

# KONSEP DESAIN DERMAGA PONTON SANDAR KAPAL SELAM BERBASIS MODULAR APPROACH BERBAHAN HIGH DENSITY POLYETHYLENE

## CONCEPT OF DESIGN PONTOON PORT FOR SUBMARINE MODULAR APPROACHES WITH MATERIALS POLYETHYLENE HIGH DENSITY

Zainal Abidin Fuadi<sup>1</sup>, Edi Suhardono<sup>2</sup>, Imanuel Dindin<sup>3</sup>

UNIVERSITAS PERTAHANAN

(zainalfuadi75@gmail.com, edisuhard@yahoo.co.id, immanuel\_dindin@tnial.mil.id)

**Abstrak**–Dalam penelitian dan pengembangan fasilitas pangkalan kapal selam TNI AL diperlukan sarana prasarana sandar yang dapat mudah dalam penempatan dan pergeseran guna mendukung kebutuhan pertahanan seluruh wilayah perairan Indonesia dengan kekuatan Koarmada Laut. Kapal Selam yang dioperasikan oleh TNI AL merupakan bagian dari 7 program Alpalhankam di Kementerian pertahanan, memerlukan pengembangan teknologi pertahanan yang dibutuhkan untuk mendukung operasional sandar kapal selam. Fasilitas sandar dibutuhkan kapal selam dan sebagai fasilitas pengaman peralatan dan sistem akomodasi pada saat beroperasi di seluruh wilayah perairan Indonesia. Pada konsep desain dermaga ponton sandar kapal selam berbasis *Modular Approach* berbahan *High Density Polyethylene* untuk mendukung pangkalan operasional wilayah Indonesia, maka diperlukannya analisis pengujian kekuatan struktur ponton dengan *Finit Element Method* (FEM) tahapannya analisis dan pengujian menggunakan *Software* pada kekuatan struktur dan stabilitas dengan pendekatan *Software AutoCAD, Autodesk Inventor dan Maxsurf*. Dari perhitungan gaya gaya yang bekerja pada ponton sebesar 615 kN didapat analisis tegangan/ regangan untuk stress maksimal yang dapat diterima oleh material yang digunakan sebesar *Yield Strength* sebesar 207 MPa, dimana hasil untuk *static stress* pada gaya bentur 162.715 MPa (faktor keamanan 1.27652) dan gaya tarik 85,0034 MPa (faktor keamanan 2.49957) masih kondisi aman tidak melewati nilai stress maximal material. Sedangkan analisis stabilitas dan periode oleng dilakukan pada 3 kondisi diperoleh kondisi yang stabil dan momen balik relatif cepat kembali posisi tegak, dengan periode oleng terendah pada loadcase 1 dengan T sebesar 3,8264 detik, dengan demikian analisis yang dilakukan masih memenuhi syarat yang aman pada ponton sandar kapal selam berbasis *Modular Approach* berbahan *High Density Polyethylene*.

**Kata Kunci:** metode FEM, Operasional Kapal Selam, Ponton, Stabilitas, Tegangan/ Regangan, .

**Abstract**– In research and development of submarine base facilities, base infrastructure is needed to facilitate placement and shifting in supporting the defense needs of all Indonesian sea area with the strength of the Sea fleet. the Submarine which is operated by the Navy which is part of 7 Alpalhankam programs in the Ministry of Defense, develops the defense technology needed to support submarine leaning operations. The base facility to be able to carry out leaning requires submarines and as a safety facility for equipment and accommodation systems when operating in all Indonesian sea area. The concept of the pontoon port design for submarine base on a *Modular Approach* made from *High Density Polyethylene*.

---

<sup>1</sup> Program Studi Teknologi Daya Gerak, Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan

<sup>2</sup> Program Studi Strategi Pertahanan Laut, Fakultas Strategi Pertahanan, Universitas Pertahanan

<sup>3</sup> Staff Logistik Markas Besar Tentara Nasional Indonesia Angkatan Laut

Polyethylene to support the operational base of the Indonesian region by analyzing the strength testing of the pontoon structure using the Finite Element Method (FEM) the stages are analyzed and tested using Software for strength structure and stability with AutoCAD, Inventor and Maxsurf approaches. From the calculation of the forces acting on the pontoon of **615 kN**, it is obtained stress/strain analysis for maximum stress that can be accepted by the material used by Yield Strength of 207 MPa. the results for static stress on impact force **162,715 MPa** (safety factor **1,27652**) and tensile strength **85,0034 MPa** (safety factor **2,49957**) are still safe conditions do not exceed the maximum stress value of the material . While the stability analysis and the sloping period were carried out on 3 conditions, it was obtained were stable and return moment was relatively fast in the upright position, with the lowest dipping period in loadcase 1 with a T of 3,8264 seconds, thus the analysis carried out still fulfills the safe requirements of the Modular Approach submarine leaning pontoon based on High Density Polyethylene.

**Keywords:** FEM method, Pontoon, Stability, Submarine Operationals, Stress/ Strain.

## Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan yang dua pertiga luas wilayahnya adalah laut, dan merupakan salah satu negara maritim terbesar di dunia yang strategis karena berada pada posisi silang diantara Benua Asia dan Australia serta diantara Samudra Pasific dan Samudra Hindia. Dalam perspektif pertahanan dan keamanan, kondisi ini membuka peluang datangnya ancaman dari berbagai arah khususnya corong-corong strategis (*choke points control*) yaitu pada alur pelayaran: *Sea Lines of Communication* (SLOC) dan *Sea Lines of Trade* (SLOT) sebagai urat nadi kehidupan banyak negara di dunia, termasuk juga bagi negara Indonesia sendiri. Dengan banyak struktur ekonomi negara di kawasan Asia Timur berorientasi kepada bidang ekspor dan impor, maka ketergantungan pada keberadaan SLOC/ SLOT pengaruhnya

sangat penting<sup>4</sup>, maka dari itu media laut merupakan *center of gravity* dari pertahanan Indonesia yang harus dijaga secara utuh sehingga diperlukan KRI sebagai sarana pertahanan di wilayah perairan Indonesia yang lebih efektif menggunakan KRI sejenis Kapal Selam<sup>5</sup>.

Saat ini Indonesia memiliki hanya 2 Kapal Selam (KRI Cakra dan KRI Nanggala) yang mampu dioperasikan untuk menjaga seluruh corong strategis, untuk dapat melaksanakan operasi secara efektif kapal selam membutuhkan dukungan logistik dan dukungan dermaga sandar di wilayah-wilayah yang dekat dengan daerah operasinya. Namun pada kenyataannya kapal selam harus kembali ke *Home Base* untuk melakukan

---

<sup>4</sup> Kementerian Pertahanan Republik Indonesia. (2015). Buku Putih Pertahanan Indonesia, Jakarta.

<sup>5</sup> Mabesal. (1989). "Buku Petunjuk Tempur tentang Peperangan Kapal Selam", Surat Keputusan nomor Skep/4176/IX/1989 tanggal 30 September 1989

bekal ulang (bekul) logistik dan sandar di pangkalan induk kapal selam Surabaya<sup>6</sup>. Hal ini mengakibatkan terjadinya kekosongan di daerah operasi yang dapat merugikan sistem pertahanan Indonesia, dalam mendukung hal tersebut perlu adanya sarana dan prasarana yang terencana dan optimal, guna mendukung tupoksi TNI AL, dibutuhkan dermaga sekitar wilayah operasi yang dapat digunakan untuk sandar kapal selam<sup>7</sup>.

Dalam proses kapal selam melaksanakan sandar memerlukan ponton sebagai media sandar sebagai faktor utama dalam mempertimbangkan pergerakan kapal selam karena karakteristik badan kapal saat melakukan manuver di dermaga diperlukan penahan lambung untuk menjaga kondisi aman pada peralatan navigasi kapal selam terhadap benturan yang mengakibatkan kerusakan, sehingga sangat diperlukan fasilitas sandar dalam bentuk ponton untuk membatasi antara kapal selam dan dermaga permanen.

---

<sup>6</sup> Faslanal Mabasal. (2017). "Studi Kelayakan Pembangunan Bunker Dermaga Kapal Selam (Multi Years), tahun 2017

<sup>7</sup> Kementerian Perhubungan RI. (2016). "Perubahan atas Permen No PM Tahun 2015 tentang Penyelenggaraan Pelabuhan Laut" Permenhub RI No. PM 146 tahun 2016.

Berbagai jenis ponton yang dimiliki TNI AL saat ini sangat terbatas, baik aspek material maupun dimensinya yang sangat memerlukan perhatian yang lebih dalam perawatan serta pemeliharaan, hahan yang digunakan bahan beton dan bahan baja, diantaranya sebagai berikut:

- a. Dermaga ponton bahan baja meskipun mudah dalam pembuatan, namun masih perlu perawatan khusus karena bahan yang mudah berkarat, konstruksi ponton baja terdiri atas gading dan plat memanjang untuk memperoleh kekuatan menyebabkan bobot yang besar dan tidak mudah melakukan pergeseran atau pendistribusian pada ponton tersebut<sup>8</sup>.
- b. Dermaga ponton bahan beton banyak faktor yang mempengaruhi diantaranya kekuatan tarik rendah meskipun kekuatan tekan besar, beton cenderung mudah retak karena pergerakannya dinamis, serta bagian tulangan besi yang mudah berkarat, mobilitas rendah karena struktur beton yang besar dan berat, tidak

---

<sup>8</sup> Bagus Wicaksono,. (2017). "Analisis perbandingan Kapal pengangkut Ikan (Fish Carrier) dari HDPE, Fiber dan Baja".FTK ITS. Tahun 2017

dapat didaur ulang menjadi tidak ekonomis<sup>9</sup>.

Sehingga dari permasalahan ponton yang dimiliki TNI AL memungkinkan perencanaan bahan alternatif maka dapat dilakukan konsep desain dermaga ponton berbahan HDPE yang memiliki daya apung *Buoyancy* tinggi, permukaan bahan dalam penyerapan atau *absorpsi* yang rendah, HDPE ini merupakan jenis polimer dengan kerapatan tinggi, bersifat fleksibel, tahan terhadap benturan, tahan terhadap suhu rendah, bahkan tahan terhadap suhu air beku serta tahan terhadap suhu ekstrem<sup>10</sup>, dapat didaur ulang dan waktu pemakaian yang lama sehingga didapat suatu perencanaan yang optimal.

