

# Analisis Pengaruh Getaran di Kamar Mesin LCU pada Ruang Akomodasi dengan Material Pelat *Sandwich* terhadap Kenyamanan ABK

Bagas Ariya Wijaya, Achmad Zubaydi, Rizky Chandra Ariesta  
Departemen Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*e-mail:* zubaydi@na.its.ac.id

**Abstrak**—Material *sandwich* adalah material inovatif baru yang dikembangkan dapat menjadi alternatif pengganti baja, karena memiliki kekuatan dan kekakuan yang memenuhi kriteria *rules*. Penelitian ini melakukan analisis getaran pada geladak penumpang kapal LCU yang mengaplikasikan material *sandwich*. Kapal ini memiliki lima geladak penumpang yaitu geladak A, geladak B, geladak C, geladak D, dan geladak E dengan sumber getaran dari kamar mesin sebagai sumber eksiter terbesar. Analisis simulasi numerik menggunakan metode elemen hingga dilakukan untuk mengetahui frekuensi natural dan respon getaran yang terjadi pada setiap geladak penumpang LCU. Hasil analisis menunjukkan bahwa aplikasi material *sandwich* pada geladak penumpang LCU memiliki nilai *velocity* maksimum sebesar 2.096 mm/s pada *deck* A, 5.89 mm/s pada *deck* B, 2.67 mm/s pada *deck* C, 5.42 mm/s pada *deck* D dan 3.10 mm/s pada *deck* E, dimana nilai tersebut masih masuk kriteria kenyamanan ABK ISO 6954 (2000).

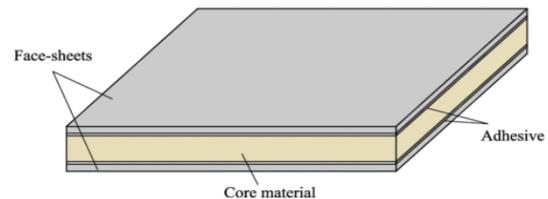
**Kata Kunci**—Material *sandwich*, LCU, Getaran, dan Geladak.

## I. PENDAHULUAN

LCU (*Landing Craft Utility*) merupakan kapal yang dirancang untuk keperluan militer, yang berfungsi untuk mengangkut personil, muatan *cargo*, dan kendaraan seperti tank, transporter, dan truck. LCU memiliki fasilitas *rump door* yang berfungsi untuk akses kendaraan lewat [1]. Untuk menggerakkan kapal diperlukan komponen propulsi, salah satunya adalah mesin. Mesin terletak di bagian ceruk buritan dimana akan dihubungkan dengan *shaft* untuk menggerakkan *propeller* sehingga *propeller* berputar yang kemudian menimbulkan gaya dorong atau *thrust* untuk menggerakkan kapal. Karena adanya gaya dorong dan reaksi gaya tersebut menyebabkan kamar mesin menjadi eksiter terbesar di kapal.

Penelitian tahun 2019 yang dilakukan penelitian tentang pengaruh getaran di kamar mesin LCU terhadap kenyamanan ABK di ruang akomodasi yang disebabkan oleh komponen propulsi kamar mesin secara kontinyu, dimana *thrust* pada *propeller* mengakibatkan getaran longitudinal secara vertikal. Dalam penelitian tersebut material yang digunakan pada geladak ruang akomodasi kapal LCU adalah material baja konvensional. Hasil penelitian tersebut didapati bahwa getaran yang ada di geladak ruang akomodasi kapal LCU dengan material baja tidak melebihi batas kenyamanan ABK berdasarkan kriteria ISO 6954 (1984), karena besarnya *velocity* di setiap geladak kurang dari 9 mm/s [2].

Sejalan dengan perkembangan teknologi material telah menghasilkan beberapa material inovatif. Salah satu material inovatif yang digunakan pada konstruksi kapal adalah material *sandwich*. Material *sandwich* adalah material yang memiliki bentuk berlapis, dimana lapisan luar disebut *faceplate* dan lapisan dalam adalah *core* sebagaimana ditunjukkan Gambar



Gambar 1. Material *sandwich*.



Gambar 2. Kapal LCU.

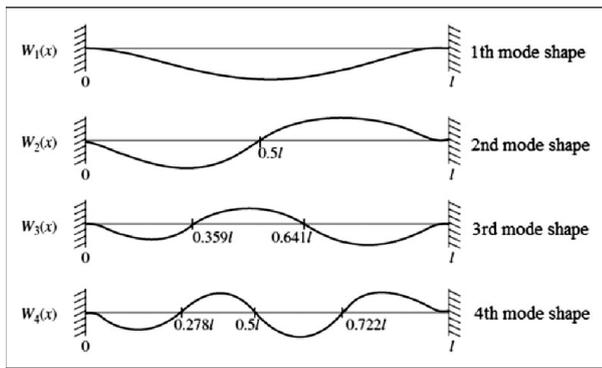
1 Material *faceplate* memiliki sifat yang kuat dan lebih kaku, sedangkan pada bagian tengah atau *core* berasal dari material yang ringan sehingga penggunaan pelat *sandwich* memberikan kontribusi terhadap pengurangan berat [3]. Material penyusun pelat *sandwich* menggunakan baja untuk *faceplate* dan *polyurethane elastomer* digunakan sebagai *core* [4].

