:

$$F_{HR} = \frac{W\left[\frac{4\pi^2\theta z}{T_R^2 g} + (1 \pm 0.2)\sin\theta\right]}{g\ x\ 1000}$$

$$F_{HR} = \frac{45258\left[\frac{4\ x\ (3.14)^2\ x\ 0.42\ x\ 3.17}{(15.11)^2\ x\ 9.8} + (1\ \pm 0.2)\sin 24.2\right]}{9.8\ x\ 1000}$$

$$F_{HR} = \text{ 5.11 MT}$$

Pitch:

$$F_{HR} = \frac{W\left[\frac{4\pi^2\theta z}{T_R^2 g} + (1\ \pm 0.2)\sin\theta\right]}{g\ x\ 1000}$$

$$F_{HR} = \frac{45258\left[\pm\ \frac{4\ x\ (3.14)^2\ x\ 0.16\ x\ 3.17}{(13.46)^2\ x\ 9.8} + (1\ \pm 0.2)\sin 9.36\right]}{9.8\ x\ 1000}$$

$$F_{HR} = \text{ 5.49 MT}$$

<u>Beban inersia tranversal</u>

Roll:

$$F_R = \frac{W\left[\frac{4\pi^2\theta y}{T_R^2 g} + (1\ \pm 0.2)\cos\theta\right]}{g\ x\ 1000}$$

$$F_{HR} = \frac{45258\left[\frac{4\ x\ (3.14)^2\ x\ 0.42\ x\ 1.32}{(15.11)^2\ x\ 9.8} + (1\ \pm 0.2)\cos 24.2\right]}{9.8\ x\ 1000}$$

$$F_{HR} = \text{ 2.38 MT}$$

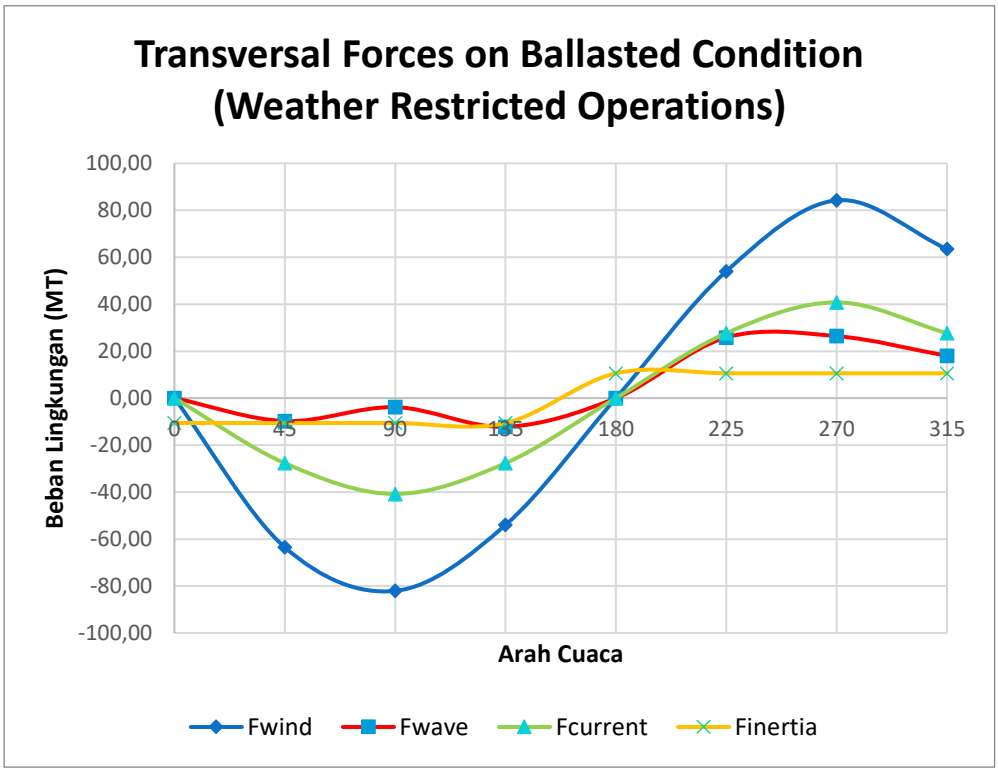
Pitch:

$$F_{HR} = \frac{W\left[\frac{4\pi^2\theta y}{T_R^2 g} + (1\ \pm 0.2)\sin\theta\right]}{g\ x\ 1000}$$

$$F_{HR} = \frac{45258\left[\frac{4\ x\ (3.14)^2\ x\ 0.16\ x\ 1.32}{(13.46)^2\ x\ 9.8} + (1\ \pm 0.2)\cos 9.36\right]}{9.8\ x\ 1000}$$

$$F_{HR} = 0.95 \text{ MT}$$

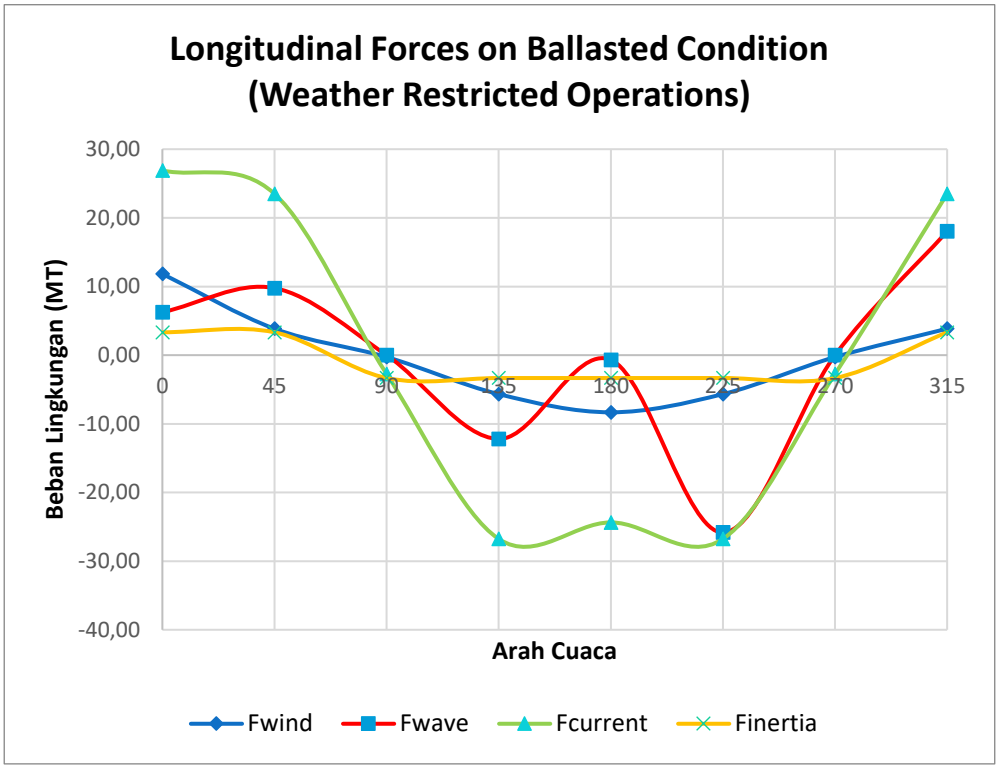
### 4.7.5 Perhitungan Beban Lingkungan Total ($F_{Tconnecting}$)




Grafik 4.34. Grafik Beban-Beban Lingkungan Transversal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting* dalam Batasan *Weather Restricted Operations*

Grafik 4.34. Menjelaskan tentang distribusi beban-beban lingkungan transversal yang diterima oleh *shuttle tanker* pada kondisi *shuttle tanker connected* dengan FSO setelah dibatasi oleh batasan *weather restricted operations*. Beban lingkungan yang memiliki dampak terbesar pada kondisi ini adalah beban angin. Hal ini dikarenakan pada kondisi *shuttle tanker connecting* dengan FSO, luasan *shuttle tanker*

yang terdampak oleh angin secara transversal cenderung memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan oleh gelombang dan arus.




Grafik 4.35. Grafik Beban-Beban Lingkungan Longitudinal Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting* dalam Batasan *Weather Restricted Operations*

Grafik 4.35. Menjelaskan tentang distribusi beban-beban lingkungan longitudinal yang diterima oleh *shuttle tanker* pada kondisi *shuttle tanker connected* dengan FSO setelah dibatasi oleh batasan *weather restricted operations*. Tidak seperti beban lingkungan transversal yang dimana beban lingkungan yang memiliki dampak terbesar adalah hanya beban angin, beban lingkungan longitudinal memiliki dampak terbesar bervariasi antara ketiga beban lingkungan.

