

Analisis Pengaruh *Misalalignment Center Deck* Girder terhadap Tegangan Setempat pada Kapal Patroli

Pramudya Ulul azminulloh, Achmad Zubaydi, Mohammad Nurul Misbah dan Rizky Chandra Ariesta
Departemen Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: zubaydi@na.its.ac.id

Abstrak—Pemasangan sambungan *center deck girder* yang kurang tepat pada konstruksi geladak yang terletak di *joint block* kapal patroli yang kurang tepat menyebabkan terjadinya *misalignment*. *Misalalignment center deck girder* dapat menimbulkan konsentrasi tegangan. Tegangan yang terjadi di sekitar *center deck girder* mengalami peningkatan akibat beban pelat *deck* & berat *superstructure*. Sehingga dilakukan analisis tegangan dengan *acceptance criteria* memenuhi atau tidak dengan tegangan ijin badan klasifikasi (BKI) dan aturan IACS. Perhitungan tegangan pada *misalignment center deck girder* dilakukan dengan studi numerik menggunakan metode elemen hingga. Variasi yang dilakukan adalah model struktur geladak dengan *misalignment center deck girder* bagian *face plate* yang dimodelkan dengan 11 variasi *misalignment*, yaitu 0 mm; 0,5 mm; 1 mm; 1,5 mm; 2 mm; 2,5 mm; 3 mm; 3,5 mm; 4 mm; 4,5 mm; 5 mm. Pemodelan struktur geladak untuk perhitungan elemen hingga dilakukan dengan *finite element analysis software*. Hasil analisis menunjukkan peningkatan tegangan pada variasi *misalignment center deck girder*. Variasi *misalignment* di atas 3 mm menghasilkan tegangan yang tidak memenuhi tegangan ijin BKI dan sesuai dengan aturan IACS No. 47. Besar nilai tegangan yang dihasilkan dari model tanpa *misalignment* menghasilkan nilai tegangan yang berbeda dengan model *misalignment*. Dimana semakin besar *misalignment* yang terjadi maka semakin besar juga nilai tegangan yang dihasilkan.

Kata Kunci—*Center Deck Girder*, *Misalalignment*, Analisis Tegangan, Metode Elemen Hingga.

I. PENDAHULUAN

DALAM operasi pelayaran, sebuah kapal mendapatkan gaya luar yang berulang-ulang. Gaya yang berulang-ulang akan berbahaya terhadap struktur kapal karena menimbulkan konsentrasi tegangan dan lebih mudah terjadinya retak awal. Hal ini bisa terjadi pada semua kapal, contohnya kapal patroli. Kapal patroli merupakan kapal cepat yang didesain dengan kecepatan tinggi dan memiliki kemampuan manuver yang optimal untuk mendukung kecepatan dan ketepatan dalam melakukan pengawasan. Dalam pembangunan sebuah kapal salah satunya adalah kapal patroli, harus memperhatikan kekuatan konstruksi kapal tersebut salah satunya pada *misalignment* yang berada di konstruksi geladak pada sambungan antar penumpu tengah dengan geladak.

Misalalignment dapat dijumpai saat proses pengerjaan konstruksi kapal, seperti pada tahap *erection*. *Misalalignment* merupakan bagian dari suatu proses dalam tahap pengerjaan yang buruk (*bad workmanship*) dan menjadi salah satu penyebab timbulnya kelelahan pada struktur kapal. Selain itu, *misalignment* juga dapat menimbulkan konsentrasi tegangan

Tabel 1.
Data Ukuran Utama Kapal Patroli 73 m

<i>Principle Dimensions</i>	
<i>Length Overall (LOA)</i>	73,67 m
<i>Length Perpendicular</i>	68,00 m
<i>Breadth (B)</i>	11,35 m
<i>Height (H)</i>	5,50 m
<i>Draft (T)</i>	3,00 m
<i>Service Speed (Vs)</i>	18,00 knots

Tabel 2.
Hasil Perhitungan Berat *Superstructure*

<i>Superstructure</i>	Berat (kN/m ²)
<i>Raised Deck</i>	0,492
<i>Navigation Deck</i>	0,625
<i>Compass Deck</i>	0,392
Total Berat	1,509

pada struktur kapal yang terjadi karena adanya *stress raiser*. Hal ini dapat membahayakan dan akan merusak struktur kapal itu sendiri [1].

