ANALISIS PERFORMA *SEAKEEPING* DAN *MOTION SICKNESS INCIDENCE* (MSI) KAPAL *PLATFORM SUPPLY VESSEL* MENGGUNAKAN SIMULASI MAXSURF

SKRIPSI

Program Studi Sarjana Teknik Kelautan

Jurusan Teknik Kelautan

Oleh:

Putu Krisna Bayu Putri

NIM. D1111211001



FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS TANJUNGPURA

PONTIANAK

2025

HALAMAN PERSETUJUAN

ANALISIS PERFORMA *SEAKEEPING* DAN *MOTION SICKNESS INCIDENCE* (MSI) KAPAL *PLATFORM SUPPLY VESSEL* MENGGUNAKAN SIMULASI MAXSURF

Proposal Skripsi
Program Studi Sarjana Teknik Kelautan
Jurusan Teknik Kelautan

Oleh:
Putu Krisna Bayu Putri
NIM. D1111211001

Disetujui untuk diajukan melakukan sidang akhir

Pembimbing 1,	Pembimbing 2
Arfena Deah Lestari ST. M. Eng	Dr. Eng. M. Meddy Danial, ST, MT., IPM
NIP. 199005082015042003	NIP. 197105012000121001
Tanggal	Tanggal

Penguji 1,	Penguji 2
Ir. Jasisca Meirany, ST., M. Si	Liany Ayu Catherine, ST., MT
NIDN. 0014058206	NIP. 199501022024062002
Tanggal	Tanggal

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas izin-Nya maka penelitian dan penulisan skripsi dengan judul "Analisis Performa *Seakeeping* dan *Motion Sickness Incidence* (MSI) Kapal *Platform Supply Vessel* Menggunakan Simulasi Maxsurf" ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa *seakeeping* pada kapal *Platform Supply Vessel* dengan melakukan simulasi berbasis Maxsurf. Penulis berharap dapat memberikan wawasan mengenai kemampuan kapal dalam menghadapi berbagai kondisi gelombang laut dan kenyamanan bagi awak kapal.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam penyusunan penelitian ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Arfena Deah Lestari ST. MT. Eng., selaku pembimbing utama, karena atas bimbingan, arahan, dan diskusi intensif yang telah diberikan selama proses penyusunan proposal penelitian ini.
2. Dr. Eng. Mochammad Meddy Danial, ST, MT., IPM., selaku pembimbing dan pendamping, atas masukan, kritik, dan saran yang membangun selama penelitian berlangsung.
3. Ir. Jasisca Meirany, ST., M.Si., selaku dosen penguji I atas kesediaannya meluangkan waktu, memberikan masukan, dan berbagi ilmu.
4. Liany Ayu Catherine, ST., MT selaku dosen penguji II atas kesediaannya untuk hadir dan memberikan kritik serta saran yang membangun bagi penulis.

Penulis menyadari dan mengakui bahwa penelitian ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun dari pembaca sangat diharapkan untuk penyempurnaan bagi penulis di masa mendatang. Penulis berharap penelitian ini dapat bermanfaat dalam pengembangan ilmu pengetahuan khususnya di bidang kelautan dan perkapalan.

Pontianak, 22 Juni 2025

Penulis

ABSTRAK

Kapal *Platform Supply Vessel* (PSV) berperan penting mendukung aktivitas lepas pantai, khususnya industri minyak dan gas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa *seakeeping* dan *Motion Sickness Incidence* (MSI) kapal PSV di Laut Natuna menggunakan perangkat lunak Maxsurf Motion dengan metode *strip theory*. Evaluasi mencakup *Response Amplitude Operator* (RAO), *slamming, deck wetness*, dan MSI pada sea state 3,4 dan 5. Rentang kondisi gelombang dalam penelitian ini didasarkan pada data aktual tanggal 16 Mei 2025, dengan variasi tinggi gelombang yang berbeda-beda dalam satu hari, berkisar antara 0,8-3,0 m. Data ini merepresentasikan dinamika kondisi laut yang realistis dan fluktuatif di area studi, meskipun simulasi dilakukan hingga kondisi *sea state* 5 untuk pendekatan yang lebih konservatif. Hasil menunjukkan kapal memiliki performa *seakeeping* yang baik dengan respon maksimum *heave* = 6,056, *pitch* = 4,124, dan *roll* = 6,614. RMS *roll motion* menjadi faktor pembatas utama pada *sea state 5* (Hs 2,989 m). MSI maksimum hanya 0,857%, jauh di bawah batas 10%, sehingga kapal dinilai aman dan nyaman hingga *sea state 5*. Probabilitas *deck wetness* tertinggi 1,27401E-08% juga masih jauh di bawah batas 0,05%. Dengan demikian, kapal *Platform Supply Vessel* (PSV) tersebut dinilai memiliki performa *seakeeping* yang baik serta kenyamanan operasi yang layak hingga *sea state* 5.

