

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Teori Sistem Pertahanan Negara

Sistem pertahanan negara sebagaimana diatur dalam Undang-undang Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2002 tentang Pertahanan Negara adalah sistem pertahanan yang bersifat semesta yang melibatkan seluruh warga negara, wilayah dan segenap sumber daya nasional lainnya serta dipersiapkan secara dini oleh pemerintah dan diselenggarakan secara total, terpadu, terarah dan berlanjut. Seluruh warga negara sesuai peran dan fungsinya dipersiapkan atau mempersiapkan diri untuk menghadapi berbagai ancaman yang mengganggu stabilitas nasional dan keamanan negara sebagai konsekuensi perkembangan lingkungan strategis yang semakin dinamis (Sistem Pertahanan Negara, 2015).

Pertahanan negara untuk menghadapi ancaman berdimensi ilmu pengetahuan dan teknologi dilakukan dengan mensinergikan pertahanan militer dan nirmiliter. Ancaman ilmu pengetahuan dan teknologi dihadapi dengan strategi pembangunan nasional dibidang teknologi diselenggarakan untuk mewujudkan kemandirian industri nasional yang berdaya saing untuk mengimbangi kemajuan serta mengatasi ketergantungan teknologi dari negara-negara lain

Pembangunan postur pertahanan negara didasarkan pada kemampuan negara dalam mengalokasikan anggaran pertahanan dengan tidak mengganggu keseimbangan sektor-sektor pembangunan nasional secara menyeluruh namun demikian dalam membangun postur pertahanan negara harus pula memperhatikan urgensi fungsi pertahanan berdasarkan dinamika kondisi lingkungan dan konteks strategis berdimensi ancaman yang dihadapi. Strategi perancangan postur pertahanan negara sampai dengan tahun 2024 disusun sebagai berikut (Postur Pertahanan Negara, 2015):

- a. Kecenderungan dalam beberapa tahun yang akan datang, anggaran masih faktor penentu terhadap desain postur pertahanan.
- b. Perancangan postur pertahanan negara didasarkan atas beberapa pembangunan sebagai berikut:
 - 1) Pembangunan industri pertahanan;
 - 2) Pembangunan intelijen;
 - 3) Pembangunan wilayah perbatasan dan pulau-pulau kecil terluar;
 - 4) Pembangunan sistem pertahanan udara nasional (Sishannudnas);
 - 5) Pembangunan satuan komunikasi dan elektronika (Satkomlek);
 - 6) Pemabangunan satuan peluru kendali strategis (Satrudalstrat).

2.1.2 Kontruksi Geladak

Secara umum konstruksi geladak adalah suatu bentuk permukaan datar atau hampir mendatar yang menutupi sisi atas ruangan-ruangan di kapal. Dilihat dari segi konstruksi, geladak adalah kumpulan komponen-komponen konstruksi mendatar yang terdiri atas balk geladak, pembujur geladak, penumpu geadak dan pelat geladak yang dibatasi oleh lambung di sekelilingnya. Fungsi geladak adalah menjaga kekedapan kapal, menempatkan dan melindungi barang atau kargo, tempat anak buah kapal dan penumpang, menambah kekuatan memanjang dan melintang.

Oleh sebab itu, persyaratan perencanaan dan pemasangan geladak betul-betul kedap air dan memenuhi persyaratan ukuran tertentu. Susunan konstruksi geladak adalah balok geladak ditempatkan secara melintang kapal, dengan penumpu geladak dipasang searah dengan panjang kapal, sedangkan balok geladak dan gading dihubungkan dengan lutut.

Dari segi konstruksi, dikenal pula istilah geladak kekuatan. Geladak menurut Biro Klasifikasi Indonesia didefinisikan sebagai berikut

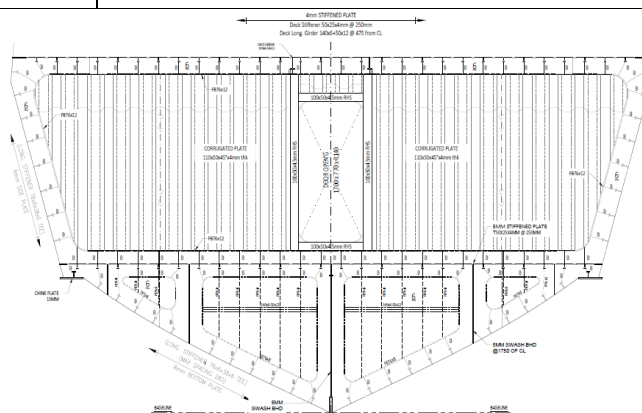
- a) Geladak teratas yang menerus sepanjang kapal yang merupakan lingkaran kerangka bujur pokok.
- b) Geladak bangunan atas memanjang di dalam daerah 0,4 L tengah kapal dan lebih panjang dari 0,15 L. Geladak bangunan atas yang panjangnya di bawah 12 m, tidak dianggap sebagai geladak kekuatan.
- c) Geladak penggal atau geladak bangunan atas yang diturunkan, memanjang ke dalam daerah 0,4 L tengah kapal.

Geladak utama dapat pula dianggap sebagai kekuatan, asalkan memenuhi persyaratan yang telah ditentukan oleh Biro Klasifikasi. Berarti pula geladak tersebut memenuhi dua fungsi, yaitu sebagai geladak utama dan geladak kekuatan.