Oleh karena itu, dilakukan analisis pengaruh respon getaran kamar mesin LCU terhadap kenyamanan ABK pada geladak ruang akomodasi yang menggunakan material *sandwich*. Analisis numerik dengan metode elemen hingga dilakukan untuk mengetahui nilai frekuensi natural dan respon getaran yang terjadi pada geladak A, geladak B, geladak C, geladak D, dan geladak E. Dalam analisis ini akan dilakukan perbandingan nilai frekuensi natural dan respon getaran pada material *sandwich* dan material baja. Respon getaran yang terjadi kemudian dibandingkan dengan kriteria kenyamanan ABK menurut ISO 6954 untuk melihat nilai getaran pada geladak ruang akomodasi masih memenuhi kriteria tersebut.

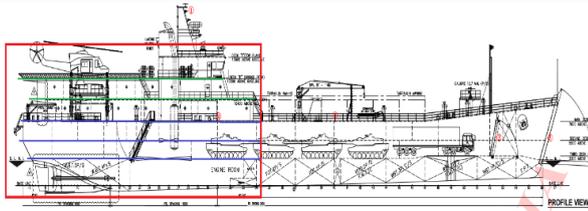
## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Pelat *Sandwich*

SPS (*Sandwich plate system*) merupakan material yang memiliki bentuk berlapis, terdapat 2 material pelat (*faceplate*) yang dipisahkan oleh material inti (*core*). Lapisan luar (*faceplate*) biasanya terbuat dari baja sedangkan material inti tersusun dari material komposit. Tiga lapisan tersebut akan membentuk satu kesatuan pelat *sandwich* yang memiliki kekakuan dan kekuatan yang baik dengan berat efisien [3].



Gambar 3. Modes Shapes.



Gambar 4. General arrangement kapal LCU.

Tabel 1.  
Overall Frequency-Weighted RMS Values (ISO 6954: 2000).

Criteria	Area Classification					
	A		B		C	
	mm /s <sup>2</sup>	mm /s	mm /s <sup>2</sup>	mm /s	mm /s <sup>2</sup>	mm /s
Values above which adverse comments are probable	143	4	214	6	286	8
Values below which adverse comments are not probable	71.5	2	107	3	143	4

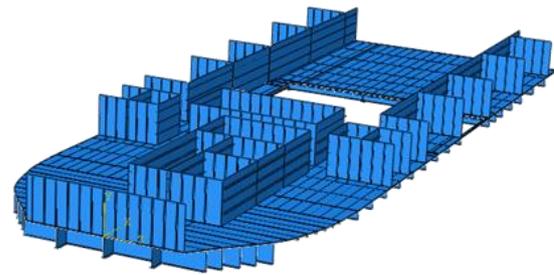
**B. Kapal LCU**

LCU (*Landing Craft Utility*) adalah kapal yang dirancang untuk keperluan militer, yang digunakan untuk mengangkut personil, muatan *cargo*, dan kendaraan yang digunakan untuk operasional *offshore*. LCU memiliki fasilitas *rump door* yang berfungsi untuk akses muatan kendaraan seperti tank, transporter, truck, dll. Oleh karena itu muatan kendaraan yang di dalam LCU bisa lansung turun di daratan [1].

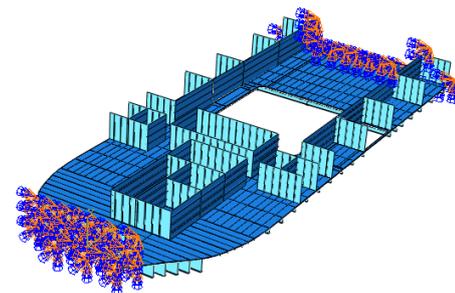
Gambar 2 menunjukkan kapal LCU yang sebelumnya di rancang untuk mengangkut peralatan perang, namun sekarang di fasilitasi *stern ramp* atau *ramp door* untuk akses. Pada saat ini kapal LCU memiliki fungsi sebagai penjaga dan kapal operator. Selain itu kapal LCU juga digunakan sebagai sarana pengiriman alat berat ke daerah [1].

**C. Getaran**

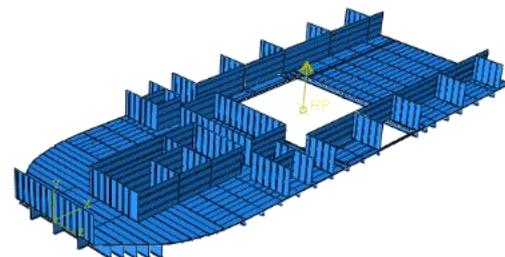
Getaran adalah gerak osilasi sebuah benda terhadap posisi setimbang benda. Keadaan setimbang yang dimaksud adalah keadaan diam sebuah benda apabila tidak ada gaya yang bekerja pada benda tersebut [5]. Secara umum ada dua jenis getaran yaitu getaran bebas dan getaran paksa. Getaran bebas adalah getaran yang terjadi karena sistem beresilasi akibat dari berkerjanya gaya yang ada pada sistem itu sendiri dan jika tidak ada gaya luar yang berkerja. Sebuah sistem yang bergetar bebas akan bergetar pada satu atau lebih frekuensi naturalnya yang merupakan sifat dari sistem dinamika yang dibentuk oleh distribusi masa dan kekuan dari sistem tersebut.



Gambar 5. Model geladak A.



(a)



(b)

Gambar 6. Kondisi batas geladak A (a) dan input gaya (b).