Berbagai dermaga HDPE saat ini yang ada pada umumnya di desain untuk dermaga perintis, dermaga kecil sampai menengah mendukung jenis kapal-kapal kapal ringan, kapal pesiar dan kapal ikan

kemampuan terbatas<sup>11</sup>, belum ada dikembangkan HDPE untuk dermaga kapal selam, sehingga penelitian ini melihat tantangan dan permasalahan yang ada mencoba menyajikan sebuah konsep desain dilaksanakan untuk meneliti dermaga ponton kapal selam dengan pendekatan modular berbahan HDPE untuk mendukung operasi kapal selam, karena beberapa keunggulan yang dimiliki ponton dengan pendekatan modular memiliki dimensi dan bentuk yang sederhana mudah pembuatan dan bongkar pasang serta dinamis dapat dipindahkan atau digeser yang memungkinkan dilakukan untuk keperluan operasi diseluruh wilayah Indonesia pada umumnya dan pangkalan-pangkalan TNI AL khususnya.

## Metode Penelitian

Metodologi yang digunakan pada penelitian ini kuantitatif terukur langsung sehingga pada metode ini dilakukan dengan menganalisa desain dermaga ponton HDPE diperlukan tahap preliminary desain dan tahap rencana

---

<sup>9</sup> Andy Ericson, Firdaus Chaeruddin. (2015). "Perencanaan Dermaga Apung Akkarena", tahun 2015

<sup>10</sup> Sulistiyoso G.S., Sudirman, Devi Indah Anwar, Lukitwati F. dan Basril Abbas (2015). Sifat Fisis dan Mekanis Komposit HDPE-Hydroxyapatite (HAp) dengan teknik Iridasi Gamma, Jurnal Kimia dan Kemasan, Vol.37, 1April 2015 hal 53-60

---

<sup>11</sup> Prio Sasongko dan Abdul Ghofur (2012) "Uji Hidrodinamika Desain Dermaga Apung Modular Sebagai Teknologi Alternatif Dalam Membangun Dermaga Perintis Di Indonesia Bagian Timur, Jurnal UPT-BPPH BPP Teknologi, No.0137, Nopember 2012; hal 42-45.

umum ponton, sehingga ukuran ponton yang akan diperlukan dalam proses tahap konsep desain mengarah pada Kebutuhan dan Operasional Kapal Selam.

### Process Engineering Sistem

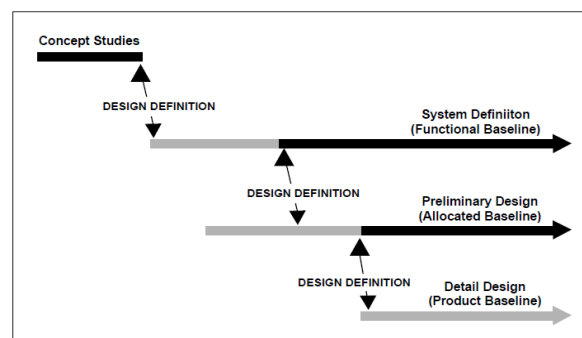
Process engineering system (Proses rekayasa sistem) adalah *top-down* masalah yang komprehensif, berulang dan rekursif (proses memanggil dirinya sendiri) hingga proses penyelesaian, diterapkan secara berurutan melalui semua fase pengembangan, diantaranya untuk:

1. Mengubah kebutuhan dan persyaratan menjadi satu set deskripsi produk dan proses sistem (memiliki nilai dan lebih detail dengan setiap tingkat pengembangan),
2. Menghasilkan informasi dalam menentukan keputusan,
3. Memberikan saran masukan kepada penentu kebijakan untuk tingkat pengembangan selanjutnya.

Tahapan Sistem yang mendasari kegiatan engineering adalah Kebutuhan Analisis, Fungsi Analisis dan Alokasi, serta Sintesis Desain yang berhubungan dengan teknik dan alat yang secara kolektif disebut Analisis dan Kontrol Sistem. Kontrol rekayasa sistem digunakan untuk alur keputusan dan

persyaratan, pemeliharaan teknis *baseline*, mengelola antarmuka, mengelola risiko, alur biaya dan jadwal, melacak kinerja teknis, verifikasi persyaratan kebutuhan terpenuhi, dan tinjau/ audit kemajuan kegiatan.

Selama rangkaian pada proses engineering sistem hasil yang didapat untuk menggambarkan dan memahami dengan lebih baik dari konsep desain sistem yang digunakan dalam berbagai konteks di bidang teknik pada umumnya. Di jelaskan pada gambar 1, sebagai penggabungan beberapa sub sistem hingga terbentuk menjadi sistem yang merupakan deskripsi terperinci tentang tahapan sistem: yaitu *Concept study*, *System Definition*, *preliminary Design* dan *Detail Design* pada proses sampai dengan uji pada simulasi pemodelan menggunakan *software*<sup>12</sup>. (*Defense Acquisition University Press Fort Belvoir, 2001*)



<sup>12</sup> Defense Acquisition University Press Fort Belvoir. (2001). *Systems Engineering Fundamentals*, Virginia 22060-5565.

**Gambar 1.** Fase Pengembangan Proses Engineering Sistem.

Sumber: *Defense Acquisition University Press Fort Belvoir, 2001*

Dari pejabaran teori *process engineering system* diatas dapat di lakukan untuk mendukung konsep desain ditentukan tahapan-tahapan yang mendukung aspek sistem sebagai berikut:

**1. Concept study**

Sebagai *concept study* yaitu Kapal Selam yang dimiliki Indonesia merupakan KRI yang memiliki tugas khusus dalam melaksanakan operasi pertahanan negara dimana diperlukan kemampuan pengintaian dan penghancuran dalam konsep operasinya sehingga diperlukan dermaga yang dilengkapi ponton untuk sandar apabila kapal selam melaksanakan operasi diwilayah yang jauh dari pangkalan induk maka pangkalan operasional sangat dibutuhkan, dari hal tersebut diperlukan *concept study* yang mengarah kepada segala teori-teori maupun konsep-konsep serta pengembangan-pengembangan sebagai pendukung pelaksanaan konsep desain dermaga ponton sandar kapal selam berbasis *modular approach* berbahan HDPE yang akan dilaksanakan diantaranya :

- a. Strategi Pertahanan Laut Nusantara (SPLN),
- b. Konsep Operasi Kapal Selam,
- c. Sistem Senjata Armada Terpadu Fungsi Pangkalan,
- d. Sistem Pemeliharaan Ponton,
- e. Proses Engineering System,
- f. Teory Finite Element Method (FEM)
- g. Karakteristik Badan Kapal Selam.

Dari teori-teori yang disajikan dapat memberikan keterkaitan satu dengan yang lainnya untuk konsep study mendukung konsep desain sehingga dapat tersusun dengan arah dan penyelesaian secara terstruktur.

**2. System Definition**

System Definition didasarkan pada penggambaran fisik dari system yang ditunjukkan bagaimana permasalahan system yang dapat diselesaikan kedalam subsistem dan komponen sehingga dalam system mengidentifikasi semua hasil termasuk didalamnya fungsi struktur maupun performa yang diperlukan untuk mendukung konsep desain dan implikasinya, proses yang diperlukan dalam pengembangan konsep, konstruksi, distribusi, pengoperasian, dukungan,

penghapusan, pelatihan, dan verifikasi<sup>13</sup>. Diperlukan langkah langkah dari *proses engineering system* pada *system definisi* melalui analisis input proses hingga output proses. Maka diperlukan Analisa Kebutuhan digunakan untuk mengembangkan fungsional dan kinerja sebagai persyaratan yang diperlukan untuk menentukan apa yang harus dilakukan sistem dan seberapa baik kinerjanya<sup>14</sup>.

Kebutuhan fungsional merupakan kebutuhan yang berisi tahapan proses apa saja/ layanan apa saja yang nantinya harus disediakan oleh sistem, mencakup bagaimana sistem harus bereaksi pada input tertentu dan bagaimana perilaku sistem pada situasi tertentu. Kebutuhan fungsional sangat bergantung dari jenis perangkat lunak, pengguna sistem, dan jenis sistem. Perangkat lunak tersebut digunakan secara mendetail sehingga sistem definisi diatas mengarah kepada kebutuhan utama dalam desain ponton untuk fungsional maupun kinerja yang diperoleh pada hasil akhir konsep desain, sehingga diperlukan juga *software* yang dapat mendukung proses dari desain

---

<sup>13</sup> Fred Nickols, (2016). *STRATEGY: DEFINITIONS AND MEANINGS*. Tahun 2016

<sup>14</sup> Defense Acquisition University Press Fort Belvoir. (2001). *Sistems Engineering Fundamentals.*, Virginia 22060-5565.

dalam bentuk model konstruksi dilengkapi simulasi.

### 3. *Preliminary Design*

Preliminary design adalah perhitungan desain ponton yang secara teori bangunan kapal (*naval architect*) untuk menentukan dan pengecekan terhadap ukuran utama ponton apakah sudah dapat memenuhi "*design condition*"<sup>15</sup> atau rasio-rasio yang ada terutama yang berkaitan dengan kemampuan kapal dalam kesesuaian bentuk, kesetabilan, dan olah gerak kapal.

Hal tersebut diatas sebagai lingkup *preliminary design* yang dilaksanakan untuk konsep desain dibutuhkan juga perhitungan dan gambar dalam menentukan parameter desain yang diantaranya:

- a. Karakteristik kapal selam.
- b. Spesifikasi teknis data ukuran desanl sebagai acuan perancangan
- c. Data ukuran utama perancangan
- d. Sistem pendukung desain.

Kebutuhan tersebut diatas dapat dijadikan bagian dari suatu konsep

---

<sup>15</sup> Santanelli, Mario, FC. Santarelli, (1982), *PRELIMINARRY DETERMINATION OF MAIN CHARACTERISTIC OF FISHING VESSEL*, Lecture Notes for sixth Wegemt School, Fishing Vessel Technology, Politechnical University of Madrid, May, 1982.

desain sebagai proses perancangan ponton sandar kapal selam secara keseluruhan.

Tahap awal diperlukan dalam merancang ponton sandar kapal selam berbahan HDPE tidak terlepas dari data ponton yang telah dirancang sebagai referensi untuk dijadikan pertimbangan data ukuran utama.

#### 4. Detail Design

Pada proses Detail Desain dapat dilakukan lanjutan sebagai penjabaran desain untuk produk atau sistem. Fisik deskripsi sistem dapat berubah namun sebagai hasilnya pengujian yang akan mengikuti diperlukan bentuk dasar untuk pembuatan awal dan pemodelan simulasi, Jika sistem telah dirancang maka proses ini sebagai detail desain. Komponen dan subsistem dibuat terintegrasi dan diuji dalam pendekatan *bottom-up* hingga model simulasi pada proses rekayasanya dengan menggunakan software.