Sebuah geladak yang menerus dan terletak di bawah geladak utama kapal dinamakan geladak kedua, ketiga, dan seterusnya. Geladak ini dinamakan geladak antara. Jadi, didefinisi geladak antara adalah geladak yang terletak di bawah geladak atas dan berada di atas geladak lainnya.

Tabel 2.1 Konstruksi yang digunakan Kapal PC 40

Geladak utama (<i>main deck</i>)	
Profil untuk kekuatan melintang	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Deck Stiffener</i> 40x60x7mm @ 250mm • <i>Deck Long. Girder</i> 180x6+100x12 @ 725mm
Profil untuk kekuatan memanjang	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Side Deck Girder</i> 40x60x7mm @ 250mm



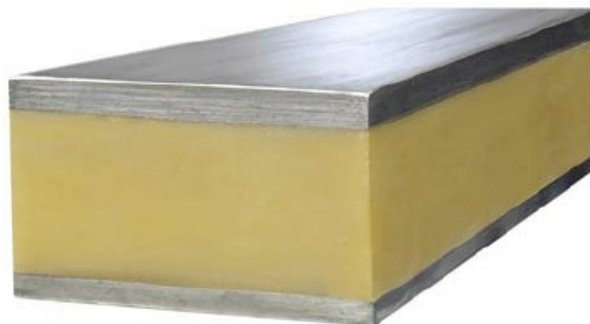
Gambar 2.1 Ring Construction Kapal PC 40

Sumber: Balitbang Kemhan (2018)

2.1.3 Sandwich Plate System

Sandwich structure atau struktur *sandwich* adalah sebuah struktur yang terdiri dari dua jenis material yang berbeda membentuk suatu lapisan. *Sandwich Plate System* (SPS) merupakan material ringan dalam bentuk komposit, *Sandwich* panel yang terdiri dari struktur dua pelat logam yang dipisahkan oleh material inti elastomer. Pelat logam disatukan dengan parameter bar pada bagian tepi pelat, *polyurethane elastomer* berada di antara pelat dengan proses injeksi.

Sandwich Plate System merupakan salah satu bagian dari *jenis hybrid metal*. Dimana struktur *sandwich* jenis ini merupakan campuran antara bahan metal dan non metal. Terdiri dari kulit yang terbuat dari pelat dan inti (*core*) terbuat dari elastomer. Pelat pada struktur ini, biasanya terbuat dari aluminium, digabungkan sebagai batas luar dari material di kedua sisi dan kemudian disatukan oleh material *polyurethane*.



Gambar 2.2 Contoh Sandwich Plate System

Sumber: Hans M. Kritensen dan Matt Korda (2020)

Gambar 2.2 menunjukkan bentuk potongan sampel material SPS, kombinasi antara material aluminium sebagai lapisan *top plate* dan *bottom plate*, serta material polyurethane elastomer sebagai lapisan inti. Perbedaan properties material elastomer dan aluminium, ditunjukkan pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3 sebagai berikut.

Tabel 2.2 Hasil Pengujian kulit material aluminium 6082

<i>Density</i>	2700 kg/m ³
----------------	------------------------

<i>Elastic modulus</i>	70 Gpa
<i>Yield strength</i>	255 Min Mpa
<i>Tensile Strength</i>	300 Min MPa
<i>Elongation A50 mm</i>	9 Min %
<i>Hardness Brinell</i>	91 HB

Sumber: Aalco (2020)

Tabel 2.3 Hasil pengujian *core material cured elastomer*

<i>Density</i>	$\geq 1000 \text{ kg/m}^3$
<i>Shear modulus</i>	$G \geq 312-2.4T$
<i>Bond shear strength</i>	$\geq 2.7 \text{ MPa}$
<i>Tensile Strength</i>	20 Min MPa
<i>Elongation</i>	10 Min %
<i>Hardness Brinell</i>	65 HB

Sumber: *Lloyd's Register Group Limited (2015)*

Teknisi pada *Intelligent Engineering. Ltd UK* dan Kanada, bersama dengan Elestrogan GmbH telah melakukan pengujian pada material inti SPS yaitu *Polyurethane elastomer*. Spesifikasi karakteristik material diuji pada temperatur operasional ekstrim yaitu antara -45°C sampai 100°C . Mechanical properties dari material elastomer terdiri dari: berat jenis material, kekuatan tarik, kekuatan kompresi, modulus geser dan poisson rasio yang seluruh pengujiannya berdasarkan ASTM (*American Standard Test Material*) dan DIN (*Deutsches Institut fur Normung*).

2.1.4 Aplikasi SPS pada konstruksi kapal

Penggunaan material *Sandwich* di dalam konstruksi kapal sudah banyak dilakukan untuk konstruksi-konstruksi pelat datar, seperti geladak, lambung, *double bottom*, dan lain-lain. Penelitian pada simulasi FE (*Finite element*) pada penggunaan SPS pada konstruksi *inner bottom* kapal *bulk carrier* (BC) 11.000 DWT, dengan membandingkan pola distribusi tegangan dan deformasi pada konstruksi *inner bottom* yang menggunakan material steel AH36 dengan ketebalan 18 mm dan digantikan dengan material SPS,

dihasilkan nilai tegangan maksimum pada *steel* AH36 sebesar 226 Mpa dan SPS sebesar 221 Mpa. Dengan hilangnya penegar berat konstruksi berkurang sebesar 13,05% dari penggunaan material aluminium AH36 sehingga memberikan peningkatan *payload* sebesar 13,05%.