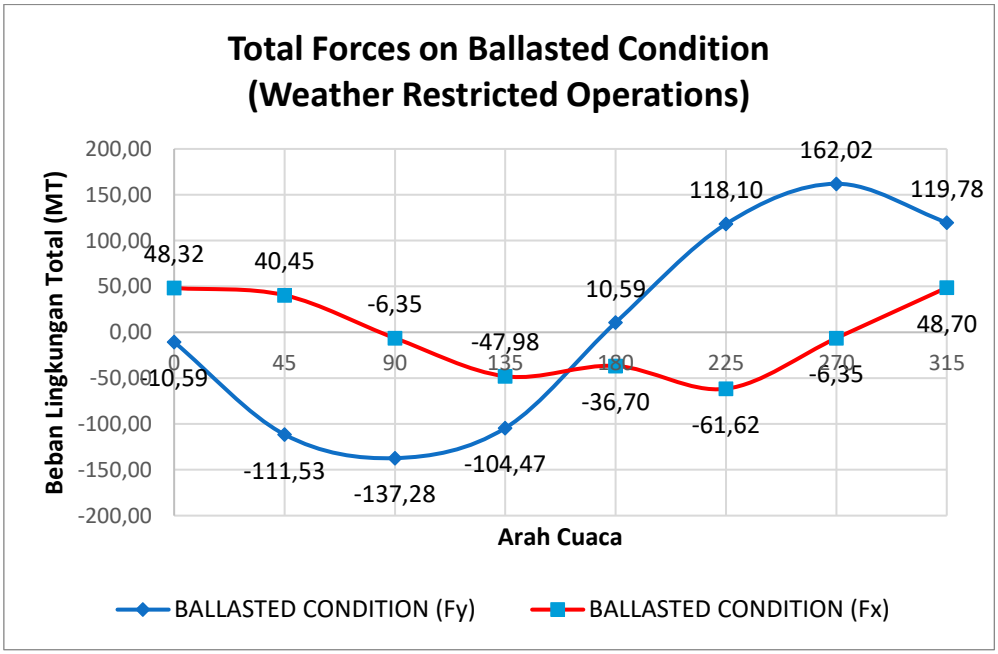
Arah Datang $45^0$

Beban lingkungan tranversal total:

$$F_{TYconnected} = F_{wind} + F_{wave} + F_{current} + F_{inertia}$$
$$F_{TYconnected} = (-63.5) + (-9.77) + (-27.68) + (-10.59)$$
$$F_{TYconnected} = -111.53 \text{ MT}$$

Beban lingkungan longitudinal total:

$$F_{TXconnected} = F_{wind} + F_{wave} + F_{current} + F_{inertia}$$
$$F_{TXconnected} = 3.85 + 9.77 + 23.50 + 3.33$$
$$F_{TXconnected} = 40.45 \text{ MT}$$




Grafik 4.36. Grafik Beban Lingkungan Total Vs Arah Cuaca pada Kondisi *Connecting* dalam Batasan *Weather Restricted Operations*

Grafik 4.36. menjelaskan tentang beban lingkungan total yang diterima oleh *shuttle tanker* pada kondisi *shuttle tanker connecting* dengan FSO XX setelah dibatasi oleh batasan *weather restricted operation*. Beban lingkungan transversal total terbesar tercatat berada pada arah datang $270^0$ dengan besarnya beban bernilai 162.02 MT menuju kutub positif. Sedangkan beban lingkungan longitudinal total terbesar tercatat berada pada arah datang $225^0$ dengan besarnya beban bernilai 61.62 MT menuju kutub negatif.

## 4.8 Pembuatan Skenario Penundaan

### 4.8.1 Pemilihan Kebutuhan *Bollard Pull* pada *Worst Case Scenario*

Untuk membuat skenario penundaan *shuttle tanker* yang mampu mengatasi batasan *weather restricted operations* di semua arah datang yang *yang* telah dibuat, maka perlu dipilih beban lingkungan yang memiliki nilai terbesar (*worst case scenario*). Pemilihan beban lingkungan terbesar dibagi menjadi beban transversal terbesar, beban longitudinal terbesar, dan tiga beban resultan terbesar. Beban lingkungan transversal dan longitudinal terbesar yang dipilih untuk menghitung kebutuhan *bollard pull* kapal AHTS dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12. Beban Lingkungan Total *Worst Case Scenario*

| Variable | | Case 1 | | | Case 2 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | VALUE | | DIR | VALUE | | DIR |
| Fy | $F_{wind}$ | 16.72 | MT | $270^0$ | 0.00 | MT | $180^0$ |
| | $F_{wave}$ | 128.62 | MT | $270^0$ | 80.10 | MT | $225^0$ |
| | $F_{current}$ | 117.63 | MT | $270^0$ | 0.00 | MT | $180^0$ |
| | $F_{YT}$ | 262.96 | MT | | 80.10 | MT | |
| Fx | $F_{wind}$ | -0.33 | MT | $270^0$ | -7.58 | MT | $180^0$ |
| | $F_{wave}$ | 0.00 | MT | $270^0$ | -80.10 | MT | $225^0$ |
| | $F_{current}$ | -3.30 | MT | $270^0$ | -17.76 | MT | $180^0$ |
| | $F_{XT}$ | -3.63 | MT | | -105.44 | MT | |

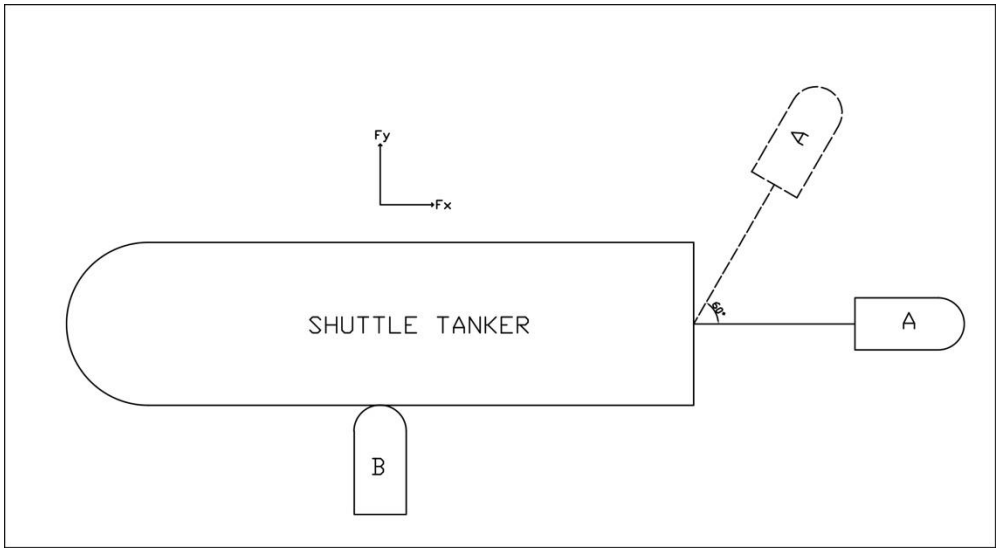
Case 1 menunjukkan bahwa beban transversal terbesar muncul pada saat semua cuaca datang dari arah $270^0$ dengan besarnya beban sebesar 262.96 MT menuju kutub positif dan beban longitudinal sebesar 3.63 MT menuju kutub negatif. Sedangkan Case 2 menunjukan bahwa beban longitudinal terbesar muncul pada saat angin dan arus datang dari arah $180^0$ dan gelombang datang dari arah $225^0$ dengan besarnya beban transversal sebesar 80.10 MT menuju kutub positif dan beban longitudinal sebesar 105.44 MT menuju kutub negatif.

Tabel 4.13. Beban Lingkungan Resultan *Worst Case Scenario*

| Variable | | Case 3 | | | Case 4 | | | Case 5 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Value | | Dir | Value | | Dir | Value | | Dir |
| **Fy** | $F_{wind}$ | 0.00 | MT | $180^0$ | -16.78 | MT | $90^0$ | -13.61 | MT | $135^0$ |
| | $F_{wave}$ | 128.62 | MT | $270^0$ | -104.10 | MT | $90^0$ | -104.10 | MT | $90^0$ |
| | $F_{current}$ | 117.63 | MT | $270^0$ | -117.63 | MT | $90^0$ | -117.63 | MT | $90^0$ |
| | $F_{YT}$ | 246.25 | MT | | -238.51 | MT | | -235.34 | MT | |
| **Fx** | $F_{wind}$ | -7.58 | MT | $180^0$ | -0.33 | MT | $90^0$ | -4.66 | MT | $135^0$ |
| | $F_{wave}$ | 0.00 | MT | $270^0$ | 0.00 | MT | $90^0$ | 0.00 | MT | $90^0$ |
| | $F_{current}$ | -3.3 | MT | $270^0$ | -3.30 | MT | $90^0$ | -3.30 | MT | $90^0$ |
| | $F_{XT}$ | -10.88 | MT | | -3.63 | MT | | -7.96 | MT | |
| **Fr** | | 246.49 | MT | $45^0$ | 238.54 | MT | $45^0$ | 235.46 | MT | $45^0$ |

Untuk kesimpulan terhadap perhitungan tiga beban resultan terbesar dapat dilihat pada Tabel 4.13. Case 3 menunjukkan bahwa beban resultan datang pada saat angin datang dari $180^0$ sedangkan gelombang dan arus datang dari $270^0$ dengan besarnya beban resultan sebesar 246.49 MT. Case 4 menunjukkan bahwa beban resultan datang pada saaat angin, gelombang, dan arus datang dari arah $90^0$ dengan besarnya beban resultan sebesar 238.54 MT. Case 5 menunjukkan bahwa beban resultan datang pada saaat angin datang dari $135^0$ sedangkan arah gelombang dan arus datang dari $90^0$ dengan besarnya beban resultan sebesar 235.46 MT.

### 4.8.2 Pembuatan Skenario Penundaan




Gambar 4.2. Skenario Penundaan Rekomendasi
Sumber: Putera, 2020

Skenario penundaan yang digunakan pada penelitian kali ini dapat dilihat pada Gambar 4.2. Sudut *manouver* maksimal kapal AHTS yang memandu *shuttle tanker* untuk membantu menahan beban transversal yang bekerja pada *shuttle tanker* pada bagian *stern* (kapal AHTS A) ditentukan sebesar $60^0$. Sedangkan besarnya *safety factor* yang digunakan pada penelitian kali ini bernilai 20%.