Desain rencana umum (*General Arrangement*) merupakan suatu penggambaran sebuah aspek utama dalam merencanakan sebuah struktur komponen yang akan direncanakan dalam bentuk gambar detail. Visualisasi bentuk gambar menampilkan tampak

atas, tampak samping, tampak depan, dan tampak belakang. Desain *General Arrangement* juga mempertimbangkan kesesuaian rencana garis yang telah dikembangkan, kesesuaian ukuran yang dibutuhkan. Sehingga komponen tersebut secara visual dapat dirinci diantaranya:

- a. Perspective General Arrangement,
- b. Konstruksi
- c. Detail,
- d. Sistem.

Hasil *General Arrangement* ini memberikan data yang diperlukan dalam bentuk rancang gambar 2D/ 3D sehingga menunjukkan konsep dari detail desain.

Metode Selanjutnya dapat didukung pemodelan simulasi pengujian dengan menggunakan Finite Elemen Method (FEM) untuk menganalisis pada kekuatan struktur pada tegangan dan regangan struktur ponton.

*Finite Element Method* (Metode Elemen Hingga) adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan matematis dari suatu gejala phisis<sup>16</sup>.

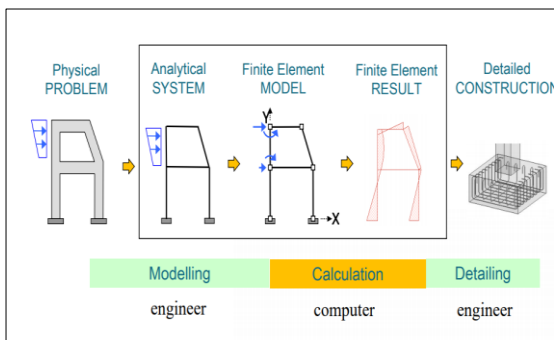
---

<sup>16</sup> Brandenburg, Jenna ed al. (2012). *First edition, Analysis of Numerical Differential Equations and Finite Element Method*. College Publishing House. Delhi. 2012.



Ditinjau pada tipe masalah teknis dan matematis phisis yang dapat diselesaikan dengan metode element hingga terbagi dalam dua bagian, yaitu analisa untuk struktur dan bagian-bagian dari strukturnya. FEM dapat menjelaskan tahapan proses analisis elemen hingga pada masalah fisik melibatkan struktur aktual atau komponen struktural yang mengalami beban tertentu sebagai idealisasinya pemecahan masalah fisik ke dalam model matematika. membutuhkan asumsi tertentu yang bersama-sama diperlukan persamaan diferensial yang mengatur model matematika.

Proses perhitungan FEM dapat menyelesaikan sistem yang kompleks, meskipun banyak elemen yang menyusun pada komponen, atau jika elemen-elemen bentuk yang lebih rumit, sehingga masalah akan menjadi mustahil untuk diselesaikan tanpa pemrograman computer perhitungan yang sangat kompleks.



**Gambar 2.** FEM Alogaritma  
 Sumber : Brandenburg, Jenna. and Clemmons, Lashaun. 2012

Penerapan Metode Elemen Hingga untuk aplikasi praktisnya dalam Analisis Elemen Hingga, menggunakan program komputer. Dengan mensimulasikan algoritma FEM, cukup beragam pilihan yang tidak akan dapat dikelola jika dilakukan dengan manual. dapat dilihat gambar 2, FEM Algoritma<sup>17</sup>.

Komputer melakukan bagian analisis yang paling sulit secara teknis, dan analisis lainnya diselesaikan manual. Saat menggunakan program komputer, aksennya adalah pemodelan struktur dan juga simulasi, namun perincian setelah mendapatkan hasil perhitungan harus didukung dengan aspek teoritis<sup>18</sup>, tertentu antara lain:

- a. Konstruksi (statika, dinamika, stabilitas)
- b. Propertis Material (beton, baja, kayu, dll.)
- c. Karakteristik sistem struktural tertentu (beton bertulang, elemen pratekan, struktur komposit, struktur pasangan bata, dll.)

<sup>17</sup> Brandenburg, Jenna. and Clemmons, Lashaun (2012). *First edition, Analysis of Numerical Differential Equations and Finite Element Method.* College Publishing House. Delhi. 2012

<sup>18</sup> Zorica Milovanović Jeknić, Belgrade. (2019) *“FINITE ELEMENT METHOD”*, Univerzitet Union Nikola Tesla, Fakultet za Graditeljski menadžment

- d. Distribusi beban (gempa bumi, angin, beban fluida di reservoir, dll.)
- e. Algoritma dalam analisis non-linear dan dinamis tertentu.

Hal tersebut diatas dalam menjawab penyelesaian desain ponton yang merupakan sebuah konstruksi yang memiliki bentuk simetris melalui proses perencanaan general arrangement, dengan didukung propertis material dari beberapa jenis bahan yang memiliki karakteristik struktur tertentu perpaduan logam dan polimer sehingga diperoleh kemampuan distribusi beban yang dapat terapung karena memiliki boyency sehingga dapat diproyeksikan untuk dapat mendukung konsep desain dermaga ponton berbasis *modular Approach* yang bisa dibongkar pasang untuk memudahkan dalam pendistribusian, dengan tahapan akhir pengujian kekuatan struktur (regangan dan tegangan) menggunakan *software* untuk melengkapi analisis konsep desain.

Tahapan FEM sebagai langkah-langkah untuk pelaksanaan penentuan dari pengujian kekuatan struktur diterapkan pada program computer untuk penelitian ini menggunakan *software* AutoCAD 2018, Autodesk

*Inventor 2018* dan *Maxsurf 20..*, dengan tiga langkah dalam FEM<sup>19</sup> meliputi:

- a. Pra-pemrosesan sebagai deskripsi masalah yang diberikan dengan pembuatan mesh awal.
- b. Pembagian model yang kontinyu dibagi-bagi (didiskritisasi) menjadi elemen-elemen dalam jumlah tertentu<sup>20</sup>, solusi masalah diskritisasi, estimasi kesalahan, perbaikan mesh
- c. Pasca proses hasil yang diperoleh, presentasi grafis.

Pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode kuantitatif terukur langsung dengan desain penelitian menggunakan konsep studi dari berbagai teori diantaranya pertahanan dengan segala aspek yang didukung tahapan proses teknologi, serta diperlukan spesifikasi teknis yang menentukan dimensi ponton yang menjadi pokok desain sebagai titik tolak untuk memulai suatu proses perancangan

Desain ponton menggunakan pendekatan modular maka dibutuhkan analisis dan pengujian menggunakan

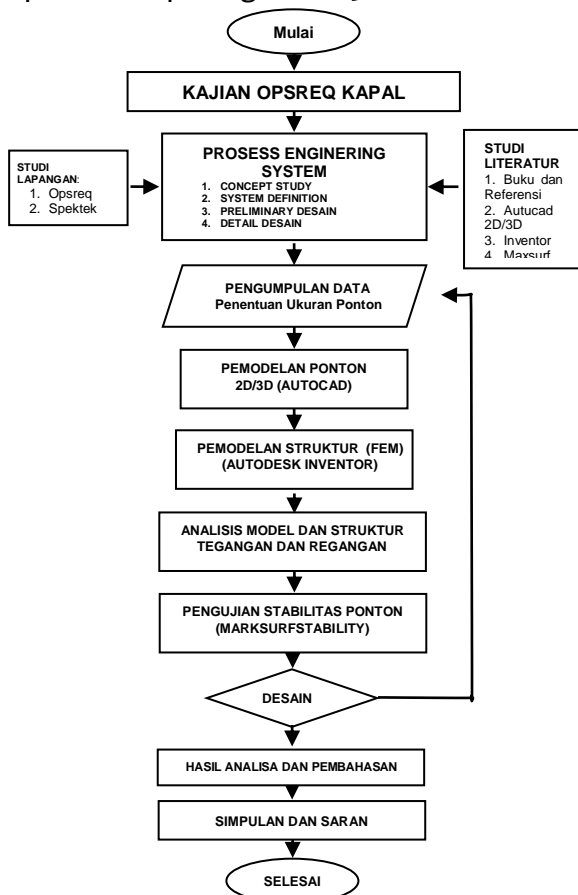
---

<sup>19</sup> Zorica Milovanović Jeknić, Belgrade. (2019) "FINITE ELEMENT METHOD", *Univerzitet Union Nikola Tesla, Fakultet za Graditeljski menadžment. tahun 2019*

<sup>20</sup> Abdur Rosyid D dan Setyawan D. (2012). *Kekuatan Struktur Kapal*, Surabaya Pradya Paramita Jakarta, PT, hal 11-98

Software untuk stabilitas dan kekuatan struktur dengan pendekatan Software AutoCAD 2018, Autodesk Inventor 2018 dan Maxsurf 20.

[Untuk melengkapi proses dalam penelitian untuk metode pada konsep diperlukan kerangka fikir untuk menyusun konsep desain penelitian dapat dilihat pada gambar 3.



**Gambar 3.** Kerangka pikir Peneliti  
Sumber: Diolah oleh peneliti, 2019

### Hasil dan Pembahasan

Dalam mengawali konsep desain diperlukan beberapa data yang akan melengkapi pelaksanaan dan perancangan dimana tahapan konsep

desain mengacu pada Fase Pengembangan Proses Engineering System dan pengujian simulasi model dengan *Finit Element Method* (FEM) sehingga didapat hasil pembahasan sebagai berikut:

### Proses Engineering System

Proses tahapan diantaranya Concept Study, Sistem Definisi, Preliminary Desain dan Detail Desain secara sitematis dijelaskan :

#### Concept Study

Mendukung konsep untuk memberi arah tentang hal-hal yang dihadapkan pada operasional dan Requirement (opsreq) bagian dari system engineering process dengan teori-teori pendukung.

#### Sistem Definisi

Dalam menunjang proses engineering sistem mendefinisikan ponton yang akan direncanakan dengan pendekatan modular dan memiliki kemampuan daya apung *Buoyancy* tinggi, permukaan bahan dengan daya peyerapan atau absorpsi yang rendah, tahan terhadap suhu ekstrem, pemakaian dengan waktu lama dan tidak memerlukan lapisan anti karat maupun anti fouling, sehingga didapat suatu

perencanaan yang optimal untuk diperlukan kapal selam sandar.

### Preliminary Desain

Perencanaan ponton sandar kapal selam berbahan HDPE yaitu diperlukan data karakteristik kapal selam sebagai pertimbangan penempatan posisi ponton terhadap kapal selam yang sandar serta didukung ukuran ponton.