Kata kunci: *Seakeeping*, *Motion Sickness Incidence* (MSI), *Platform Supply Vessel*, *Slamming, Deck Wetness*, Maxsurf, *Response Amplitude Operator* (RAO), Laut Natuna

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN ..... **i**
ABSTRAK ..... **iii**
DAFTAR ISI ..... **iv**
DAFTAR GAMBAR ..... **vi**
DAFTAR TABEL ..... **xi**
GLOSARIUM ..... **xiii**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Batasan Masalah 4
1.5 Sistematika Penulisan 6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **8**
2.1 Ukuran Utama Kapal 8
2.2 Perbandingan Ukuran Utama Kapal 9
2.3 *Displacement* dan Koefisien Bentuk Kapal 11
2.4 Kapal *Offshore Supply Vessel* 13
2.5 Kapal *Platform Supply Vessel* 18
2.6 Stabilitas Kapal 20
2.7 *Seakeeping* dan Gerakan Kapal (*Ship Motion*) 21
2.8 Gelombang dan Karakteristik Gelombang 25
2.9 *Sea State* (Keadaan Laut) 27
2.10 Dinamika Kapal 27
2.10.1 RAO (*Response Amplitude Operator*) 27
2.10.2 Spektrum Gelombang 29
2.10.3 *Root Mean Square* (RMS) 30
2.10.4 *Slamming* 31
2.10.5 *Deck Wetness* 33
2.11 *Motion Sickness Incidense* (MSI) 34
2.12 Kriteria *Seakeeping* 37
2.13 Maxsurf 39

2.14Penelitian Terdahulu 42
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 56
3.1.Lokasi Penelitian 56
3.2.Jenis dan Sumber Data 57
3.3.Metode Pengumpulan Data 57
3.4.Metode Analisa Data 60
3.5.Tahapan Penelitian 67
3.6.Prosedur Penelitian 69
3.7.Diagram Alir 73
3.8.Luaran Penelitian 74
3.9.Jadwal Penelitian 75
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 77
4.1 Pemodelan Geometri Kapal 77
4.1.1 Dimensi Utama Kapal 77
4.1.2 *Lines Plan* 78
4.1.3 Pemodelan Kapal *Platform Supply Vessel* (PSV) 78
4.1.4 Validasi Geometri Kapal 86
4.2 Kondisi Operasional Kapal *Full Load* 88
4.3 Analisis *Seakeeping* 88
4.3.1 *Response Amplitude Operator* (RAO) Kapal PSV 91
4.3.2 Respon Gerak Kapal PSV Terhadap Gelombang Nyata 97
4.3.3 Analisis Probabilitas Slamming 108
4.3.4 Analisis Probabilitas *Deck Wetness* 114
4.4 Evaluasi *Seakeeping* Kapal *Platform Supply Vessel* (PSV) 119
4.5 Analisis Kenyamanan 124
4.5.1 Analisis MSI (*Motion Sickness Incidence*) dan OMSI Max 129
BAB V PENUTUP 161
5.1 Kesimpulan 161
5.1 Saran 162
DAFTAR RUJUKAN 164
LAMPIRAN 167

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Dimensi Ukuran Utama Kapal ..8
Gambar 2. 2 Contoh Kapal *Platform Supply Vessel* ..14
Gambar 2. 3 Contoh Kapal *Anchor Handling Tug Supply Vessel* ..14
Gambar 2. 4 Contoh Kapal *Support OSV* ..15
Gambar 2. 5 Contoh Kapal *Dive Support OSV* ..15
Gambar 2. 6 Contoh Kapal *Accommodation* ..15
Gambar 2. 7 Contoh Kapal *Fracture/Stimulation OSV* ..16
Gambar 2. 8 Contoh Kapal *Lift Boat* ..16
Gambar 2. 9 Contoh Kapal *Crew Boat* ..16
Gambar 2. 10 Contoh Kapal *Utility Vessel* ..17
Gambar 2. 11 Contoh Kapal *Standby Vessel* ..17
Gambar 2. 12 Contoh Kapal *Large OSV* ..17
Gambar 2. 13 Contoh Kapal *Crew Transfer Vessel* ..18
Gambar 2. 14 Tampak Depan Kapal *Platform Supply Vessel* ..19
Gambar 2. 15 Tampak Samping Kapal *Platform Supply Vessel* ..19
Gambar 2. 16 Gerak Kapal Sesuai Sumbunya ..23
Gambar 2. 17 Sudut Hadap (*Heading Angle*) ..25
Gambar 3. 1 Peta Lokasi Penelitian: Laut Natuna ..56
Gambar 3. 2 Halaman Beranda Bentley Education ..69
Gambar 3. 3 Halaman Download Maxsurf ..70
Gambar 3. 4 Dashbord Software Maxsurf Modeler dan Model Kapal PSV ..70
Gambar 3. 5 Parameter Analysis di Maxsurf Motion ..71
Gambar 3. 6 Penginputan Parameter Seperti Titik Uji, Kecepatan, Arah ..71
Gambar 3. 7 Tampilan Hasil dari Simulasi Seakeeping di Maxsurf Motion ..72
Gambar 3. 8 Diagram Alir Penelitian ..73
Gambar 4. 1 Pemodelan Kapal *Platform Supply Vessel* dengan Maxsurf Modeler ..80
Gambar 4. 2 Tampak Samping 3D Kapal Platform Supply Vessel dengan Maxsurf Modeler ..81
Gambar 4. 3 Tampak Atas 3D Kapal *Platform Supply Vessel* dengan Maxsurf Modeler ..82
Gambar 4. 4 Tampak Depan 3D Kapal *Platform Supply Vessel* dengan Maxsurf Modeler ..83