Tabel 4.14. Spesifikasi Kapal AHTS *New Scenario*

| Variable | Vessel Name | | Unit |
|---|---|---|---|
| | AHTS A | AHTS B | |
| **$BP_{spec}$** | 200 | 220 | MT |
| **$BP_{riil}$** | 164.28 | 180.71 | MT |
| **M/E** | 4 x 3060 | 2 x 4000 | kW |
| | | 2 x 3000 | kW |
| **LOA** | 89.1 | 85.2 | M |
| **B** | 22 | 22 | M |
| **T** | 7 | 7.6 | M |
| **Speed** | 16.4 | 17 | Knots |

| Variable | Vessel Name | | Unit |
|---|---|---|---|
| | AHTS A | AHTS B | |
| **DWT** | 3700 | 4500 | MT |
| **Accomodation** | 21 | 45 | Persons |
| **Fx** | 82.14 | 0.00 | MT |
| **Fy** | 142.27 | 180.71 | MT |

Tabel 4.14. menunjukkan spesifikasi kapal AHTS yang digunakan sebagai acuan dalam pembuatan skenario penundaan rekomedasi dengan daya *bollard pull* kapal AHTS A bernilai 200 MT dan kapal AHTS B bernilai 220 MT. $BP_{spec}$ adalah daya *bollard pull* kapal AHTS sesuai dengan spek yang tertera di dokumen. Sedangkan $BP_{riil}$ adalah daya *bollard pull* kapal AHTS setelah dikurangi dengan efisiensi penundaan. Fx adalah gaya yang dikeluarkan oleh kapal AHTS pada sumbu x untuk mengatasi beban lingkungan longitudinal. Fy adalah gaya yang dikeluarkan oleh kapal AHTS pada sumbu y untuk mengatasi beban lingkungan transversal.

Tabel 4.15. Validasi Kondisi Penundaan

| Case | Requirement | | Existing Condition | | New Scenario | | Unit |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fy | Fx | Fy | Fx | Fy | Fx | |
| **Case 1** | 315.55 | 4.36 | 88.69 | 30.72 | 322.98 | 82.14 | MT |
| **Case 2** | 96.12 | 126.53 | 35.48 | 61.44 | 180.71 | 164.28 | MT |
| **Case 3** | 246.69 | | 80.18 | | 255.56 | | MT |
| **Case 4** | 238.54 | | 80.18 | | 255.56 | | MT |
| **Case 5** | 235.46 | | 80.18 | | 255.56 | | MT |

Tabel 4.15. menujukkan status apakah skenario penundaan rekomendasi pada penelitian kali ini dan penundaan *existing* mencukupi kebutuhan *bollard pull worst case scenario* yang telah dihitung. Kolom *Requirement* menunjukkan kebutuhan *bollard pull* minimum pada arah longitudinal dan transversal setelah ditambahkan safety factor sebesar 20%. Kolom *Existing Condition* menunjukkan daya *bollard pull* keluaran dari kapal AHTS kondisi *existing* yang telah direduksi dengan usia kapal dan efisiensi penundaan dan gaya keluarann yang diproyeksikan pada arah longitudinal dan transversal sesuai dengan sudut manuver kapal AHTS.

Kolom *New Scenario* menunjukkan daya *bollard pull* keluaran dari skenario penundaan rekomendasi yang menggunakan kapal AHTS 200 MT dan 220 MT. Daya yang ada pada spek kemudian dievaluasi dan direduksi kembali dengan mempertimbangkan variabel efisiensi penundaan yang berlaku.

Dengan melihat Tabel 4.15. kita bisa melihat bahwa penggunaan skenario penundaan *existing* dengan menggunakan kapal AHTS 85 MT dan 48 T tidak mencukupi untuk mengatasi beban lingkungan *worst case scenario* dalam batasan *weather restricted operation*. Maka dari itu, dibuatlah rekomendasi skenario penundaan baru dengan menggunakan kapal AHTS 200 MT dan 220 MT. Skenario penundaan baru yang direkomendasikan mampu mengatasi beban lingkungan yang diterima oleh *shuttle tanker* baik dalam *worst case scenario* 1, 2, 3, 4, dan 5. Sehingga dapat dianggap bahwa skenario penundaan baru yang direkomendasikan juga mampu mengatasi beban lingkungan yang diterima oleh *shuttle tanker* pada kondisi dan arah cuaca lainnya selama dalam batasan cuaca *weather restricted operations.*

# BAB 5
# KESIMPULAN DAN SARAN

## 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dari pembahasan "*Kajian Teknis Perhitungan Bollard Pull untuk Pemanduan Shuttle Tanker Pada FSO Tipe Spread Mooring System",* maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut, yaitu:

1. Berdasarkan perhitungan beban lingkungan *shuttle tanker* yang telah dibatasi oleh *weather restricted operations*, beban lingkungan total terbesar dibagi menjadi beban lingkungan total tranversal dan longitudinal terbesar. Beban lingkungan total *shuttle tanker* transversal terbesar bernilai 262.96 MT dengan arah cuaca semua datang dari $270^0$. Sedangkan beban lingkungan total *shuttle tanker* longitudinal terbesar bernilai -105.44 MT dengan arah cuaca datang kombinasi antara $180^0$ dan $225^0$. Beban lingkungan total *shuttle tanker* tersebut nantinya akan menjadi landasan dalam perhitungan spesifikasi *bollard pull* kapal AHTS yang dibutuhkan.
2. Perhitungan beban lingkungan total *shuttle tanker* menunjukkan bahwa kondisi penundaan *existing* dengan menggunakan kapal AHTS 85 MT dan 48 T tidak mencukupi untuk melakukan penundaan dalam batasan *weather restricted operation* dalam penelitian kali ini. Maka dari itu, skenario penundaan baru yang direkomendasikan pada penlitia kali ini adalah dengan menggunakan kapal AHTS 200 MT dan 220 MT.
3. Skenario penundaan baru yang direkomendasikan pada penelitian kali ini adalah dengan menggunakan kapal AHTS 200 MT yang terletak pada *stern* dari *shuttle tanker* untuk melawan beban transversal dan longitudinal dan kapal AHTS 220 MT yang terletak pada *port side* atau *starboard side* dari *shuttle tanker* untuk melawan beban transversal.

## 5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang mungkin dapat menambah isi dan pengembangan selanjutnya dari penulisan ini, yaitu:

1. Melakukan kajian lebih lanjut dari segi ekonomis terkait nilai investasi dari segi operasional.

# DAFTAR PUSTAKA


Menteri Perhubungan Republik Indonesia. (2015). *PM 57 Tahun 2015: Pemanduan dan Penundaan Kapal*. Jakarta: Menteri Perhubungan Republik Indonesia.

Menteri Perhubungan Republik Indonesia. (2014). *PM 93 Tahun 2014: Sarana Bantu dan Prasarana Pemanduan kapal*. Jakarta: Menteri Perhubungan Republik Indonesia.n Republik Indonesia.

Menteri Perhubungan Republik Indonesia. (2018). *PM 92 Tahun 2018: Peraturan Menteri Perhubungan tentang Tata Cara Dan Persyaratan Pemberian Persetujuan Penggunaan Kapal Asing Untuk Kegiatan Lain Yang Tidak Termasuk Kegiatan Mengangkut Penumpang Dan/Atau Barang Dalam Kegiatan Angkutan Laut Dalam Negeri*. Jakarta: Menteri Perhubungan Republik Indonesia.

Shimamura, Y. (2002). FPSO/FSO: State of the art. *Journal of Marinen Science and Technology*.

Thoresen, C. A. (2014). *Port Designer's Handbook (3rd ed.)*. London: ICE Publishing.

The Naval Arch Team. (2017, Februari 4). *The Naval Arch Team*. Retrieved from The Naval Arch Team: https://thenavalarch.com/bollard-pull-calculations-introduction/

Chakrabarti, S. K. (2005). *Hanbook of Offshore Engineering.* Oxford: Elsevier Ltd.

DNV-GL. (2018). *DNVGL-OS-E301: Position Mooring.* Oslo: DNV-GL.

DNV-GL. (2019). *DNVGL-RU-SHIP: Part 3 Hull, Chapter 4 Loads.* Oslo: DNV-GL.

DNV-GL. (2017). *DNVGL-ST-N001: Marine Operations and Marine Warranty.* Oslo: DNV-GL.

DNV-GL. (2011). *DNV-OS-H101: Marine Operations, General.* Oslo: DNV-GL.

DNV-GL. (2012). *DNV-OS-H102: Marine Operations, Design, and Fabrications.* Oslo: DNV-GL.

DNV-GL. (2015). *DNV-OS-H202: Sea Transport Operations.* Oslo: DNV-GL.

DNV-GL. (2012). *DNV-OS-H203: Transit and Positioning of Offshore Units.* Oslo: DNV-GL.

DNV-GL. (2011). *DNV-RP-H103: Modelling and Analysis of Marine Operations.* Oslo: DNV-GL.

American Petroleum Institute. (1997). *API RP 2SK: Recommended Practice for Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structure*. Washington, D.C.: American Petroleum Institute.

PwC Indonesia. (2019). *Oil and Gas in Indonesia: Investment and Taxation Guide*. Jakarta: PwC Indonesia.

