



**PENGARUH KOMBINASI GRADE BAJA *STIFFENED*
PLATE TERHADAP GAYA KONTAK DAN
DISTRIBUSI TEGANGAN PADA SKENARIO
TUMBUKAN ES**

SKRIPSI

HANDIKA TEGUH KURNIAWAN

2210313006

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK PERKAPALAN

2026



**PENGARUH KOMBINASI GRADE BAJA *STIFFENED*
PLATE TERHADAP GAYA KONTAK DAN
DISTRIBUSI TEGANGAN PADA SKENARIO
TUMBUKAN ES**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

HANDIKA TEGUH KURNIAWAN

2210313006

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK PERKAPALAN

2026

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Handika Teguh Kurniawan

NIM : 2210313006

Program Studi : S1 Teknik Perkapalan

Judul Skripsi : PENGARUH KOMBINASI GRADE BAJA *STIFFENED PLATE*
TERHADAP GAYA KONTAK DAN DISTRIBUSI TEGANGAN
PADA SKENARIO TUMBUKAN ES

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.



Dr. Wiwin Sulistyawati, S.T., M.T.

Penguji Utama



Sabila Fitri Afsari, S.T., M.T.

Penguji Lembaga



Dr. Eng. Ir. Teguh Firmansyah, S.T.,

M.T. IPM

Dekan Fakultas Teknik



Fakhri Akbar Ayub, S.T., M.Eng., Ph.D.

Penguji Pembimbing



Dr. Wiwin Sulistyawati, S.T., M.T.

Kepala Program Studi

Ditetapkan di: Jakarta

Tanggal Ujian: 14 Juli 2026

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

PENGARUH KOMBINASI GRADE BAJA *STIFFENED PLATE* TERHADAP GAYA KONTAK DAN DISTRIBUSI TEGANGAN PADA SKENARIO TUMBUKAN ES

Disusun Oleh:

Handika Teguh Kurniawan

2210313006

Menyetujui,

Pembimbing I



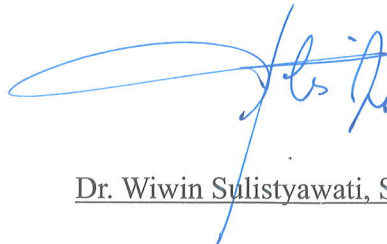
Dr. Eng. Noverdo Saputra, S.T., M.Eng

Pembimbing II



Fakhri Akbar Ayub, S.T., M.Eng., Ph.D.

Kepala Program Studi S1 Teknik Perkapalan



Dr. Wiwin Sulistyawati, S.T., MT.

PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya sendiri dan semua sumber yang dikutip atau dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Handika Teguh Kurniawan

NIM : 2210313006

Program Studi : S1 Teknik Perkapalan

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Jakarta, 14 Juli 2026

Yang menyatakan,



Handika Teguh Kurniawan

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Handika Teguh Kurniawan

NIM : 2210313006

Program Studi : S1 Teknik Perkapalan

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta Hak Bebas Royalti Non Ekklusif (*Non-Exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**“PENGARUH KOMBINASI GRADE BAJA *STIFFENED PLATE*
TERHADAP GAYA KONTAK DAN DISTRIBUSI TEGANGAN PADA
SKENARIO TUMBUKAN ES”**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti ini, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Jakarta