Penggunaan *Sandwich Plate System (SPS)* dapat mengurangi berat dibanding penggunaan material konvensional hingga 70%. Penggunaan SPS pada kapal memiliki beberapa keuntungan yaitu:

a. Fabrikasi yang mudah.

Dalam fabrikasi SPS, ada bagian-bagian yang lebih sedikit, lebih sedikit *intersection*, lebih sedikit pengelasan, lebih sedikit penegar dan luas permukaan berkurang.

b. Desain lebih baik.

Desain SPS akan menghapus sumber konsentrasi tegangan dan akan mengurangi efek dari inisiasi retak dan kelelahan, yang secara langsung berdampak pada biaya pemeliharaan.

c. Pengaruh detail konstruksi.

Desain SPS memiliki detail yang lebih sedikit, sehingga mudah di dalam pengerjaannya.

d. Berat

Untuk baru dibangun, SPS memiliki berat yang lebih ringan dari struktural konvensional.

e. Biaya

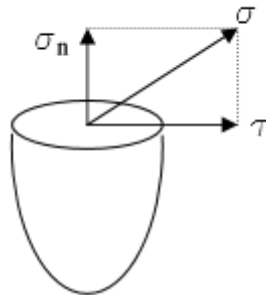
Secara keseluruhan, membangun konstruksi dan operasional konstruksi yang menggunakan SPS memiliki biaya yang lebih rendah daripada konstruksi konvensional.

Berdasarkan studi simulasi penerapan SPS pada produksi kapal tanker, dengan LOA = 144,0 m, *Breadth* = 21,50 m pada DWT = 14.000 ton, dan kapasitas kargo = 16.660 m³, dengan menerapkan metode FE (*Finite Element*) dalam analisisnya pada beberapa konstruksi pelat datar dalam konstruksi kapal tanker tersebut.

Hasil analisis yang dilakukan menunjukkan tegangan yang terjadi pada konstruksi yang menggunakan material SPS memberikan nilai yang lebih kecil dari kriteria tegangan yang diizinkan untuk keseluruhan bagian konstruksi struktur. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kekuatan bahan berdasarkan beban tekanan lokal yang terjadi dapat digunakan.

2.1.5 Tegangan

Tegangan merupakan intensitas gaya dalam pada elemen struktur sebagai reaksi terjadinya deformasi yang timbul akibat bekerjanya beban luar, pada umumnya intensitas gaya ini berarah miring pada bidang potongan. Dalam praktek keteknikan intensitas gaya tersebut diuraikan menjadi tegak lurus dan sejajar dengan irisan yang sedang dianalisis. Penguraian intensitas gaya ini dapat dilihat pada Gambar 2.3, sehingga menghasilkan tegangan normal dan geser.



Gambar 2.3 Komponen tegangan normal dan geser dari tegangan

Sumber: diolah oleh peneliti

Tegangan normal merupakan intensitas gaya yang bekerja tegak lurus terhadap potonganampang melintang, apabila tegangan normal tersebut bekerja ke arah luar dari penampang maka disebut sebagai tegangan tarik dengan tanda positif, sedangkan tegangan yang menuju potonganampang disebut tegangan tekan dengan tanda negatif. Besarnya tegangan normal dihitung menurut persamaan:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Tegangan geser merupakan intensitas gaya yang bekerja sejajar dengan potongan tampang melintang dengan persamaan:

$$\tau = \frac{P}{A}$$

2.1.6 Regangan

Deformasi elemen struktur dapat berubah bentuk secara geometris, fenomena ini antara lain disebabkan karena penempatan beban luar dan perubahan temperatur. Bentuk-bentuk deformasi yang sering dijumpai antara lain perubahan panjang (*elongation*), lentur (*bending*), geser (*shearing*) dan puntir (*twisting*). Analisis deformasi pada suatu elemen batang dinyatakan dengan parameter yang diukur pada suatu garis sistem batang. Garis sistem batang ini biasanya ditentukan berimpit dengan garis berat, yaitu garis yang melewati titik-titik pusat berat penampang melintang. Penampang itu sendiri diambil sebagai potongan fiktif yang merupakan bidang datar dengan garis sistem sebagai sumbu normal. Beberapa asumsi yang lazim digunakan dalam analisis struktur berbentuk rangka batang (*truss, beam, frame, grid*) meliputi:

- a. Penampang elemen batang yang permukaannya datar/rata sebelum deformasi, tetap datar/rata sesudah terjadi deformasi.
- b. Apabila elemen batang dianggap tersusun dari lapisan-lapisan serat yang sejajar dengan garis sistem, maka diasumsikan bahwa tidak ada deformasi yang terjadi pada arah orthogonal serat.
- c. Deformasi akibat geser lentur pada elemen batang dianggap kecil dan dapat diabaikan, sehingga yang di perhitungkan hanyalah deformasi aksial akibat tegangan normal pada penampang, yang ditimbulkan oleh momen lentur dan gaya aksial.