# LAMPIRAN

| CONNECTED (LOADED CONDITION) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Variable** | **Heading Direction** | | | | | | | | **Unit** |
| | **$0^0$** | **$45^0$** | **$90^0$** | **$135^0$** | **$180^0$** | **$225^0$** | **$270^0$** | **$315^0$** | |
| **Vw** | 19,16 | 18,53 | 16,00 | 17,24 | 18,35 | 17,12 | 17,81 | 19,27 | m/s |
| **Cyw** | 0,00 | -0,48 | -0,72 | -0,58 | 0,00 | 0,58 | 0,71 | 0,48 | NA |
| **Cx** | 0,98 | 0,54 | -0,03 | -0,46 | -0,74 | -0,46 | -0,03 | 0,54 | NA |
| **Al** | | | | 2270,33 | | | | | $M^2$ |
| **At** | | | | 991,22 | | | | | $M^2$ |
| **Fyw** | 0,00 | -23,06 | -25,41 | -23,93 | 0,00 | 23,60 | 31,38 | 24,94 | MT |
| **Fxw** | 21,70 | 11,16 | -0,50 | -8,20 | -15,10 | -8,08 | -0,62 | 12,07 | MT |

| BALLASTED CONDITION | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Variable** | **Heading Direction** | | | | | | | | **Unit** |
| | **$0^0$** | **$45^0$** | **$90^0$** | **$135^0$** | **$180^0$** | **$225^0$** | **$270^0$** | **$315^0$** | |
| **Vw** | 19,16 | 18,53 | 16,00 | 17,24 | 18,35 | 17,12 | 17,81 | 19,27 | M/S |
| **Cyw** | 0 | -0,74 | -0,95 | -0,63 | 0 | 0,63 | 0,98 | 0,74 | NA |
| **Cxw** | 0,86 | 0,28 | -0,02 | -0,41 | -0,61 | -0,41 | -0,02 | 0,28 | NA |
| **Al** | | | | 4179,66 | | | | | $M^2$ |
| **At** | | | | 1331,50 | | | | | $M^2$ |
| **Fyw** | 0,00 | -129,00 | -124,32 | -94,96 | 0,00 | 93,64 | 158,09 | 139,51 | MT |
| **Fxw** | 25,71 | 7,83 | -0,42 | -9,98 | -16,59 | -9,84 | -0,52 | 8,47 | MT |

| LOADED CONDITION (WEATHER RESTRICTED) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Variable** | **Heading Direction** | | | | | | | | **Unit** |
| | **0** | **45** | **90** | **135** | **180** | **225** | **270** | **315** | |
| **Vw** | 13,00 | 13,00 | 13,00 | 13,00 | 13,00 | 13,00 | 13,00 | 13,00 | M/S |
| **Cyw** | 0,00 | -0,48 | -0,72 | -0,58 | 0,00 | 0,58 | 0,71 | 0,48 | NA |
| **Cx** | 0,98 | 0,54 | -0,03 | -0,46 | -0,74 | -0,46 | -0,03 | 0,54 | NA |
| **Al** | | | | 2270,33 | | | | | M2 |
| **At** | | | | 991,22 | | | | | M2 |
| **Fyw** | 0,00 | -11,35 | -16,78 | -13,61 | 0,00 | 13,61 | 16,72 | 11,35 | MT |
| **Fxw** | 9,99 | 5,49 | -0,33 | -4,66 | -7,58 | -4,66 | -0,33 | 5,49 | MT |

| BALLASTED CONDITION (WEATHER RESTRICTED | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Variable** | **Heading Direction** | | | | | | | | Unit |
| | **0** | **45** | **90** | **135** | **180** | **225** | **270** | **315** | |
| **Vw** | 13,00 | 13,00 | 13,00 | 13,00 | 13,00 | 13,00 | 13,00 | 13,00 | M/S |
| **Cyw** | 0 | -0,74 | -0,95 | -0,63 | 0 | 0,63 | 0,98 | 0,74 | NA |
| **Cxw** | 0,86 | 0,28 | -0,02 | -0,41 | -0,61 | -0,41 | -0,02 | 0,28 | NA |
| **Al** | | | | 4179,66 | | | | | M2 |
| **At** | | | | 1331,50 | | | | | M2 |
| **Fyw** | 0,00 | -63,50 | -82,07 | -53,99 | 0,00 | 53,99 | 84,23 | 63,50 | MT |
| **Fxw** | 11,83 | 3,85 | -0,28 | -5,68 | -8,32 | -5,68 | -0,28 | 3,85 | MT |

| LOADED CONDITION | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Variable** | **Heading Direction** | | | | | | | | **Unit** |
| | **$0^0$** | **$45^0$** | **$90^0$** | **$135^0$** | **$180^0$** | **$225^0$** | **$270^0$** | **$315^0$** | |
| **Lw** | 78,26 | 100,91 | 149,19 | 86,65 | 149,19 | 75,20 | 88,52 | 74,12 | M |
| **2π/Lw x D** | 1,20 | 0,93 | 0,63 | 1,09 | 0,63 | 1,25 | 1,06 | 1,27 | N/A |
| **2π/Lw x h** | 6,18 | 4,79 | 3,24 | 5,58 | 3,24 | 6,43 | 5,46 | 6,52 | N/A |
| **Cfw** | 0,062 | 0,053 | 0,038 | 0,059 | 0,038 | 0,062 | 0,056 | 0,063 | N/A |
| **Cdw** | 1,00 | 1,08 | 1,25 | 1,04 | 1,25 | 1,00 | 1,05 | 1,00 | N/A |
| **Ydw** | 1,03 | 1,03 | 1,03 | 1,03 | 1,03 | 1,03 | 1,03 | 1,03 | $T/M^3$ |
| **Hs** | 1,66 | 2,17 | 1,62 | 1,77 | 2,69 | 5,15 | 1,50 | 5,15 | M |
| **D'** | 42,01 | 196,36 | 235,72 | 136,95 | 42,01 | -196,36 | -235,72 | -136,95 | $M^2$ |
| **sin *a*** | 0,00 | 0,71 | 1,00 | 0,71 | 0,00 | -0,71 | -1,00 | -0,71 | N/A |
| **cos *a*** | 1,00 | 0,71 | 0,00 | -0,71 | 1,00 | -0,71 | 0,00 | 0,71 | N/A |
| **$F_{Ywave}$** | 0,00 | -38,69 | -30,35 | -19,28 | 0,00 | 236,04 | 32,15 | 167,29 | MT |
| **$F_{Xwave}$** | 7,42 | 38,69 | 0,00 | -19,28 | -14,92 | -236,04 | 0,00 | 167,29 | MT |

| BALLASTED CONDITION | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Variable** | **Heading Direction** | | | | | | | | **Unit** |
| | **$0^0$** | **$45^0$** | **$90^0$** | **$135^0$** | **$180^0$** | **$225^0$** | **$270^0$** | **$315^0$** | |
| **Lw** | 78,26 | 100,91 | 149,19 | 86,65 | 149,19 | 75,20 | 88,52 | 74,12 | M |
| **$2\pi$/Lw x D** | 0,55 | 0,43 | 0,29 | 0,50 | 0,29 | 0,58 | 0,49 | 0,58 | N/A |
| **$2\pi$/Lw x h** | 6,18 | 4,79 | 3,24 | 5,58 | 3,24 | 6,43 | 5,46 | 6,52 | N/A |
| **Cfw** | 0,016 | 0,007 | 0,001 | 0,013 | 0,001 | 0,020 | 0,012 | 0,020 | N/A |
| **Cdw** | 1,00 | 1,08 | 1,25 | 1,04 | 1,25 | 1,00 | 1,05 | 1,00 | N/A |
| **Ydw** | 1,03 | 1,03 | 1,03 | 1,03 | 1,03 | 1,03 | 1,03 | 1,03 | $T/M^3$ |
| **Hs** | 1,66 | 2,17 | 1,62 | 1,77 | 2,69 | 5,15 | 1,50 | 5,15 | M |
| **D'** | 42,01 | 196,36 | 235,72 | 136,95 | 42,01 | -196,36 | -235,72 | -136,95 | $M^2$ |
| **sin *a*** | 0,00 | 0,71 | 1,00 | 0,71 | 0,00 | -0,71 | -1,00 | -0,71 | N/A |
| **cos *a*** | 1,00 | 0,71 | 0,00 | -0,71 | 1,00 | -0,71 | 0,00 | 0,71 | N/A |
| **$F_{Ywave}$** | 0,00 | -5,11 | -1,12 | -4,25 | 0,00 | 76,14 | 6,60 | 53,11 | MT |
| **$F_{Xwave}$** | 1,92 | 5,11 | 0,00 | -4,25 | -0,55 | -76,14 | 0,00 | 53,11 | MT |