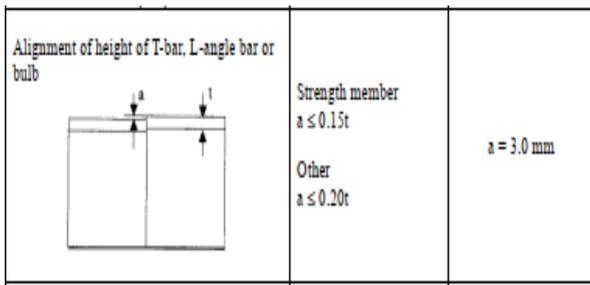
Dalam pembangunan kapal baru, salah satu *misalignment* terjadi pada sambungan *center deck girder* yang terletak di *joint block* akibat pemasangan (*fitting*) yang kurang tepat. *Misalalignment* tersebut diperbaiki dengan melakukan *fit up* ulang atau *insert plate* minimal 300 mm dengan menggeser bagian *girder* pada posisi yang tepat dan memperhatikan celahnya (*gap*) antara 0 mm sampai 3 mm.

Dengan adanya *misalignment* yang terjadi pada *center deck girder* kapal patroli, maka tegangan di sekitar *center deck girder* dapat mengalami peningkatan. Selanjutnya, analisis pengaruh *misalignment* terhadap tegangan setempat tersebut dilakukan menggunakan metode elemen hingga kemudian membandingkan tegangan dari beberapa variasi *misalignment* dan tanpa *misalignment*.

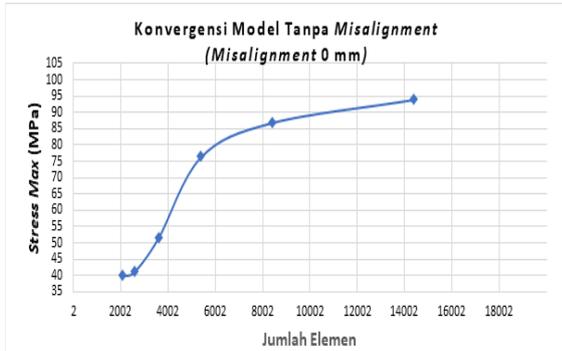
II. DASAR TEORI

A. Pengertian Kapal Patroli

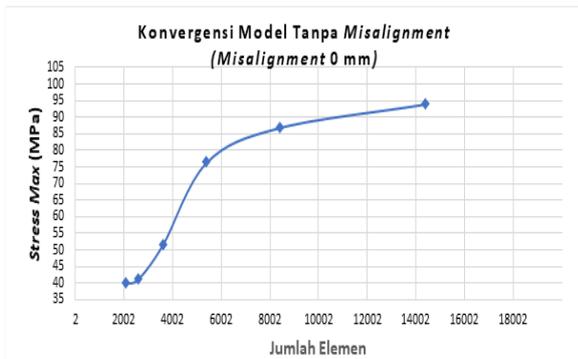
Kapal patroli merupakan salah satu kapal yang memiliki kecepatan tinggi yang digunakan untuk melakukan pengawasan dan pertahanan di wilayah maritim sebuah negara [2]. Di lapangan ada banyak bentuk desain yang dirancang untuk kapal patroli. Dalam pengoperasian, kapal patroli digunakan oleh angkatan laut, penjaga pantai, dan kepolisian. Kapal patroli secara umum digunakan dalam berbagai macam perlindungan perbatasan, termasuk anti-penyelundupan, anti-pembajakan, patroli perikanan, dan penegakan hukum imigrasi. Selain itu, kapal patroli juga sering digunakan untuk berpartisipasi dalam operasi penyelamatan.



Gambar 1. Detail Alignment of height of T-bar, L-angle bar or bulb.



Gambar 2. Grafik Konvergensi Model tanpa Misalignment.



Gambar 3. Grafik Konvergensi Model Misalignment.

B. Misalignment

Misalignment yang terjadi pada pelat adalah suatu kondisi ketidaklurusan atau kemiringan antara sambungan yang disebabkan oleh pengerjaan yang buruk (*bad workmanship*) [1]. Selain itu, misalignment diakibatkan adanya perbedaan ketebalan pelat struktur yang menyebabkan tegangan lebih besar pada area sambungan las [3].

