

DESAIN STRUKTUR DAN ANALISA KARAKTERISTIK KEKUATAN *BUCKLING* PADA *SWEDGEFRAME PRESSURE HULL* DENGAN MENGGUNAKAN *FINITE ELEMENT ANALYSIS*

Eli Akim Sipayung, Ahmad Fauzan Zakki, Sarjito JokoSisworo

Abstrak

Kapal selam adalah kapal yang bergerak di bawah permukaan air, umumnya digunakan untuk tujuan dan kepentingan militer. Namun seiring dengan berkembangnya industri lepas pantai beberapa tipe kapal selam dapat digunakan untuk kepentingan suplay, perawatan pada bangunan lepas pantai dan penelitian. Secara umum, struktur kapal selam terdiri dari dua lambung yaitu lambung luar yang mana lebih difokuskan terhadap pengaruh beban-beban hidrstatik sehingga biasa disebut hydrodynamic hull, dan lambung dalam yang mana bagian ini berfungsi untuk menahan tekanan hidrstatik pada saat kapal dalam kondisi menyelam. Penelitian ini membahas tentang desain dan analisa kekuatan inner hull kapal selam yang menggunakan swedge frame sehingga nanti dapat disimpulkan hasilnya.

Penelitian ini menganalisa pressure hull dengan variasi kedalaman (100 meter, 300 meter, dan 500 meter), ketebalan pelat yang digunakan 35 mm, dan ukuran profil T yang digunakan. Pembuatan model dikerjakan di software FEM, dan buckling analysis akan dilakukan menggunakan software.

Dari hasil analisa, untuk kedalaman 100 meter kapal selam yang menggunakan konstruksi swedge frame mendapat tekanan sebesar 1.02×10^6 Pascal. Dihilangkan Buckling Load Factor sebesar 1,19081. Dari hasil analisa, didapatkan bahwa hasil keseluruhan Buckling Load Factor (eigenvalue) adalah > 1 . Berdasarkan validasi dari Practical Aspects of Finite Element Simulation, bahwa struktur yang Buckling Load Factornya > 1 maka struktur tersebut dalam keadaan aman.

Kata kunci : *Buckling, Kapal Selam, Pressure Hull, Finite Element*

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Sebagian besar dari pertahanan laut di Indonesia harus melewati Selat Malaka, selat Sunda dan perairan dangkal di sekitar pesisir kepulauan Indonesia. Situasi ini membuat Indonesia membutuhkan kapal selam yang bisa beroperasi di dalam laut hingga tiga minggu.

Dahulu kapal selam biasa digunakan untuk keperluan militer, namun seiring dengan berkembangnya industri lepas pantai beberapa tipe kapal selam dapat digunakan untuk kepentingan suplai dan perawatan pada bangunan lepas pantai, baik yang berbentuk *fixed* ataupun *submersible platform*, dan penelitian. Trend yang berkembang dalam perancangan kapal selam yaitu adanya permintaan efisiensi, keselamatan, dan kehandalan yang lebih besar, menjadi tantangan

bagi desainer dalam membuat desain kapal selam khususnya pada komponen *pressure hull*. Seorang naval architect harus merancang penentuan spesifikasi desain, yang terdiri dari tipe, ukuran utama, kecepatan dan lain-lain. Berdasarkan dari fungsinya yang digunakan untuk menahan tekanan, maka *pressure* bagian ini biasa disebut sebagai *inner hull*. *Pressure hull* pada kapal selam yang menggunakan *swedge frame* biasanya dibangun dengan menggunakan kombinasi bentuk silinder, kerucut dan bentuk kubah (*dome*), seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.

Desain ini dibuat ditujukan untuk menahan tekanan sebagai akibat menyelam pada tingkat kedalaman yang tinggi. Dalam hal ini penulis tertarik untuk mendesai

nkappalselamdenganmenggunakan*swedge frame* dan menganalisa buckling kapal selam tersebut sehingga dapat disimpulkan bagaimana bentuk dan hasil analisis *buckling* dan apakah kapal selam *swedge frame* lebih kuat dibanding dengan kapal selam *ring frame*.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini penulis mengambil beberapa rumusan masalah mengenai kapal selam *swedge frame*. Berikut adalah beberapa rumusan masalah, antara lain:

1. Bagaimana bentuk desain struktur *Swedge Frame Pressure Hull* Kapal Selam?
2. Berapa nilai kekuatan pada *Swedge Frame Pressure Hull* Kapal Selam untuk kedalaman 100, 300, dan 500 meter?