| LOADED CONDITION (WEATHER RESTRICTED) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Variable** | Heading Direction | | | | | | | | Unit |
| | 0 | 45 | 90 | 135 | 180 | 225 | 270 | 315 | |
| **Lw** | 78,26 | 100,91 | 149,19 | 86,65 | 149,19 | 75,20 | 88,52 | 74,12 | M |
| **2π/Lw x D** | 1,20 | 0,93 | 0,63 | 1,09 | 0,63 | 1,25 | 1,06 | 1,27 | NA |
| **2π/Lw x h** | 6,18 | 4,79 | 3,24 | 5,58 | 3,24 | 6,43 | 5,46 | 6,52 | NA |
| **Cfw** | 0,06 | 0,05 | 0,04 | 0,06 | 0,04 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | NA |
| **Cdw** | 1,00 | 1,08 | 1,25 | 1,04 | 1,25 | 1,00 | 1,05 | 1,00 | NA |
| **Ydw** | 1,03 | 1,03 | 1,03 | 1,03 | 1,03 | 1,03 | 1,03 | 1,03 | $T/M^3$ |
| **Hs** | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | M |
| **D'** | 42,01 | 196,36 | 235,72 | 136,95 | 42,01 | -196,36 | -235,72 | -136,95 | $M^2$ |
| **sin a** | 0,00 | 0,71 | 1,00 | 0,71 | 0,00 | -0,71 | -1,00 | -0,71 | NA |
| **cos a** | 1,00 | 0,71 | 0,00 | -0,71 | 1,00 | -0,71 | 0,00 | 0,71 | NA |
| **Fy** | 0,00 | -73,95 | -104,10 | -55,40 | 0,00 | 80,10 | 128,62 | 56,77 | MT |
| **Fx** | 24,24 | 73,95 | 0,00 | -55,40 | -18,55 | -80,10 | 0,00 | 56,77 | MT |

| BALLASTED CONDITION (WEATHER RESTRICTED) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Variable** | **Heading Direction** | | | | | | | | **Unit** |
| | **0** | **45** | **90** | **135** | **180** | **225** | **270** | **315** | |
| **Lw** | 78,26 | 100,91 | 149,19 | 86,65 | 149,19 | 75,20 | 88,52 | 74,12 | M |
| **2π/Lw x D** | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | NA |
| **2π/Lw x h** | 6,18 | 4,79 | 3,24 | 5,58 | 3,24 | 6,43 | 5,46 | 6,52 | NA |
| **Cfw** | 0,016 | 0,007 | 0,001 | 0,013 | 0,001 | 0,020 | 0,012 | 0,020 | NA |
| **Cdw** | 1,00 | 1,08 | 1,25 | 1,04 | 1,25 | 1,00 | 1,05 | 1,00 | NA |
| **Ydw** | 1,03 | 1,03 | 1,03 | 1,03 | 1,03 | 1,03 | 1,03 | 1,03 | $T/M^3$ |
| **Hs** | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | M |
| **D'** | 42,01 | 196,36 | 235,72 | 136,95 | 42,01 | -196,36 | -235,72 | -136,95 | $M^2$ |
| **sin a** | 0,00 | 0,71 | 1,00 | 0,71 | 0,00 | -0,71 | -1,00 | -0,71 | NA |
| **cos a** | 1,00 | 0,71 | 0,00 | -0,71 | 1,00 | -0,71 | 0,00 | 0,71 | NA |
| **Fy** | 0,00 | -9,77 | -3,84 | -12,21 | 0,00 | 25,84 | 26,41 | 18,02 | MT |
| **Fx** | 6,26 | 9,77 | 0,00 | -12,21 | -0,68 | -25,84 | 0,00 | 18,02 | MT |

| LOADED CONDITION | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Variable** | **Heading Direction** | | | | | | | | **Unit** |
| | **$0^0$** | **$45^0$** | **$90^0$** | **$135^0$** | **$180^0$** | **$225^0$** | **$270^0$** | **$315^0$** | |
| **Cy** | 0,00 | -0,34 | -0,65 | -0,41 | 0,00 | 0,41 | 0,65 | 0,34 | N/A |
| **Cx** | 0,035 | 0,006 | -0,007 | -0,007 | -0,035 | -0,007 | -0,007 | -0,006 | N/A |
| **Vc** | 1,32 | 1,00 | 0,95 | 0,95 | 1,05 | 1,04 | 0,95 | 1,22 | M/S |
| **$F_{YC}$** | 0,00 | -60,62 | -106,16 | -66,72 | 0,00 | 79,96 | 106,16 | 90,23 | MT |
| **$F_{XC}$** | 11,04 | 1,00 | -1,06 | -1,10 | -6,98 | -1,32 | -1,06 | -1,48 | MT |

| BALLASTED CONDITION | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Variable** | **Heading Direction** | | | | | | | | **Unit** |
| | **$0^0$** | **$45^0$** | **$90^0$** | **$135^0$** | **$180^0$** | **$225^0$** | **$270^0$** | **$315^0$** | |
| **Cy** | 0,00 | -0,3325 | -0,49 | -0,3325 | 0,00 | 0,3325 | 0,49 | 0,3325 | NA |
| **Cx** | 0,053 | 0,0463 | -0,0054 | -0,05275 | -0,048 | -0,05275 | -0,0054 | 0,0463 | NA |
| **Vc** | 1,32 | 1,00 | 0,95 | 0,95 | 1,05 | 1,04 | 0,95 | 1,22 | M/S |
| **$F_{YC}$** | 0,00 | -27,68 | -36,81 | -24,98 | 0,00 | 29,93 | 36,81 | 41,19 | MT |
| **$F_{XC}$** | 7,69 | 3,85 | -0,41 | -3,96 | -4,40 | -4,75 | -0,41 | 5,74 | MT |

| LOADED CONDITION (WEATHER RESTRICTED) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Variable** | **Heading Direction** | | | | | | | | **Unit** |
| | **0** | **45** | **90** | **135** | **180** | **225** | **270** | **315** | |
| **Cy** | 0,00 | -0,34 | -0,65 | -0,41 | 0,00 | 0,41 | 0,65 | 0,34 | NA |
| **Cx** | 0,035 | 0,006 | -0,007 | -0,007 | -0,035 | -0,007 | -0,007 | 0,006 | NA |
| **Vc** | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | M/S |
| **Fy** | 0,00 | -60,62 | -117,63 | -73,93 | 0,00 | 73,93 | 117,63 | 60,62 | MT |
| **Fx** | 17,76 | 2,79 | -3,30 | -3,43 | -17,76 | -3,43 | -3,30 | 2,79 | MT |

| BALLASTED CONDITION (WEATHER RESTRICTED) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Variable** | **Heading Direction** | | | | | | | | **Unit** |
| | **0** | **45** | **90** | **135** | **180** | **225** | **270** | **315** | |
| **Cy** | 0 | -0,3325 | -0,49 | -0,3325 | 0 | 0,3325 | 0,49 | 0,3325 | NA |
| **Cx** | 0,053 | 0,0463 | -0,0054 | -0,05275 | -0,048 | -0,05275 | -0,0054 | 0,0463 | NA |
| **Vc** | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | M/S |
| **Fy** | 0,00 | -27,68 | -40,79 | -27,68 | 0,00 | 27,68 | 40,79 | 27,68 | MT |
| **Fx** | 26,90 | 23,50 | -2,74 | -26,77 | -24,36 | -26,77 | -2,74 | 23,50 | MT |

| LOADED CONDITION (Fy) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Variable** | **Heading Direction** | | | | | | | | **Unit** |
| | **$0^0$** | **$45^0$** | **$90^0$** | **$135^0$** | **$180^0$** | **$225^0$** | **$270^0$** | **$315^0$** | |
| **$F_{wind}$** | 0,00 | -23,06 | -25,41 | -23,93 | 0,00 | 23,60 | 31,38 | 24,94 | MT |
| **$F_{wave}$** | 0,00 | -38,69 | -30,35 | -19,28 | 0,00 | 236,04 | 32,15 | 167,29 | MT |
| **$F_{current}$** | 0,00 | -60,62 | -106,16 | -66,72 | 0,00 | 79,96 | 106,16 | 90,23 | MT |
| **$F_{YTconnected}$** | 0,00 | -122,37 | -161,93 | -109,93 | 0,00 | 339,60 | 169,69 | 282,46 | MT |

| LOADED CONDITION (Fx) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Variable** | **Heading Direction** | | | | | | | | **Unit** |
| | **$0^0$** | **$45^0$** | **$90^0$** | **$135^0$** | **$180^0$** | **$225^0$** | **$270^0$** | **$315^0$** | |
| **$F_{wind}$** | 21,70 | 11,16 | -0,50 | -8,20 | -15,10 | -8,08 | -0,62 | 12,07 | MT |
| **$F_{wave}$** | 7,42 | 38,69 | 0,00 | -19,28 | -14,92 | -236,04 | 0,00 | 167,29 | MT |
| **$F_{current}$** | 11,04 | 1,00 | -1,06 | -1,10 | -6,98 | -1,32 | -1,06 | -1,48 | MT |
| **$F_{XTconnected}$** | 40,15 | 50,85 | -1,57 | -28,58 | -37,00 | -245,45 | -1,69 | 177,88 | MT |

| BALLASTED CONDITION (Fy) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Variable** | **Heading Direction** | | | | | | | | **Unit** |
| | **$0^0$** | **$45^0$** | **$90^0$** | **$135^0$** | **$180^0$** | **$225^0$** | **$270^0$** | **$315^0$** | |
| **$F_{wind}$** | 0,00 | -129,00 | -124,32 | -94,96 | 0,00 | 93,64 | 158,09 | 139,51 | MT |
| **$F_{wave}$** | 0,00 | -5,11 | -1,12 | -4,25 | 0,00 | 76,14 | 6,60 | 53,11 | MT |
| **$F_{current}$** | 0,00 | -27,68 | -36,81 | -24,98 | 0,00 | 29,93 | 36,81 | 41,19 | MT |
| **$F_{VR}$** | -10,59 | -10,59 | -10,59 | -10,59 | 10,59 | 10,59 | 10,59 | 10,59 | MT |
| **$F_{YTconnecting}$** | -10,59 | -172,38 | -172,84 | -134,77 | 10,59 | 210,31 | 212,09 | 244,41 | MT |