Ketiga asumsi di atas khususnya sangat mendekati kenyataan untuk kasus batang dengan ukuran lateral yang relatif cukup kecil dibandingkan dengan panjang elemen batang, implikasi dari ketiga asumsi di atas adalah

- 1) Regangan akan terdistribusi secara linier sepanjang ketinggian atau sepanjang lebar penampang, atau secara umum pada arah dimensi lateral elemen batang.
- 2) Garis yang normal terhadap penampang (termasuk garis sistem) sebelum terjadi deformasi akan tetap normal terhadap penampang setelah deformasi.

Deformasi yang terjadi pada elemen batang yang menerima beban luar tergantung pada ukuran awal penampang, sehingga lebih tepat jika dinyatakan dalam bentuk regangan yang merupakan nilai banding perubahan dimensi per satuan ukuran terhadap dimensi awalnya, regangan dapat juga didefinisikan sebagai ekspresi non-dimensional dari deformasi.

2.1.7 Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*)

Metode elemen hingga (*finite element method*) biasa dipandang sebagai perluasan dari metode perpindahan ke masalah continuum berdimensi dua dan tiga seperti plat, struktur selaput (*shell*) dan benda pejal. Dalam metode ini, kontinum sebenarnya diganti dengan sebuah struktur ideal ekuivalen yang terdiri dari elemen-elemen unik (*discrete element*). Elemen ini disebut elemen berhingga dan dihubungkan bersamasama di sejumlah titik simpul.

Penyelesaian dari metode elemen hingga umumnya menggunakan metode matriks. Notasi matriks, matriks gaya dinyatakan dalam $\{F\} = F$ dan matriks *displacement* dalam $\{d\} = d$.

$$\{F\} = \begin{Bmatrix} F_{1x} \\ F_{1y} \\ F_{1z} \\ F_{2x} \\ F_{2y} \\ \cdot \\ \cdot \\ F_{nx} \\ F_{ny} \\ F_{nz} \end{Bmatrix}; \quad \{d\} = \begin{Bmatrix} d_{1x} \\ d_{1y} \\ d_{1z} \\ d_{2x} \\ d_{2y} \\ \cdot \\ \cdot \\ d_{nx} \\ d_{ny} \\ d_{nz} \end{Bmatrix}$$

Matriks kekakuan elemen dinyatakan dalam $[k]$ dan matriks kekakuan global sistem struktur dinyatakan dalam $[K]$.

$$[k] = k = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{n1} & k_{n2} & \dots & k_{nn} \end{bmatrix}$$

Persamaan dari kesetimbangan sistem struktur dinyatakan dalam:

$$F = Kd$$

Persamaan elemen yang dihasilkan secara umum adalah sebagai berikut:

$$\begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ \dots \\ f_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & \dots & k_{2n} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & \dots & k_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{n1} & k_{n2} & k_{n3} & \dots & k_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ \dots \\ d_n \end{Bmatrix}$$

$$\text{Atau } \{f\} = [k] \{d\}$$

Dimana:

$\{f\}$ = matriks gaya

$[k]$ = matriks kekakuan

$\{d\}$ = matriks deformasi

Untuk melakukan analisis dengan menggunakan *finite elemen method* atau metode elemen hingga, sudah banyak *software* yang diciptakan untuk mempermudah analisis. Beberapa diantaranya MSC Nastran, Ansys, Algor, Solidworks, dll. Secara garis besar *software-software* tersebut memiliki sistem kerja dan tahapan yang sama dalam melakukan analisisnya. Diawali dengan pembuatan model, dilanjutkan dengan *meshing*, penentuan kondisi batas, pembebanan, dan dianalisis.

Ketepatan metode elemen hingga dipengaruhi oleh parameter-parameter berikut yang disusun berdasarkan keutamaannya:

- a. Pola perpindahan yang ditetapkan untuk elemen.
- b. Jumlah elemen.

- c. Teknik penyajian beban.
- d. Kondisi tepi masalah tertentu.
- e. Program komputer.

Walaupun metode elemen hingga masih dalam tahap perkembangan, metode ini akan dipakai di kemudian hari dalam berbagai bidang mekanika struktur dan kontinum. Karena metode tersebut dikembangkan oleh para ahli teknik berdasarkan teknik logika fisika, perkembangannya di kemudian hari akan banyak didorong oleh pengkajian yang lebih eksak oleh para ahli matematik.