Pada tanggal: 14 Juli 2026

Yang menyatakan,



Handika Teguh Kurniawan

PENGARUH KOMBINASI GRADE BAJA *STIFFENED PLATE* TERHADAP GAYA KONTAK DAN DISTRIBUSI TEGANGAN PADA SKENARIO TUMBUKAN ES

Handika Teguh Kurniawan

ABSTRAK

Stiffened plate merupakan komponen utama lambung kapal yang berfungsi menahan beban lateral, termasuk beban akibat tumbukan es pada kapal yang beroperasi di perairan dingin. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh kombinasi grade baja pada *side shell* dan *frame* terhadap gaya kontak dan distribusi tegangan akibat tumbukan es, serta menentukan konfigurasi material yang memberikan ketahanan terbaik. Analisis dilakukan menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Analysis/FEA*) dengan perangkat lunak Abaqus/Explicit. Enam variasi model (M1–M6) dianalisis menggunakan kombinasi baja S235, S350, dan S460 pada *side shell* dan *frame*. Es dimodelkan sebagai *rigid spherical ice* untuk merepresentasikan kondisi tumbukan konservatif (*worst-case scenario*). Hasil simulasi menunjukkan bahwa kombinasi material memberikan pengaruh signifikan terhadap respons struktur. Gaya kontak lateral maksimum (F_y) tertinggi diperoleh pada model M4 dengan kombinasi *side shell* S350 dan *frame* S460 sebesar $1.26\text{E}+07$ N, sedangkan gaya kontak tangensial maksimum (F_x) tertinggi diperoleh pada model M6 sebesar $1.13\text{E}+07$ N. Distribusi tegangan menunjukkan konsentrasi tegangan terbesar terjadi pada area kontak antara es dan struktur dengan tegangan von Mises maksimum sekitar 714 MPa. Berdasarkan evaluasi keseluruhan respons struktur, model M4 menunjukkan performa ketahanan terbaik terhadap tumbukan es.

Kata Kunci: *stiffened plate*, grade baja, gaya kontak, distribusi tegangan, tumbukan es.

EVALUATING CONTACT FORCE AND STRESS DISTRIBUTION ON STIFFENED PLATES WITH VARIED STEEL GRADE COMBINATIONS UNDER ICE IMPACT

Handika Teguh Kurniawan

ABSTRACT

A stiffened plate is a primary structural component of a ship hull that functions to withstand lateral loads, including loads caused by ice impacts on vessels operating in cold-water environments. This study aims to analyze the effect of steel grade combinations used in the side shell and frame on contact force and stress distribution under ice impact scenarios, as well as to determine the most effective material configuration. Finite Element Analysis (FEA) was conducted using Abaqus/Explicit. Six model variations (M1–M6) were evaluated by combining S235, S350, and S460 steel grades in the side shell and frame structures. The ice object was modeled as a rigid spherical ice body to represent a conservative worst-case impact scenario. The simulation results indicate that the steel grade combination significantly affects the structural response. The highest lateral contact force (F_y) was obtained by Model M4, consisting of an S350 side shell and an S460 frame, reaching $1.26E+07$ N, while the highest tangential contact force (F_x) was achieved by Model M6 with a value of $1.13E+07$ N. The stress distribution analysis revealed that the maximum stress concentration occurred at the contact region between the ice and the structure, with a peak von Mises stress of approximately 714 MPa. Based on the overall evaluation of the structural response, Model M4 demonstrated the best resistance performance against ice impact.

Keywords: *stiffened plate, steel grade, contact force, stress distribution, ice impact.*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi ini dengan baik dan tepat waktu serta sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku di Program Studi Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta. Laporan skripsi ini berjudul “Pengaruh Kombinasi Grade Baja *Stiffened plate* Terhadap Gaya Kontak dan Distribusi Tegangan pada Skenario Tumbukan Es”, yang disusun sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Dalam proses penyusunan laporan ini, penulis telah banyak menerima bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Alm. Ibu Nafsiah selaku ibu kandung penulis.
2. Bapak Ratmono selaku bapak kandung penulis.
3. Sri Ariska, S.Kes., selaku kakak kandung penulis.
4. Seluruh keluarga penulis.
5. Ibu Dr. Wiwin Sulistyawati, S.T., M.T., selaku Kepala Program Studi Teknik Perkapalan Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.
6. Bapak Dr.Eng, Noverdo Saputra, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama proses penyusunan laporan ini.
7. Bapak Fakhri Akbar Ayub, S.T., M.Eng., Ph.D, selaku dosen pembimbing 2 yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama proses penyusunan laporan ini.
8. Seluruh tenaga pendidik dan tenaga pengajar, S1 Teknik Perkapalan.
9. Rekan-rekan mahasiswa Maritim UPN Veteran Jakarta angkatan 2022 yang telah membantu dalam proses penulisan laporan ini.
10. Teman-teman rumah penulis yang dari kecil menjadi tempat tumbuh kembang penulis

11. Serta seluruh pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dan tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca. Demikian kata pengantar ini penulis sampaikan. Atas perhatian semua pihak, penulis mengucapkan terima kasih. Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Jakarta, Juli 2026