| BALLASTED CONDITION (Fx) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Variable** | **Heading Direction** | | | | | | | | **Unit** |
| | **$0^0$** | **$45^0$** | **$90^0$** | **$135^0$** | **$180^0$** | **$225^0$** | **$270^0$** | **$315^0$** | |
| **$F_{wind}$** | 25,71 | 7,83 | -0,42 | -9,98 | -16,59 | -9,84 | -0,52 | 8,47 | MT |
| **$F_{wave}$** | 1,92 | 5,11 | 0,00 | -4,25 | -0,55 | -76,14 | 0,00 | 53,11 | MT |
| **$F_{current}$** | 7,69 | 3,85 | -0,41 | -3,96 | -4,40 | -4,75 | -0,41 | 5,74 | MT |
| **$F_{HR}$** | 3,33 | 3,33 | -3,33 | -3,33 | -3,33 | -3,33 | -3,33 | 3,33 | MT |
| **$F_{XTconnecting}$** | 38,64 | 20,12 | -4,15 | -21,52 | -24,87 | -94,07 | -4,25 | 70,64 | MT |

| LOADED CONDITION ON WEATHER RESTRICTED (Fy) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Variable** | **Heading Direction** | | | | | | | | **Unit** |
| | **0** | **45** | **90** | **135** | **180** | **225** | **270** | **315** | |
| $F_{wind}$ | 0,00 | -11,35 | -16,78 | -13,61 | 0,00 | 13,61 | 16,72 | 11,35 | MT |
| $F_{wave}$ | 0,00 | -73,95 | -104,10 | -55,40 | 0,00 | 80,10 | 128,62 | 56,77 | MT |
| $F_{current}$ | 0,00 | -60,62 | -117,63 | -73,93 | 0,00 | 73,93 | 117,63 | 60,62 | MT |
| $F_{YTconnected}$ | 0,00 | -145,92 | -238,50 | -142,93 | 0,00 | 167,63 | 262,96 | 128,74 | MT |

| LOADED CONDITION ON WEATHER RESTRICTED (Fx) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Variable** | **Heading Direction** | | | | | | | | **Unit** |
| | **0** | **45** | **90** | **135** | **180** | **225** | **270** | **315** | |
| $F_{wind}$ | 9,99 | 5,49 | -0,33 | -4,66 | -7,58 | -4,66 | -0,33 | 5,49 | MT |
| $F_{wave}$ | 24,24 | 73,95 | 0,00 | -55,40 | -18,55 | -80,10 | 0,00 | 56,77 | MT |
| $F_{current}$ | 17,76 | 2,79 | -3,30 | -3,43 | -17,76 | -3,43 | -3,30 | 2,79 | MT |
| $F_{XTconnected}$ | 51,99 | 82,23 | -3,63 | -63,48 | -43,90 | -88,18 | -3,63 | 65,05 | MT |

| BALLASTED CONDITION ON WEATHER RESTRICTED (Fy) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Variable** | **Heading Direction** | | | | | | | | **Unit** |
| | **0** | **45** | **90** | **135** | **180** | **225** | **270** | **315** | |
| $\mathbf{F_{wind}}$ | 0,00 | -63,50 | -82,07 | -53,99 | 0,00 | 53,99 | 84,23 | 63,50 | MT |
| $\mathbf{F_{wave}}$ | 0,00 | -9,77 | -3,84 | -12,21 | 0,00 | 25,84 | 26,41 | 18,02 | MT |
| $\mathbf{F_{current}}$ | 0,00 | -27,68 | -40,79 | -27,68 | 0,00 | 27,68 | 40,79 | 27,68 | MT |
| $\mathbf{F_{VR}}$ | -10,59 | -10,59 | -10,59 | -10,59 | 10,59 | 10,59 | 10,59 | 10,59 | MT |
| $\mathbf{F_{YTconnecting}}$ | -10,59 | -111,53 | -137,28 | -104,47 | 10,59 | 118,10 | 162,02 | 119,78 | MT |

| BALLASTED CONDITION ON WEATHER RESTRICTED (Fx) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Variable** | **Heading Direction** | | | | | | | | **Unit** |
| | **0** | **45** | **90** | **135** | **180** | **225** | **270** | **315** | |
| $\mathbf{F_{wind}}$ | 11,83 | 3,85 | -0,28 | -5,68 | -8,32 | -5,68 | -0,28 | 3,85 | MT |
| $\mathbf{F_{wave}}$ | 6,26 | 9,77 | 0,00 | -12,21 | -0,68 | -25,84 | 0,00 | 18,02 | MT |
| $\mathbf{F_{current}}$ | 26,90 | 23,50 | -2,74 | -26,77 | -24,36 | -26,77 | -2,74 | 23,50 | MT |
| $\mathbf{F_{HR}}$ | 3,33 | 3,33 | -3,33 | -3,33 | -3,33 | -3,33 | -3,33 | 3,33 | MT |
| $\mathbf{F_{XTconnecting}}$ | 48,32 | 40,45 | -6,35 | -47,98 | -36,70 | -61,62 | -6,35 | 48,70 | MT |

| No. | Fy | Fx | Resultan |
|---|---|---|---|
| 1 | 0,00 | 51,99 | 51,99 |
| 2 | -60,62 | 37,02 | 71,03 |
| 3 | -117,63 | 30,93 | 121,63 |
| 4 | -73,93 | 30,80 | 80,09 |
| 5 | -11,35 | 47,49 | 48,83 |
| 6 | -71,97 | 32,52 | 78,98 |
| 7 | -128,98 | 26,43 | 131,66 |
| 8 | -85,28 | 26,31 | 89,24 |
| 9 | -16,78 | 41,67 | 44,92 |
| 10 | -77,40 | 26,70 | 81,87 |
| 11 | -134,40 | 20,61 | 135,98 |
| 12 | -90,70 | 20,48 | 92,98 |
| 13 | -13,61 | 37,34 | 39,74 |
| 14 | -74,23 | 22,37 | 77,53 |
| 15 | -131,24 | 16,28 | 132,24 |
| 16 | -87,53 | 16,15 | 89,01 |
| 17 | -73,95 | 101,70 | 125,74 |
| 18 | -134,57 | 86,73 | 160,10 |
| 19 | -191,58 | 80,64 | 207,86 |
| 20 | -147,87 | 80,51 | 168,37 |
| 21 | -85,30 | 97,20 | 129,32 |
| 22 | -145,92 | 82,23 | 167,50 |
| 23 | -202,93 | 76,14 | 216,74 |
| 24 | -159,22 | 76,02 | 176,44 |
| 25 | -90,72 | 91,38 | 128,77 |
| 26 | -151,35 | 76,41 | 169,54 |
| 27 | -208,35 | 70,32 | 219,90 |
| 28 | -164,65 | 70,19 | 178,99 |
| 29 | -87,56 | 87,05 | 123,47 |
| 30 | -148,18 | 72,08 | 164,78 |
| 31 | -205,19 | 65,99 | 215,54 |
| 32 | -161,48 | 65,86 | 174,40 |
| 33 | -104,10 | 27,75 | 107,73 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 34 | -164,72 | 12,78 | 165,22 |
| 35 | -221,73 | 6,69 | 221,83 |
| 36 | -178,02 | 6,56 | 178,14 |
| 37 | -115,45 | 23,26 | 117,77 |
| 38 | -176,07 | 8,28 | 176,27 |
| 39 | -233,08 | 2,19 | 233,09 |
| 40 | -189,37 | 2,07 | 189,38 |
| 41 | -120,87 | 17,43 | 122,12 |
| 42 | -181,50 | 2,46 | 181,51 |
| 43 | -238,51 | -3,63 | 238,54 |
| 44 | -194,80 | -3,76 | 194,83 |
| 45 | -117,70 | 13,10 | 118,43 |
| 46 | -178,33 | -1,87 | 178,34 |
| 47 | -235,33 | -7,96 | 235,46 |
| 48 | -191,63 | -8,09 | 191,80 |
| 49 | -55,40 | -27,65 | 61,91 |
| 50 | -116,02 | -42,62 | 123,60 |
| 51 | -173,02 | -48,71 | 179,75 |
| 52 | -129,32 | -48,83 | 138,23 |
| 53 | -66,75 | -32,14 | 74,08 |
| 54 | -127,37 | -47,11 | 135,80 |
| 55 | -184,37 | -53,20 | 191,90 |
| 56 | -140,67 | -53,33 | 150,44 |
| 57 | -72,17 | -37,97 | 81,55 |
| 58 | -132,80 | -52,94 | 142,96 |
| 59 | -189,80 | -59,03 | 198,77 |
| 60 | -146,10 | -59,15 | 157,62 |
| 61 | -69,00 | -42,29 | 80,93 |
| 62 | -129,63 | -57,26 | 141,71 |
| 63 | -186,63 | -63,36 | 197,09 |
| 64 | -142,93 | -63,48 | 156,39 |
| 65 | 0,00 | -43,90 | 43,90 |
| 66 | 73,93 | -29,56 | 79,62 |
| 67 | 117,63 | -29,43 | 121,26 |
| 68 | 60,62 | -23,34 | 64,96 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 69 | 13,61 | -40,98 | 43,18 |
| 70 | 87,53 | -26,64 | 91,50 |
| 71 | 131,24 | -26,51 | 133,89 |
| 72 | 74,23 | -20,42 | 76,99 |
| 73 | 16,72 | -36,65 | 40,28 |
| 74 | 90,64 | -22,31 | 93,35 |
| 75 | 134,35 | -22,18 | 136,17 |
| 76 | 77,34 | -16,09 | 79,00 |
| 77 | 11,35 | -30,82 | 32,85 |
| 78 | 85,28 | -16,48 | 86,85 |
| 79 | 128,98 | -16,36 | 130,01 |
| 80 | 71,97 | -10,27 | 72,70 |
| 81 | 80,10 | -105,44 | 132,41 |
| 82 | 154,02 | -91,10 | 178,95 |
| 83 | 197,73 | -90,98 | 217,65 |
| 84 | 140,72 | -84,89 | 164,34 |
| 85 | 93,71 | -102,52 | 138,89 |
| 86 | 167,63 | -88,18 | 189,41 |
| 87 | 211,33 | -88,06 | 228,95 |
| 88 | 154,33 | -81,97 | 174,75 |
| 89 | 96,81 | -98,19 | 137,89 |
| 90 | 170,74 | -83,86 | 190,22 |
| 91 | 214,44 | -83,73 | 230,21 |
| 92 | 157,44 | -77,64 | 175,54 |
| 93 | 91,45 | -92,37 | 129,98 |
| 94 | 165,37 | -78,03 | 182,86 |
| 95 | 209,08 | -77,90 | 223,12 |
| 96 | 152,07 | -71,81 | 168,17 |
| 97 | 128,62 | -25,34 | 131,09 |
| 98 | 202,54 | -11,01 | 202,84 |
| 99 | 246,25 | -10,88 | 246,49 |
| 100 | 189,24 | -4,79 | 189,30 |
| 101 | 142,22 | -22,42 | 143,98 |
| 102 | 216,15 | -8,09 | 216,30 |
| 103 | 229,85 | -7,96 | 229,99 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 104 | 202,85 | -1,87 | 202,86 |
| 105 | 145,33 | -18,10 | 146,45 |
| 106 | 219,26 | -3,76 | 219,29 |
| 107 | 232,96 | -3,63 | 232,99 |
| 108 | 205,96 | 2,46 | 205,97 |
| 109 | 139,97 | -12,27 | 140,50 |
| 110 | 213,89 | 2,07 | 213,90 |
| 111 | 227,59 | 2,19 | 227,61 |
| 112 | 200,59 | 8,28 | 200,76 |
| 113 | 56,77 | 31,42 | 64,88 |
| 114 | 130,69 | 45,76 | 138,47 |
| 115 | 174,40 | 45,89 | 180,33 |
| 116 | 117,39 | 51,98 | 128,38 |
| 117 | 70,37 | 34,34 | 78,31 |
| 118 | 144,30 | 48,68 | 152,29 |
| 119 | 188,00 | 48,81 | 194,24 |
| 120 | 131,00 | 54,90 | 142,04 |
| 121 | 73,48 | 38,67 | 83,04 |
| 122 | 147,41 | 53,01 | 156,65 |
| 123 | 191,11 | 53,14 | 198,36 |
| 124 | 134,11 | 59,23 | 146,60 |
| 125 | 68,12 | 44,50 | 81,36 |
| 126 | 142,04 | 58,83 | 153,74 |
| 127 | 185,75 | 58,96 | 194,88 |
| 128 | 128,74 | 65,05 | 144,24 |

