

**SKRIPSI**

**DESAIN FLOAT PESAWAT AMFIBI DENGAN MATERIAL  
SANDWICH ALUMINIUM FOAM TERHADAP UJI STATIS  
MENGUNAKAN SOFTWARE ABAQUS**

**Disusun dan Diajukan oleh:**

**ANDI MUHAMMAD FAIZ**

**D021 19 1150**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2024**



**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI****DESAIN FLOAT PESAWAT AMFIBI DENGAN MATERIAL SANDWICH ALUMINIUM FOAM TERHADAP UJI STATIS MENGGUNAKAN SOFTWARE ABAQUS**

Disusun dan diajukan oleh

**Andi Muhammad Faiz**  
**D021 19 1150**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 25 Juni 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



**Fauzan, ST., MT., Ph.D.**  
**NIP 19770103 200801 1 009**

Pembimbing Pendamping,



**Prof.Dr.Ir.H.Ilyas Renreng,M.T**  
**NIP 19570914 198703 1 001**

Ketua Program Studi,



**Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, ST., M.T.**  
**NIP 19720825 200003 1 001**



## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : ANDI MUHAMMAD FAIZ  
NIM : D021 19 1150  
Program Studi : TEKNIK MESIN  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Desain Float Pesawat Amfibi dengan Material Sandwich Aluminium Foam  
Terhadap Uji Statis Menggunakan Software Abaqus}

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain yang telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip Sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 6 Juni 2024

Yang Menyatakan



**ANDI MUHAMMAD FAIZ**



## ABSTRAK

**ANDI MUHAMMAD FAIZ.** *Desain Float Pesawat Amfibi dengan Material Sandwich Aluminium Foam Terhadap Uji Statis Menggunakan Software Abaqus* (dibimbing oleh Fauzan, ST, MT, Ph.D)

Struktur *sandwich* menghasilkan fitur yang unik berupa kekuatan dan kekakuan yang tinggi dikombinasikan dengan massa yang rendah. Fitur yang menarik tersebut dapat diaplikasikan di industri transportasi, pesawat terbang, dan kereta api. Untuk memenuhi semua persyaratan teknik transportasi modern, diperlukan material yang memiliki kemampuan penyerapan energi benturan suara yang baik. Bahan berpori tinggi dengan struktur seluler memiliki kombinasi sifat fisik dan mekanik yang menarik. *Aluminium Sandwich Foam* merupakan material yang memenuhi persyaratan tersebut. Adapun tujuan penelitian yaitu untuk menganalisis pengaruh material Aluminium 6061 T6 dan *Sandwich Aluminium Foam* terhadap tegangan pada *float* pesawat berdasarkan variasi kondisi pendaratan, kecepatan *Stall* (62 knot, dan 76 knot), pembebanan *float* (3500 kg, 4000 kg, dan 4500 kg), dan konfigurasi material *Sandwich Aluminium Foam* dengan ketebalan inti *foam* 3 mm, 5 mm, dan 7 mm. Penelitian ini dilakukan secara simulasi numerik dengan pengujian statis berupa *Water Reaction Load Factor* yang mengacu pada CASR part 23 rev. 2, tahun 2014, pada sub bab 23.525 (b). Data simulasi numerik kemudian divalidasi dengan membandingkan nilai yang diberikan terhadap hasil yang didapat oleh model *float*. Validasi hasil yang dilakukan adalah berkaitan dengan gaya aksi reaksi. Dari hasil simulasi, didapatkan nilai tegangan maksimum pada kondisi 1 (62 knot, 3500 kg) yaitu 312.01 MPa pada Aluminium 6061 T6, dan nilai tegangan terendah pada konfigurasi ketebalan inti *foam* 7 mm dengan nilai 163.16 MPa. Untuk kondisi 2 (62 knot, 4000 kg) nilai tegangan maksimum pada Al 6061 T6 yaitu 342.72, dan nilai tegangan terendah pada konfigurasi ketebalan inti *foam* 7 mm dengan nilai 178.35 MPa. Untuk kondisi 3 (62 knot, 4500 kg) nilai tegangan maksimum pada Al 6061 T6 yaitu 369.66 MPa, dan nilai tegangan terendah pada konfigurasi ketebalan inti *foam* 7 mm dengan nilai 191.98 MPa. Untuk kondisi 4 (76 knot, 3000 kg) nilai tegangan maksimum pada Al 6061 T6 yaitu 440.04 MPa, dan nilai tegangan terendah pada konfigurasi ketebalan inti *foam* 7 mm dengan nilai 245.17 MPa. Untuk kondisi 5 (76 knot, 3500 kg) nilai tegangan maksimum pada Al 6061 T6 yaitu 468.59 MPa, dan nilai tegangan terendah pada konfigurasi ketebalan inti *foam* 7 mm dengan nilai 267.99 MPa. Untuk kondisi 6 (76 knot, 4500 kg) nilai tegangan maksimum pada Al 6061 T6 yaitu 597.81 MPa, dan nilai tegangan terendah pada konfigurasi ketebalan inti *foam* 7 mm dengan nilai 289.88 MPa.

**Kata Kunci:** *Float, Sandwich Aluminium Foam, Water Reaction Load Factor, Tegangan Maksimum.*



## ABSTRACT

**ANDI MUHAMMAD FAIZ.** *Seaplane Float Design with Aluminum Foam Sandwich Material for Static Tests Using Abaqus Software (supervised by Fauzan, ST, MT, Ph.D)*

The sandwich structure produces the unique features of high strength and stiffness combined with low mass. This interesting feature can be applied in the transportation, airplane, and train industries. To meet all the requirements of modern transportation engineering, materials are required that have good sound impact energy absorption capabilities. Highly porous materials with a cellular structure have an interesting combination of physical and mechanical properties. Aluminum Sandwich Foam is a material that meets these requirements. The aim of the research is to analyze the effect of Aluminum 6061 T6 and Sandwich Aluminum Foam materials on the tension in the aircraft float based on variations in landing conditions, stall speed (62 knots and 76 knots), float loading (3500 kg, 4000 kg and 4500 kg), and Aluminum Foam Sandwich material configuration with foam core thicknesses of 3 mm, 5 mm, and 7 mm. This research was carried out using numerical simulation with static testing in the form of Water Reaction Load Factor which refers to CASR part 23 rev. 2, of 2014, in subchapter 23.525 (b). The numerical simulation data is then validated by comparing the given values against the results obtained by the float model. The validation of the results carried out is related to the action-reaction style. From the simulation results, the maximum stress value obtained in condition 1 (62 knots, 3500 kg) is 312.01 MPa on Aluminum 6061 T6, and the lowest stress value is in the 7 mm foam core thickness configuration with a value of 163.16 MPa. For condition 2 (62 knots, 4000 kg) the maximum stress value in Al 6061 T6 is 342.72, and the lowest stress value in the 7 mm foam core thickness configuration is 178.35 MPa. For condition 3 (62 knots, 4500 kg) the maximum stress value on Al 6061 T6 is 369.66 MPa, and the lowest stress value is in the 7 mm foam core thickness configuration with a value of 191.98 MPa. For condition 4 (76 knots, 3000 kg) the maximum stress value on Al 6061 T6 is 440.04 MPa, and the lowest stress value is in the 7 mm foam core thickness configuration with a value of 245.17 MPa. For condition 5 (76 knots, 3500 kg) the maximum stress value on Al 6061 T6 is 468.59 MPa, and the lowest stress value is in the 7 mm foam core thickness configuration with a value of 267.99 MPa. For condition 6 (76 knots, 4500 kg) the maximum stress value on Al 6061 T6 is 597.81 MPa, and the lowest stress value is in the 7 mm foam core thickness configuration with a value of 289.88 MPa.