Gambar 4. 5 Input *Remote Location* Pada Kapal PSV 89
Gambar 4. 6 Input *Speed Location* Pada Kapal PSV 90
Gambar 4. 7 Input Arah Datang Gelombang Pada Kapal PSV 90
Gambar 4. 8 Input Tinggi Gelombang Signifikan Pada Kapal PSV 90
Gambar 4. 9 RAO (*Response Amplitude Operator*) yang dihitung berdasarkan titik pusat gravitasi kapal (*Center of Gravity*) 92
Gambar 4. 10 Grafik Hasil RAO pada Gerakan *Roll* 94
Gambar 4. 11 Grafik Hasil RAO pada Gerakan *Pitch* 95
Gambar 4. 12 Grafik *Spectral Density Heave* Kondisi *Full Load* Kapal PSV Akibat Arah Gelombang 0° 96
Gambar 4. 13 Grafik *Spectral Density Roll* Kondisi *Full Load* Kapal PSV Akibat Arah Gelombang 45° 98
Gambar 4. 14 Grafik *Spectral Density Pitch* Kondisi *Full Load* Kapal PSV Akibat Arah Gelombang 135° 100
Gambar 4. 15 Tampak Samping *Remote Location Main Deck* Kapal PSV 104
Gambar 4. 16 Tampak Atas *Remote Location Main Deck* Kapal PSV 104
Gambar 4. 17 Parameter RMS *Vertical Acceleration* Respon Gerakan Pada Kapal PSV Di Gelombang Nyata..... 105
Gambar 4. 18 Parameter RMS *Lat. Acc* Respon Gerakan Pada Kapal PSV Di Gelombang Nyata. 105
Gambar 4. 19 Parameter RMS *Roll Motion* Respon Gerakan Pada Kapal PSV Di Gelombang Nyata 106
Gambar 4. 20 Tampak Samping *Remote Location Slamming Point* Analisis Probabilitas Slamming Kapal Platform Supply Vessel 108
Gambar 4. 21 Tampak Samping *Remote Location Wetness Point* Analisis Probabilitas *Deck Wetness* Kapal *Platform Supply Vessel*..... 114
Gambar 4. 22 Kurva Hubungan Nilai Parameter RMS *Vertical Acceleration* Terhadap Tinggi Gelombang Signifikan *Full Load* Kapal PSV..120
Gambar 4. 23 Kurva Hubungan Nilai Parameter RMS *Lateral Acceleration* Terhadap Tinggi Gelombang Signifikan *Full Load* Kapal PSV..121
Gambar 4. 24 Kurva Hubungan Nilai Parameter RMS *Roll Motion* Terhadap Tinggi Gelombang Signifikan *Full Load* Kapal PSV 125
Gambar 4. 25 Tampak Atas *Remote Location Point* Pada Analisis MSI dan OMSI *Main Deck* Kapal PSV 125
Gambar 4. 26 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 0 Deg; 1,021 m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 0,241 % 129

Gambar 4. 27 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 0 Deg; 1,149 m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 0,356 % 130
Gambar 4. 28 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 0 Deg; 1,404 m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 0,669 % 131
Gambar 4. 29 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 0 Deg; 1,532 m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 0,867 % 132
Gambar 4. 30 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 0 Deg; 1,787 m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 1,35 % 132
Gambar 4. 31 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 0 Deg; 2,681 m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 3,832 % 133
Gambar 4. 32 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 0 Deg; 3,289 m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 8,372 % 134
Gambar 4. 33 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 45 Deg; 1,021 m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 0,003 % 134
Gambar 4. 34 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 45 Deg; 1,149 m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 0,005 % 135
Gambar 4. 35 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 45 Deg; 1,404 m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 0,013 % 136
Gambar 4. 36 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 45 Deg; 1,532 m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 0,019 % 136
Gambar 4. 37 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 45 Deg; 1,787 m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 0,035 % 137
Gambar 4. 38 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 45 Deg; 2,681 m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 0,160 % 138
Gambar 4. 39 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 45 Deg; 3,289 m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 0,527 % 138
Gambar 4. 40 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 90 Deg; 1,021 m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 0,310 % 139
Gambar 4. 41 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 90 Deg; 1,149 m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 0,453 % 140
Gambar 4. 42 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 90 Deg; 1,404 m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 0,838 % 140
Gambar 4. 43 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 90 Deg; 1,532 m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 1,078 141
Gambar 4. 44 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 90 Deg; 1,787 m, 25 Knot, Main Deck, MSI Max = 1,658 % 142
Gambar 4. 45 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 90 Deg; 2,681 m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 4,558 % 142

Gambar 4. 46 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 90 Deg; 3,289 m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 9,687 % 143
Gambar 4. 47 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 1,021 135 Deg; m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 7,233 % 144
Gambar 4. 48 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 1,149 135 Deg; m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 9,154 % 144
Gambar 4. 49 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 1,404 135 Deg; m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 13,285 % 145
Gambar 4. 50 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 1,532 135 Deg; m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 15,409 % 146
Gambar 4. 51 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 1,787 135 Deg; m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 19,734 % 146
Gambar 4. 52 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 2,681 135 Deg; m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 34,073 % 147
Gambar 4. 55 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 3,289 135 Deg; m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 49,121 % 148
Gambar 4. 56 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 1,021 180 Deg; m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 9,629 % 148
Gambar 4. 57 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 1,149 180 Deg; m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 11,985 %.....149
Gambar 4. 58 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 1,532 180 Deg; m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 15,409 % 150
Gambar 4. 59 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 1,787 180 Deg; m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 19,734 % 150
Gambar 4. 60 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 2,681 180 Deg; m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 19,734 % 151
Gambar 4. 61 Grafik Nilai MSI/MSI Max Pada Arah Datang Gelombang 3,289 180 Deg; m, 25 Knot, *Main Deck*, MSI Max = 55,577 % 152
Gambar 4. 62 Grafik Rekapitulasi Nilai MSI Main Deck Full Load Kapal PSV154
Gambar 4. 63 Grafik Nilai OMSI Pada *Main Deck* 1,021 m, 25 Knot, OMSI Max = 0,7273 % 155
Gambar 4. 64 Grafik Nilai OMSI Pada *Main Deck* 1,149 m, 25 Knot, OMSI Max = 0,7395 % 156
Gambar 4. 65 Grafik Nilai OMSI Pada *Main Deck* 1,404 m, 25 Knot, OMSI Max = 0,7606 % 156
Gambar 4. 66 Grafik Nilai OMSI Pada *Main Deck* 1,532 m, 25 Knot, OMSI Max = 0,7699 % 157