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan tidak melebar terlalu jauh maka pada penelitian ini penulis akan membatasi masalah pada hal-hal berikut ini:

1. Perhitungan menggunakan analisa linier statis
2. Pelat yang digunakan dalam perancangan adalah pelat tipe *Alloy Steel HY 80*, σ yield strength minimum 80 ksi (552 Mpa), thickness 30 mm dan 35 mm.
3. Kondisi pembebanan berupa tegangan maksimum dan displasemen maksimum.
4. Seluruh kegiatan analisa berdasarkan ABS "Rules for Building and Classing" Underwater Vehicles, System and Hiperbaric Facilities 2002.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang telah diutarakan sebelumnya, maka maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah:

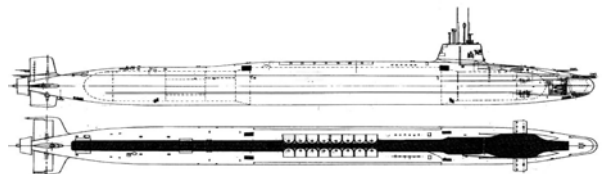
1. Untuk mengetahui bentuk *Buckling* dari *Swedge Frame Pressure Hull* Kapal Selam.
2. Mengetahui nilai tekanan kritis struktur pada kedalaman 100, 300, dan 500 meter.

2. Tinjauan Pustaka

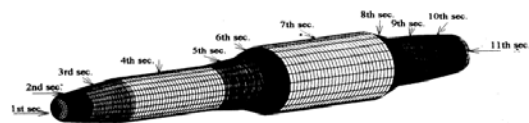
2.1 Pressure Hull

Pressure Hull adalah bagian lambung kapal selam yang berfungsi untuk menahan tekanan air

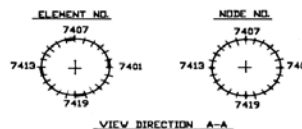
laut dari luar kapal, terlebih kompleksitas kapal selam modern dan adanya permintaan efisiensi, keselamatan, dan kehandalan yang lebih besar, merupakan tantangan bagi desainer dalam membuat desain kapal selam khususnya pada komponen *pressure hull*. Secara umum, struktur kapal selam terdiri dari dua lambung, yaitu lambung luar (*the outer hull*) yang mana lebih difokuskan terhadap pengaruh beban-beban hidrodinamik sehingga biasa disebut *hydrodynamics hull*, dan lambung dalam (*the inner hull*) yang mana bagian ini adalah berfungsi untuk menahan tekanan hidrostatik pada saat kapal dalam kondisi menyelam. Berdasarkan dari fungsinya yang digunakan untuk menahan tekanan, maka bagian ini biasa disebut sebagai *pressure hull*, [1] *Pressure hull* biasanya dibangun dengan menggunakan kombinasi bentuk silinder, kerucut dan bentuk kubah (*dome*),



Gambar 2.1. *Pressure Hull* Kapal Selam



Section 1, 11 : dome
 Section 4, 7 : cylinder
 Section 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10 : cone
 (a) 3D finite element model



(b) Location of element and node

Gambar 2.2. Struktur *Pressure Hull* Kapal Selam menggunakan *swedge frame*

2.2 Buckling Analysis (Analisa Tekuk)

Buckling analisis adalah teknik yang digunakan untuk menentukan beban tekuk kritis beban dimana struktur menjadi tidak stabil dan bentuk-modus melengkung bentuk karakteristik yang terkait dengan respon struktur yang melengkung. *Buckling* atau tekuk adalah ketidakstabilan yang mengarah ke modus kegagalan pada struktur. Tegangan tekuk bisa disebut juga sebagai proses dimana suatu struktur tidak mampu mempertahankan bentuk aslinya atau bentuk semula. Hal ini terjadi karena struktur tersebut menerima kelebihan tegangan yang mengakibatkan adanya lendutan yang mengubah bentuk struktur. Untuk struktur yang stabil, setelah mengalami buckling akan kembali ke bentuk semula. Sedangkan jika struktur tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuk semulanya, maka struktur tersebut dikatakan gagal.