Keywords: *Float, Sandwich Aluminium Foam, Water Reaction Load Factor, Maximum stress.*



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II LANDASAN TEORI.....	4
2.1 Pesawat N219.....	4
2.2 Pesawat Amfibi.....	5
2.3 <i>Float</i> .....	7
2.4 Pembebanan <i>Float</i> .....	9
2.5 <i>Von Mises</i> .....	10
2.6 Metode Elemen Hingga.....	11
2.7 <i>Aluminium Sandwich Foam</i> .....	13
2.8 Perangkat Lunak Abaqus.....	14
BAB III METODE PENELITIAN.....	17
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	17
3.2 Alat dan Bahan.....	17
3.2.1 Alat.....	17
3.2.2 Bahan.....	18
3.3 <i>Flowchart</i> Penelitian.....	18
3.4 Metodologi Penelitian.....	19
3.5 <i>Simulator</i> .....	19
3.6 Karakteristik Material.....	20
3.7 Spesifikasi <i>Float</i> .....	21
3.8 Konfigurasi <i>Float</i> .....	22
3.9 Prosedur Pembuatan Model.....	23
3.10 Modelan <i>Float</i> Menggunakan Autodesk Fusion 360.....	23
3.11 Simulasi <i>Float</i> Menggunakan Abaqus CAE.....	25



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	33
4.1 Validasi.....	33
4.2 Beban.....	34
4.2.1 <i>Water Reaction Load Factor</i> .....	34
4.3 Hasil.....	37
4.3.1 Pengaruh Waktu Terhadap Tegangan pada Kondisi Pendaratan.....	37
4.3.2 Pengaruh Variasi Konfigurasi Material terhadap Tegangan Maksimum Berdasarkan Pembebanan <i>Float</i> .....	44
4.3.3 Pengaruh Variasi Konfigurasi Material Terhadap Tegangan Maksimum Berdasarkan Kecepatan <i>Stall</i> .....	46
4.3.4 Pengaruh Variasi Pembebanan <i>Float</i> Terhadap Tegangan Maksimum Berdasarkan Kecepatan <i>Stall</i> .....	47
4.3.5 Pengaruh Variasi Kecepatan <i>Stall</i> Terhadap Tegangan Maksimum Berdasarkan Pembebanan <i>Float</i> .....	48
4.3.6 Visualisasi.....	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	52
5.1 Kesimpulan.....	52
5.2 Saran .....	52
DAFTAR PUSTAKA .....	53



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Pesawat N219 .....	4
Gambar 2. Pesawat amfibi .....	6
Gambar 3. Ponton apung .....	8
Gambar 4. Tipe <i>water reaction load factor</i> .....	10
Gambar 5. Model dua dimensi kunci pas sepeda terdiskritisasi .....	11
Gambar 6. Optimalisasi lembaran dan busa .....	14
Gambar 7. Tahapan proses analisa numerik program Abaqus .....	15
Gambar 8. Lokasi penelitian .....	17
Gambar 9. Komputer .....	17
Gambar 10. <i>Mouse</i> .....	18
Gambar 11. <i>Software</i> Autodesk Fusion 360 .....	18
Gambar 12. <i>Software</i> Abaqus CAE .....	18
Gambar 13. Alur proses penelitian .....	19
Gambar 14. <i>Home screen</i> aplikasi Abaqus .....	20
Gambar 15. Ilustrasi <i>float</i> pesawat N219 amfibi .....	22
Gambar 16. Desain <i>float</i> (a) Konfigurasi 1 (b) konfigurasi 2 (c) konfigurasi 3 (d) konfigurasi 4 .....	22
Gambar 17. <i>Color code</i> .....	23
Gambar 18. Mode <i>sketch</i> .....	23
Gambar 19. <i>Float sketch</i> .....	24
Gambar 20. Fitur <i>loft</i> .....	24
Gambar 21. Desain <i>float</i> .....	24
Gambar 22. Menu <i>export</i> .....	25
Gambar 23. Menu <i>import</i> .....	25
Gambar 24. <i>Float part</i> .....	26
Gambar 25. (a) <i>Create part</i> (b) <i>Float model part</i> .....	26
Gambar 26. <i>Assembled part</i> .....	27
Gambar 27. Menu <i>step</i> .....	28
Gambar 28. Menu <i>field output</i> .....	28
Gambar 29. <i>Create Interaction</i> .....	29
Gambar 30. <i>Tie interaction</i> .....	29
Gambar 31. Menu <i>create load</i> .....	29
Gambar 32. Menu <i>create boundary condition</i> .....	30
Gambar 33. <i>Float load dan boundary condition</i> .....	30
Gambar 34. <i>Float global seeds</i> .....	30
Gambar 35. <i>Float mesh</i> .....	31
Gambar 36. <i>Job parallelization</i> .....	31