Gambar 4. 67 Grafik Nilai OMSI Pada Main Deck 1,787 m, 25 Knot, OMSI Max = 0,7864 % 158
Gambar 4. 68 Grafik Nilai OMSI Pada Main Deck 2,681 m, 25 Knot, OMSI Max = 0,8287 % 158
Gambar 4. 69 Grafik Nilai OMSI Pada Main Deck 3,289 m, 25 Knot, OMSI Max = 0,8287 % 159

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Daftar Perbandingan Ukuran Utama Berdasarkan Tipe Kapal 10
Tabel 2. 2 *Sea state* code menurut *World Meteorological Organization* (WMO) 27
Tabel 2. 3 Tingkat Kenyamanan dan Percepatan Vertikal..... 36
Tabel 2. 4 kriteria *seakeeping: Criteria for Acceleration and Roll* berdasarkan NORDFORSK 1987 38
Tabel 2. 5 kriteria *seakeeping: General Operability Limiting Creteria for Ships* 39
Tabel 2. 6 Penelitian Terdahulu..... 43
Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian..... 75
Tabel 4. 1 Dimensi Utama Kapal 77
Tabel 4. 2 Data Hidrostatis Kapal 84
Tabel 4. 3 Perbandingan Ukuran Utama Kapal PSV dengan Kapal Tunda Samudera 87
Tabel 4. 4 Input Analisis *Seakeeping* Kapal PSV Pada Maxsurf Motion 89
Tabel 4. 5 Data Tinggi Gelombang BMKG dan Karakteristik Gelombang..... 91
Tabel 4. 6 Nilai Maksimum RAO Full Load Kapal PSV..... 96
Tabel 4. 7 *Spectral Density Heave* Kondisi Full Load Kapal PSV Akibat Arah... 99
Tabel 4. 8 *Spectral Density Roll* Kondisi Full Load Kapal PSV Akibat Arah 101
Tabel 4. 9 *Spectral Density Pitch* Kondisi Full Load Kapal PSV Akibat Arah .. 103
Tabel 4. 10 Rekapitulasi Nilai Parameter *Seakeeping* Kondisi *Full Load* Kapal PSV..... 107
Tabel 4. 11 Analisis *Slamming* Pada Tinggi Gelombang Signifikan 1,021 m 109
Tabel 4. 12 Analisis *Slamming* Pada Tinggi Gelombang Signifikan 1,149 m 110
Tabel 4. 13 Analisis *Slamming* Pada Tinggi Gelombang Signifikan 1,404 m 110
Tabel 4. 14 Analisis *Slamming* Pada Tinggi Gelombang Signifikan 1,532 m 111
Tabel 4. 15 Analisis *Slamming* Pada Tinggi Gelombang Signifikan 1,787 m 112
Tabel 4. 16 Analisis *Slamming* Pada Tinggi Gelombang Signifikan 2,681 m 112
Tabel 4. 17 Analisis *Slamming* Pada Tinggi Gelombang Signifikan 3,829 m 113
Tabel 4. 18 Rekapitulasi Nilai Probabilitas *Slamming Full Load* Pada Kapal PSV.....113
Tabel 4. 19 Analisis *Deck Wetness* Pada Tinggi Gelombang Signifikan 1,021 m.....115

Tabel 4. 20 Analisis *Deck Wetness* Pada Tinggi Gelombang Signifikan 1,149 m.....115
Tabel 4. 21 Analisis *Deck Wetness* Pada Tinggi Gelombang Signifikan 1,404 m.....116
Tabel 4. 22 Analisis *Deck Wetness* Pada Tinggi Gelombang Signifikan 1,532 m.....116
Tabel 4. 23 Analisis *Deck Wetness* Pada Tinggi Gelombang Signifikan 1,787 m.....117
Tabel 4. 24 Analisis *Deck Wetness* Pada Tinggi Gelombang Signifikan 2,681 m.....117
Tabel 4. 25 Analisis *Deck Wetness* Pada Tinggi Gelombang Signifikan 3,829 m.....118
Tabel 4. 26 Rekapitulasi Nilai *Probability of Deck Wetness Full Load* Kapal PSV.....118
Tabel 4. 27 Penentuan *Seastate* Berdasarkan Kriteria *Seakeeping* (Nordforsk 1987)..... 123
Tabel 4. 28 Koordinat *Remote Location* Analisis MSI dan OMSI *Main Deck*... 126
Tabel 4. 29 Rekapitulasi Nilai MSI *Main Deck Full Load* Kapal PSV 152
Tabel 4. 30 Penentuan *Seastate* Berdasarkan Analisis Kenyamanan Menggunakan Kriteria (NATO STANAG 4154 Edition 3 1997) 160