2.3 Metode Elemen Hingga (FEM)

Finite Element Method (FEM) atau dalam bahasa Indonesia dikenal sebagai Metode Elemen Hingga adalah salah satu metode yang digunakan untuk menganalisa suatu konstruksi. Ada banyak bidang yang berkaitan dengan konstruksi, baik konstruksi untuk di darat maupun konstruksi untuk di laut atau bawah laut. Salah satu bidang yang berkaitan dengan konstruksi laut adalah *Marine and Offshore*, dalam hal ini lebih difokuskan pada dunia perkapalan dan bangunan lepas pantai. Metode ini sekarang banyak digunakan untuk konstruksi kapal maupun bangunan pantai dan lepas pantai (*offshore*). Sebenarnya sangat luas cakupan bidang metode ini, tidak terbatas pada konstruksi baja (*steel construction*) tapi juga pada fluida. Dalam hal analisa struktur dengan menggunakan *finite element method* (FEM) akan memungkinkan seorang naval architect untuk dapat mengetahui penyebaran tegangan pada suatu struktur konstruksi. Kegagalan suatu konstruksi dapat diketahui dengan menggunakan analisa ini.

2.4 Program Bantu MSC Nastran Patran

Msc Patran adalah program bantu untuk *pre* dan *post processing* dalam analisa metode elemen hingga dimana salah satu *software analysis process* yang digunakan adalah *Msc Nastran* yang dijelaskan pada bagian selanjutnya. Proses analisa metode elemen hingga (*finite element analysis*) dimulai (*pre processing*) dari program bantu Msc Patran ini. Model yang telah dibuat dianalisa dengan diterjemahkan ke dalam *file op2* atau *bdf*, yang nanti akan diproses analisis oleh program Msc Nastran. Setelah *running analysis* dari program Msc Nastran selesai maka program Msc Patran akan membaca analisa berupa *file op2* atau *xdb* yang hasilnya akan ditampilkan pada *result process*.

Msc Nastran (MacNeal Schwendler Corporation NASA Structural Analysis) merupakan program elemen hingga yang dibuat dan dikembangkan oleh NASA (National Aeronautics and Space Administration) untuk pemecahan dalam analisa struktur maupun komponen

3. Metode Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisa dengan menggunakan *software* yang berbasis elemen hingga, yaitu *MSC Nastran Patran*.

3.1 Studi Literatur

Data studiliteratur yang dikumpulkan antaralain meliputi:

- *Rules ABS for Building classing under Water vehicles, Systems and perbaric facilities*
- *Concept Desain of a Commercial Submarine*

- Jurnal lokal dan internasional yang berkaitan dengan kekuatan kapal selam (*pressure hull*)
- Penelitian terlebih dahulu
- *Practical Aspect of Finite Element Simulation*
- FEM Software

3.2. Studi Lapangan

Data studiliteratur yang dikumpulkan antaralain meliputi:

- Pengambilan data kapal yaitu berupa ukuran utama, spesifikasi material yang digunakan kapal selam
- Pengambilan data sebagai pendukung seperti konstruksi dan jarak gading kapal selam
- Serta ordinasi dengan pihak yang terkait beserta dosen pembimbing yang berkaitan dengan kebutuhan penulis

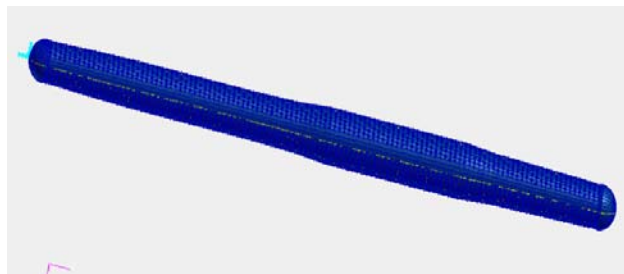
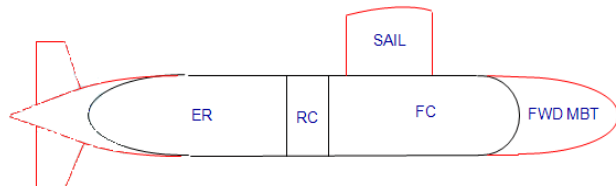
3.2.1 Teknik Pengolahan Data

Dalam pengolahan data yang sudah didapat, penelitian ini dilakukan dengan menggunakan software komputerisasi yaitu software patran yang berfungsi sebagai pembuatan model. Pengolahan data dari lapangan yang berupa ukuran utama kapal untuk proses pembuatan gambar/ pemodelan. Untuk mendukung semua itu maka akan didukung oleh laptop. Software yang digunakan untuk menganalisis data tersebut adalah Nastran.