Gambar 37. <i>Job manager</i> .....	32
Gambar 38. (a) Gaya aksi pada bagian <i>step float</i> (b) Nilai gaya aksi .....	33
Gambar 39. Gaya reaksi pada tumpuan <i>float</i> .....	33
Gambar 40. Grafik pengaruh pembebanan <i>float</i> terhadap gaya pada <i>step</i> .....	36
Gambar 41. Grafik pengaruh kecepatan <i>stall</i> terhadap gaya pada <i>step</i> .....	37
Gambar 42. Grafik pengaruh waktu terhadap tegangan pada kondisi 1 .....	38
Gambar 43. Grafik pengaruh waktu terhadap tegangan pada kondisi 2 .....	39
Gambar 44. Grafik pengaruh waktu terhadap tegangan pada kondisi 3 .....	40
Gambar 45. Grafik pengaruh waktu terhadap tegangan pada kondisi 4 .....	41
Gambar 46. Grafik pengaruh waktu terhadap tegangan pada kondisi 5 .....	42
Gambar 47. Grafik pengaruh waktu terhadap tegangan pada kondisi 6 .....	43
Gambar 48. Grafik pengaruh konfigurasi material terhadap tegangan maksimum pada pembebanan <i>float</i> 3500 Kg.....	44
Gambar 49. Grafik pengaruh konfigurasi material terhadap tegangan maksimum pada pembebanan <i>float</i> 4000 Kg.....	45
Gambar 50. Grafik pengaruh konfigurasi material terhadap tegangan maksimum pada pembebanan <i>float</i> 4500 Kg.....	45
Gambar 51. Grafik pengaruh konfigurasi material terhadap tegangan maksimum pada kecepatan <i>stall</i> 62 Knot .....	46
Gambar 52. Grafik pengaruh konfigurasi material terhadap tegangan maksimum pada kecepatan <i>stall</i> 76 Knot .....	47
Gambar 53. Grafik pengaruh Pembebanan <i>float</i> terhadap tegangan maksimum pada kecepatan <i>stall</i> 62 Knot .....	47
Gambar 54. Grafik pengaruh pembebanan <i>float</i> terhadap tegangan maksimum pada kecepatan <i>stall</i> 76 Knot .....	48
Gambar 55. Grafik pengaruh kecepatan <i>Stall</i> terhadap tegangan maksimum pada pembebanan <i>float</i> 3500 Kg .....	49
Gambar 56. Grafik pengaruh kecepatan <i>stall</i> terhadap tegangan maksimum pada pembebanan <i>float</i> 4000 Kg .....	49
Gambar 57. Grafik pengaruh kecepatan <i>stall</i> terhadap tegangan maksimum pada pembebanan <i>float</i> 4500 Kg .....	50
Gambar 58. Visualisasi Abaqus untuk material Aluminium 6061 t6 .....	51
Gambar 59. Visualisasi Abaqus untuk material <i>sandwich aluminium foam</i> .....	51



## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Spesifikasi pesawat N219 .....	5
Tabel 2. Mekanika properti aluminium 6061 T6 .....	20
Tabel 3. Mekanika properti <i>aluminium foam</i> .....	21
Tabel 4. Spesifikasi <i>float</i> pesawat N219 .....	21
Tabel 5. Konfigurasi desain <i>float</i> .....	22
Tabel 6. Rencana dan Jadwal Penelitian .....	32
Tabel 7. Kondisi pembebanan pada <i>float</i> .....	34
Tabel 8. <i>Water reaction load factor</i> dan <i>Force step</i> .....	35
Tabel 9. Hasil simulasi dengan beban 3500 kg dan kecepatan 62 Knot .....	38
Tabel 10. Hasil simulasi dengan beban 4000 kg dan kecepatan 62 Knot .....	39
Tabel 11. Hasil simulasi dengan beban 4500 kg dan kecepatan 62 Knot .....	40
Tabel 12. Hasil simulasi dengan beban 3500 kg dan kecepatan 76 Knot .....	41
Tabel 13. Hasil simulasi dengan beban 4000 kg dan kecepatan 76 Knot .....	42
Tabel 14. Hasil simulasi dengan beban 4500 kg dan kecepatan 76 Knot .....	43



## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
PTDI	PT. Dirgantara Indonesia
LAPAN	Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
VFR	<i>Visual Flight Rules</i>
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
CASR	<i>Civil Aviation Safety Regulation</i>
$n(w)$	<i>Water Reaction Load Factor</i>
$C_1$	Faktor Operasi Empiris dengan nilai 0,012
$V_{so}$	Kecepatan <i>Stall</i> Pesawat (Knot)
$\beta$	Sudut <i>Dead Rise</i> ( $^{\circ}$ )
W	Setengah Berat <i>Landing</i> Pesawat (Pounds)
$S_y$	Tegangan luluh material (Pa)
$\sigma$	Tegangan ( $N/m^2$ )
$\varepsilon$	Regangan (mm/mm)
E	Modulus Elastisitas (Pa)
S	Kekakuan (N/m)
$\eta$	Faktor Ekspansi
d	Ketebalan (mm)
AFS	<i>Aluminium Foam Sandwich</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
CNC	<i>Computerized Numerical Control</i>
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>
FEA	Finite Element Analysis
MLW	<i>Maximum Landing Weight</i>
SAF 222	<i>Sandwich Aluminium Foam</i> dengan Tebal Inti 2 mm
	<i>Sandwich Aluminium Foam</i> dengan Tebal Inti 5 mm
	<i>Sandwich Aluminium Foam</i> dengan Tebal Inti 7 mm



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *Azza Wa Jalla* atas berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Desain Float Pesawat Amfibi dengan Material Sandwich Aluminium Foam Terhadap Uji Statis Menggunakan Software Abaqus”.

Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu bagian dari persyaratan yang perlu dipenuhi untuk memperoleh gelar Sarjana pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari peran banyak pihak yang telah memberikan bantuan, dorongan dan masukan kepada penulis sehingga pada kesempatan ini penulis dengan kerendahan hati dan rasa hormat mengucapkan banyak terima kasih yang terdalam untuk kedua orang tua penulis yaitu Ibunda tercinta Andi Muhsanah Tahir, S.H. dan juga Ayahanda Ir. Andi Aswan Sumange dan juga kepada saudara penulis Andi Muhammad Faiz. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan kesehatan, kekuatan dan keselamatan.

Penulis juga ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan, bantuan dan masukan terutama kepada :

1. Bapak Fauzan, ST, MT, Ph.D, selaku pembimbing atas segala bimbingan, arahan serta masukan yang telah diberikan dari penyusunan proposal sampai dengan penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Prof. Dr Ir. H Ilyas Renreng, M.T, selaku dosen pembimbing kedua, Bapak Prof. Dr. Ir. Zulkifli Djafar, MT selaku dosen penguji, dan Prof. Dr. Ir. Onny Sutresman, MT selaku dosen penguji dua yang telah memberikan segala bimbingan, arahan, serta koreksi demi kelancaran penyusunan skripsi

i.