Data kapal selam:

1. Panjang ( $L_{oa}$ ) : 59,90 m
2. Lebar Hull (B) : 6,20 m
3. Displacemen,  $W(\Delta)$  : 1400 ton
4. Draft kapal (d) : 5,5 m

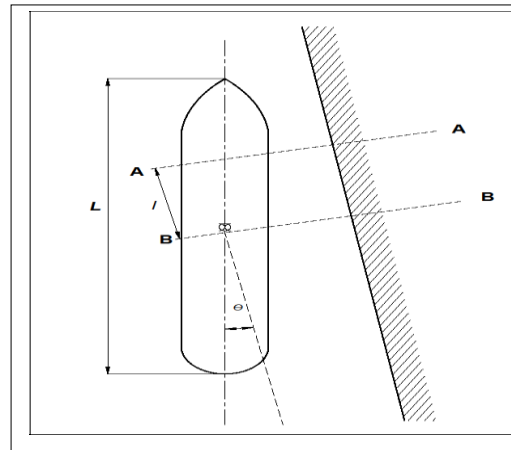
Data asumsi untuk gaya yang terjadi:

1. Kecepatan sandar ( $V_o$ ) : 0,15 m/s
2. Kecepatan angin max ( $V_w$ ): 15 m/s
3. Kecepatan arus ( $V_s$ ) : 1,0 m/s
4. berat jenis AL ( $\gamma_o$ ) : 1,025~1,03 ton/m<sup>3</sup>
5. Sudut Sandar ( $\theta$ ) : 10°
6. Kecepatan merapat kapa : 0,15 m/s

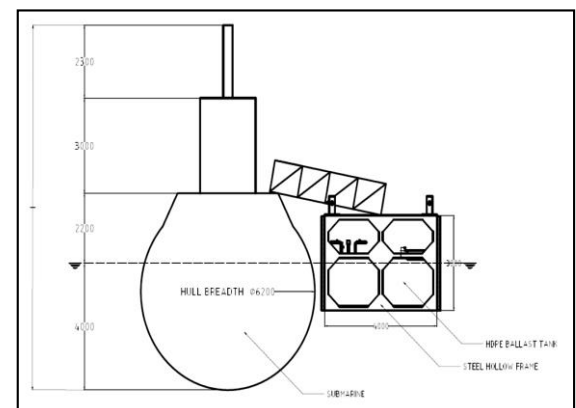
Perhitungan ukuran utama ponton HDPE diperlukan asumsi- asumsi dalam menentukan panjang ponton dengan  $\frac{1}{3}$  panjang kapal untuk dolphin maka nilai  $l$  untuk Dolphin pada gambar 5, adalah :

Titik sandar kapal<sup>21</sup>;

- Dermaga :  $l = \frac{1}{4} \cdot L_{pp}$
  - Dolpin :  $l = \frac{1}{3} \cdot L_{pp}$
- ( $L_{pp} = 0,852 (L_{oa})^{1,0201}$ )



**Gambar 5.** Jarak Midship dan Titik Sandar  
Sumber : Triatmojo B, Buku Perencanaan Pelabuhan, 2010



**Gambar 4.** Kedudukan sandar Ponton  
Sumber: Diolah oleh peneliti 2019

Dari perhitungan dan asumsi didapat data spesifikasi teknis ponton HDPE untuk perancangan pada tabel 1, sebagai berikut:

**Tabel 1.** Daftar Data Ukuran Ponton

<sup>21</sup> Triatmojo B, cetakan pertama. (2010) dan cetakan VI. (2017), Perencanaan Pelabuhan, Yogyakarta, Beta Ofset, hal 197-258

No	Data/ Ponton(m)	Ponton(m)			
	Ukuran	I	II	III	Konsep
1	Material HDPE+Baja	Baja	Baja	Baja	Material
2	Panjang	12	14,5	18	18
3	Lebar	2,5	3,0	4,0	4,0
4	Lebar	2,5	3,0	3,0	4,0
5	Draft	2,0	2,0	1,7	1,7

Sumber: Diolah oleh peneliti, 2019

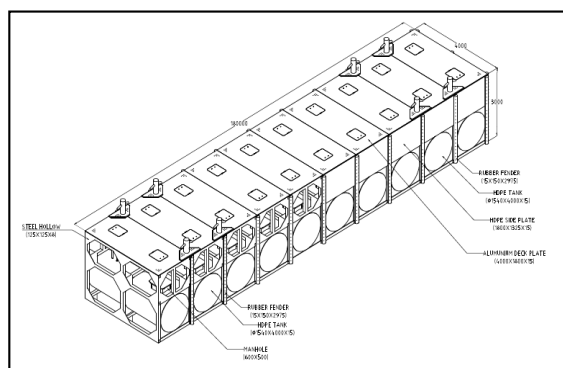
### Detail Desain

Detail desain memvisualisasi desain dari rencana umum dalam bentuk gambar ponton menampilkan tampak atas, tampak samping, tampak depan, dan tampak belakang ponton. Desain *General Arrangement* dengan pertimbangan kesesuaian rencana garis yang telah dikembangkan pada konsep desain dermaga ponton sandar kapal selam berbasis modullar Approach berbahan HDPE dapat digambarkan komponen ponton secara visual dirinci diantaranya:

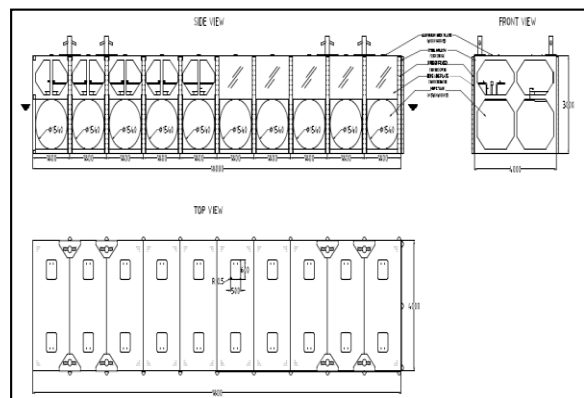
1. General Arrangement Ponton HDPE,
2. Frame Ponton,
3. Tangki HDPE,
4. Sistem Perpipaan Ponton.

Maka dari beberapa komponen diatas dapat dilakukan dengan pemodelan dimana dimaksudkan suatu cara untuk membuktikan perhitungan

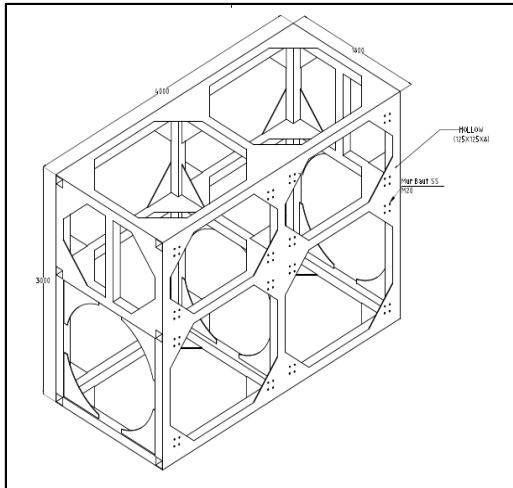
yang dapat dijelaskan dengan pemrograman dengan tujuan dapat menggambarkan seperti bentuk aslinya seperti bentuk rancang gambar 2D/ 3D dengan menggunakan software Autocad 2018 dalam bentuk perspektif *General Arrangement* ponton dan modular ponton dilihat pada gambar 6, 7, 8, 9 dan 10 sebagai berikut:



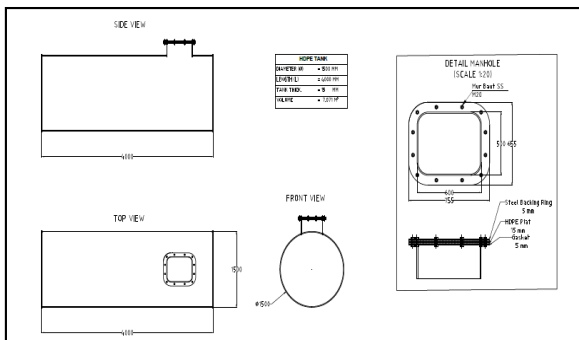
**Gambar 6.** Perspective 3D Ponton HDPE  
Sumber: Diolah oleh peneliti, 2019



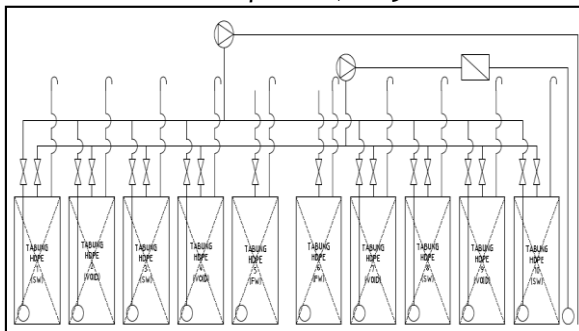
**Gambar 7.** 2D Ponton HDPE  
Sumber: Diolah oleh peneliti 2019



**Gambar 8.** Perspective 3D Modular Frame  
 Sumber: Diolah oleh peneliti, 2019



**Gambar 9.** Tanki ponton 2D  
 Sumber: Diolah oleh peneliti, 2019



**Gambar 10.** Sistem Ponton HDPE  
 Sumber: Diolah oleh peneliti, 2019

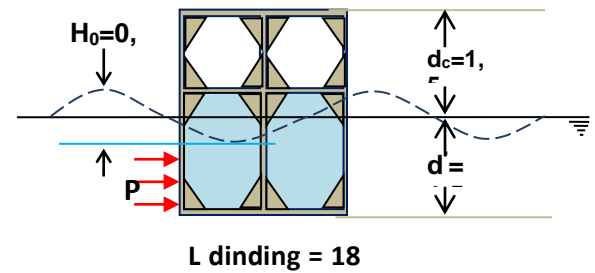
Dalam proses finite element method untuk mendapatkan Analisis model untuk struktur kekuatan diperlukan pengujian tegangan dan regangan menggunakan pemrograman software Autodesk Inventor 2018,

sedangkan pengujian Stabilitas untuk melengkapi konsep desain menggunakan pemrograman Maxsurf 20. Sehingga dapat dilaksanakan analisis data sebagai berikut:

### Analisis Gaya pada Ponton

Proses perhitungan gaya yang bekerja pada ponton dipengaruhi gaya diantaranya Gaya Gelombang, Energi Benturan dan Gaya Tambat ponton<sup>22</sup>:

$$p = \left(\frac{1}{2}(p_1 + p_3)d' + \frac{1}{2}(p_1 + p_4)d_c^*\right) / (d_c + d')$$