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Metode Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Struktur Kapal	5
2.1.1 Konstruksi Lambung Kapal	5
2.1.2 Standar Klasifikasi Kapal di Perairan ES.....	6
2.2 Fenomena Tumbukan Kapal dengan Es	8
2.2.1 Data <i>Accident</i> Benturan Kapal dengan Es	9
2.2.2 Skenario Benturan Kapal dengan Es.....	11
2.2.3 Standar Beban Es pada Midship Section	12
2.3 Karakter Mekanis Baja	12
2.3.1 <i>Mild steel</i>	13
2.3.2 <i>High tensile steel</i>	13
2.3.3 <i>Ultra-high tensile steel</i>	14

2.3.4	Model Konstitutif untuk Simulasi	14
2.3.5	Perilaku <i>Elasto-plastic</i>	15
2.3.6	Perilaku <i>Strain Hardening</i>	17
2.3.7	Kriteria Kegagalan Material Baja	18
2.4	Karakteristik Mekanis Material Es	18
2.4.1	Klasifikasi dan Ukuran Es di Laut	19
2.4.2	Sifat Mekanis Dasar ES	20
2.4.3	Mekanisme Gaya pada Interaksi Kapal dan Es	22
2.5	Metode Analisis Elemen Hingga (FEA) dalam Studi Tumbukan	23
2.6	Software Simulasi	24
2.6.1	Rhino	24
2.6.2	Abaqus	25
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		26
3.1	Diagram Alir	26
3.2	Identifikasi dan Perumusan Masalah	27
3.3	Studi Literatur	27
3.4	Pengumpulan Data	28
3.4.1	Data Kapal	29
3.4.2	Data Material Es	30
3.4.3	Data Material Baja Kapal	31
3.5	Desain Model Pelat Bertulang dan Es	31
3.5.1	Desain Model Pelat Bertulang	31
3.5.2	Desain Model Es	32
3.6	Permodelan Geometri dan Kondisi Batas	33
3.7	Variasi Model Material	35
3.8	Analisis Hasil dan Rekomendasi	36
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		37
4.1	Validasi Penelitian	37
4.1.1	Validasi Energy (Perbandingan ALLAE & ALLIE)	37
4.1.2	<i>Mesh convergence study</i>	40
4.1.3	<i>Grid Independence Study</i>	41
4.1.4	Validasi Material Experiment	42

4.2	Variasi Penelitian	43
4.2.1	M1 Side Shell S235 <i>Frame</i> S350.....	43
4.2.2	M2 Side Shell S235 <i>Frame</i> S460.....	48
4.2.3	M3 Side Shell S350 <i>Frame</i> S235.....	53
4.2.4	M4 Side Shell S350 <i>Frame</i> S460.....	58
4.2.5	M5 Side Shell S460 <i>Frame</i> S235.....	63
4.2.6	M6 Side Shell S460 <i>Frame</i> S350.....	68
4.2.7	Perbandingan Seluruh Variasi	72
BAB 5	PENUTUP	78
5.1	Kesimpulan.....	78
5.2	Saran.....	79
DAFTAR PUSTAKA		
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi IACS Polar Class.....	7
Tabel 2. 2 Klasifikasi FSICR Ice Class	8
Tabel 2. 3 <i>Age of the vessels involved in collision, grounding and structural failure</i>	10
Tabel 3. 1 <i>The Main Dimensions of</i> MT Uikuku	30
Tabel 3. 2 Paramater Data Material Es	30
Tabel 3. 3 Parameter Jenis Material.....	31
Tabel 3. 4 Ukuran Pelat Bertulang.....	32
Tabel 3. 5 Variasi Analisis	36
Tabel 4. 1 <i>Mesh Convergence</i> pada LC8	40
Tabel 4. 2 Perbandingan Paramater Mekanis Hasil Simulasi dan Eksperimen	43
Tabel 4. 3 Perbandingan hasil simulasi model	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Interaksi Kapal dengan Es	9
Gambar 2. 2 <i>Sketch of key components of ice-structure contact</i>	9
Gambar 2. 3 Persentase kapal menurut analisis penyebab EMSA akibat (a) tabrakan, (b) kandas, dan (c) kegagalan struktural.	10
Gambar 2. 4 Skenario Benturan Kapal dengan Es	11
Gambar 2. 5 <i>Parameter to define stress-strain curve</i>	17
Gambar 2. 6 <i>Material Curve (True stress-strain)</i>	18
Gambar 2. 7 <i>Three iceberg size categories</i>	19
Gambar 2. 8 <i>Iceberg shape type</i>	20
Gambar 2. 9 Hubungan pressure dan area kontak	22
Gambar 2. 10 Software Rhinoceros	24
Gambar 2. 11 Software DS Simula Abaqus	25
Gambar 3. 1 Diagram Alir	26
Gambar 3. 2 <i>The side view of Mt Uikku</i>	29
Gambar 3. 3 Model Pelat Bertulang Sumber: Dokumen Pribadi	32
Gambar 3. 4 Desain es	32
Gambar 3. 5 penentuan boundary condition	34
Gambar 3. 6 Grafik Displacement terhadap waktu (a) Sb X (b) Sb Y	34
Gambar 4. 1 Grafik Validasi Energi (a) ALLAE (b) ALLIE (c) Persentase Perbandingan ALLAE terhadap ALLIE	38
Gambar 4. 2 <i>Mesh Convergence</i>	40
Gambar 4. 3 Grafik Contact force Fy	41
Gambar 4. 4 Perbandingan Kurva Stress Strain Hasil Simulasi Abaqus dan <i>Experiment</i>	42
Gambar 4. 5 Grafik <i>contact force</i> Fx terhadap displacement M1	44
Gambar 4. 6 Grafik <i>contact force</i> Fy terhadap displacement M1	45
Gambar 4. 7 Grafik von Mises terhadap waktu M1	46
Gambar 4. 8 <i>Contour</i> M1 (a) time step 0.225 (b) time step 0.5	46
Gambar 4. 9 Grafik energy terhadap waktu M1	47
Gambar 4. 10 Grafik <i>contact force</i> Fx terhadap displacement M2	49
Gambar 4. 11 Grafik <i>contact force</i> Fy terhadap displacement M2	50