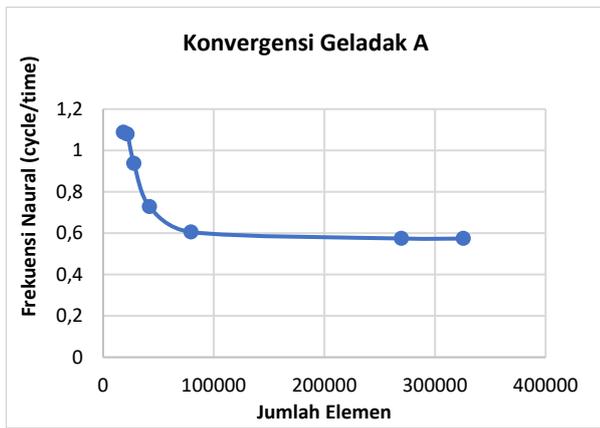
Getaran paksa adalah getaran yang terjadi akibat adanya eksitasi kontinyu pada suatu objek. Ada 2 jenis eksitasi yaitu *base excitation* dan *force excitation*. *Base excitation* adalah pergeseran yang disebabkan oleh *base*, sedangkan *force excitation* adalah pergeseran yang disebabkan oleh adanya gaya yang bekerja pada objek bermassa [6].

Pada *base excitation*, hasil respon atau *output* sistem  $y(t)$  yang dikenakan pada *input* akan menghasilkan eksitasi yang disebut dengan  $x(t)$ , oleh sebab itu besarnya nilai eksitasi  $x(t)$  berbeda dengan nilai eksitasi  $y(t)$  [6]. Maka didapatkan persamaan seperti berikut:

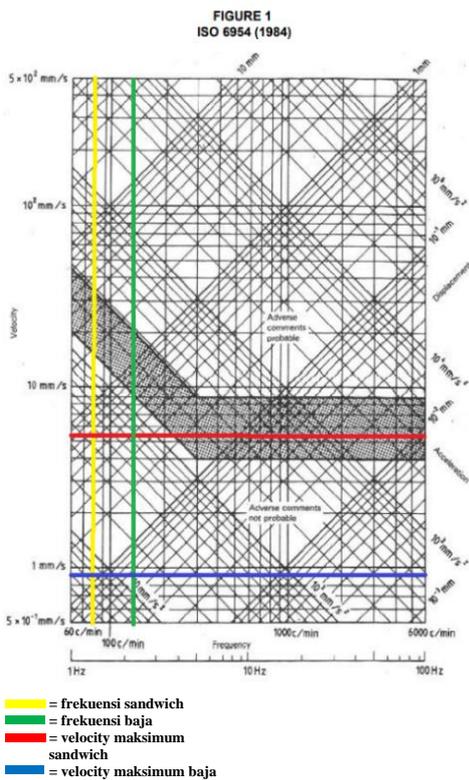
$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = ky + c\dot{y} \tag{1}$$

Diketahui:

- $m$  = Massa (kg)
- $\ddot{x}$  = Percepatan (m/s<sup>2</sup>)
- $c$  = Faktor redaman
- $\dot{x}$  = Kecepatan *base* (m/s)
- $k$  = kekakuan material (N/m)
- $x$  = *Displacement* objek bermassa (m)
- $y$  = *Displacement* *base* (m)
- $\dot{y}$  = Kecepatan *base* (m/s)



Gambar 8. Contoh grafik hasil konvergensi geladak A.



Gambar 9. Plotting velocity maksimum geladak A.

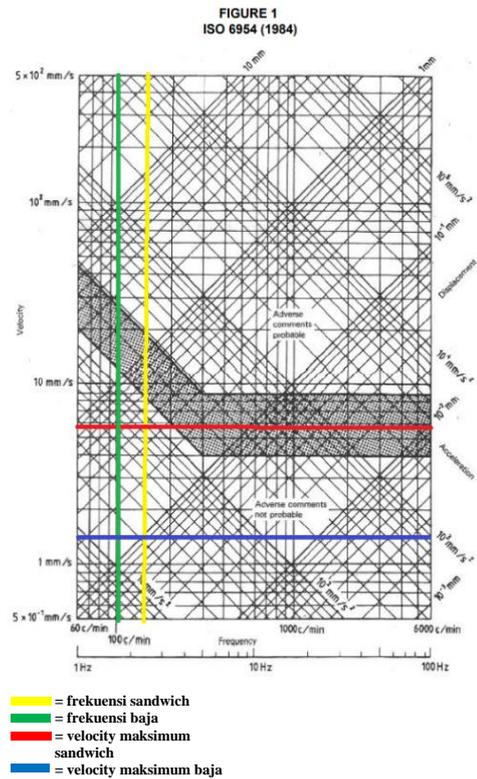
Force excitation adalah seolah-olah benda diberikan gaya atau massa, sehingga eksitasi gaya yang bekerja merupakan fungsi harmonik  $F(t)$ . sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t) \tag{2}$$

D. Frekuensi Natural

Frekuensi Natural (natural frequency) adalah frekuensi dari sebuah objek yang memiliki massa dan kekakuan bergetar ketika diberikan kondisi awal, objek tersebut akan bergetar karena tidak adanya gaya redaman. Syarat untuk menghitung frekuensi natural adalah semua gaya eksitasi dan gaya redaman dalam suatu sistem harus dihilangkan [7]. Persamaan (3) merupakan persamaan dari frekuensi natural.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \tag{3}$$



Gambar 7. Plotting velocity maksimum geladak B.