GLOSARIUM

Added Mass	Massa air yang secara efektif ditambahkan pada massa kapal karena gerakan kapal dalam air; berpengaruh terhadap inersia kapal.
Beam (B)	Lebar maksimum kapal, biasanya diukur pada garis air.
Beam Sea	Kondisi di mana gelombang datang dari arah samping kapal (90°), sering menyebabkan gerakan roll.
Block Coefficient (Cb)	Rasio antara volume lambung kapal terendam dan volume balok imajiner (L × B × T); mencerminkan efisiensi bentuk lambung.
Bow Quartering Sea	Gelombang datang dari depan samping (sekitar 135°), menyebabkan kombinasi pitch dan roll.
Comfort Index	Ukuran kenyamanan kapal terhadap awak berdasarkan gerakan dan percepatan kapal akibat gelombang.
Damping Force	Gaya peredam yang mengurangi amplitudo gerakan kapal akibat gelombang.
Deck Acceleration	Percepatan yang terjadi di atas dek akibat gerakan kapal; memengaruhi kenyamanan dan potensi mabuk laut.
Deck Wetness	Kondisi di mana gelombang laut mencapai dan membasahi dek kapal, sering digunakan sebagai parameter dalam analisis kenyamanan dan keamanan.
Deck Wetness Probability	Peluang atau frekuensi terjadinya gelombang yang membasahi dek utama, dihitung dari perbedaan antara tinggi gelombang dan freeboard.
Draft (T)	Kedalaman kapal yang terendam dari permukaan air ke dasar lambung kapal; memengaruhi stabilitas dan daya apung.
Dynamic Positioning	Sistem navigasi otomatis yang menjaga posisi dan arah kapal menggunakan propulsi dan thruster tanpa jangkar.
Dynamic Stability	Kemampuan kapal untuk kembali ke posisi seimbang saat bergerak dalam kondisi laut dinamis.

Encounter Frequency (ωe)	Frekuensi gelombang sebagaimana yang dialami kapal bergerak terhadap gelombang.
Following Sea	Gelombang datang dari arah belakang kapal (0°), dapat mendorong kapal dan mempengaruhi stabilitas.
Free Surface Effect	Pengaruh permukaan bebas cairan di tangki terhadap stabilitas kapal saat muatan bergerak.
Freeboard	Jarak vertikal antara garis air dan dek utama kapal; penting untuk mencegah dek terendam air.
Full Load Condition	Kondisi kapal saat membawa muatan maksimum sesuai spesifikasi desain, termasuk bahan bakar, air, dan logistik.
Head Sea	Gelombang datang dari arah depan kapal (180°), memengaruhi gerakan pitch.
Heave	Gerakan kapal ke atas dan ke bawah secara vertikal akibat gelombang.
Hull	Struktur utama lambung kapal yang menampung muatan dan memberikan daya apung.
Hull Geometry Validation	Proses verifikasi bahwa model geometris kapal dalam perangkat lunak sesuai dengan desain nyata.
Hydrodynamic Diffraction	Metode analisis untuk menghitung gaya dan respons kapal terhadap gelombang berdasarkan interaksi fluida.
Hydrodynamics	Cabang ilmu yang mempelajari pergerakan fluida (air) dan interaksinya dengan permukaan kapal.
Hydrostatics	Studi mengenai keseimbangan kapal saat diam di air, termasuk daya apung, berat, dan stabilitas awal.
Initial Design Stage	Tahap awal dalam proses desain kapal di mana bentuk, ukuran, dan kinerja awal dianalisis sebelum pembangunan.
Inersia (I)	Besaran fisik yang menyatakan kecenderungan kapal untuk mempertahankan keadaan geraknya (rotasi atau translasi).
Limiting Criteria	Batas toleransi atau ambang maksimum parameter (gerakan, percepatan, MSI) untuk kenyamanan atau keselamatan.

LOA (Length Over All)	Panjang keseluruhan kapal dari ujung haluan hingga buritan.
LPP (Length Between Perpendiculars)	Panjang antara garis tegak haluan dan buritan kapal pada garis air desain.
LWL (Length Water Line)	Panjang garis air pada kapal; digunakan dalam penentuan dimensi utama dan analisis stabilitas.
Main Deck	Geladak utama kapal yang sering digunakan untuk aktivitas logistik dan operasional sehari-hari.
Maxsurf	Perangkat lunak rekayasa kelautan untuk desain kapal dan analisis hidrodinamika, termasuk simulasi seakeeping.
Maxsurf Modeler	Modul dari Maxsurf untuk membuat dan memvalidasi model geometri kapal dalam bentuk 3D parametrik.
Maxsurf Motion	Modul dari Maxsurf untuk simulasi gerakan kapal berdasarkan kondisi gelombang dan parameter input lainnya.
Midship Coefficient (Cm)	Rasio antara luas penampang tengah lambung dengan luas persegi panjang yang mencakupnya.
Motion Induced Interruption (MII)	Gangguan aktivitas yang disebabkan oleh gerakan kapal berlebih; terkait langsung dengan kenyamanan dan keselamatan awak.
Motion Sickness Incidence (MSI)	Indikator statistik yang menunjukkan persentase orang yang mengalami mabuk laut akibat gerakan kapal tertentu.
Numerical Simulation	Simulasi berbasis matematika menggunakan komputer untuk memodelkan perilaku kapal dalam kondisi tertentu.
OMS Index (OMSI)	Offshore Motion Sickness Index, parameter kenyamanan yang digunakan dalam standar NATO untuk menilai pengaruh gerakan kapal terhadap awak.
Operational Envelope	Rentang kondisi laut dan operasi di mana kapal masih dapat beroperasi secara aman dan efisien.
Pitch	Gerakan mengangguk kapal (naik turun di bagian depan dan belakang) di sekitar sumbu transversal (melintang).
Platform Supply Vessel (PSV)	Jenis kapal pendukung operasi offshore yang mengangkut logistik ke platform pengeboran minyak dan gas di laut.