3. Seluruh dosen dan staff Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan yang sangat bermanfaat bagi penulis.
4. Saudara kandung penulis, Andi Wina Oktaviana Aswan, S.Psi. dan Andi Nadia Novianti Aswan, S.S. yang senantiasa memberikan semangat, bantuan, dan motivasi kepada Penulis.
5. Partner penelitian penulis, Murthada Mutahhar Al-Fajri Nawawi yang banyak membantu penulis mulai dari diskusi perencanaan penelitian, pembuatan spesimen, pengambilan data hingga penyusunan skripsi
6. Saudara(i) seperjuangan BRUZHLEZZ 19 yang selalu membantu dan mejadi partner dalam berdiskusi sejak awal perkuliahan, hingga proses penyusunan skripsi.
7. Sahabat Laboratorium Fisika Dasar yang selalu menjadi support system terbaik penulis mulai dari awal masa praktikum hingga sampai ke titik ini,
8. Kawan Internship Y-Tec Co., Ltd. yaitu Andi Muhammad Abbas, Andi Ahmad Kamil Saparuddin, S.T., Rahmadien Fibrian Inayatullah. YA, Muhammad Ikhsan Hasan, dan Murthada Mutahhar Al-Fajri Nawawi. yang telah kebersamai dalam suka dan duka selama 1 tahun dalam program magang Jepang.
9. Serta semua pihak yang telah memberikan bantuan kepada penulis yang tidak dapat disebutkan satu persatu..

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menyadari bahwa masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat berharap adanya kritik maupun saran yang membangun untuk kesempurnaan skripsi ini di masa yang akan datang. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan juga bagi peneliti selanjutnya. Terima kasih

Gowa, 6 Juni 2024

Penulis



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Meningkatnya permintaan akan kendaraan, pesawat terbang dan kereta api yang memiliki persyaratan kenyamanan dan keselamatan akustik yang sangat tinggi menyebabkan peningkatan bobot struktural, khususnya di industri otomotif. Di sisi lain, permintaan kendaraan dengan konsumsi bahan bakar rendah memerlukan struktur yang ringan. Untuk memenuhi semua persyaratan teknik transportasi modern, perlu dikembangkan material baru, yang memiliki berat jenis rendah, kekakuan dan kekuatan tinggi, serta kemampuan penyerapan energi benturan suara yang baik. Bahan berpori tinggi dengan struktur seluler memiliki kombinasi sifat fisik dan mekanik yang menarik.

*Aluminium sandwich foam* merupakan gabungan dari lembaran yang terdiri atas aluminium berpori (*aluminium foam*) yang dilapisi lembaran pejal pada permukaannya. Struktur *sandwich* ini menghasilkan fitur yang unik yaitu kekuatan dan kekakuan yang tinggi dikombinasikan dengan massa yang rendah. Karena fitur yang menarik tersebut maka dapat diaplikasikan di industri transportasi, industri mobil-mobil, pesawat terbang dan kereta api (Nugroho dkk, 2013).

*Seaplane* atau pesawat amfibi adalah pesawat yang dapat melakukan pendaratan dan lepas landas di atas air. *Seaplane* telah digunakan sejak awal abad ke-20 sebagai alat transportasi udara yang efektif di daerah-daerah yang sulit dijangkau melalui jalur darat atau udara. (Sundararajan, 2014).

Salah satu komponen penting dari *seaplane* adalah *float*. *Float* adalah perangkat yang terpasang di bawah pesawat untuk membantu pesawat mendarat dan lepas landas di atas air. *Float* pada *seaplane* harus dirancang dengan baik untuk memastikan stabilitas, efisiensi, dan kinerja optimal dari pesawat. Desain pada *float* dapat mempengaruhi performa dan stabilitas pesawat di atas air (Kumar, A., &

2016).



Berdasarkan uraian di atas, maka pengaruh desain *float* pada pesawat amfibi diharapkan mampu meningkatkan efisiensi yang terjadi saat *landing* oleh pesawat amfibi secara signifikan dengan menggunakan hasil simulasi dari aplikasi Abaqus. Dengan demikian, penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi positif pada pengembangan teknologi material, khususnya dalam moda transportasi modern di Indonesia.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan masalah – masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh waktu terhadap tegangan pada *float* pesawat dengan material Aluminium 6061 T6 dan *Sandwich Aluminium Foam* berdasarkan variasi kondisi pendaratan yang diberikan?
2. Bagaimana pengaruh konfigurasi material terhadap tegangan maksimum pada *float* pesawat berdasarkan variasi pembebanan *float*?
3. Bagaimana pengaruh konfigurasi material terhadap tegangan maksimum pada *float* pesawat berdasarkan variasi kecepatan *stall*?
4. Bagaimana pengaruh pembebanan *float* terhadap tegangan maksimum pada *float* pesawat berdasarkan variasi kecepatan *Stall*?
5. Bagaimana pengaruh kecepatan *stall* terhadap tegangan maksimum pada *float* pesawat berdasarkan variasi pembebanan *float*?
6. Bagaimana pengaruh variasi konfigurasi material terhadap tegangan maksimum pada *float* pesawat berdasarkan hasil uji simulasi pada perangkat lunak Abaqus CAE

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini yaitu

1. Menganalisis pengaruh waktu terhadap tegangan pada *float* pesawat dengan material Aluminium 6061 T6 dan *Sandwich Aluminium Foam* berdasarkan variasi kondisi pendaratan yang diberikan.



2. Menganalisis pengaruh konfigurasi material terhadap tegangan maksimum pada *float* pesawat berdasarkan variasi pembebanan *float*.
3. Menganalisis pengaruh konfigurasi material terhadap tegangan maksimum pada *float* pesawat berdasarkan variasi kecepatan *stall*.
4. Menganalisis pengaruh pembebanan *float* terhadap tegangan maksimum pada *float* pesawat berdasarkan variasi kecepatan *Stall*.
5. Menganalisis pengaruh kecepatan *stall* terhadap tegangan maksimum pada *float* pesawat berdasarkan variasi pembebanan *float*.
6. Menganalisis pengaruh variasi konfigurasi material terhadap tegangan maksimum pada *float* pesawat berdasarkan hasil uji simulasi pada perangkat lunak Abaqus CAE

#### 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah

1. Perangkat lunak yang digunakan untuk analisa pemodelan elemen hingga adalah Abaqus CAE.
2. Simulasi berupa *step landing* dengan variasi kondisi pendaratan.
3. Menggunakan material Aluminium 6061 T6 dan *Sandwich Aluminium Foam* dengan variasi ketebalan *foam*.
4. Kekuatan *float* yang dianalisis adalah tegangan *von mises*.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat pada penelitian ini adalah

1. Sebagai acuan dalam penggunaan *float* pada pesawat amfibi N219
2. Menambah pengetahuan dan referensi mengenai pembebanan statis pada *float* pesawat amfibi N219
3. Sebagai bahan informasi untuk penelitian selanjutnya, agar dapat dikembangkan untuk penelitian lebih lanjut.





## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Pesawat N219

Pesawat N219 adalah pesawat utilitas *multi-role twin-turboprop* yang dikembangkan oleh PT. Dirgantara Indonesia (PTDI) dan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) untuk memenuhi kebutuhan pelanggan pertahanan dan sipil. Pesawat serba guna ini dapat digunakan untuk transportasi penumpang, pasukan dan kargo, evakuasi medis, pencarian dan penyelamatan (SAR), misi pengawasan dan patroli.

N219 adalah pesawat udara bersayap sepasang *fixed wing* yang mengintegrasikan struktur sayap yang dipasang tinggi, badan pesawat berbentuk kotak, dan konfigurasi ekor konvensional. Pesawat serba guna ini dilengkapi dengan pembangkit listrik yang efisien, rangkaian avionik canggih, dan roda pendaratan roda tiga yang tetap. Hal ini dirancang untuk memberikan manfaat teknis dan ekonomi kepada *operator*.

Pesawat ini didukung oleh dua mesin *turboprop* Pratt & Whitney PT6A-42 yang menggerakkan dua baling-baling logam empat bilah Hartzell. Setiap mesin mengembangkan tenaga maksimum 850shp. Pembangkit listrik memastikan pengoperasian dalam kondisi panas dan tinggi (*Airforce Technology*, 2017).



Gambar 1. Pesawat N219  
Sumber: *Airspace review* (2020)



Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) dan PT Dirgantara Indonesia (PTDI) telah mengembangkan varian pesawat N219 amfibi yang akan

dijadikan *seaplane*. Pesawat bermesin PT6A-42 ganda dengan kapasitas 19 penumpang ini dianggap mampu menghubungkan Indonesia dari pulau ke pulau.

Dengan kemampuan bobot maksimum lepas landas 7.030 kg, berjarak tempuh (19 penumpang) 480 mil laut, dan berkecepatan jelajah maksimum 210 knot. Berikut spesifikasi pesawat N219 yang sedang dikembangkan menjadi *seaplane* (*Airspace review*, 2020).

Adapun spesifikasi dari pesawat N219 adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Spesifikasi pesawat N219

No.	Uraian	N219
1.	Panjang	16,7 m
2.	Bentangan sayap	19,5 m
3.	Tinggi	6,2 m
4.	Kapasitas Penumpang	19 orang
5.	<i>Max. Payload capacity</i>	2.300 kg
6.	<i>Max. Payload fuel payload capacity</i>	1.600 kg
7.	<i>Max. cruise speed</i>	388 km/h
8.	<i>Take off-field length</i>	455 m
9.	<i>Max. range with full fuel load on board</i>	1539 km
10.	Jenis Pesawat	<i>seaplane</i>

Sumber: *Airforce Technology* (2017)

## 2.2 Pesawat Amfibi

Pesawat amfibi, salah satu kelas pesawat yang dapat mendarat, mengapung, dan lepas landas di atas air. Pesawat amfibi dengan lambung seperti perahu juga dikenal sebagai *flying boats*, yang memiliki ponton atau *float* terpisah pesawat apung.

Pesawat amfibi harus mempunyai daya apung yang cukup untuk mengapung di air dan juga harus mempunyai sarana untuk menopang beratnya ketika di sepanjang permukaan air dengan kecepatan hingga kecepatan



terbang. Pesawat harus mampu lepas landas dan mendarat dengan batas stabilitas dan kendali dari pihak pilot; strukturnya harus cukup kuat untuk menahan guncangan pendaratan; dan ketahanan airnya harus cukup rendah untuk memungkinkan lepas landas dalam waktu yang cukup singkat (Britannica, 2023).

Ada dua jenis utama pesawat amfibi: *flying boats* (sering disebut *hull seaplanes*) dan *floatplanes*. Bagian bawah badan pesawat kapal terbang merupakan roda pendaratan utamanya. Biasanya dilengkapi dengan pelampung yang lebih kecil di dekat ujung sayap, yang disebut *wing* atau *tip floats*. Di sisi lain, *floatplanes* biasanya merupakan pesawat darat konvensional yang dilengkapi dengan *floats* terpisah pengganti rodanya.



Gambar 2. Pesawat amfibi

Sumber: *U.S. Dept. of Transportation* (2004)

Beberapa *flying boats* dan *floatplanes* dilengkapi dengan roda yang dapat ditarik untuk mendarat di permukaan darat. Pesawat ini disebut amfibi. Pada kapal terbang amfibi, roda utama umumnya ditarik ke sisi lambung di atas permukaan air. Roda utama untuk pelampung amfibi ditarik ke atas ke dalam *floats* itu sendiri (*U.S. Dept. of Transportation*, 2004).

Adapun kelebihan dan kekurangan *seaplane* yang telah dianalisis menggunakan metode SWOT (*Strength, Weaknesses, Opportunities, Threats*) oleh *Genesys Leyva, Alan Leonel* (2012) dalam *Seaplane Conceptual Design and* adalah sebagai berikut:



*Seaplane* memiliki keuntungan dalam hal ini yaitu mampu menjangkau tempat-tempat yang sulit aksesnya, memiliki rekam jejak keamanan yang baik pada saat proses *landing, takeoff*, tidak membutuhkan infrastruktur landasan pacu yang “tidak siap” dan biaya pendaratan lebih kecil daripada pesawat darat. Selain itu, memberikan keuntungan untuk perekonomian lokal karena meningkatkan kunjungan wisatawan.

## 2. *Weakness*

*Seaplane* saat ini “spesies yang terancam punah” dan meskipun memiliki potensi yang tidak diragukan lagi, kurangnya kemampuan untuk mengembangkannya menjadi salah satu permasalahan. Aspek desain merupakan penghalang utama kemajuan *seaplane*. Kurangnya desain inovatif dan penggunaan teknologi saat ini kemudian memaksa *seaplane* menjadi VFR (*Visual Flight Rules*) dan membuat *seaplane* tidak sesuai dalam kondisi cuaca buruk atau perairan yang ganas.

## 3. *Opportunities*

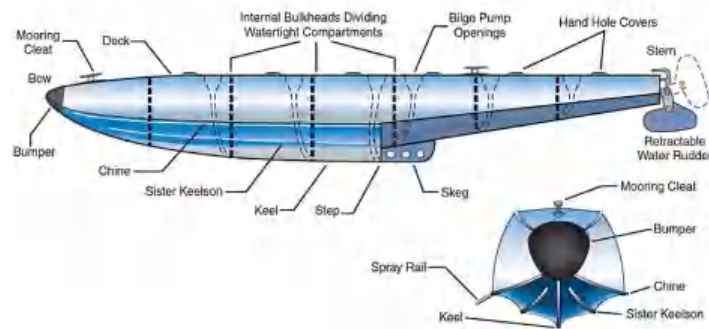
*Seaplane* memiliki peluang yang besar untuk perbaikan dalam sistem operasinya dan banyak peluang untuk pengembangan di masa depan. Selain itu *seaplane* dapat dikembangkan menjadi teknologi baru dan desain yang baru, dengan melibatkan konsultan operator untuk mendesain peralatan di masa depan dan peraturan otoritas maritim harus dipertimbangkan sebelum proses desain.