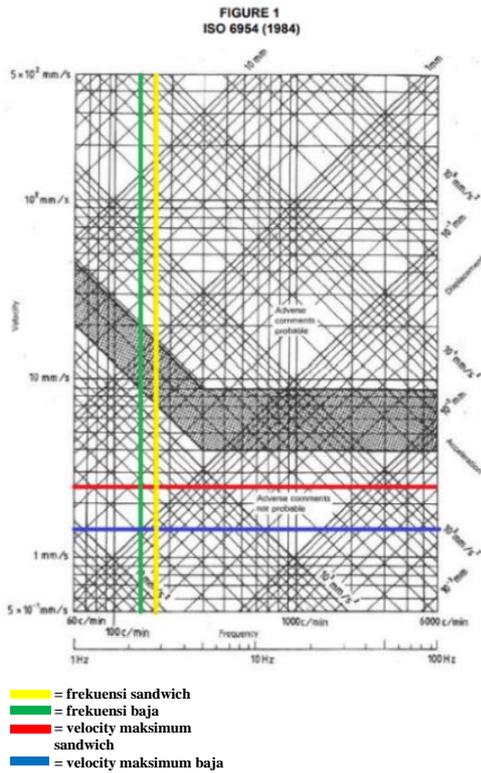
E. Mode Shapes

Mode shapes adalah setiap frekuensi natural yang berbeda pada suatu sistem yang menjelaskan sistem mode getaran yang diatur secara numerik dari frekuensi natural yang terendah ke yang terbesar [8]. Mode shapes merupakan bentuk perpindahan atau distribusi amplitudo yang saling terkait disetiap mode-nya [9], seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

F. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga (finite element) merupakan metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan masalah teknik dan matematika fisika. Permasalahan pada bidang teknik dan matematika fisika yang dapat dipecahkan dengan metode elemen hingga seperti struktur analisis, perpindahan panas, aliran fluida, perpindahan massa dan elektromagnetik [10].

Ada beberapa jenis elemen yang digunakan pada elemen hingga yaitu elemen garis, elemen dua dimensi, dan elemen tiga dimensi. Elemen garis terdiri dari batang dan balok yang sering digunakan pada model batang dan struktur gading. Elemen garis yang sederhana memiliki 2 node dari ujung sampai ke ujung, selain itu ada juga yang memiliki 3 atau lebih node. Untuk elemen dua dimensi secara umum memiliki bentuk triangular atau quadrilateral yang memiliki node diujung-ujung sisinya yang lurus [11]. Elemen dua dimensi memiliki ketebalan yang berbeda akan tetapi memiliki nilai yang konstan. Elemen-elemen ini secara umum digunakan untuk permasalahan teknik yang memiliki jangkauan yang lebar dan memiliki ketebalan. Sedangkan elemen tiga dimensi memiliki bentuk tetrahedral dan hexahedral dimana memiliki node disetiap ujungnya dan sisi tegaknya [12].



Gambar 11. Plotting velocity maksimum geladak C.

G. Human Exposure Akibat Getaran

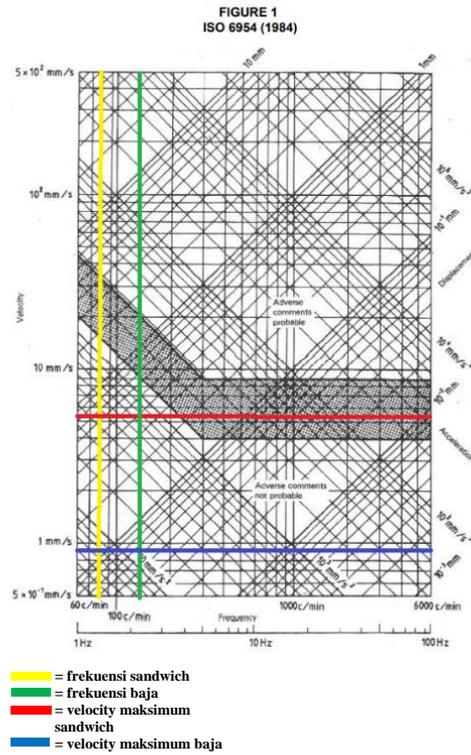
Getaran pada tubuh manusia dapat dimodelkan menjadi banyak derajat kebebasan antara frekuensi 1 – 80 Hz. Pada getaran yang dikenai pada tangan manusia nilai frekuensi dapat mencapai 1250 Hz. Ketika frekuensi eksternal mencapai harga eksitasi pada salah satu frekuensi natural maka fenomena resonansi dapat terjadi. Hal ini dapat menambah efek dan resiko pada tubuh yang diakibatkan karena getaran [13].

ISO (1978) menjelaskan bahwa besarnya suatu getaran tergantung dari kecepatan kapalnya, serta tidak ada pembobotan besaran frekuensi untuk getaran vertikal 8 Hz dan getaran horizontal 2 Hz. Getaran secara vertikal dan horizontal tersebut terbentuk dari arah secara terus menerus. Menurut saran dari ISO bahwa batasan yang saling berhubungan diterapkan di setiap komponennya [14].

Menurut kelas IACS ABS berdasarkan representasi dari ISO 6954 (1984), pada umumnya *human exposure* yang menjadi batasan pada kriteria ini adalah:

1. Setiap komponen respon puncak (baik dalam arah vertikal, transversal, atau longitudinal), dari 1 Hz hingga 5 Hz, akselerasi dapat diterima di bawah  $126 \text{ mm/s}^2$  namun dikatakan merugikan jika diperoleh akselerasi di atas  $285 \text{ mm/s}^2$ .
2. Setiap komponen respons puncak (baik dalam arah vertikal, melintang, atau membujur), dari frekuensi 5 Hz dan di atasnya, kecepatannya dapat diterima di bawah  $4 \text{ mm/s}$ , dan dikatakan buruk apabila diperoleh kecepatan di atas  $9 \text{ mm/s}$ .