Prismatic Coefficient (Cp)	Rasio antara volume lambung terendam dan volume prisma imajiner (penampang tengah × panjang kapal).
Rayleigh Distribution	Distribusi statistik yang digunakan untuk menggambarkan tinggi gelombang acak di laut lepas.
Remote Location	Titik pengamatan pada kapal untuk pengambilan data simulasi, misalnya pada main deck, slamming point, atau wetness point.
Response Amplitude Operator (RAO)	Rasio antara amplitudo gerakan kapal dan amplitudo gelombang yang mengenai kapal.
Restoring Force	Gaya yang berusaha mengembalikan kapal ke posisi keseimbangan setelah mengalami gangguan.
Roll	Gerakan kapal miring ke kanan dan kiri di sekitar sumbu longitudinal (memanjang).
Roll Damping	Proses redaman gerakan roll kapal, biasanya menggunakan bilge keel, active fins, atau hull form design.
Root Mean Square (RMS)	Nilai rata-rata kuadrat dari suatu parameter gerakan (misal percepatan vertikal, lateral, atau sudut roll) yang menunjukkan intensitas respons kapal.
Sea State	Klasifikasi kondisi laut berdasarkan tinggi gelombang signifikan (Hs) dan kecepatan angin, biasanya menurut standar WMO.
Seakeeping	Kemampuan kapal dalam mempertahankan stabilitas dan kenyamanan saat beroperasi di laut.
Shoaling	Fenomena peningkatan tinggi gelombang saat gelombang bergerak ke perairan dangkal.
Significant Wave Height (Hs)	Tinggi rata-rata sepertiga gelombang tertinggi dalam satu set pengamatan.
Simulation-Based Design	Proses merancang struktur atau sistem berdasarkan hasil simulasi komputer.
Slamming	Peristiwa benturan keras bagian bawah kapal dengan permukaan air.
Slamming Point	Titik pada kapal (biasanya di bagian haluan) yang digunakan sebagai acuan untuk menganalisis kemungkinan terjadinya slamming.

Spectral Analysis	Metode analisis gelombang berdasarkan frekuensi untuk mempelajari respon kapal terhadap gelombang acak.
Spectral Density	Representasi distribusi energi gelombang berdasarkan frekuensi.
Spectral Density Function	Fungsi yang menggambarkan distribusi energi gelombang terhadap frekuensi dalam bentuk grafik atau tabel.
Strip Theory	Metode numerik untuk analisis seakeeping yang membagi kapal menjadi beberapa strip.
Surge	Gerakan maju dan mundur kapal di sepanjang sumbu longitudinal.
Sway	Gerakan kapal ke kiri dan kanan secara horizontal (melintang).
Wave Heading Angle	Sudut datang gelombang terhadap arah gerak kapal.
Wave Spectrum	Distribusi energi gelombang terhadap frekuensi; digunakan dalam analisis spektral.
Waterplane Coefficient (Cw)	Rasio antara luas garis air aktual kapal dan luas area persegi panjang maksimum pada garis air.
Yaw	Gerakan kapal berputar di sekitar sumbu vertikal, mengubah arah haluan.

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia maritim, *seakeeping* merupakan kemampuan kapal untuk mempertahankan stabilitas dan kenyamanannya selama beroperasi di perairan. Performa *seakeeping* menjadi salah satu aspek te rpenting dalam operasional kapal, terutama bagi *Platform Supply Vessel* (PSV). Namun, tantangan dalam menjaga stabilitas PSV masih menjadi perhatian utama, terutama ketika kapal beroperasi di perairan dengan kondisi laut, seperti di Laut Natuna.

Platform Supply Vessel (PSV) adalah kapal yang dirancang khusus untuk mendukung operasi lepas pantai, terutama dalam industri minyak dan gas. Kapal ini berperan penting dalam mengangkut berbagai kebutuhan logistik, seperti peralatan pengeboran, bahan bakar, air tawar, makanan, serta perlengkapan lain yang dibutuhkan oleh anjungan pengeboran dan fasilitas produksi di tengah laut. Selain sebagai alat transportasi, PSV juga dilengkapi dengan peralatan khusus untuk berbagai keperluan, seperti pemadam kebakaran, penanggulangan tumpahan minyak, hingga operasi penyelamatan.

PSV dipilih sebagai objek penelitian karena perannya yang krusial dalam industri minyak dan gas lepas pantai, terutama di wilayah perairan Indonesia yang kaya akan sumber daya alam. Salah satu daerah operasi utama PSV adalah Laut Natuna, yang memiliki potensi energi besar serta menjadi wilayah strategis dalam industri maritim. Namun, perairan Natuna dikenal memiliki kondisi gelombang yang cukup tinggi dan cuaca yang berubah-ubah, sehingga berdampak terhadap performa *seakeeping* kapal. Kondisi ini membuat analisis *seakeeping* PSV semakin relevan untuk memastikan keselamatan serta efisiensi operasional kapal di lingkungan tersebut.