**Gambar 11.** Gaya gelombang  
 Sumber: Diolah oleh peneliti, 2019

### Gaya gelombang,

Panjang dan Tinggi gelombang diasumsikan:

$$H_{\frac{1}{3}} \approx H'_{\frac{1}{3}} \approx H_0 = 0,4 \text{ m}$$

Pada Periode gelombang maximum memiliki periode gelombang yang signifikan nilai  $H_{\text{max}}$  adalah:

$$H_{\text{max}} \approx 1,8 \times H_{\frac{1}{3}} = 1,8 \times 0,4 \text{ m} = 0,72 \text{ m}$$

<sup>22</sup> Triatmojo B, cetakan pertama. (2010) dan cetakan VI. (2017), Perencanaan Pelabuhan, Yogyakarta, Beta Ofset, hal 191-196

Ditentukan tekanan maksimum terjadi pada tinggi elevasi muka air pada permukaan dinding ponton untuk  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$ , dan  $p_4$  didapat perhitungan

$$\begin{aligned} p_1 &= \gamma_o \times H_{\max} \\ &= 1,03 \text{ ton/m}^3 \times 0,72 \text{ m} \\ &= 0,742 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$p_2 = p_3 = p_1$$

$$p_4 = \begin{cases} p_1 \cdot (1 - d_c / H_{\max}) \rightarrow H_{\max} \approx \eta^* > d_c \\ 0,00 \rightarrow H_{\max} \approx \eta^* \leq d_c \end{cases}$$

$$d_c = 1,5 \text{ m}$$

ditentukan  $p_4$  karena  $d_c > H_{\max}$ , maka  $p_4=0$ , sehingga tekanan gelombang keseluruhan didapat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \eta^* &= H_{\max} \\ d_c^* &= \min\{\eta^*, d_c\} \\ &= \min\{0,72 ; 1,5\} \rightarrow d_c^* = 0,72 \text{ m} \end{aligned}$$

$$p_4 = p_1 \left(1 - \frac{d_c}{\eta^*}\right) = 0,742 \left(1 - \frac{0,72}{0,72}\right) = 0$$

Maka hasil tekanan gelombang ( $p$ ):

$$p = \left(\frac{1}{2}(p_1 + p_3)d' + \frac{1}{2}(p_1 + p_4)d_c^*\right) / (d_c + d')$$

$$\text{Didapat } p = 0,459 \text{ t/m}$$

Untuk Momen gelombang ( $q$ ) terhadap tinggi ponton,

$$q = p(d_c + d') = 1,379 \text{ t}$$

Gaya Gelombang ( $P$ ) yang menghantam permukaan dinding vertikal dengan panjang  $L$  dinding ponton 18 m terlihat pada gambar 11. diperoleh:

$$\begin{aligned} P = qL &= 1,379 \times 18 \\ &= 24,822 \text{ tnf} \quad (1 \text{ tnf} = 1000 \text{ kgf}) \end{aligned}$$

$$= 24.822 \text{ kgf}$$

### Gaya Sandar (Energi benturan),

Gaya benturan bekerja secara horisontal maka dihitung berdasarkan Energi Benturan<sup>23</sup> sebagai berikut:

$$E = \frac{W \cdot V^2 \cdot C_m \cdot C_e \cdot C_s \cdot C_c}{2g}$$

Menghitung panjang garis air dengan persamaan (kapal tanker)

$$\begin{aligned} L_{pp} &= 0,852 L_{OA}^{1,0201} \\ &= 0,852 \times (59,90)^{1,0201} = 55,41 \text{ m} \end{aligned}$$

Komponen kecepatan merapat dalam arah tekak lurus dermaga:

$$\begin{aligned} V &= V_o \cdot \sin \theta^\circ \\ &= 0,15 \cdot \sin 10^\circ = 0,026 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Koefisien blok kapal Nilai  $C_b$

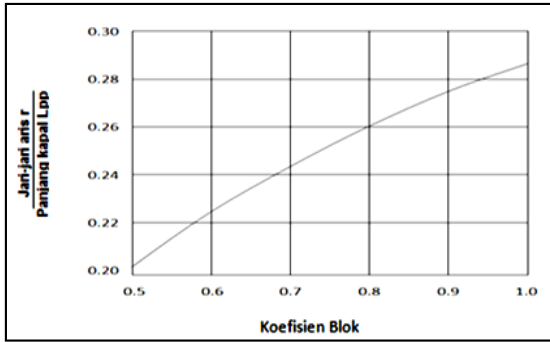
$$\begin{aligned} C_b &= \frac{W}{L_{pp} \cdot B \cdot d \cdot \gamma_o} \\ &= 1400 / (55,41 \times 6,20 \times 5,5 \times 1,025) \\ &= 0,723 \end{aligned}$$

Koefisien masa  $C_m$ ,

$$\begin{aligned} C_m &= 1 + \frac{\pi d}{2 C_b B} \\ &= 1 + ((3,14 \times 5,5) / 2 \times 0,723 \times 6,2) \\ &= 2,926 \end{aligned}$$

Koefisien eksentrisitas  $C_e$  diperoleh dengan gambar 12, dengan grafik koefisien blok  $C_b= 0,723$  didapat rasio  $r/L = 0,246$ , sehingga dapat di perhitungan  $r = 0,246 \times 59,90 = 14,73 \text{ m}$

<sup>23</sup> Triatmojo B, cetakan pertama. (2010) dan cetakan VI. (2017), Perencanaan Pelabuhan, Yogyakarta, Beta Offset, hal 213-228



**Gambar 12.** Jari-jari putaran sekeliling pusat berat kapal.

Sumber : Triatmojo B, Buku Perencanaan Pelabuhan, 2010

Selanjutnya diperlukan titik kontak pertama antara kapal dan dermaga berada pada  $\frac{1}{4}$  panjang kapal gambar 5 :

$$l = \frac{1}{4} L_{OA} = \frac{1}{4} (59,90) = 14,97 \text{ m}$$

Sehingga koefisien eksentrisitas

$C_c$  didapat sebagai berikut:

$$C_e = \frac{1}{1 + (l/r)^2} = \frac{1}{1 + (14,97/14,73)^2} = 0,491$$

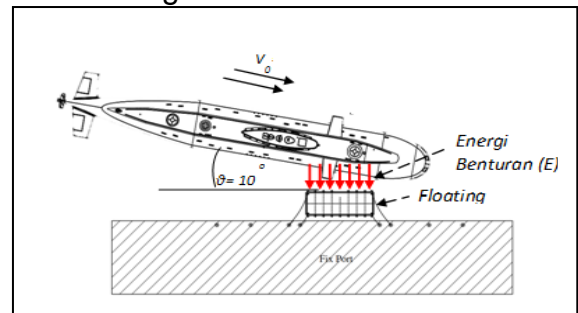
$C_e$  adalah faktor untuk menghitung gaya lateral memanjang yang tergantung kedalaman air, maka nilai faktor melintang sebagai berikut :

- Di air dalam nilai  $C_c = 1,0 - 1,5$
- Draft kpl/ kedalaman = 2 nilai  $C_c = 2,0$
- Draft kpl kedalaman = 1,5 nilai  $C_c = 3,0$
- Draft kpl kedalaman = 1,1 nilai  $C_c = 5,0$
- Draft kpl kedalaman = 1 nilai  $C_c = 6,0$

Nilai Faktor memanjang bervariasi dari 0,2 untuk laut dalam dan 0,6 untuk perbandingan antara kedalaman air dan draft kapal mendekati 1,0.

Maka, Koefisien kekerasan dapat diasumsikan nilainya  $C_s = 1.0$  dan untuk koefisien tekanan arus  $C_c$  tergantung dari bentuk kapal dan kedalaman air didepan tambatan yang mana nilainya dapat dilihat pada faktor untuk gaya arus melintang yaitu di air dalam karena draf kapal  $> 2$  maka nilai  $C_c = 1.0$  dari (1.0 – 1.5). Maka, energi benturan (E) dapat dihitung :

$$E = \frac{W \cdot V^2 \cdot C_m \cdot C_e \cdot C_s \cdot C_c}{2g} = \frac{(1400 \cdot (0,026)^2 \cdot 2,2 \cdot 0,491 \cdot 1 \cdot 1)}{2 \times 9,81} = 0,069 \text{ tnf} \quad (1 \text{ tnf} = 1000 \text{ kgf}) = 69 \text{ kgf}$$



**Gambar 13.** Energi Benturan.

Sumber: Triatmojo B, Buku Perencanaan Pelabuhan, 2010

### Gaya Tambat (*mooring forces*),

Pengaruh angin dan arus dimana ponton harus tetap terikat, berikut metode perhitungan tarikan kapal yang terjadi <sup>24</sup>.

1. Gaya akibat angin apabila dilihat dari posisi kapal terhadap ponton dapat dipastikan arah tegak lurus sehingga

<sup>24</sup> Triatmojo B, cetakan pertama. (2010) dan cetakan VI. (2017), Perencanaan Pelabuhan, Yogyakarta, Beta Offset, hal 224-228



dapat dihitung menggunakan gaya lateral dimana angin datang dari arah lebar kapal ( $\alpha = 90^\circ$ ) berikut:

$$R_w = 1,1 Q_a A_w$$

Dimana:  $Q_a = 0,063V^2$

$$= 0,063 \times (15)^2 = 0,063 \times 225$$

$$= 14,175 \text{ kg/m}^2$$

Diasumsikan Luas bidang kapal terkena angin  $A_w = 359,5 \text{ m}$  dengan proyeksi bidang kapal yang tertiuip angin 70% dari luas bidang kapal diberada dipermukaan maka gaya pada kapal adalah:

$$R_w = 1,1 Q_a A_w$$

$$= 1,1 \times 14,175 \times (70\% \times 359,5)$$

$$= 3.923,95 \text{ kgf} \quad (3,924 \text{ tnf})$$

2. Gaya akibat arus bekerja pada bagian kapal yang terendam air yang menyebabkan terjadi gaya pada kapal diteruskan pada alat tambat bollard dan dermaga. Besarnya gaya arus berikut:

$$R_a = C_c \gamma_w A_c \left( \frac{V_c^2}{2g} \right)$$

Dimana:  $\gamma_w = (1,025 - 1,030) \text{ t/m}^3$

Koefisien tekanan arus  $C_c$  diperoleh dari faktor untuk menghitung gaya lateral arus melintang dengan draf  $> 2$  maka faktor gaya di air dalam ditentukan nilai  $C_c = 1,0$