Sedangkan berdasarkan ISO 6954 (2000) memberikan kriteria untuk *crew habitability and passenger comfort* secara keseluruhan nilai rms berbobot frekuensi dari 1 hingga 80 Hz untuk tiga area berbeda, yaitu *area A (Passanger*



Gambar 10. Plotting velocity maksimum geladak D.

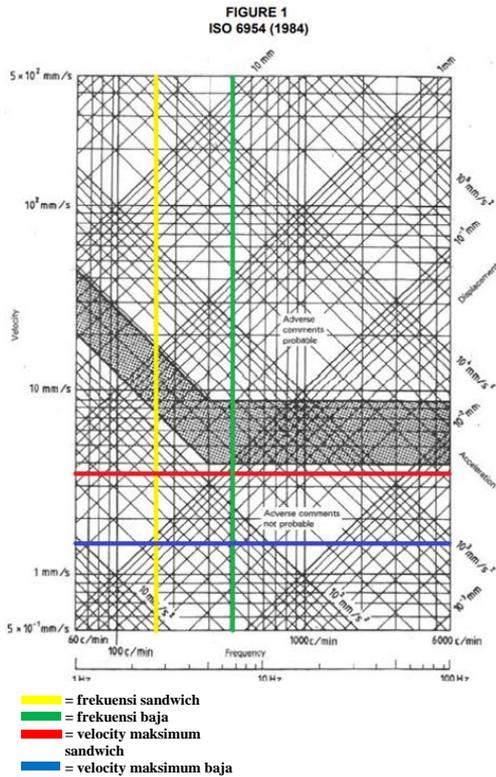
*Accommodation*), *area B (Crew Accommodations)*, dan *area C (Workspaces)*. Untuk lebih didetailnya bisa dilihat pada Tabel 1.

H. Penelitian Pelat Sandwich

Pelat *sandwich* merupakan konfigurasi pelat dimana material pelat (*faceplate*) dipisahkan oleh material inti (*core*). *Sandwich plate system (SPS)* adalah konfigurasi pelat *sandwich* yang secara umum digunakan di bidang maritim dan sudah dipatenkan. Dalam SPS menggunakan material *polyurethane* pada bagian *core* sedangkan pada *faceplate* menggunakan material baja [15]. Telah diketahui bahwa pelat *sandwich* dapat mengurangi dari berat konstruksi [3], dengan melakukan perbandingan pada kapal *bulk carrier*, *container barge* dan *general cargo* yang menggunakan material SPS dengan kapal *existing barge* yang ada tambahan sekat didapatkan hasil rasio pengurangan berat sebesar 6-13% pada *bulk carrier*, dan 4-12% pada *container barge*, dan 5-15% pada *general cargo*. Pada 2017 dilakukan penelitian tentang penerapan pelat *sandwich* pada geladak kapal, dimana pada penelitian tersebut dilakukan pengujian terhadap konfigurasi *sandwich* menggunakan empat jenis *core* dengan bahan sintetik resin dan *talc* dengan variasi *talc* yaitu 10%, 20%, 30%, dan 40%. Aplikasi pelat *sandwich* tersebut dilakukan pada geladak kapal Ro-Ro dengan analisa numerik menggunakan elemen hingga dengan tujuan mencari nilai kekuatan yang terbaik dari empat jenis *core* tersebut. Pada penelitian didapatkan hasil bahwa *core* dengan komposisi *talc* 40% dengan resin 60% memiliki tegangan maksimum yang lebih rendah dibandingkan variasi komposisi lainnya [16].

I. Pengaruh Getaran di Kamar Mesin LCU akibat Eksitasi Main Engine

Sebelumnya sudah dilakukan penelitian tentang pengaruh getaran di kamar mesin LCU terhadap kenyamanan ABK di



Gambar 12. Plotting velocity maksimum geladak E.

Ruang Akomodasi. Pada penelitian tersebut telah diketahui bahwa sumber eksiter terbesar berasal dari kamar mesin karena pada kamar mesin terdapat komponen dari propulsi dimana thrust yang dihasilkan dari propeller menyebabkan getaran longitudinal secara *vertical*. Hasil dari penelitian tersebut didapati bahwa getaran di setiap geladak kapal LCU telah memenuhi persyaratan dari ISO 6954, karena besarnya *velocity* disetiap geladak kurang dari 9 mm/s [2].

J. Standardisasi Pelat Sandwich untuk Konstruksi Kapal

Pelat *sandwich* merupakan gabungan dari dua pelat atau lebih, dimana dari dua pelat tersebut tersusun dari 2 jenis material. Lloyd’s Register telah menetapkan standardisasi sifat mekanik untuk material *core* yang digunakan dalam konfigurasi pelat *sandwich*. Untuk membuat sebuah panel *sandwich* diperlukan pencampuran masing-masing komponen elastomer yang sesuai dengan kekerasan, kepadatan, modulus geser, tegangan tarik dan kekuatan geser yang telah diterima oleh Lloyd’s Register [17].

$$R = 0,01 A_R \left[ 0,1 \frac{b^2}{d(t_1 + t_2)} + 11,7 \left( \frac{bt_c}{d^2} \right)^{1,3} \right] k P_{eq,R} \quad (4)$$

Dimana :

- Peg, R = 0,0017 (Zrule/l2) ,(MPa)
- l = panjang panel (m)
- Zrule = ekivalen modulus penampang (cm<sup>3</sup>)
- tc = pilihan ketebalan lapisan inti, (mm)
- a = panjang panel pada tepi terpanjang (mm)
- b = lebar panel pada tepi terpendek, (mm)
- d = tc + (t1 + t2)/2 (mm)
- t1 = ketebalan panel lapisan atas (mm)
- t2 = ketebalan panel lapisan bawah (mm)
- k = faktor kekuatan baja.
- R = nilai indeks ketebalan core material R ≤ 1

Tabel 2.