Gambar 4. 12 Grafik von Mises terhadap waktu M2	51
Gambar 4. 13 <i>Contour</i> M2 (a) time step 0.425 (b) time step 0.5	51
Gambar 4. 14 Grafik energy terhadap waktu M2	52
Gambar 4. 15 Grafik <i>contact force</i> Fx terhadap displacement M3	54
Gambar 4. 16 Grafik <i>contact force</i> Fy terhadap displacement M3	55
Gambar 4. 17 Grafik von Mises terhadap waktu M3	56
Gambar 4. 18 <i>Contour</i> M3 (a) time step 0.45 (b) time step 0.5	56
Gambar 4. 19 Grafik energy terhadap waktu M3	57
Gambar 4. 20 Grafik <i>contact force</i> Fx terhadap displacement M4	59
Gambar 4. 21 Grafik <i>contact force</i> Fy terhadap displacement M4	60
Gambar 4. 22 Grafik von Mises terhadap waktu M4	61
Gambar 4. 23 <i>Contour</i> M4 (a) time step 0.45 (b) time step 0.5	61
Gambar 4. 24 Grafik energy terhadap waktu M4	62
Gambar 4. 25 Grafik <i>contact force</i> Fx terhadap displacement M5	64
Gambar 4. 26 Grafik <i>contact force</i> Fy terhadap displacement M5	65
Gambar 4. 27 Grafik von Mises terhadap waktu M5	66
Gambar 4. 28 <i>Contour</i> M5 (a) time step 0.375 (b) time step 0.5	66
Gambar 4. 29 Grafik energy terhadap waktu M5	67
Gambar 4. 30 Grafik <i>contact force</i> Fx terhadap displacement M6	68
Gambar 4. 31 Grafik <i>contact force</i> Fy terhadap displacement M6	69
Gambar 4. 32 Grafik von Mises terhadap waktu M6	70
Gambar 4. 33 <i>Contour</i> M6 (a) time step 0.3 (b) time step 0.5	70
Gambar 4. 34 Grafik energy terhadap waktu M6	71
Gambar 4. 35 Grafik <i>contact force</i> terhadap displacement (a) Fx (b) Fy.....	73
Gambar 4. 36 Grafik energy terhadap waktu (a) ALLIE (b) ALLKE (c) ALLPD	75

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Lembar Konsultasi Pembimbing 1

Lampiran 2 Lembar Konsultasi Pembimbing 2