4. Analisa dan Pembahasan

4.1 Pemodelan Struktur

Bentuk utama dari struktur *Pressure Hull* kapal selam adalah bentuk silinder, kerucut dan bentuk kubah (*dome*) yang memiliki profil melingkar (*ring stiffener*) di sepanjang bagian, dan ditutupi oleh struktur berbentuk kubah (*dome*) di ujung kiri dan kanannya.



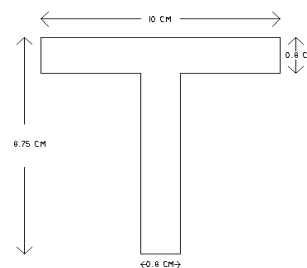
Gambar 4.1. Pressure Hull

Spesifikasi material yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

Nama material : *Alloy Steel HY 80*
 Modulus Young : 207 Gpa = $2.07 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
 Density : $7.85 \text{ Mg/m}^3 = 7850 \text{ kg/m}^3$
 Poisson Ratio : 0.30

Struktur properties untuk kapal selam *swedgeframe*

Panjang: 58 m
 Diameter : 4,7 m
 Jarak frame : 0,5 m
 Tebal pelat : 30 mm
 Ukuran profil :



Gambar 4.2. Beam dimension swedge frame

4.2 Variasi Pembebanan

Beban yang diberikan pada struktur *pressure hull* kapal selam ini adalah merupakan tekanan dari air laut sesuai dengan kedalamannya (*pressure hidrostatik*). Variasi pembebanan yang diberikan pada penelitian ini adalah 100 meter, 300 meter, dan 500 meter. Tekanan yang diberikan akan menekan *plate element* dan *beam element*.

Perhitungan *pressure* hidrostatik tersebut menggunakan pendekatan fisika adalah sebagai berikut:

$$Ph = \rho \times g \times h$$

Ph : Tekanan Hidrostatik (N/m^2)
 ρ : Massa jenis (kg/m^3) (air laut)
 $= 1025 \text{ kg/m}^3$
 G : Percepatan gravitasi 9,8 m/s
 h : kedalaman permukaan (m)

4.3 Hasil dan Pembahasan

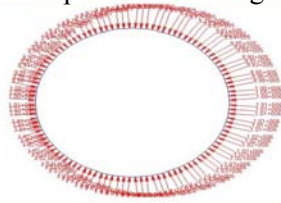
Maka, *pressure* hidrostatik untuk struktur *pressure hull* kapal selam *swedge frame* adalah:

$$Ph = 1025 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s} \times 102,125 \text{ m}$$

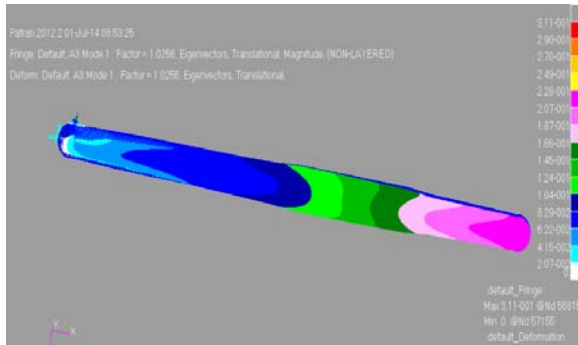
$$= 1025845.62 \text{ N/m}^2 \text{ (Pascal)}$$

$$= \mathbf{1.02 \text{ MPa}}$$

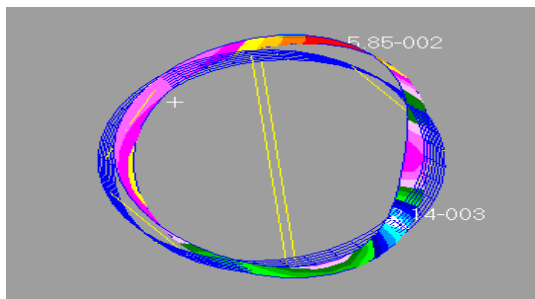
Jadi beban maksimal yang diterima oleh struktur *pressurehull* kapal selam swedge frame adalah 1,02MPa.