Hasil Rangkuman Velocity Maksimum Setiap Geladak.

Geladak	Velocity		Area
	Baja	Sandwich	
Geladak A	0,705	2,0959	C
Geladak B	1,341	5,8958	
Geladak C	1,623	2,6739	
Geladak D	0,916	5,4231	B
Geladak E	1,563	3,1002	

III. METODOLOGI

A. Identifikasi Masalah dan Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pembelajaran dan pengumpulan teori-teori yang berkaitan dengan permasalahan. Studi literatur yang digunakan yaitu getaran kapal, pelat *sandwich* dan metode elemen hingga. metode elemen hingga

B. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan setelah identifikasi masalah diperoleh. Data yang dikumpulkan adalah data gambar kapal LCU yang berupa rancang umum (*general arrangement*), gambar *construction profile*, *midship section* atau penampang melintang, spesifikasi *main engine*, dan spesifikasi *propeller*. Gambar 4 merupakan *general arrangement* kapal LCU, penelitian ini hanya berfokus pada kamar mesin dan bangunan atas.

C. Perhitungan Modulus Penampang Kapal existing

Dilakukan pengolahan data dari data yang telah diperoleh sebelumnya. Pengolahan data tersebut berupa perhitungan modulus kapal LCU yang dijadikan sebagai model penerapan pelat *sandwich*. Modulus penampang tersebut nantinya akan digunakan dalam perhitungan konfigurasi ketebalan *sandwich*. Diperoleh nilai modulus penampang adalah 4381845.862 cm<sup>3</sup>.

D. Perhitungan Ketebalan Pelat Sandwich

Untuk mencari konfigurasi pelat *sandwich* menggunakan standard Llyod Register yang terdapat pada *Rules for The Application of Sandwich Panel Construction to Ship Structure* tahun 2020 [17]. Penentuan tebal dilakukan dengan menghitung nilai *strength index* (R), dimana nilainya harus kurang dari 1. Didapatkan konfigurasi *sandwich* dengan ketebalan 3-20-3 untuk pelat geladak.

E. Pemodelan Struktur Geometri

Pada struktur geometri, pemodelan dilakukan pada geladak A, B, C, D, dan E menggunakan *software finite element analysis* . Pada penelitian ini model geometri yang dimodelkan adalah bagian geladak saja dengan pengaplikasian pelat *sandwich* pada geladak ruang akomodasi. *Part* dibuat terlebih dahulu yaitu bagian *part* geladak dan *stiffner*, setelah dilakukan pemodelan *part*, selanjutnya dilakukan *assembly*. Gambar 5 adalah contoh model geometri pada geladak A yang sudah di *assembly* bagian *part* nya dengan pengaplikasian pelat *sandwich* pada geladak.

Setelah melakukan pemodelan selanjutnya dilakukan *mesh*. Ukuran *meshing* dilakukan dengan cara studi konvergensi agar memperoleh ukuran dan jumlah elemen yang optimal. Kondisi batas yaitu dengan menjepit bagian

ujung-ujung geladak yaitu dari *aft* sampai *frame* kamar mesin pada setiap geladak. Untuk *input* gaya setiap geladak menggunakan *Load* berupa *force* vertikal keatas. Pada Gambar 6 menunjukkan kondisi batas (a), dan menunjukkan letak *input* gaya pada model geladak A (b).

Step yang digunakan untuk mencari frekuensi natural adalah Frequency step dan untuk mencari respon getaran adalah Modal dynamic step dan Steady-state dynamic, Modal.

#### F. Solution

Untuk mendapatkan *solution* frekuensi natural setiap geladak, yaitu dengan cara memodelkan geladak LCU mulai dari *bottom structure* sampai geladak E. Setelah membuat model kemudian *bottom structure* mendapat *thrust* sebesar 150.689 kN pada bagian ujungnya, nilai tersebut didapat dari penelitian yang dilakukan oleh [2] sehingga diperoleh gaya vertikal ke atas. Gaya vertikal ke atas tersebut menjadi *input* gaya geladak A. Karena geladak A mendapat *input* gaya, maka diperoleh *output* gaya vertikal ke atas yang akan menjadi input gaya untuk geladak atasnya, begitu seterusnya hingga geladak E. Pada penelitian ini yang digunakan *input* gaya sama dengan *input* gaya yang dilakukan pada penelitian [2] agar mengetahui perbandingan nilai dari frekuensi dan respon getaran dari material *sandwich* dan material baja. Untuk mendapatkan nilai frekuensi natural menggunakan aplikasi metode elemen hingga dengan *frequency step*. Sedangkan untuk mendapatkan respon getaran amplitudo (*displacement, velocity, dan acceleration*) menggunakan *step Steady-state dynamic, Modal*.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Analisis Penerapan Sandwich pada Kapal

Dilakukan perhitungan berat untuk melihat apakah penerapan pelat *sandwich* pada geladak akomodasi dapat mengurangi berat. Diperoleh nilai berat konstruksi geladak A sampai E dengan penerapan pelat *sandwich* yang menggunakan ketebalan *faceplate* 3 mm dan *core* 20 mm adalah 453.161 ton, sedangkan pada konstruksi *existing* diperoleh nilai 461.993 ton. Sehingga didapatkan nilai pengurangan berat dari konstruksi geladak *existing* ke konstruksi geladak dengan penerapan pelat *sandwich* adalah 8.831 ton atau terjadi pengurangan sebesar 1.91 persen.