Tantangan utama yang dihadapi PSV dalam *seakeeping* adalah ukuran dan bentuk lambungnya yang relatif kecil dibandingkan dengan kapal kargo atau tanker besar, sehingga lebih rentan terhadap efek gelombang tinggi dan kondisi laut yang ekstrem. PSV sering beroperasi di perairan terbuka jauh dari daratan, di mana gelombang tinggi dan arus laut yang kuat dapat mengganggu kestabilan kapal.

Selain faktor gelombang, distribusi beban pada PSV juga menjadi faktor yang memengaruhi stabilitas kapal. PSV sering mengangkut muatan yang tidak tetap, seperti drum bahan bakar, kontainer logistik, pipa, atau bahkan cairan dalam tangki, yang distribusinya dapat berubah-ubah selama perjalanan atau saat bongkar muat. Perubahan distribusi berat ini dapat menyebabkan kapal menjadi tidak seimbang dan semakin rentan terhadap guncangan dari gelombang. Ketidakseimbangan ini juga dapat memperparah gerakan *roll* (mengguling ke samping) dan *pitch* (mengangg uk ke depan dan belakang), yang tidak hanya membuat perjalanan lebih tidak nyaman bagi kru di dalam kapal, tetapi juga berisiko menyebabkan pergeseran muatan atau bahkan kerusakan peralatan yang diangkut.

Di samping tantangan stabilitas akibat gelombang, Kapal PSV juga sering kali harus tetap beroperasi dalam kondisi cuaca ekstrem. Karena operasi minyak dan gas lepas pantai tidak selalu bisa dihentikan meskipun cuaca buruk, PSV tetap harus menjalankan misinya meskipun menghadapi angin kencang, hujan deras, dan gelombang tinggi yang dapat mencapai beberapa meter. Hal ini membuat keselamatan kapal dan kru menjadi perhatian utama serta memerlukan teknologi dan desain kapal yang mampu menghadapi kondisi tersebut. Oleh karena itu, diperlukan metode yang efektif untuk mengevaluasi performa *seakeeping*, sehingga desain kapal dapat terus dikembangkan guna meningkatkan stabilitas dan efisiensinya.

Salah satu pendekatan yang semakin banyak digunakan dalam mengevaluasi *seakeeping* adalah metode berbasis simulasi komputer. Simulasi ini lebih efisien dibandingkan uji coba langsung di perairan yang memerlukan biaya besar dan waktu yang lama. Salah satu perangkat lunak yang banyak digunakan dalam simulasi *seakeeping* adalah Maxsurf, yang mampu mensimulasikan gerakan kapal dalam berbagai kondisi gelombang. Dengan simulasi ini, berbagai parameter desain kapal dapat diuji secara virtual sehingga menghemat biaya serta memungkinkan analisis mendalam terhadap gerakan *heave, pitch*, dan *roll*, yang menjadi indikator utama stabilitas kapal di laut.

Topik penelitian mengenai *seakeeping* dan *motion sickness incidence* (MSI) memiliki relevansi kuat dengan beberapa bidang dalam Teknik Kelautan, terutama Hidrodinamika dan Bangunan Dasar Apung. Melalui analisis respons gerak kapal

terhadap gelombang (RAO) dan evaluasi kenyamanan awak kapal (MSI), penelitian ini menggabungkan prinsip hidrodinamika dan stabilitas dinamis untuk menilai performa operasional struktur terapung. Hal ini sejalan dengan tujuan Teknik Kelautan dalam merancang struktur laut yang aman, stabil, dan andal dalam menghadapi kondisi lingkungan laut yang menantang.

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran spesifik mengenai respon kapal *Platform Supply Vessel* (PSV) terhadap kondisi gelombang yang belum banyak dikaji dalam studi sebelumnya. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan perspektif baru dalam pengembangan desain PSV, khususnya dalam meningkatkan performa *seakeeping*. Temuan ini juga dapat menjadi referensi bagi para insinyur kapal dalam memilih parameter desain yang optimal serta menambah literatur mengenai aplikasi Maxsurf dalam analisis *seakeeping*.

Penelitian terdahulu telah mengkaji performa *seakeeping* pada berbagai jenis kapal, termasuk PSV. Namun, kajian yang secara spesifik membahas performa *seakeeping* kapal PSV masih terbatas, terutama yang menggunakan metode simulasi komputer berbasis perangkat lunak. Sebagian besar penelitian sebelumnya masih mengandalkan metode eksperimen atau uji coba langsung di lapangan, yang memerlukan biaya besar serta waktu yang cukup lama. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi dengan aplikasi Maxsurf guna menganalisis *seakeeping Platform Supply Vessel* (PSV).

Sebagai penghubung antara daratan dan fasilitas lepas pantai—seperti platform minyak, instalasi pembangkit listrik, dan proyek konstruksi—kapal PSV memiliki peran penting dalam mengangkut peralatan, bahan bakar, suku cadang, serta logistik lainnya guna mendukung operasional harian dan memfasilitasi kegiatan pemeliharaan serta inspeksi. Efisiensi dalam transportasi ini membantu mempercepat operasi dan mengurangi risiko kerusakan infrastruktur. Oleh karena itu, pengembangan PSV diarahkan untuk meminimalkan risiko kecelakaan serta memastikan operasi yang optimal di lingkungan yang penuh tantangan tanpa membahayakan awak kapal.