## 4. *Threats*

Proses *take off seaplane* tidak lepas dari hambatan. Selain itu, persepsi publik tentang keselamatan pesawat ringan berdampak pada penerimaan *seaplane* sebagai salah satu moda transportasi. Kurangnya pelatihan dan akseptabilitas pekerja yang berada di dermaga untuk membantu proses *take off* dan *landing seaplane*, penanganan penumpang, serta pengawasan persyaratan *rescue and fire* (Canamar Leyva, 2012).



Ponton atau *float* adalah struktur hampa kedap udara yang mengapung diatas air. Terdapat 1 (satu) atau lebih ponton apung pada pesawat amfibi tipe *floatplane*. Gaya *buoyancy* dari ponton digunakan sebagai sarana pesawat amfibi mengapung diatas air. Ponton didesain sedemikian rupa untuk mendapatkan hambatan air seminimal mungkin untuk mendapatkan jarak *takeoff* yang minimal.



Gambar 3. Ponton apung

Sumber: *U.S. Dept. of Transportation* (2004)

Terdapat beberapa komponen yang ada pada ponton apung atau *float* pesawat terbang, dengan tiap komponen memiliki fungsinya masing-masing, berikut adalah beberapa penjelasan dari komponen utama yang ada pada ponton apung atau *float* pesawat terbang:

1. *Keel*

*Keel* atau lunas adalah komponen pada *float* yang terletak pada bagian tengah di bawah *hull* yang berfungsi untuk mencegah pesawat oleng ketika berada di atas air.

2. *Skeg*

*Skeg* adalah plat pendek yang merupakan perpanjangan dari *keel* yang berfungsi untuk mencegah *tail* pesawat terbentur dengan tanah saat berada di darat.

3. *Chine*

Adalah komponen pada *float* yang berfungsi untuk mengarahkan *waterspray* menjauh dari *hull*. Pada pesawat amfibi *waterspray* harus seminimal mungkin

tidak mengenai mesin pesawat.



*Step* adalah bentuk pada bagian tengah dibawah *hull* yang memiliki perbedaan ketinggian yang berfungsi untuk mengurangi *hydrodynamic drag* pada saat pesawat terbang dalam posisi *rotate* pada *take-off run*.

#### 5. *Sister Keelson*

Pada bagian bawah *hull* diantara *chine* dan *keel* terdapat *sister keelson* yang berfungsi untuk memberi tambahan kekuatan struktur dan juga untuk memberi gaya tambahan untuk melawan gaya oleng pada *hull*.

#### 6. *Bumper*

Adalah bagian pada depan *hull* yang terbuat dari bahan penyerap benturan untuk melindungi *hull* dari tabrakan saat operasi *mooring*.

Setiap *hull* paling sedikit harus memiliki 4 (empat) ruang kedap air dan memiliki *hatch* kedap air pada *deck*-nya untuk mempermudah inspeksi dan pemeliharaan, dan setiap instalasi dan inspeksi harus dilakukan pihak yang sudah disetujui oleh FAA (*Federal Aviation Administration*). Karena operasi pesawat amfibi sebagian besar dilakukan di wilayah perairan, aspek keselamatan pada pesawat amfibi mengandalkan ponton apungnya. Alat tersebut harus dirancang menggunakan prinsip hidrodinamika dasar yang mumpuni dengan perhitungan yang presisi (*U.S. Dept. of Transportation*, 2004).

### 2.4 Pembebanan *Float*

Desain struktur *float* diatur dalam CASR (*Civil Aviation Safety Regulation*) part 23 amandemen 2. Peraturan ini menjelaskan tentang standar kelaikan udara untuk pesawat terbang dalam kategori *normal*, *utility*, *acrobatic*, dan *commuter category airplanes*. Dalam penelitian ini pesawat yang dipakai termasuk dalam jenis pesawat *utility* yaitu pesawat terbang yang memiliki konfigurasi tempat duduk (tidak termasuk kursi pilot) sembilan atau lebih dengan *maximum takeoff weight* sebesar 12.500 *pound* atau kurang. Dalam penelitian ini, pesawat terbang yang dibuat adalah pesawat terbang jenis amfibi yang dijelaskan pada CASR part 23.521 *water load*. Struktur pesawat amfibi harus dirancang untuk *water loads* berkembang selama lepas landas dan mendarat dengan pesawat amfibi *altitude* apa pun yang mungkin terjadi dalam operasi normal pada kecepatan



gerak maju dan tenggelam yang sesuai di bawah kondisi laut paling parah yang mungkin dihadapi (Kemenhub RI, 2014).

a. *Water reaction load factors*

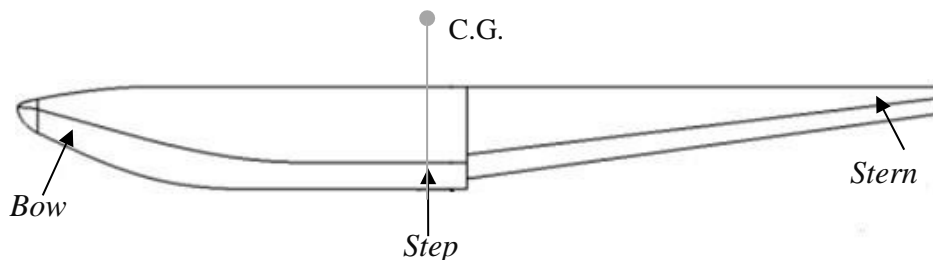
*Water reaction load factor*  $n(w)$  harus dihitung dengan cara berikut:

Untuk kasus *step landing*:

$$n(w) = \frac{c_1 v_{so}^2}{\tan^3 \beta w^{\frac{1}{3}}} \quad (1)$$

Untuk kasus *bow* dan *stern landing*:

$$n(w) = \left( \frac{c_1 v_{so}^2}{\tan^3 \beta w^{\frac{1}{3}}} \right) \left( \frac{K_1}{[1 + px]^{\frac{2}{3}}} \right) \quad (2)$$



Gambar 4. Tipe *water reaction load factor*

Sumber: Kemenhub RI (2014)

Dimana:

$n_w$  : *water reaction load factor* (reaksi air dibagi berat pesawat).