Luas bidang kapal terendam  $A_s = 539,26 \text{ m}$

Kecepatan arus diasumsikan  $V_c = 1,0 \text{ m/s}^2$  Sehingga didapat gaya akibat arus yang bekerja adalah:

$$R_a = C_c \gamma_w A_c \left( \frac{V_c^2}{2g} \right)$$

$$= 1,0 \times 1,025 \times 539,26 (1,0)^2 / (2 \times 9,81)$$

$$= 28.172,54 \text{ kgf} \quad = 28,172 \text{ tnf}$$

R : gaya akibat arus (kgf)

$A_c$ : luas badan kapal terendam air ( $\text{m}^2$ )

$\gamma$  : masa jenis air laut

( $1,025 \text{ t/m}^3 \approx 1025 \text{ kg/m}^3$ )

$V_c$  = Kecepatan arus (m/s)

$C_c$  = Koefisien tekanan arus

Dari seluruh gaya gaya yang bekerja pada konstruksi ponton dapat dijumlahkan total gaya sebagai berikut :

$$\sum F = P + E + R_w + R_a$$

$$= 24.822 + 69 + 3.924 + 28.172$$

$$= 56.994,96 \text{ kgf}$$

Untuk faktor keamanan ditambah 10 % dari nilai total untuk melanjutkan pengujian pada *Software Autodesk Inventor* untuk mendapatkan tegangan maupun regangan (stress dan strain) didapat sehingga nilai keseluruhan :

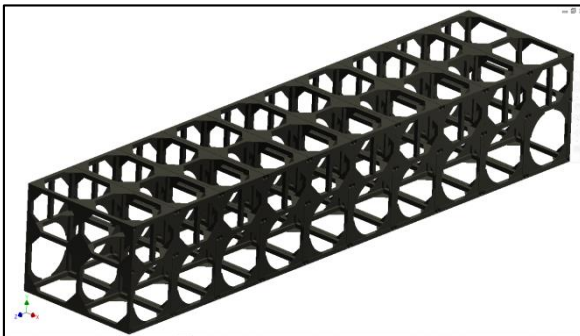
$$\sum F + 10\% = 56.994,96 + 5.699,49$$

$$= 62.694,56 \text{ kgf}$$

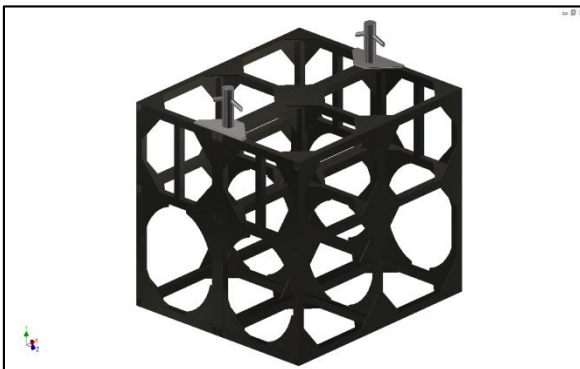
Untuk dilaksanakan pengujian pada *Software Autodesk Inventor* maka dikonversi ke satuan Newton didapatkan nilai sebesar  $614.823,57\text{N}$  (**615 kN**).

**Analisis static stress dan strain pada Frame Ponton dan bollard**

Dalam perangkat lunak/ software Autodesk Inventor, dapat kita lanjutkan mengolah file langsung ke Autodesk Inventor dengan tanpa penyesuaian desain lebih lanjut. Ini dapat memudahkan peneliti untuk lebih cepat analisis static stress dan strain pada struktur frame dan bollard pada gambar 14 dan 15 berikut:



**Gambar 14.** Struktur Frame dan Bollard  
 Sumber : diolah oleh Peneliti, 2019



**Gambar 15.** Struktur Frame dan Bollard  
 Sumber : diolah oleh Peneliti, 2019

Aplikasi akan langsung membuka kotak dialog baru di mana peneliti perlu memasukkan data teknik sebelum melanjutkan langkah berikutnya. Data

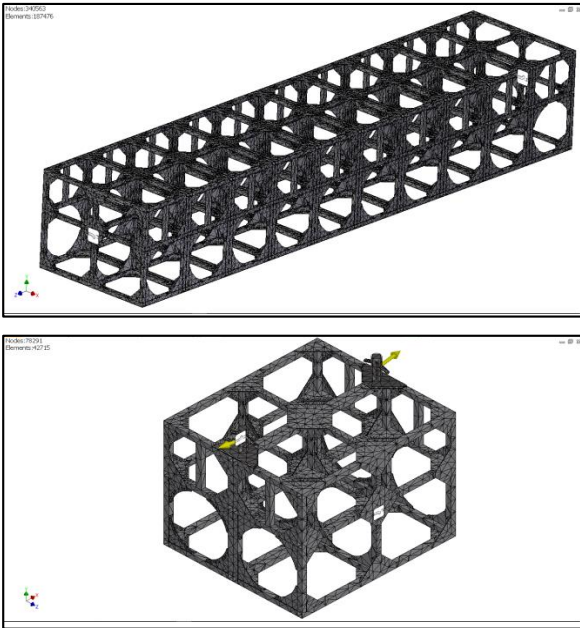
teknik tersebut berisi jenis bahan dan propertinya dapat yang dilihat pada tabel 2, sebagai berikut:

**Tabel 2.** Data Teknis bahan dan propertis frame ponton dan bollard

Material	Steel, Low Carbon	Steel, High Strength, Low Alloy
Mass Density	: 7,85 g/cm <sup>3</sup>	7,85 g/cm <sup>3</sup>
General Yield Strength	: 207 MPa	275,8 MPa
Ultimate Tensile Strength	: 345 MPa	448 MPa
Stress Young's Modulus	: 220 GPa	200 GPa
Poisson's Ratio	: 0,275 ul	0,287 ul
Shear Modulus	: 86,3 GPa	77,7 GPa

sumber : diolah oleh Peneliti, 2019

Setelah bentuk model didapat, langkah berikutnya adalah menentukan mesh yang digunakan untuk proses selanjutnya. Sehingga dalam menganalisis model, peneliti perlu menerapkan mesh untuk mencapai kondisi aktual pada frame pontoon dan bollard dapat dilihat pada gambar 16. Mesh digunakan untuk mendapatkan bentuk alur dengan kondisi yang terjadi pada struktur/ frame ponton.

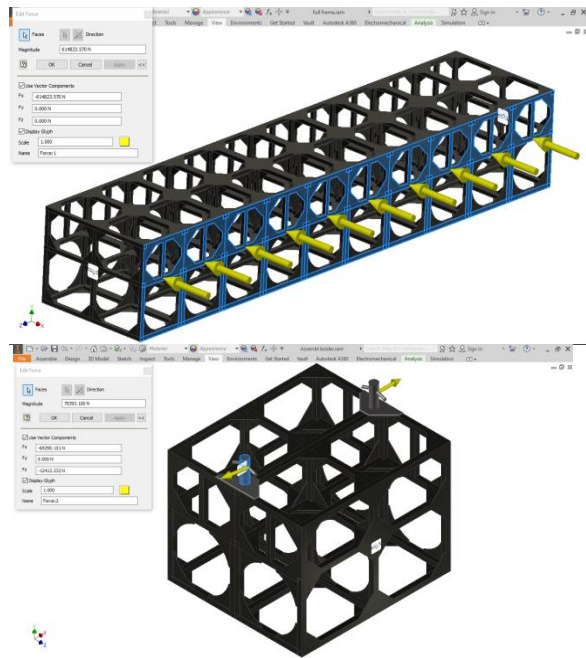


**Gambar 16.** Meshing Pada Frame dan bo llard Ponton (Principal Stress)  
sumber : diolah oleh Peneliti, 2019

Ukuran mesh yang lebih halus akan menghasilkan properti yang lebih detail dan sehingga akan menunjukkan ketelitian hasil yang lebih akurat. Jenis mesh yang digunakan adalah jenis tetra parabola 10. Ukuran mesh ini terbukti merupakan ukuran yang paling tepat sesuai dengan principal stress.

Fixed support dan load factor pada bollard dan frame pada gambar 17, langkah lanjutan untuk analisis menentukan kekuatan tekan dan tarik pada frame dan bollard, diperlukan pendukung tetap (Fixed support) di samping, serta pemilihan area yang akan diberikan pembebanan (load factor) dengan rincian kebutuhan yang sudah

ditentukan sehingga pada tahapan ini didapat dengan arah gaya sepanjang frame dan arah gaya tarikan keluar bollard untuk menentukan di mana gaya akan diterapkan pada proses selanjutnya.



**Gambar 17.** Fixed support dan Load factor pada frame dan bollard  
Sumber : diolah oleh Peneliti,2019

Selanjutnya proses pembebanan gaya tekanan (Load Factor Stress) pada frame yang ditetapkan sebesar 615 kN sesuai dengan perhitungan gaya total yang bekerja hantaman badan kapal terhadap ponton, dari analisis didapatkan hasil tekanan oleh gaya benturan terhadap frame dalam tabel 3, sebagai berikut:

**Tabel 3.** Data load factor stress ponton

Name	Minimum	Minimum
Volume	: 2,66 x 10 <sup>9</sup> mm <sup>3</sup>	-
Mass	: 20929,1 kg	-
Von Mises Stress	: 6,9 x 10 <sup>-3</sup> MPa	162,16 MPa
1st Principal Stress	: -28,2492 MPa	162,715 MPa
3rd Principal Stress	: -163,129 MPa	27,991 MPa
Safety Factor	: 1,27652 ul	15 ul

Sumber : Diolah oleh Peneliti, 2019

Konstruksi rangka baja ponton menerima Gaya tekan sebesar 615 kN untuk besaran tegangan dialami oleh konstruksi pada principal stress dengan arah berlawanan dengan arah gaya menunjukan -163,129 Mpa < tegangan ijin 207 MPa → *Accepted - safety factor* 1,27652

Sedangkan proses pembebanan gaya tarikan (Load Factor Stress) pada

bollard ditetapkan gaya sebesar 76.852,82 N (77 kN) disesuaikan dengan perhitungan gaya total pada satu bagian yang terjadi 8 bollard mengasumsikan gaya tarikan pada satu bagian unit modular, dari analisis didapatkan hasil oleh gaya tarikan pada bollard pada tabel 4, sebagai berikut :

**Tabel 4.** Data load factor stress bollard

Name	Minimum	Minimum
Volume	: 5,9 x 10 <sup>8</sup> mm <sup>3</sup>	-
Mass	: 4668,65 kg	-
Von Mises Stress	: 3,8 x 10 <sup>-7</sup> MPa	82,8143 MPa
1st Principal Stress	: -12,9566 MPa	85,0034 MPa
3rd Principal Stress	: -44,9035 MPa	12,668 MPa
Safety Factor	: 2,49957 ul	15 ul