### B. Kapal Konvergensi Model

Dalam melakukan analisis elemen hingga perlu dilakukan konvergensi untuk menguji ketelitian dari *software* yang akan digunakan. Konvergensi dilakukan dengan membandingkan nilai hasil *running* dari frekuensi natural dengan jumlah elemen yang berbeda sampai mendapatkan hasil yang stabil pada setiap ukuran elemen. Telah diketahui jarak antar *frame* LCU sebesar 0.6 m, maka dilakukan *meshing* dari 0.6 m sampai terkecil. *Meshing* dilakukan pada pelat geladak *sandwich* dan *stiffner*. Pada penelitian ini yang digunakan untuk acuan adalah frekuensi natural, dimana selisih nilai dari *running* kedua harus kurang dari 2% dari percobaan pertama. Untuk mendapatkan hasil yang konvergen maka dilakukan *running* dengan ukuran elemen *mesh* mulai dari 0.6 sampai 0,09. Gambar 7 menunjukkan contoh hasil konvergensi pada geladak A. Diperoleh nilai konvergen di setiap geladak pelat *sandwich* dengan *size mesh* 0.1.

### C. Getaran yang Diterima di Setiap Geladak Berdasarkan Kriteria ISO 6954 (1984)

Setelah melakukan pemodelan pada setiap geladak dilakukan *running* model untuk mendapatkan nilai frekuensi natural, dan respon getaran yaitu amplitudo (*displacement, velocity, dan acceleration*). Untuk mengetahui kenyamanan *crew* berdasarkan kriteria ISO 6954 menggunakan nilai *velocity* maksimum. Karena garis *velocity* khusus digunakan untuk mengukur besaran kenyamanan *crew* akibat adanya getaran. Sedangkan *displacement* digunakan untuk mengukur *fatigue* struktur dan *acceleration* digunakan untuk mengukur frekuensi tinggi pada komponen mesin.

#### 1) Getaran yang diterima geladak A berdasarkan kriteria ISO 6954

Setelah mendapatkan nilai *velocity* maksimum, dilakukan *plotting* pada kurva ISO 6954. Pada Gambar 8 menunjukkan *plotting velocity* maksimum pada geladak A pelat *sandwich* dan pelat baja.

Berdasarkan Gambar 8 didapati bahwa *velocity* maksimum geladak A pelat *sandwich* terletak di bawah batasan yang disetujui ISO 6954, maka geladak A masuk dalam zona *adverse comments not probable* atau tidak dikatakan buruk.

#### 2) Getaran yang diterima geladak B berdasarkan kriteria ISO 6954

Hasil *plotting velocity* maksimum pada geladak B pelat *sandwich* dan pelat baja berdasarkan kriteria ISO 6954. Dapat dilihat pada Gambar 9.

Dari Gambar 9 didapati bahwa *velocity* maksimum geladak B pelat *sandwich* terletak di bawah batasan yang disetujui ISO 6954, maka geladak B masuk dalam zona *adverse comments not probable* atau tidak dikatakan buruk.

#### 3) Getaran yang diterima geladak C berdasarkan kriteria ISO 6954

Gambar 10 menunjukkan *plotting velocity* maksimum pada geladak C pelat *sandwich* dan pelat baja berdasarkan kriteria ISO 6954.

Pada Gambar 10 didapati bahwa *velocity* maksimum geladak C pelat *sandwich* terletak di bawah batasan yang disetujui ISO 6954, maka geladak C masuk dalam zona *adverse comments not probable* atau tidak dikatakan buruk.

#### 4) Getaran yang diterima geladak D berdasarkan kriteria ISO 6954

Pada Gambar 11 menunjukkan hasil *plotting velocity* maksimum geladak D pelat *sandwich* dan pelat baja berdasarkan kriteria ISO 6954.

Dari Gambar 11 didapati bahwa *velocity* maksimum geladak D pelat *sandwich* terletak di bawah batasan yang disetujui ISO 6954, maka geladak D masuk dalam zona *adverse comments not probable* atau tidak dikatakan buruk.

#### 5) Getaran yang diterima geladak E berdasarkan kriteria ISO 6954

Gambar 12 menunjukkan hasil *plotting velocity* maksimum geladak E pelat *sandwich* dan pelat baja berdasarkan kriteria ISO 6954.

### D. Klasifikasi Kenyamanan Crew di setiap Geladak setelah Pasca Penggantian Material (Pelat ke Sandwich)

Tabel 2. Menunjukkan rangkuman hasil dari *velocity* maksimum setiap geladak, dimana nilai tersebut digunakan

untuk mencari nilai kenyamanan *crew* atau ABK.

Dari hasil nilai *velocity* yang diperoleh seperti pada Tabel 2. dapat disimpulkan bahwa pasca penggantian material baja ke material *sandwich* berdasarkan *plotting* kurva kriteria ISO 6954 (1984) didapati nilai *velocity* masuk dalam zona *adverse comments not probable* atau tidak dikatakan buruk karena nilai *velocity* maksimum kurang dari 9 mm/s.