$C_1$  : faktor operasi pesawat empiris yang memiliki nilai 0,012.

$V_{so}$  : kecepatan *stall* pesawat dalam knot.

$\beta$  : sudut *dead rise*.

$W$  : setengah berat *landing* pesawat dalam *pounds*.

$K_1$  : faktor pembebanan pada bagian *hull float* sesuai dengan gambar 7.

$\rho(x)$  : rasio jarak, diukur sejajar dengan sumbu referensi *hull* dari pusat gravitasi pesawat terhadap sumbu *longitudinal float* dimana faktor beban dihitung dengan jari-jari rotasi dalam *pitch float*, berimpit pada *keel* pada bagian

*step*.

*Mises*



Teori kegagalan ini digunakan untuk menentukan posisi tegangan terbesar dimana pada posisi ini akan terjadi awal kerusakan/kegagalan. Pertama kali diusulkan oleh M.T. Hueber (1904) kemudian diperbaiki dan diperjelas oleh R. Von Mises (1913) dan oleh H. Hencky (1925). Teori ini lebih dikenal dengan nama teori kegagalan Von Mises. Teori kegagalan ini dianalisa pertama melalui tegangan oktahedral yang menyatakan bahwa luluh akan terjadi bila tegangan geser oktahedral maksimum yang terjadi melebihi harga batas yang diketahui dari hasil tes tarik material standar dengan beban uniaksial (Jokowiyono, 2012).

Dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$S_y = \frac{\sqrt{2}}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_1)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

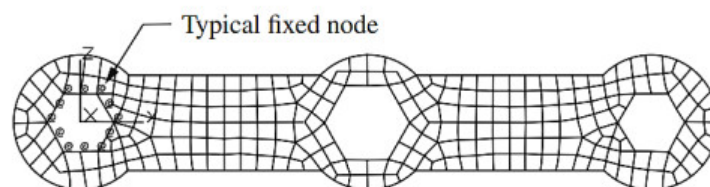
Dimana:

$S_y$  = Tegangan luluh material

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  = Tegangan-tegangan *principal* ( $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ )

## 2.6 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan metode numerik untuk menyelesaikan permasalahan fisika teknik dan matematika. Bidang masalah umum yang diminati dalam bidang teknik dan fisika matematika yang dapat diselesaikan dengan menggunakan metode elemen hingga meliputi analisis struktur, perpindahan panas, aliran fluida, transportasi massa, dan potensial elektromagnetik.



Gambar 5. Model dua dimensi kunci pas sepeda terdiskritisasi

Sumber: Logan (2022)



Metode elemen hingga melibatkan pemodelan struktur menggunakan elemen-elemen yang saling berhubungan yang disebut *finite elements*. Fungsi perpindahan



dikaitkan dengan setiap elemen hingga. Setiap elemen yang saling berhubungan dihubungkan, secara langsung atau tidak langsung, ke setiap elemen lainnya melalui antarmuka umum, termasuk *node* dan/atau garis batas dan/atau permukaan. Dengan menggunakan sifat tegangan/regangan yang diketahui untuk material penyusun struktur, seseorang dapat menentukan perilaku suatu simpul tertentu dalam kaitannya dengan sifat-sifat setiap elemen lain dalam struktur.

Hubungan *strain/displacement* dan *stress/strain* diperlukan untuk menurunkan persamaan setiap elemen hingga. Dalam kasus deformasi satu dimensi, katakanlah, dalam arah  $x$ , kita mempunyai regangan  $\varepsilon_x$  yang berhubungan dengan perpindahan  $u$  sebesar;

$$\varepsilon_x = \frac{du}{dx} \quad (5)$$

Untuk regangan kecil. Selain itu, tegangan harus dihubungkan dengan regangan melalui hukum tegangan/regangan—umumnya disebut hukum konstitutif. Kemampuan untuk mendefinisikan perilaku material secara akurat adalah hal yang paling penting dalam memperoleh hasil yang dapat diterima. Hukum tegangan/regangan yang paling sederhana, hukum Hooke, yang sering digunakan dalam analisis tegangan, diberikan oleh;

$$\sigma_x = E\varepsilon_x \quad (6)$$

Dimana:

$\sigma_x$  = Tegangan pada arah  $x$

$E$  = Modulus elastisitas

Metode elemen hingga yang digunakan untuk rangka ini memungkinkan perancang/analisis dengan cepat mendapatkan perpindahan dan tegangan pada menara untuk kasus beban tertentu, seperti yang disyaratkan oleh peraturan desain. Sebelum pengembangan metode elemen hingga dan komputer, masalah yang relatif

ini pun memerlukan waktu berjam-jam untuk diselesaikan.

Metode elemen hingga telah diterapkan pada berbagai permasalahan, baik struktural maupun nonstruktural. Metode ini memiliki sejumlah keunggulan



dibandingkan metode perkiraan konvensional, seperti yang disajikan pada mata kuliah tradisional mekanika material dan perpindahan panas, serta untuk pemodelan dan penentuan besaran fisis, seperti perpindahan, tegangan, suhu, tekanan, dan arus listrik yang dihasilkan. itu sangat populer. Ini termasuk kemampuan untuk pemodelan *bodies* yang bentuknya tidak beraturan dengan cukup mudah, menangani kondisi beban umum tanpa kesulitan, menangani jumlah dan jenis kondisi batas yang tidak terbatas, mengubah model elemen hingga dengan relatif mudah dan murah, hingga mampu menyertakan efek dinamis (Logan, 2022).

## 2.7 Aluminium Sandwich Foam

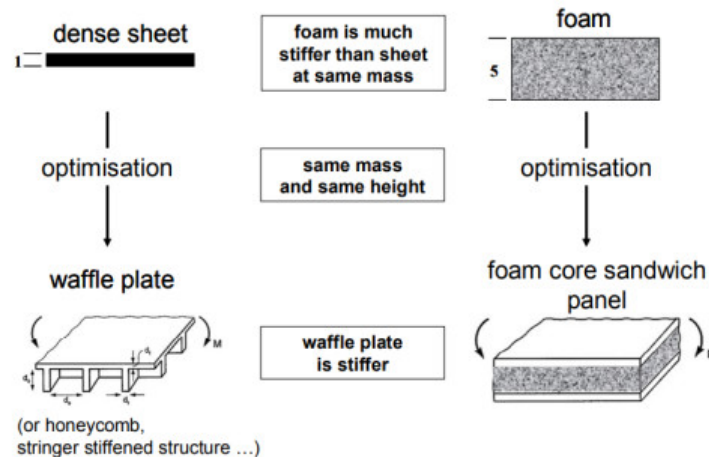
*Metal foam* dapat diproduksi dalam berbagai bentuk mulai dari produk datar sederhana hingga komponen yang bentuknya hampir berubah-ubah. Tergantung pada proses pembuatan yang digunakan, komponen berbuisa memperlihatkan kulit luar yang tertutup ketika diperluas di dalam cetakan atau – jika busa harus dipotong sesuai ukuran – memperlihatkan pori-pori yang terbuka sebagian. Busa pembatas kulit alami komponen meningkatkan kekuatan kompresi secara signifikan, namun mungkin terlalu tipis untuk menyegel busa secara efektif atau memberikan stabilitas mekanis yang cukup. Desain *sandwich* yang tepat berdasarkan lembaran muka yang padat dapat mengoptimalkan sifat kompresi, tegangan, torsi, atau lentur dengan lebih efisien.