WÄRTSILÄ **Ship Design**

# VS 4622 AHTS

ENERGY
ENVIRONMENT
ECONOMY

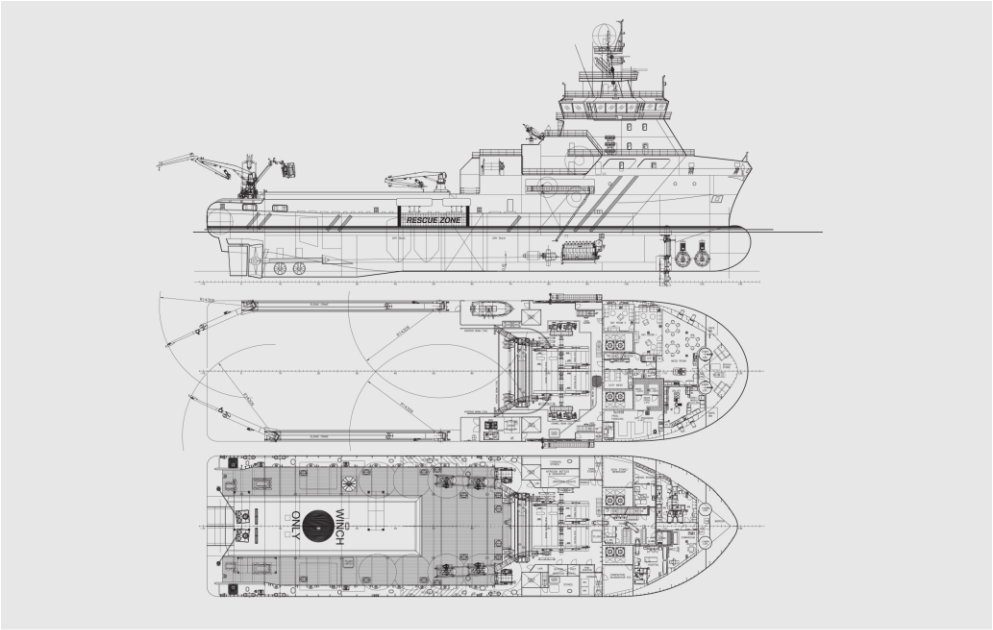
MAIN DATA

| | |
|---|---|
| Length over all | 85.20 m |
| Cargo area | 750 m² |
| Speed | 17 knots |
| Bollard pull | 220 T |

## ANCHOR HANDLING TUG SUPPLY VESSEL
## Loke Viking

- Combined anchor handling and supply vessel
- IMO class 2 DP system
- Flag: Swedish

WÄRTSILÄ




MAIN DIMENSIONS

| | | |
|---|---|---|
| Length over all: | abt | 85.20 m |
| Length between p.p.: | | 76.20 m |
| Breadth moulded: | | 22.00 m |
| Depth to 1st deck: | | 9.00 m |
| Max draught: | | 7.60 m |
| Gross tonnage: | abt | 5100 GT |

CAPACITIES

| | | |
|---|---|---|
| Deadweight : | abt | 4500 T |
| Clear deck area 1st deck: | abt | 750 $m^2$ |
| Marine diesel oil: | abt | 1960 $m^3$ |
| Fresh water: | abt | 1250 $m^3$ |
| Ballast water excl. rig chain locker: | abt | 2640 $m^3$ |
| Rig chain lockers: | abt | 640 $m^3$ |
| Liquid mud: | abt | 965 $m^3$ |
| Brine in combined tanks: | abt | 820 $m^3$ |
| Base oil: | abt | 190 $m^3$ |
| Special products: | abt | 2x96 $m^3$ |
| Dry bulk: | abt | 220 $m^3$ |
| Oil recovery, in combined tanks: | abt | 1650 $m^3$ |
| Slope tank: | abt | 60 $m^3$ |
| Hot water: | abt | 35 $m^3$ |
| Urea: | abt | 100 $m^3$ |

CLASS

DNV + 1A1, TUG, SUPPLY VESSEL, ICE-1A, EO, SF, OIL-REC, DYNPOS-AUTR, NAUT-OSV (A), CLEAN DESIGN, COMF-V (3), DEICE, T-MON, LFL*, BIS DK(+), HL (2,8)
DOCUMENT OF COMPLIANCE: STANDBY(S) DEICE-C (WITHOUT TARPAULIN)

SPEED

| | |
|---|---|
| Speed: | 17 knots |

MACHINERY AND PROPULSION

Hybrid propulsion configuration

| | |
|---|---|
| Main engines: | 2x4000 kW |
| | 2x3000 kW |
| Auxiliary engines: | 2x720 kW |
| Emergency/harbour gen. | 1x500 kW |
| Fwd. tunnel thrusters: | 2x830 kW |
| Stern tunnel thrusters: | 2x830 kW |
| Fwd. ret. azimuth thruster: | 1x830 kW |
| Shaft generator: | 2x2700 kW |
| Propeller in nozzle: | Dia. 4.25 m |

WINCHES

| | |
|---|---|
| Anchor handling winch max. pull: | 400 T |
| Working / towing winch (two drums) max. pull: | 400 T |
| Secondary winches: | 2x138 T |
| Sliding AH Crane: | 2x5 T @ 10m |
| Prepared for A-frame: | 300 T |
| Stern roller: | Dia. 4.0 m |

ACCOMMODATION

Accommodation for 45 persons

REFERENCE

| | |
|---|---|
| Shipyard: | Astilleros Zamakona / 667, 668, 669 and 670 |
| Design ID: | VS 4622 AHTS |
| Reference number: | 3664 |
| E-mail for info: | shipdesign@wartsila.com |

Details are believed to be correct but not guaranteed

WÄRTSILÄ

WÄRTSILÄ® is a registered trademark. Copyright © 2009 Wärtsilä Corporation.