2.1.7.1 Program ABAQUS

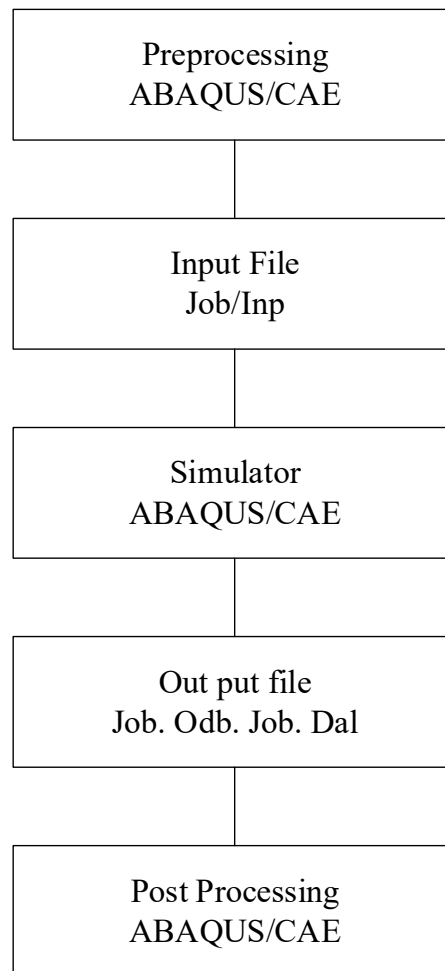
Kajian Numerik damper pada pelat baja dengan menggunakan program ABAQUS 6.12, maka dalam hal ini akan dijelaskan lebih dalam mengenai program ABAQUS itu sendiri. ABAQUS adalah paket program simulasi rekayasa yang kuat, didasarkan pada metode elemen hingga, yang dapat memecahkan masalah mulai dari analisis linier relatif sederhana sampai simulasi nonlinier yang paling menantang. ABAQUS berisi perpustakaan yang luas dari unsur-unsur yang dapat memodelkan hampir semua geometri apapun. Program ini memiliki daftar yang sangat luas dari model material yang dapat mensimulasikan perilaku sebagian besar bahan rekayasa, termasuk logam, karet, polimer, komposit, beton bertulang, busa yang lentur dan kuat, dan bahan geoteknik seperti tanah dan batuan.

Dirancang sebagai alat simulasi untuk keperluan umum, ABAQUS dapat digunakan untuk mempelajari lebih dari sekedar masalah struktural (stres/perpindahan). Program ini dapat mensimulasikan masalah di berbagai bidang seperti perpindahan panas, difusi massal, manajemen termal dari komponen listrik (ditambah termal-listrik analisis), akustik, mekanika tanah (ditambah pori-pori stress analisis), analisis piezoelektrik, dan dinamika fluida.

ABAQUS menawarkan berbagai kemampuan untuk simulasi aplikasi linier dan nonlinier. Masalah dengan beberapa komponen dimodelkan dengan mengaitkan geometri mendefinisikan masing-masing komponen

dengan model bahan yang sesuai dan menentukan interaksi komponen. Dalam ABAQUS, analisis nonlinier otomatis memilih penambahan beban yang tepat dan toleransi konvergensi dan terus menyesuaikan mereka selama analisis untuk memastikan bahwa solusi yang akurat dan efisiensi diperoleh. Sehingga dalam kajian numerikal damper pelat baja ini menggunakan program ABAQUS yang dapat memberikan data numerik yang akurat melalui proses cyclic hardening dan kurva hysteresis.

Untuk program ABAQUS yang komplit biasanya melalui 3 proses yaitu: proses awal, simulasi, dan proses akhir. Untuk 3 bagian setiap langkah dapat dijelaskan seperti bagan di bawah ini:



Gambar 2.4. Alur Proses Pada Program ABAQUS

Sumber: diolah oleh peneliti

a. Proses Awal (*Preprocessing*)

Pada bagian ini kita mulai menentukan model awal yang akan dilakukan analisis. Pemodelan *part* dilakukan dalam *software* Abaqus dengan memasukkan geometri yang telah kita ketahui sebelumnya. Dalam menggambarkan model, kita bisa menentukan koordinat sistem yang akan dibuat. Sebelum dilakukan simulasi kita harus memeriksa semua *keyword* dan parameter yang digunakan sehingga tidak terjadi kesalahan. Selain itu urutan dalam memasukkan data harus kita perhatikan dengan benar.

b. Simulasi (*Simulation*)

Simulasi yang biasanya dijalankan sebagai pengantar proses adalah tahap dimana program abaqus memulai proses untuk melakukan pemecahan masalah numerik yang diidentifikasi dalam model. Sebagai contoh, keluaran dari stress analisis termasuk perpindahan dan tekanan yang disimpan dalam berkas biner untuk proses akhir.

c. Proses Akhir (*Post Processing*)

Pada proses akhir kita dapat mengambil kesimpulan dari hasil simulasi yang sudah selesai pada perpindahan, gaya atau variable lainnya yang sudah di dilakukan perhitungan. Hasil akhir biasanya dibuat dalam suatu laporan atau sebuah catatan.

Komponen pada *Windows* Utama Abaqus

a. *Title Bar*

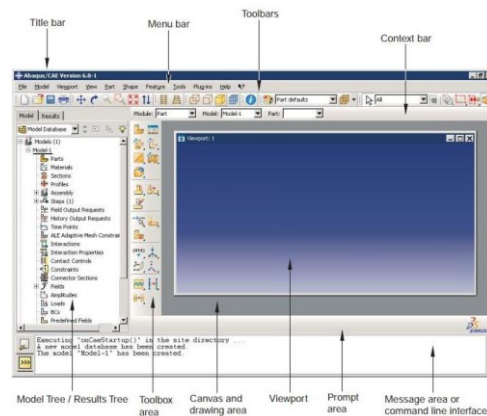
Title bar menunjukkan versi dalam Abaqus kita melakukan sedang kita gunakan dan juga menunjukkan judul dari file yang kita buat atau kita gunakan

b. *Menu Bar*

Menu bar berisi semua menu yang tersedia, menu ini memberikan akses ke semua fungsi dalam produk.

c. Toolbars

Tools ini memberikan akses cepat yang tersedia pada menu.