Namun, agar kapal PSV dapat berfungsi secara optimal, performa *seakeeping*-nya harus dipastikan terlebih dahulu. Kapal yang tidak stabil akan menghadapi kesulitan dalam navigasi, mengalami penurunan efisiensi energi, dan

bahkan meningkatkan risiko kerusakan pada komponen elektroniknya. Dengan memanfaatkan simulasi Maxsurf, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan baru dalam pengembangan PSV yang lebih stabil, efisien, dan siap menghadapi tantangan operasional di laut.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, permasalahan yang perlu diteliti terkait performa *seakeeping* adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik *Response Amplitude Operator* (RAO) kapal dalam merespons gelombang laut?
2. Bagaimana performa *seakeeping* dari kapal *platform supply vessel* (PSV), dan parameter manakah yang paling mempengaruhi kenyamanan serta membatasi operasional kapal?
3. Berapa nilai *Motion Sickness Incidence* (MSI) yang terjadi pada kapal akibat gerakan kapal, dan apa pengaruhnya terhadap kenyamanan serta potensi gangguan operasional?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk merekomendasikan analisis dan pemahaman mengenai performa *seakeeping* kapal *platform supply vessel*. Berdasarkan tujuan tersebut, maka sasaran yang akan dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan karakteristik *Response Amplitude Operator* (RAO) kapal untuk memahami respons dinamis kapal terhadap lingkungan laut.
2. Menganalisis performa *seakeeping* kapal *platform supply vessel* serta mengidentifikasi parameter yang paling membatasi kenyamanan operasional
3. Menentukan *motion sickness incidence* (MSI) untuk mengukur dampak gerakan kapal terhadap kenyamanan awak kapal dan gangguan operasional.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini berfokus pada lima substansi supaya analisis tetap fokus dan tidak terlalu luas. Berikut merupakan sasaran pembatasan masalah berdasarkan uraian yang telah dipaparkan, sebagai berikut:

1. Jenis Kapal
    - Penelitian ini hanya berfokus pada kapal *platform supply vessel* (PSV*)* dengan spesifikasi yang telah ditentukan, sehingga hasil analisis tidak dapat digeneralisasi untuk jenis kapal lainnya.
2. Aspek *Seakeeping* yang Dikaji
    - Studi ini menganalisis mengenai performa *seakeeping* pada tahap *initial design*, yang mencakup *Response Amplitude Operator* (RAO) sebagai indikator utama dan *Motion Sickness Incidence* (MSI), sebagai indikator kenyamanan awak kapal.
    - Analisis *Motion Sickness Incidence* (MSI) dilakukan hanya pada *main deck* karena aktivitas operasional dan logistik lebih banyak dilakukan pada *main deck*.
    - Analisis mencakup tiga gerakan kapal dalam enam derajat kebebasan (6 DOF: *surge, sway, heave, roll, pitch*, dan *yaw*), yaitu *heave, pitch*, dan *roll*, karena ketiga gerakan tersebut merupakan gerakan alami kapal dan paling berpengaruh terhadap stabilitas kapal dan kenyamanan awak kapal.
    - Analisis dilakukan dalam keadaan kapal *full load*.
3. Kondisi Lingkungan
    - Karakteristik gelombang tidak dihitung karena hanya beroperasi dalam keadaan gelombang tertentu. Simulasi dilakukan dengan menggunakan data gelombang aktual dari Laut Natuna pada 16 Mei 2025. Tinggi gelombang pada hari tersebut bervariasi sepanjang hari, dan variasi tersebut dijadikan dasar untuk memodelkan kondisi *sea state* secara dinamis dalam simulasi. Data hanya dibatasi pada satu hari karena simulasi ini masih berada pada tahap *initial design*.
    - Faktor eksternal seperti arus laut, angin, dan interaksi dengan kapal atau struktur terapung lainnya tidak dianalisis.
4. Metode Analisis
    - Perhitungan dan simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Maxsurf Motion Student Only untuk mengevaluasi performa *seakeeping* kapal.

- Penelitian ini tidak melibatkan pengujian fisik atau eksperimen langsung di lapangan, sehingga seluruh analisis didasarkan pada pendekatan numerik dan simulasi komputer.

5. Kondisi Operasional
   - Kapal beroperasi di perairan Laut Natuna, yang merupakan wilayah *offshore* dengan aktivitas eksplorasi dan eksploitasi migas serta kondisi laut yang menantang.
   - Kecepatan kapal ditentukan sebesar 25 knot, sesuai dengan hasil riset jurnal yang memperhitungkan faktor kondisi laut, beban kapal, dan aspek teknis lainnya.
   - Kapal dianalisis dalam kondisi *full load*, yaitu saat muatan mencapai kapasitas maksimum sesuai dengan spesifikasi desain kapal.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang diterapkan dalam penyusunan penelitian ini disusun secara sistematis dan terstruktur guna memudahkan pemahaman terhadap isi penelitian tersebut. Berikut merupakan rincian sistematika penulisan tersebut, yaitu:

1. BAB I PENDAHULUAN

   Bab ini berisi tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan, penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan tugas akhir ini. Agar penulisan tidak melebar dari pokok permasalahan dan hasilnya sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai, ditetapkan batasan masalah secara umum, yang kemudian akan dijelaskan lebih detail dalam masing-masing bab terkait.