Manfaat penggunaan panel *sandwich* menjadi jelas dari Gambar 6. Lembaran aluminium padat biasa memiliki kekakuan  $S$  yang ditentukan oleh ketebalannya “ $d$ ” dan *modulus Young*  $E$ :  $S \propto E \times d^3$ . Memperluas lembaran ini hingga ketinggian  $\eta d$  tidak akan mengubah massanya tetapi *modulus Young* akan turun menjadi  $1/\eta^2$ , karena  $E \propto d^{-2}$ , menurut eksperimen. Oleh karena itu,  $S$  sebanding dengan faktor ekspansi  $\eta$ . Dengan demikian, rasio kekakuan terhadap massa busa lebih tinggi dibandingkan dengan bahan padat yang bersangkutan yaitu sebuah alasan mengapa busa merupakan bahan yang baik untuk konstruksi ringan. Optimalisasi distribusi

lembaran bidang pada massa konstan akan menghasilkan struktur seperti panel yang ditunjukkan pada gambar 6 yang memiliki kekakuan jauh lebih tinggi. Di sisi lain, busa kosong juga dapat diperbaiki dengan menggabungkannya



dengan lembaran muka dan perbandingan yang lebih bermakna adalah antara struktur yang dioptimalkan seperti sarang lebah atau pelat wafel di satu sisi dan panel *sandwich* inti busa di sisi lain. Kali ini struktur biasa yang direkayasa di sebelah kiri lebih kaku dibandingkan busa tidak beraturan di sebelah kanan (Banhart, 2008).



Gambar 6. Optimalisasi lembaran dan busa  
Sumber: Banhart (2008)

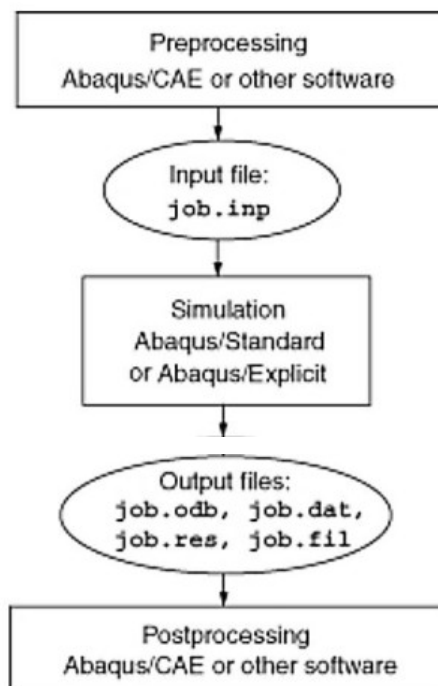
Dalam praktiknya, pemilihan material tidak semata-mata berpedoman pada argumen kekakuan. Aspek lain yang juga penting seperti, kemampuan menghasilkan bentuk 3D, biaya, batas elastis, modulus kegagalan, toleransi kerusakan, teknologi penyambungan yang tersedia, perilaku redaman, dan sifat lainnya. Mempertimbangkan semua aspek ini, kita telah menemukan penerapan nyata untuk AFS (*Aluminium Sandwich Foam*). Industri otomotif pertama kali mengambil teknologi ini ketika pembuat mobil Jerman Karmann memperkenalkan mobil konsep berbasis AFS pada tahun 1996 (Banhart, 2008).



tingkat Lunak Abaqus

Abaqus adalah paket program simulasi rekayasa berdasarkan metode elemen hingga yang dapat memecahkan masalah mulai dari analisis linear yang relatif sederhana sampai pada simulasi nonlinier yang rumit.

Abaqus menawarkan berbagai kemampuan untuk simulasi aplikasi linear dan nonlinear. Masalah pada sistem dengan beberapa komponen dimodelkan dengan menghubungkan geometri dan mendefinisikan setiap komponen dengan model bahan yang tepat kemudian menentukan interaksi komponen. Untuk analisis nonlinear Abaqus memilih kenaikan beban dan nilai toleransi konvergensi yang sesuai secara otomatis serta kontinyu dan melakukan penyesuaian selama analisis untuk memastikan solusi yang akurat dan efisien. Analisa lengkap dengan Abaqus biasanya terdiri dari tiga tahap yang berbeda: *preprocessing*, *simulation*, dan *postprocessing*. Ketiga tahap dihubungkan bersama oleh file-file seperti yang ditunjukkan di bawah ini :



Gambar 7. Tahapan proses analisa numerik program Abaqus

Sumber: Johanis (2019)



*Preprocessing* (Abaqus/CAE); pada tahap ini dilakukan pemodelan masalah secara grafis menggunakan Abaqus/CAE atau dengan program CAD lain yang mendukung, pada dasarnya untuk pemodelan permasalahan yang sederhana pada Abaqus dapat dilakukan dengan *text editor* yang tersedia.

*Simulation* (Abaqus/Standard or Abaqus/Explicit); Tahap simulasi dimana Abaqus memroses komputasi numerik dibelakang layar untuk pemecahan permasalahan yang sudah didefinisikan sebelumnya. Hasil komputasi yang termasuk nilai stress dan defleksi tersimpan dalam bentuk file biner yang siap ditampilkan pada tahap *postprocessing*. Lama waktu yang dibutuhkan untuk tahapan ini sangat tergantung pada kompleksitas masalah yang dianalisis serta kemampuan *hardware* komputer yang digunakan.

*Postprocessing* (Abaqus/CAE) ; setelah proses komputasi pada tahap *simulation* telah selesai hasilnya dapat ditampilkan dan dievaluasi. Evaluasi umumnya dilakukan secara interaktif menggunakan modul visualisasi Abaqus / CAE atau *postprocessor* lain. Modul visualisasi yang membaca *database* hasil komputasi numerik memiliki banyak variasi pilihan untuk menampilkan hasil analisis, termasuk plot kontur warna, animasi, plot deformasi bentuk dan plot pada bidang X-Y (Johanis, 2019).