Gambar 2.2 Komponen pada windows utama program abaqus

Sumber: Abaqus helper

d. Context bar

Dalam konteks bar memungkinkan kita untuk berpindah antar modul serta mengambil bagian yang sudah ada ketika membuat geometri model.

e. Model Tree/Result Tree

Model Tree menyediakan grafik sebagai *Review* dari model objek dari masing-masing bagian, material, langkah, pembebanan. *Results Tree* memberikan grafik dari output data base dan Spesifik data hasil plot x-y.

f. Toolbox area

Memungkin akses cepat ke banyak fungsi modul yang tersedia.

g. Canvas and drawing area

Canvas and drawing area adalah tempat atau lokasi untuk area gambar.

h. Viewport

Viewport adalah jendela di area gambar di mana abaqus menampilkan model yang telah dibuat.

i. *Prompt area*

Berfungsi untuk menampilkan petunjuk atau panduan yang telah kita lakukan pada software abaqus.

j. *Message Area or command line interface*

Pada bagian ini Abaqus akan memunculkan informasi dan peringatan yang terjadi jika ada informasi atau kesalahan.

2.2 Hasil Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu yang digunakan untuk mendukung penelitian ini yakni

- a. Penelitian yang berjudul *finite element analysis* dilakukan oleh Elgström (2014) untuk menyelesaikan permasalahan pada Roxtec yang membutuhkan waktu cukup lama dan hasil yang didapatkan tidak akurat dalam simulasi *rubber*. Material *rubber* yang dimilikinya mengalami masalah ketika kontak dengan material yang lebih keras dan kaku seperti besi, masalah tersebut kemudian diselesaikan oleh Elgström dengan menggunakan simulasi melalui *finite element analysis*. Elgström dalam melakukan *finite element analysis*, menggunakan metode Mooney Rivlin untuk mendapatkan konstanta yang menggambarkan karakteristik material. Elgström (2014) menggunakan *software Autodesk Simulation Multiphysics* sebagai alat bantu untuk melakukan simulasi dan *software MATLAB* untuk mendapatkan nilai parameter yang optimum.
- b. Penelitian berjudul "*Numerically simulating the Sandwich Plate System structures*". Penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa lendutan yang disimulasikan oleh unsur-unsur yang diusulkan di kertas lebih besar dari yang sama disimulasikan oleh unsur-unsur padat dan solusi analitik menurut teori Hoff dan pendekatan yang sama disimulasikan oleh campuran elemen shell-solid, dan tegangan yang disimulasikan oleh elemen yang diusulkan dalam makalah ini mendekati

metode simulasi lainnya. Jadi dibandingkan dengan perhitungan berdasarkan campuran elemen *shell* dan solid, metode simulasi numerik yang diberikan di makalah ini lebih efisien dan lebih mudah dilakukan. Pelat SPS persegi panjang dan struktur *double-bottom* digunakan untuk simulasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lendutan yang disimulasikan oleh unsur-unsur yang diusulkan di kertas lebih besar dari yang sama disimulasikan oleh unsur-unsur padat dan solusi analitik menurut teori Hoff dan pendekatan yang sama disimulasikan oleh campuran elemen *shell*-solid, dan tegangan yang disimulasikan oleh elemen yang diusulkan dalam makalah ini mendekati metode simulasi lainnya. Jadi dibandingkan dengan perhitungan berdasarkan campuran elemen shell dan solid, metode simulasi numerik yang diberikan di makalah ini lebih efisien dan lebih mudah dilakukan.

- c. Penelitian selanjutnya berjudul “Analisis Pengaruh Penggunaan *Sandwich Plate System (SPS)* pada Konstruksi Alas Dalam Kapal Kontainer” dilakukan oleh penelitian. Penelitian ini membahas penggunaan *Sandwich* pada konstruksi alas dalam sehingga dapat diketahui perbandingan berat dan tegangan maksimum yang dapat memenuhi standar dari rules yang ada. Permodelan dan analisis menggunakan *software* berbasis *Finite element analysis* untuk mengetahui besaran respons struktur berupa nilai tegangan. Dari hasil penelitian didapatkan konfigurasi ketebalan *Sandwich face plate* atas 6 mm dan bawah 7 mm sedangkan tebal *core material* 15 mm (6-15-7). Hasil analisis pada penelitian ini memenuhi batas maksimum tegangan rules LR (tegangan $\max < 175$ Mpa), tegangan maksimum terbesar terjadi pada konstruksi alas dalam saat kondisi sagging pada *loading condition* I sebesar 98,4 MPa pada konstruksi baja dan 99,6 MPa pada konstruksi *sandwich* serta deformasi terbesar terjadi pada saat kondisi hogging pada *loading condition* I sebesar 4,00 cm untuk konstruksi menggunakan baja dan 4,15 cm untuk konstruksi menggunakan *sandwich*.

- d. Penelitian berikutnya yaitu yang berjudul “*Penggunaan Sandwich Panel (Pelat Baja dan Synthetic Resin) Pada Konstruksi Kapal*” bertujuan untuk mengkaji material *sandwich* panel yang merupakan material komposit, dalam bentuk lapisan antara dua jenis material yang berbeda kini telah berkembang penggunaannya dalam industri perkapalan, seperti *Sandwich Plate System* dengan kombinasi pelat baja dan polyurethane elastomer. Penelitian ini melakukan analisis material komposit *sandwich panel* dengan kombinasi pelat baja dan beberapa *core* material yang mudah ditemukan dalam industri perkapalan dalam negeri, yaitu polyurethane foam, polyresin dan synthetic resin. Identifikasi dilakukan dengan metode eksperimen yang meliputi pengujian reaktivitas, densitas dan kekuatan tarik material untuk mendapatkan nilai persyaratan yang diberikan oleh DNV. Investigasi juga dilakukan pada material *sandwich panel* yang berhasil dibuat dengan kombinasi pelat baja sebagai lapisan *faceplate* dan synthetic resin (50% resin : 50% talk : 0,3% katalis) sebagai *core* material, untuk mendapatkan nilai kekuatan material hingga pengaruh aplikasi material dibagian struktur pelat datar pada konstruksi kapal.

Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu

No	Judul Penelitian	Metode yang digunakan	Hasil	Persamaan	Perbedaan
1	<i>Practical implementation of hyperelastic material Methods in FEA models.</i>	<i>Methodology</i> untuk Permodelan	Material <i>rubber</i> yang dimilikinya mengalami masalah ketika kontak dengan material yang lebih keras dan kaku seperti besi, masalah tersebut kemudian diselesaikan oleh Elgström dengan menggunakan simulasi melalui <i>Finite element analysis</i> . Elgström dalam melakukan <i>Finite element analysis</i> , menggunakan metode Mooney Rivlin untuk mendapatkan konstanta yang menggambarkan karakteristik material	Melakukan analisis pada finite elemen	Menggunakan material <i>Sandwich</i>

No	Judul Penelitian	Metode yang digunakan	Hasil	Persamaan	Perbedaan
2	<i>Numerically simulating the Sandwich Plate System structures.</i>	Metode Numerik	Hasil penelitian menunjukkan bahwa lendutan yang disimulasikan oleh unsur-unsur yang diusulkan di kertas lebih besar dari yang sama disimulasikan oleh unsur-unsur padat dan solusi analitik menurut teori Hoff dan pendekatan yang sama disimulasikan oleh campuran elemen shell-solid, dan tegangan yang disimulasikan oleh elemen yang diusulkan dalam makalah ini mendekati metode simulasi lainnya. Jadi dibandingkan dengan perhitungan berdasarkan campuran elemen shell dan solid, metode simulasi	Melakukan pengujian dengan metode numerikal	Penelitian menggunakan <i>software</i> Abaqus

No	Judul Penelitian	Metode yang digunakan	Hasil	Persamaan	Perbedaan
			<p>numerik yang diberikan di makalah ini lebih efisien dan lebih mudah dilakukan. pelat SPS persegi panjang dan struktur double-bottom digunakan untuk simulasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lendutan yang disimulasikan oleh unsur-unsur yang diusulkan di kertas lebih besar dari yang sama disimulasikan oleh unsur-unsur padat dan solusi analitik menurut teori Hoff dan pendekatan yang sama disimulasikan oleh campuran elemen shell-solid, dan tegangan yang disimulasikan oleh elemen yang diusulkan dalam</p>		

No	Judul Penelitian	Metode yang digunakan	Hasil	Persamaan	Perbedaan
			makalah ini mendekati metode simulasi lainnya. Jadi dibandingkan dengan perhitungan berdasarkan campuran elemen shell dan solid, metode simulasi numerik yang diberikan di makalah ini lebih efisien dan lebih mudah dilakukan.		
3	Analisis Pengaruh Penggunaan <i>Sandwich Plate System</i> (SPS) pada Konstruksi Alas Dalam Kapal Kontainer	Metode permodelan	penggunaan <i>Sandwich</i> pada konstruksi alas dalam sehingga dapat diketahui perbandingan berat dan tegangan maksimum dapat memenuhi standar dari rules ada. Permodelan dan analisis menggunakan <i>software</i> berbasis <i>Finite element analysis</i> untuk mengetahui besaran		Melakukan pengujian pada <i>deck</i> utama

No	Judul Penelitian	Metode yang digunakan	Hasil	Persamaan	Perbedaan
			<p>respons struktur berupa nilai tegangan. Dari hasil penelitian didapatkan konfigurasi ketebalan <i>Sandwich</i> face plate atas 6 mm dan bawah 7 mm sedangkan tebal core material 15 mm (6-15-7). Hasil analisis pada penelitian ini memenuhi batas maksimum tegangan rules LR (tegangan max < 175 Mpa), Tegangan maksimum terbesar terjadi pada konstruksi alas dalam saat kondisi sagging pada loading condition I sebesar 98,4 MPa pada konstruksi baja dan 99,6 MPa pada konstruksi <i>Sandwich</i> serta deformasi terbesar terjadi pada saat kondisi</p>		