Sumber : Diolah oleh Peneliti, 2019

Bollard menerima gaya tarik sebesar 77 kN untuk regangan maksimal yang dialami oleh bollard pada Principal Stress menunjukan 85,0034 Mpa. Untuk tegangan ijin 207 MPa > 85,0034 Mpa → ***Accepted - safety factor 2,49957***

### **Stabilitas Ponton**

Dalam menentukan stabilitas ponton peneliti memerlukan analisis

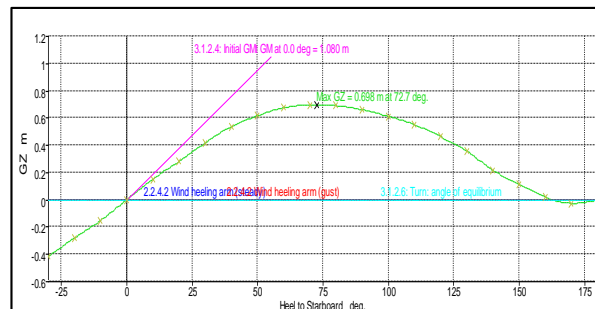
stabilitas untuk 3 kondisi dengan mengacu pada kriteria desain yang di standarisasi oleh International Maritime Organisation (IMO). Untuk Standart stabilitas yang ditetapkan IMO adalah mengenai lengan stabilitas (GZ). Sebagai perhitungan stabilitas ponton kondisi 1 s/d 3 denagn standart IMO terangkum tabel 5, berikut:

**Tabel 5.** Tabulasi Stabilitas kondisi 1 sd 3

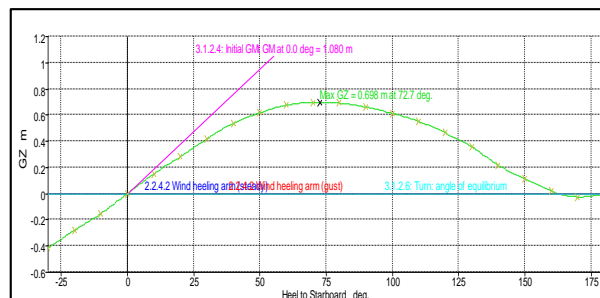
Kriteria	Value	Units	Loadcase		
			1	2	3
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships					
3.1.2.1: Area 0 to 30	3,151	m. deg	6,444	2,571	2,754
3.1.2.1: Area 0 to 40	5,157	m. deg	11,251	5,19	5,508
3.1.2.1: Area 30 to 40	1,719	m. deg	4,8068	2,619	2,754
3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,2	m	0,698	0,635	0,659
3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25	deg	72,7	93,6	93,6
2.2 pontoons					
2.2.4.1 GZ area : to Max GZ	4,584	m. deg	32,338	33,8	35,2
2.2.4.2 Angle of equilibrium ratio	50	%	0	0	0
2.2.4.3 Angle of vanishing stability <=100m in length	20	deg	162,9	179,8	179,8
2.2.4.3 Angle of vanishing stability >=150m in length	15	deg	162,9	179,8	179,8
Status			Pass	Pass	Pass

Sumber: Maxsurfstability Bookled analisys,2019

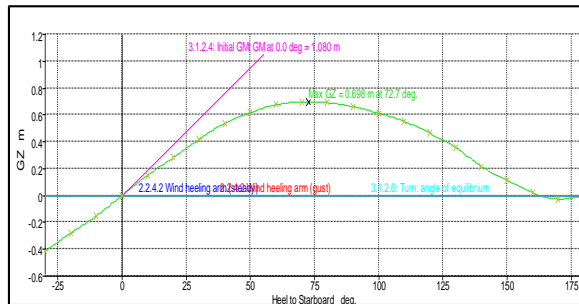
Secara keseluruhan dari hasil dari kemampuan stabilitas yang stabilitas berdasarkan kriteria dari IMO, memenuhi persyaratan dari IMO. ponton memiliki stabilitas baik ditinjau



**Gambar 18.** Nilai GZ Ponton Loadcase 1  
Sumber : diolah oleh Peneliti, 2019



**Gambar 19.** Nilai GZ Ponton Loadcase 2  
Sumber: diolah oleh Peneliti, 2019



**Gambar 20** .Nilai GZ Ponton Loadcase 3

Sumber : diolah oleh Peneliti, 2019

Gambar (18 sd 20) diatas menunjukkan nilai GZ untuk ponton loadcase 1 sampai 3. Dengan adanya kurva lengan stabilitas (GZ) tersebut maka dapat diketahui besarnya nilai momen tiap sudut oleng.

Perhitungan Periode Oleng Ponton adalah waktu yang diperlukan ponton untuk kembali ke posisi semula saat terjadi olengan pada asumsi perairan tenang. perhitungan periode oleng menurut standar IMO adalah sebagai berikut:

$$T = \frac{2CB}{\sqrt{MG}}$$

Dimana:

T= Periode oleng (detik)

B= Lebar ponton (m)

C=  $0,373 + 0,023 (B/d) - 0,043(L/100)$

MG = Metacentra Gravity (m)

Perhitungan periode oleng ponton pada tiap kondisi ditunjukkan pada tabel 6, sebagai berikut:

**Tabel 6.** Periode oleng ponton

Load case	B (m)	d (m)	MG (m)	C	T (s)
1	4	0,698	1,08	0,497	3,826
2	4	0,635	0,58	0,510	5,359
3	4	0,659	0,603	0,505	5,201

Sumber : diolah oleh Peneliti, 2019

### Kesimpulan dan Rekomendasi

Kesimpulan pada penelitian ini berdasarkan hasil proses konsep desain dermaga ponton sandar kapal selam bahan *High Density Polyethylene* (HDPE) secara tersusun sesuai dengan metode process engineering system diantaranya Concept Study, System Definition, Priliminary Desain dan Detail Desain, maka didapat suatu penyelesaian penelitian dengan hasil yang diperoleh sebagai berikut :

1. Sebagai tahap awal diperlukan data ukuran utama ponton yang selanjutnya akan dilakukan dengan perhitungan-perhitungan gaya-gaya yang bekerja pada ponton, dimana

data utama diperoleh pada tahap priliminary desain sebagai berikut:

**Tabel 7.** Data Ukuran Utama Ponton

Data Teknis	Detail
Panjang per Modular	1,8 m
Panjang Total (10 Modular)	18 m
Lebar per Modular	4 m
Tinggi	3 m
Draft	1,5 m
Free Board	1,5 m
Jumlah Tanki	10 unit
Material	Baja + HDPE

Sumber : diolah oleh Peneliti 2019

Dari data tersebut diatas dilakukan penggambaran secara umum yaitu general Arrangement sebagai gambaran secara detail pada bagian-bagian dari ponton untuk konstruksi dan sistem General Arrangement Perspektif 2D/3D Ponton HDPE

2. Pada pengujian struktur stress-strain (tegangan dan regangan) dengan metode finite element menggunakan software Inventor 2018, diperlukan perhitungan gaya-gaya yang bekerja pada ponton dengan pertimbangan gaya-gaya yang terjadi diantaranya:
  - a. Gaya Gelombang ( $P = 24.822 \text{ kgf}$ )
  - b. Energi Benturan ( $E = 69 \text{ kgf}$ )
  - c. Gaya Tambat yang dipengaruhi oleh air maupun angin. ( $R_w = 3.924 \text{ kgf}$ , dan  $R_a = 28.172 \text{ kgf}$ ).

Total gaya (konversi satuan Newton) dengan ditambahkan (10% faktor keamanan) didapat total gaya sebesar

615 kN, dari gaya tersebut dapat diaplikasikan kedalam kedalam program Autodesk Inventor 2018 untuk analisis static stress dan strain sehingga didapat hasil analisis sebagai berikut:

1. Hasil Analisis Stress-strain dengan tekanan pada konstruksi rangka baja ponton menerima gaya tekan sebesar 615 kN tegangan dialami oleh konstruksi adalah 163,129 Mpa dibawah tegangan ijin 207 MPa dengan *safety factor* 1,27652 ul
2. Hasil Analisis Stress-strain dengan regangan bollard dengan gaya tarik sebesar 77 kN regangan maksimal yang dialami oleh bollard (principal stress) 85,003 dibawah tegangan ijin 275.8 MPa dengan *safety factor* 2,49957 ul.
3. Kondisi stabilitas awal harus memenuhi standar IMO. pengujian dengan software Maxsurf 20. analisis stabilitas pada 3 kondisi agar memenuhi persyaratan standar IMO yang diberlakukan untuk jenis ponton dalam pengujian stabilitas, dilihat pada kurva lengan stabilitas (GZ) untuk mengetahui besar momen pada tiap sudut oleng dengan nilai metacentra gravity (GM) yang paling besar dinyatakan kondisi stabil, hasil nilai periode oleng ponton diantaranya :



- Loadcase 1 = 3,8264 detik
- Loadcase 2 = 5,3588 detik
- Loadcase 3 = 5,2012 detik

Hasil Periode oleng yang terkecil memiliki nilai MG yang besar maka dapat diartikan kondisi 1 memiliki kemampuan kembali ke posisi tegak lebih cepat, dapat dinyatakan kondisi yang paling stabil.

Rekomendasi dalam penelitian selanjutnya untuk melengkapi konsep desain penelitian diperlukan perhitungan detail analisis struktur antar modular untuk didapat kemampuan pada masing-masing modul guna pengembangan ponton dipergunakan diluar pangkalan, serta dilengkapi sistem panel listrik yang terintalasi pada ponton untuk dukungan kebutuhan kapal selam saat melaksanakan sandar pada dermaga ponton.

Diharapkan konsep desain ini dapat berguna untuk pertimbangan pimpinan untuk tindak lanjut pada tahap prototype dalam mendukung kesiapan operasi diseluruh wilayah operasional kapal selam,

## Daftar Pustaka

### Buku

Bambang Triatmojo, cetakan pertama. (2010) dan cetakan VI. (2017),

Perencanaan Pelabuhan, Yogyakarta, 2017.

Brandenburg, Jenna and Clemmons, Lashaun. (2012). First edition, Analysis of Numerical Differential Equations and Finite Element Method. College Publishing House. Delhi. 2012.

Milovanović Jeknić Zorica, Belgrade. (2019) "Finite Element Method", Univerzitet Union Nikola Tesla, Fakultet za Graditeljski menadžment.