Kemudian menggunakan kriteria ISO 6954 (2000) untuk mengetahui nilai *acceptance* kriteria kenyamanan *crew*, dimana pada ISO 6954 (2000) membagi 3 area, yaitu area A (*Passanger Accomodation*), area B (*Crew Accommodations*), dan area C (*Work spaces*), dengan nilai *velocity* maksimum pada area B (geladak D dan E) memiliki nilai *velocity* kurang dari 6 mm/s dan di area C (geladak A, B, dan C) memiliki nilai *velocity* kurang dari 8 mm/s, sehingga dapat diketahui bahwa pasca penggunaan material baja ke material *sandwich* masih memenuhi kriteria kenyamanan *crew* berdasarkan ISO 6954 (2000).

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa: (1) Penggunaan konfigurasi pelat *sandwich* pada bagian pelat geladak A, B, C, D, dan E kapal LCU adalah 3 mm pada *faceplate* dengan material baja dan 20 mm pada *core* dengan material *Polyurethane Elastomer*. (2) Geladak A pelat *sandwich* terjadi getaran maksimum pada *velocity* 2.095 mm/s. Geladak B pelat *sandwich* terjadi getaran maksimum pada *velocity* 5.895 mm/s. Geladak C pelat *sandwich* terjadi getaran maksimum pada *velocity* 2.673 mm/s. Geladak D pelat *sandwich* terjadi getaran maksimum pada *velocity* 5.423 mm/s. Geladak E pelat *sandwich* terjadi getaran maksimum pada *velocity* 3.100 mm/s. Adapun dilakukan pergantian material baja ke material *sandwich* pada bagian geladak ruang akomodasi kapal LCU, pengaplikasian material *sandwich* masih memenuhi dalam kriteria ISO 6954 (1984) karena hasil *plotting* kurva *velocity* maksimum masuk dalam zona *adverse comments not probable* atau tidak dikatakan buruk karena nilai *velocity* maksimum kurang dari 9 mm/s kemudian menggunakan kriteria ISO 6954 (2000) untuk melihat *acceptance* kriteria kenyamanan *crew* dimana nilai *velocity* masuk kriteria yang diijinkan karena pada area B nilai *velocity* maksimum kurang dari 6 mm/s sedangkan area

C kurang dari 8 mm/s.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. D. Bottelson, "Landing Craft Utility as a Force Multiplier in the Littorals," Marine Corps University, Quantico, 2001.
- [2] A. Zubaydi and F. Rahmanul, "Analisis Pengaruh Getaran di Kamar Mesin LCU terhadap Kenyamanan ABK di Ruang Akomodasi," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2019.
- [3] N. Momčilović and M. Motok, "Estimation of ship lightweight reduction by means of application of sandwich plate system," *FME Transactions*, vol. 37, p. 123, 2009.
- [4] R. C. Ariesta, A. Zubaydi, A. Ismail, and T. Tuswan, "Damage Evaluation Of Sandwich Material On Side Plate Hull Using Experimental Modal Analysis," in *Materials Today: Proceedings*, 2021, vol. 47, pp. 2310–2314. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.293>.
- [5] W. S. Vorus and J. Randolph. Paulling, *Principles of Naval Architecture Series - Vibration*. Jersey City: Society of Naval Architects and Marine Engineers, 2010.
- [6] L. Meirovitch, *Fundamentals of Vibrations*. Singapore: McGraw-Hill, 2001.
- [7] S. G. Kelly, *Mechanical Vibrations: Theory and Application*. Stamford: Global Engineering, 2010.
- [8] E. v Lewis, *Principles of Naval Architecture Volume II Resistance Propulsion Vibration*, vol. 2. Jersey City: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1988.
- [9] R. Teimouri and S. Amini, "Analytical and Experimental Approaches to Study Elastic Deflection of Thin Strip in Ultrasonic-Assisted Drilling Process," in *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, Feb. 2019, vol. 233, no. 1, pp. 21–34. doi: 10.1177/0954408917739453.
- [10] D. L. Logan, *A First Course in the Finite Element Method*, 4th ed. United States: Chris Carson, 2007.
- [11] M. Nurul Misbah, S. Hardy Sujatanti, D. Setyawan, R. Chandra Ariesta, and S. Rahmadianto, "Structural Analysis on the Block Lifting in Shipbuilding Construction Process," in *MATEC Web of Conferences*, Jul. 2018, vol. 177. doi: 10.1051/mateconf/201817701027.
- [12] T. Yulianto and R. C. Ariesta, "Analisis kekuatan shaft propeller kapal rescue 40 meter dengan metode elemen hingga," *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, vol. 16, no. 3, pp. 100–105, Oct. 2019, doi: <https://doi.org/10.14710/kapal.v16i3.23572>.
- [13] M. J. Griffin, *Handbook of Human Vibration*. New York: Academic Press, 1996.
- [14] American Bureau of Shipping, *Guidance Notes on Ship Vibration*. New York: American Bureau of Shipping, 2006.
- [15] K. Ramakrishnan and D. P. G. Kumar, "Applications of sandwich plate system for ship structures," *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, pp. 83–90, 2016.
- [16] A. Zubaydi, A. Budipriyanto, and W. Iswidodo, "Sandwich Core Material Development for Ship Deck Structure," in *Third International Conference on Civil Engineering Research (ICCEER)*, Aug. 2017, pp. 86–91. doi: 10.12962/J23546026.Y2017I6.3237.
- [17] Lloyd's Register Group Limited, *Rules for the Application of Sandwich Panel Construction to Ship Structure*. London: Lloyd's Register Group Limited, 2021.