WARTSILA.COM

# DAMEN ANCHOR HANDLING TUG SUPPLIER 200

## GENERAL

| | |
|---|---|
| Basic functions | Offshore supply, towing, anchor handling operations and ROV support |
| Classification | Lloyds Register ≡100 A1 Anchor Handler, Offshore Supply Ship, Tug, *IWS, EP, ≡ LMC, UMS, CAC(3), DP (AA) |
| Descriptive note | Special purpose ship |

## DIMENSIONS

| | | |
|---|---|---|
| Length o.a. | 89.10 | m |
| Length load line | 80.70 | m |
| Beam mld. | 22.00 | m |
| Depth mld. | 9.10 | m |
| Draught summer (base) | 7.00 | m |
| Draught summer (keel) | 8.20 | m |
| Deadweight (summer) | 3700 | t |
| Deck area | 650 | $m^2$ |
| Deck load (at 1 m above deck) | 1500 | t |

## TANK CAPACITIES

| | | |
|---|---|---|
| Ballast water | 2100 | $m^3$ |
| Fuel oil (service) | 410 | $m^3$ |
| Potable water (service) | 145 | $m^3$ |
| Fuel oil (cargo) | 1050 | $m^3$ |
| Potable water (cargo) | 635 | $m^3$ |
| Liquid mud | 625 | $m^3$ |
| Brine | 330 | $m^3$ |
| Dry Bulk | 240 | $m^3$ |
| Chain lockers | 330 | $m^3$ |

## PERFORMANCES (APPROX.)

| | | |
|---|---|---|
| Speed (at 6.30 m draught) | 16.4 | kn |
| Bollard pull | 200 | t |

## PROPULSION SYSTEM

| | | |
|---|---|---|
| Main engines | 4x | MAN 9L27/38 |
| Propulsion power | 2x | 3285 kW at 800 rpm |
| Propellers | 2x | 4200 mm, CPP in optima nozzels |
| Bow thruster | 1x | 900 ekW, 1990 mm, FPP |
| Stern thruster | 2x | 900 ekW, 1990 mm, FPP |
| Bow thruster (retractable) | 1x | 880 ekW, 1800 mm, FPP |

## AUXILIARY EQUIPMENT

| | | |
|---|---|---|
| Shaft generators | 2x | 1600 ekW at 1800 rpm, 690 V, 60Hz |
| Generator sets | 2x | CAT C32, each 715 ekW at 1800 rpm, 690 V, 60 Hz |
| Emerg./harbour generator set | 1x | CAT C9, 238 ekW at 1800 rpm, 440 V, 60 Hz |

## DECK LAY-OUT

| | | |
|---|---|---|
| Deck crane | 1x | knuckle boom 5 t at 16 m (harbour) |
| Anchor handling rail cranes | 2x | knuckle-telescope 3 t at 15 m |
| AH/Towing winch | 2x | electric, double drum, 400 t pull, 500 t brake, 2100 m of 86 mm wire |
| Special handling drum | 1x | electric, 400 t pull, 500 t brake, 2700 m of 86 mm wire |
| Secondary winch | 2x | electric, 140 t pull, 140 t brake, 1600 m of 208 mm rope |
| Towing pins | 4x | SWL, 400 t, hydraulic |
| Chain fork | 2x | SWL, 650 t, hydraulic |
| Stern roller | 1x | SWL, 500 t, split drum, ø 4,0 x 6 m |
| Tugger winches | 2x | electric, each 25 t pull |

## CARGO HANDLING SYSTEM

| | | |
|---|---|---|
| Ballast pump | 2x | 100 $m^3$/hr at 3 bar |
| Fuel oil pump | 2x | 0-150 $m^3$/hr at 6 bar |
| Fresh water pump | 1x | 0-150 $m^3$/hr at 6 bar |
| Liquid mud pump | 1x | 0-75 $m^3$/hr at 8 bar |
| Brine pump | 1x | 0-75 $m^3$/hr at 8 bar |
| Dry bulk system | 2x | 75 t/hr |

## ACCOMMODATION

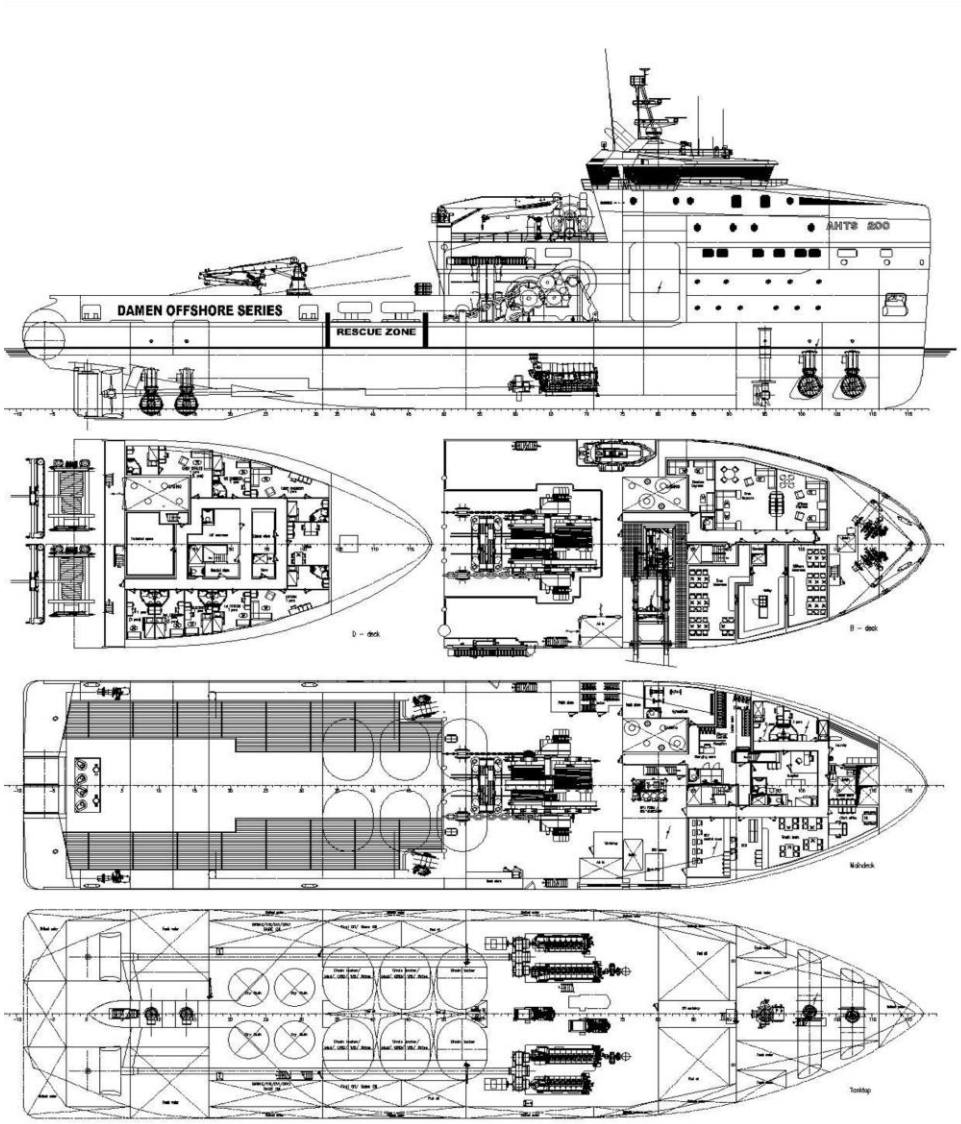
| | | |
|---|---|---|
| Crew/ special personnel | 21 | crew) |

## NAUTICAL AND COMMUNICATION EQUIPMENT

| | | |
|---|---|---|
| Radar systems | 1x | X- band + S-band |
| DP – system | | DP-2 |
| GMDSS | | Area A3 |

## OPTIONS

Fire Fighting Ship 1 or 2
Increased DP capability 2
Travelling cranes
Hybrid propulsion
Hydraulic AHT Winch
Extended accomodation 60 persons
Oil Recovery
ROV launch and Rovery system
Torpedo anchor Launch and recovery system




# DAMEN ANCHOR HANDLING TUG SUPPLIER 200

DAMEN

DAMEN SHIPYARDS GORINCHEM

Member of the DAMEN SHIPYARDS GROUP

# BIODATA PENULIS

Penulis bernama Rafly Rama Putera dan lahir di Bekasi pada 7 Desember 1998. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan suami-istri Akhsan Djawar dan Eny Purwatiningsih. Penulis merupakan lulus SDN Cipinang Melayu 04 Pagi, SMPN 252 Jakarta, dan SMAN 91 Jakarta sebelum melanjutkan pendidikannya di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis telah menjalani dua kali kerja praktik, yaitu di PT Dok & Perkapalan Kodja Bahari sebagai *Marine Engineer Intern* dan di Medco E&P Natuna Ltd sebagai *Marine Facility Operations Engineer Intern*. Selama berkuliah penulis tertarik dalam mempelajari bidang energi, khususnya o*il and gas* dan *renewable energy*. Penulis beberapa kali mengikuti kompetisi di bidang tersebut dan berhasil memperoleh penghargaan tertinggi sebagai *runner-up* dalam ajang *International Oil Rig Design Competition* di PELANTAR 2018 Kuala Lumpur, Malaysia. Penulis juga aktif dalam diskusi energi dan ikut andil dalam menjadi panitia maupun *Head Coordinator* of *Competition* di *Petroleum Integrated Days* (PETROLIDA), sebuah acara kompetisi intelektual *oil and gas* yang diselenggarakan oleh *Society of Petroleum Engineers* (SPE) ITS *Student Chapter*, dari tahun 2017 hingga 2019.

Email : ramaputera19@gmail.com
No. Handphone : 082110001827