Gambar 4.3. Beban di kedalaman 100 m *pressurehull* swedge frame



Gambar 4.4. Buckling pada struktur *pressurehull*



Gambar 4.5. Tampak depan model

Tekanan hidrostatik (P) terhadap *pressurehull* swedge frame di kedalaman 100 m adalah **1.02 MPa**.

| Mode | BLF (λ) | CBL $\lambda \{P\}$ | Deskripsi |
|------|-------------------|---------------------|------------------------------|
| 1 | 1,0256 | 1052107, 26 | <i>PressureHull Buckling</i> |
| 2 | 1,0859 | 1113965, 75 | <i>PressureHull Buckling</i> |
| 3 | 1,1068 | 1135405, 93 | <i>PressureHull Buckling</i> |

| | | | |
|---|--------|-------------|------------------------------|
| 4 | 1,1385 | 1167925, 23 | <i>PressureHull Buckling</i> |
| 5 | 1,1608 | 1190801, 59 | <i>PressureHull Buckling</i> |

Dari tabel diatas dapat kita ketahui bahwa pada saat *BucklingLoadFactor* 1,0256, maka struktur menerima *CriticalBucklingLoad* (beban tekuk kritis) sebesar **1,34 MPa**. Nilai ini menjadi nilai kritis minimal untuk struktur *pressurehull* di kedalaman 100 m. Sementara itu, pada saat *BucklingLoadFactor* 3,0738, maka struktur menerima beban tekuk kritis sebesar 3,18 MPa. Nilai ini menjadi nilai kritis maksimal untuk struktur *pressurehull* di kedalaman 100 m.

Tabel *bucklingloadfactorpressurehullswedge frame* di kedalaman 100 meter:

| Mode | BLF (λ) | Finite Element Simulation | Keterangan |
|------|-------------------|---------------------------|-------------------|
| 1 | 1,0256 | > 1 | <i>Safe/ Aman</i> |
| 2 | 1,0859 | > 1 | <i>Safe/ Aman</i> |
| 3 | 1,1068 | > 1 | <i>Safe/ Aman</i> |
| 4 | 1,1385 | > 1 | <i>Safe/ Aman</i> |
| 5 | 1,1608 | > 1 | <i>Safe/ Aman</i> |

5. Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil analisa *pressure hull* kapal selam dengan menggunakan konstruksi *sewedge frame* maka *buckling load factor* paling kritis adalah 1,0017 di kedalaman 500 meter
2. Hasil analisa menunjukkan bahwa kapal selam dengan menggunakan konstruksi *sewedge frame* di kedalaman 100 meter mendapatkan tekanan minimum 1,0256 MPa dan maksimal 1,1608 MPa.

Di kedalaman 300 meter, kapal selam dengan menggunakan konstruksi *swedge frame* mendapatkan tekanan minimum 1,0083 MPa dan maksimal 1,0378 MPa. Sementara

Di kedalaman 500 meter, kapal selam dengan menggunakan konstruksi *swedge frame* mendapatkan tekanan minimum 1,0017 MPa dan maksimal 1,0247 MPa.

Daftar Pustaka

[1] Yuan KY, Liang CC, Ma YC. *Investigation of the cone angle of a novel swedged-stiffened pressure hull*. J Ship Res, 1991;35:83–86.

[2] Friedman N. *Submarine design and development*. London: Conway Maritime, 1984.

[3] <http://en.wikipedia.org/wiki/Buckling>

[4] Ross CTF. *Design of dome ends to withstand uniform external pressure*. J Ship Res, 1987;31:139–143.

[5] HyperWorks, 2012, *Practical Aspects of Finite Element Simulation*, Altair

[6] <http://www.metalsuppliersonline.com/properpages/HY80.asp>