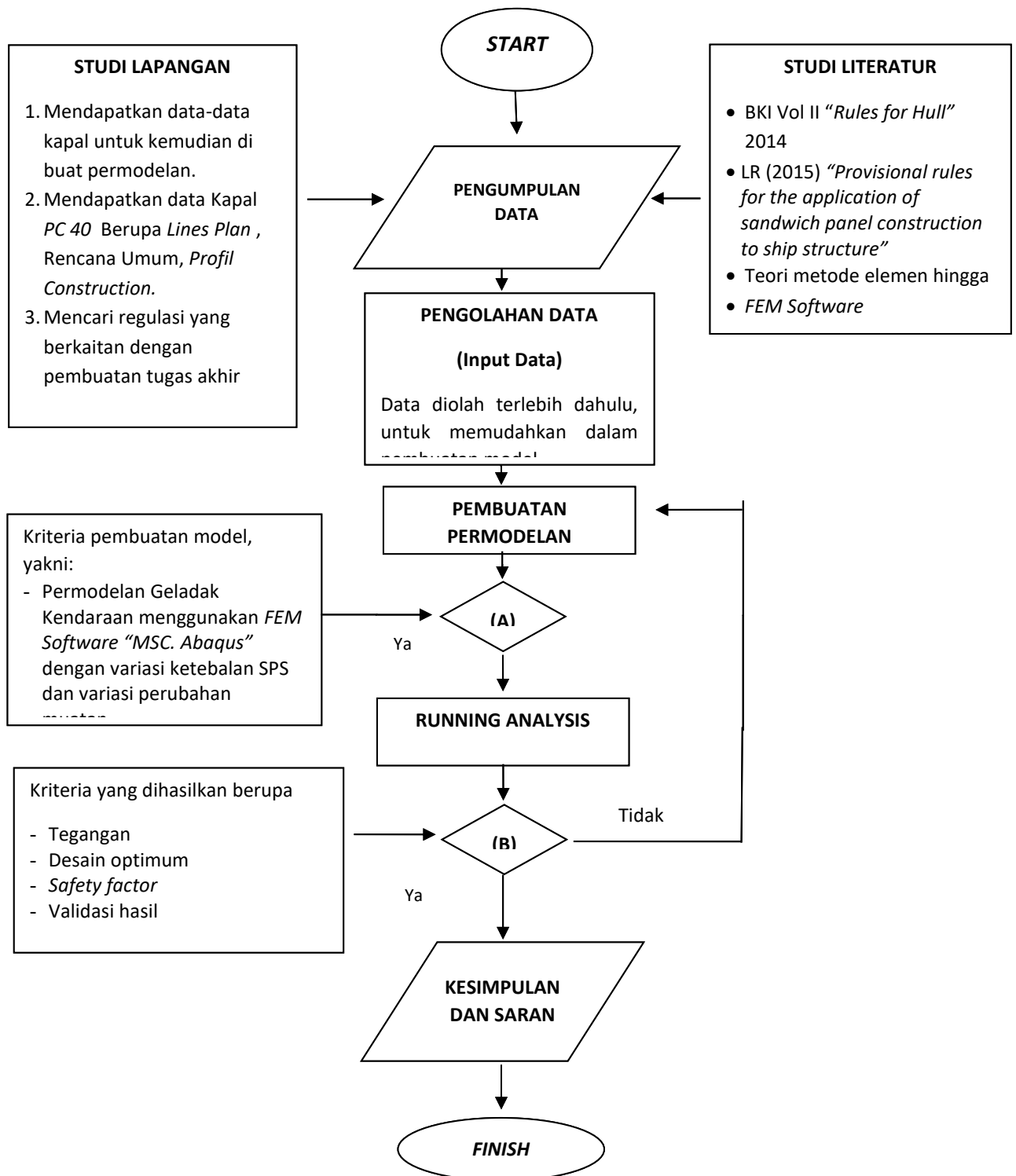
No	Judul Penelitian	Metode yang digunakan	Hasil	Persamaan	Perbedaan
			hogging pada loading condition I sebesar 4,00 cm untuk konstruksi menggunakan baja dan 4,15 cm untuk konstruksi menggunakan sandwich.		
4	<i>Penggunaan Sandwich Panel (Pelat Baja Dan Syinthetic Resin) Pada Konstruksi Kapal</i>	Metode kualitatif analitis	Material <i>Sandwich</i> panel yang merupakan material komposit, dalam bentuk lapisan antara dua jenis material yang berbeda kini telah berkembang penggunaanya dalam industri perkapalan, seperti <i>Sandwich Plate System</i> dengan kombinasi pelat baja dan polyurethane elastomer. Penelitian ini melakukan analisis material komposit <i>Sandwich</i> panel dengan kombinasi pelat baja dan	Identifikasi dengan metode eksperimen yang meliputi pengujian reaktivitas, densitas dan kekuatan kontruksi	Pengujian dengan material aluminum dan elastomer

No	Judul Penelitian	Metode yang digunakan	Hasil	Persamaan	Perbedaan
			<p>beberapa core material yang mudah ditemukan dalam industri perkapalan dalam negeri, yaitu polyurethane foam, polyresin dan synthetic resin. Identifikasi dilakukan dengan metode eksperimen yang meliputi pengujian reaktivitas, densitas dan kekuatan tarik material untuk mendapatkan nilai persyaratan yang diberikan oleh DNV. Investigasi juga dilakukan pada material <i>Sandwich</i> panel yang berhasil dibuat dengan kombinasi pelat baja sebagai lapisan faceplate dan synthetic resin (50% resin : 50% talk : 0,3% katalis)</p>		

No	Judul Penelitian	Metode yang digunakan	Hasil	Persamaan	Perbedaan
			sebagai <i>core</i> material, untuk mendapatkan nilai kekuatan material sampai pada pengaruh aplikasi material dibagian struktur pelat datar pada konstruksi kapal.		

Sumber: diolah peneliti

2.3 Kerangka Berpikir



Gambar 2.6 Kerangka Berpikir

Sumber: diolah oleh peneliti