Defense Acquisition University Press Fort Belvoir. (2001). *Systems Engineering Fundamentals.*, Virginia 22060-5565

Nickols Fred, (2016). *Strategy: Definitions And Meanings.*

Santanelli, Mario, FC. Santarelli, (1982), *Preliminary Determination Of Main Characteristic Of Fishing Vessel, Lecture Notes for sixth Wegemt School, Fishing Vessel Technology, Politechnical University of Madrid, May, 1982.*

### Jurnal

Ericson Andy, Chaeruddin Firdaus. (2015). "Perencanaan Dermaga Apung Akkarena",

Giat S. Sulistiyoso, Sudirman, Indah Anwar Devi, Lukitiwati F. dan Abbas Basril(2015). Sifat Fisis dan Mekanis Komposit HDPE – Hydroxyapatite (HAp) dengan teknik Iridasi Gamma, *Jurnal Kimia dan Kemasan*, Vol.37 ; 1 April 2015: hal 53-60

Sasongko Prio dan Ghofur Abdul (2012) "Uji Hidrodinamika Desain Dermaga Apung Modular Sebagai Teknologi Alternatif Dalam Membangun Dermaga Perintis Di



Indonesia Bagian Timur, Jurnal UPT-BPPH BPP Teknologi, No.0137; hal 42-45 Nopember 2012.

Wicaksono Bagus, (2017). “Analisis perbandingan Kapal pengangkut Ikan (Fish Carrier) dari HDPE, Fiber dan Baja”.FTK ITS.

#### **Dokumen - Dokumen**

Faslanal Mabel. (2017). “Studi Kelayakan Pembangunan Bunker Dermaga Kapal Selam (Multi Years)”,

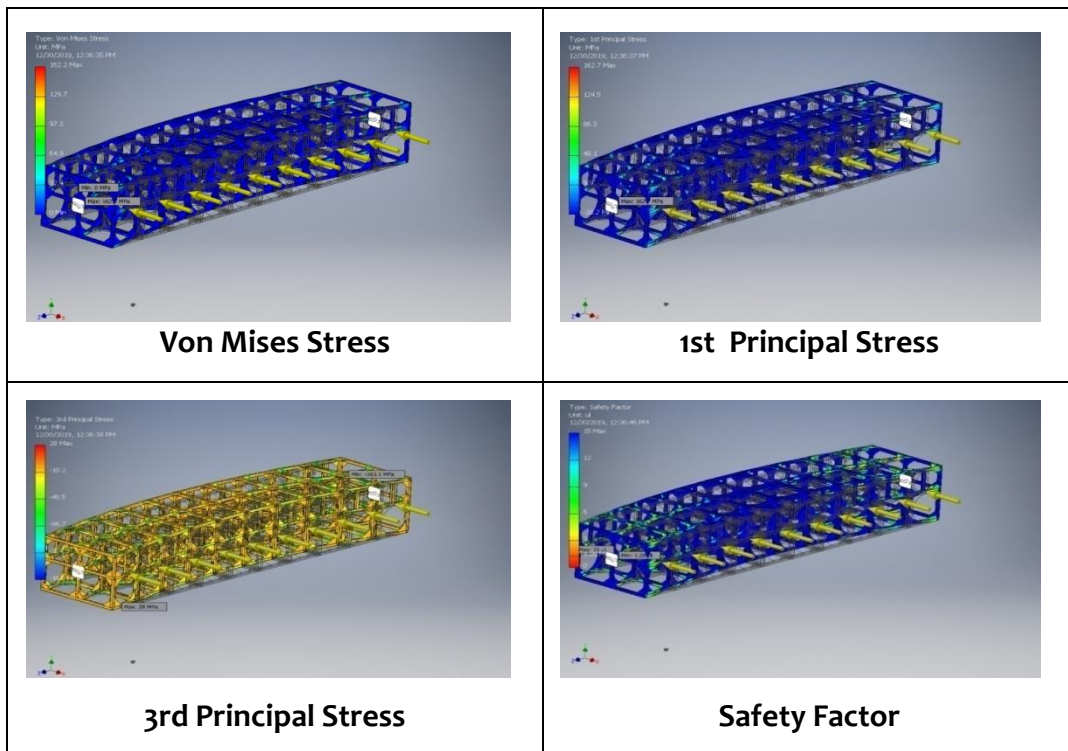
Kementerian Pertahanan Republik Indonesia. (2015). Buku Putih Pertahanan Indonesia, Jakarta.

Mabel. (1989). “Buku Petunjuk Tempur tentang Peperangan Kapal Selam”, Surat Keputusan nomor Skep/4176/IX/1989 tanggal 30 September 1989.

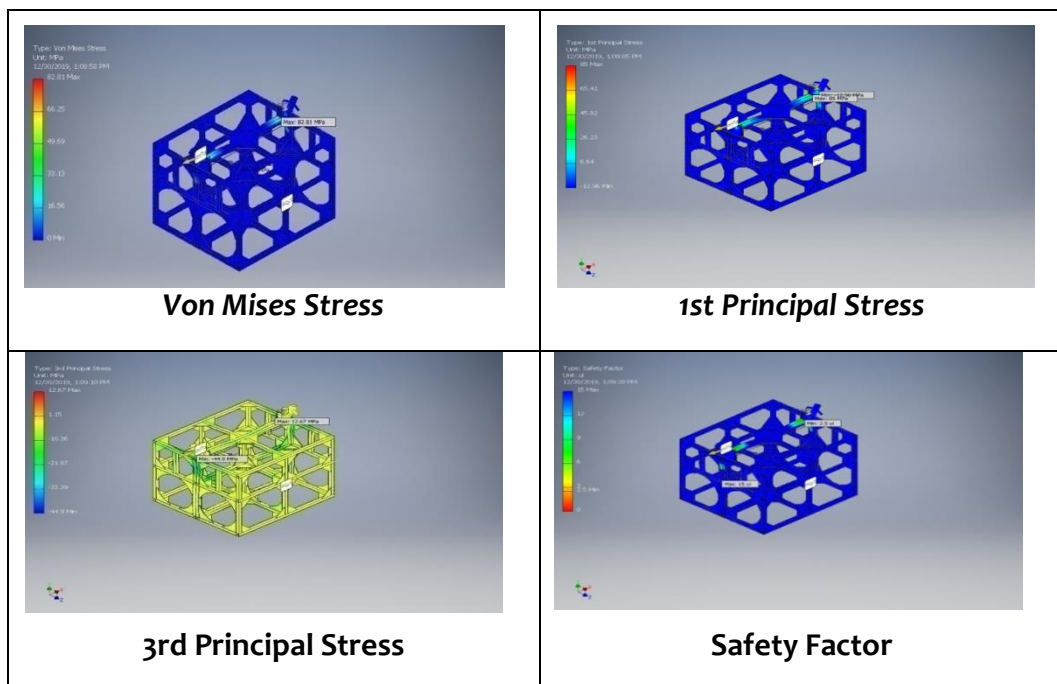
Kementrian Perhubungan RI. (2016). “Perubahan atas Permen No PM Tahun 2015 tentang Penyelenggaraan Pelabuhan Laut” Permenhub RI No.PM 146 tahun 2016.

Lampiran 1. Stress Analysis Ponton (Autodesk Inventor version 2018) 30 Desember 2019

Figures Frame Ponton



Figures Frame and Bollard



Lampiran 2. MaxsurfStability Booklet, "PONTON HDPE" revision: 03, date: 30-DES-19

Stability calculation - X18m (Stability 21.11.00.84, build: 84)

Model file: D:\Zainal Abidin Fuadi\X18m (Medium precision, 59 sections, Trimming off, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance -

ideal(worst case): Disp.‰: 0.01000(0.100); Trim‰(LCG-TCG): 0.01000(0.100); Heel‰(LCG-TCG): 0.01000(0.100)

**Loadcase - Loadcase 1**

**Loadcase - Loadcase 2**

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3.1513	m.deg	6.4440	Pass	+104.49
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5.1566	m.deg	11.2508	Pass	+118.18
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1.7189	m.deg	4.8068	Pass	+179.65
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0.200	m	0.698	Pass	+249.00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25.0	deg	72.7	Pass	+190.91
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0.150	m	1.080	Pass	+620.00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10.0	deg	0.0	Pass	+100.00
2.2 pontoons	2.2.4.1 GZ area: to Max GZ	4.5837	m.deg	32.3381	Pass	+605.50
2.2 pontoons	2.2.4.2 Angle of equilibrium ratio	50.00	%	0.00	Pass	+100.00
2.2 pontoons	2.2.4.3 Angle of vanishing stability <=100m in length	20.0	deg	162.9	Pass	+714.50
2.2 pontoons	2.2.4.3 Angle of vanishing stability >=150m in length	15.0	deg	162.9	Pass	+985.99

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3.1513	m.deg	2.5711	Fail	-18.41
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5.1566	m.deg	5.1898	Pass	+0.64
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1.7189	m.deg	2.6187	Pass	+52.35
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0.200	m	0.635	Pass	+217.50
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25.0	deg	93.6	Pass	+274.54
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0.150	m	0.580	Pass	+286.67
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10.0	deg	0.0	Pass	+100.00
2.2 pontoons	2.2.4.1 GZ area: to Max GZ	4.5837	m.deg	33.7981	Pass	+637.35
2.2 pontoons	2.2.4.2 Angle of equilibrium ratio	50.00	%	0.00	Pass	+100.00
2.2 pontoons	2.2.4.3 Angle of vanishing stability <=100m in length	20.0	deg	179.8	Pass	+799.09
2.2 pontoons	2.2.4.3 Angle of vanishing stability >=150m in length	15.0	deg	179.8	Pass	+1098.78

**Loadcase - Loadcase 3**

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3.1513	m.deg	2.5711	Fail	-18.41
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5.1566	m.deg	5.1898	Pass	+0.64

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1.7189	m.deg	2.6187	Pass	+52.35
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0.200	m	0.635	Pass	+217.50
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25.0	deg	93.6	Pass	+274.54
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0.150	m	0.580	Pass	+286.67
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10.0	deg	0.0	Pass	+100.00
2.2 pontoons	2.2.4.1 GZ area: to Max GZ	4.5837	m.deg	33.7981	Pass	+637.35
2.2 pontoons	2.2.4.2 Angle of equilibrium ratio	50.00	%	0.00	Pass	+100.00
2.2 pontoons	2.2.4.3 Angle of vanishing stability <=100m in length	20.0	deg	179.8	Pass	+799.09
2.2 pontoons	2.2.4.3 Angle of vanishing stability >=150m in length	15.0	deg	179.8	Pass	+1098.78