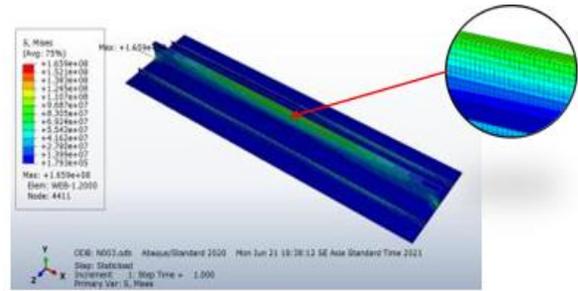
C. Pembebanan

Perhitungan pembebanan yang dilakukan sesuai dengan peraturan [4]. Perhitungan pembebanan bertujuan untuk menentukan nilai beban pada konstruksi geladak cuaca. Pembebanan yang terjadi pada konstruksi geladak cuaca merupakan nilai dari beban geladak cuaca yang diambil dari P_D Pelat dan berat total dari *superstructure*. Pembebanan pada geladak cuaca diperoleh persamaan (2.1).

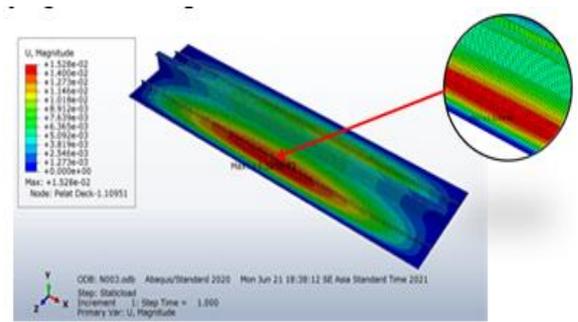
$$P_D = P_0 \frac{20.T}{(10+Z-T)H} C_D \tag{2.1}$$

Dimana,

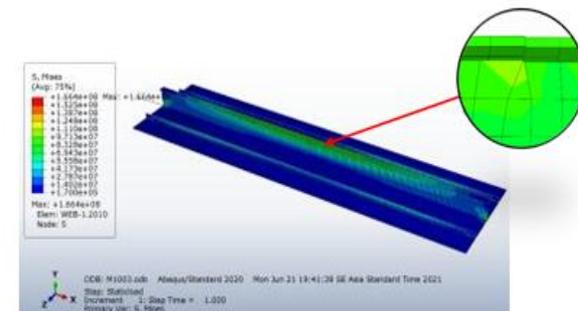
- C_D = Faktor distribusi pada geladak
- H = Tinggi kapal (m)
- P_D = Beban geladak (N/m^2)
- P_0 = Beban dinamis kapal arah depan atau belakang kapal (N/m^2)



Gambar 4. Lokasi Konsentrasi Tegangan pada Model Misalignment 0 mm.



Gambar 5. Kontur Deformasi pada Model Misalignment 0 mm.



Gambar 6. Lokasi Konsentrasi Tegangan pada Model Misalignment 1 mm.

- T = Sarat *scantling* kapal (m)
- Z = Jarak vertikal dari pusat beban terhadap *base line* untuk beban pada pelat diukur di tengah untuk sistem konstruksi memanjang (m)

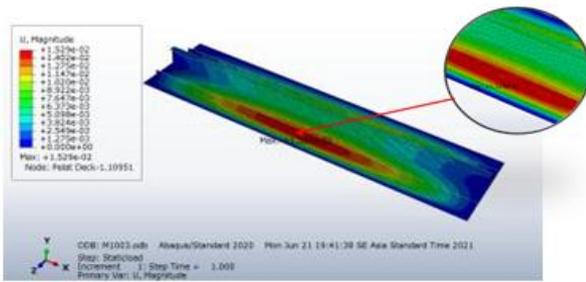
D. Tegangan Von Mises

Tegangan *von Mises* adalah gabungan dari tegangan normal pada tiga arah dan tegangan geser yang bekerja pada tempat tertentu. Tegangan *von Mises* digunakan saat analisis tegangan material ulet (*ductile*). Apabila tegangan *von Mises* yang dihasilkan melebihi *yield strength*, maka material akan memberikan kekuatan sebesar *yield strength*, dan apabila tegangan *von Mises* yang dihasilkan melebihi dari *ultimate strength* maka material akan pecah. Analisis pada tegangan *von Mises* mendeskripsikan luluh (*yield*) sebagai kegagalan (*failure*), sehingga hasil yang diperoleh dari analisis tegangan *von Mises* berupa nilai tegangan tarik pada konstruksi [5]. Besarnya nilai tegangan *von Mises* dirumuskan dengan persamaan (2.2), (2.3), dan (2.4).

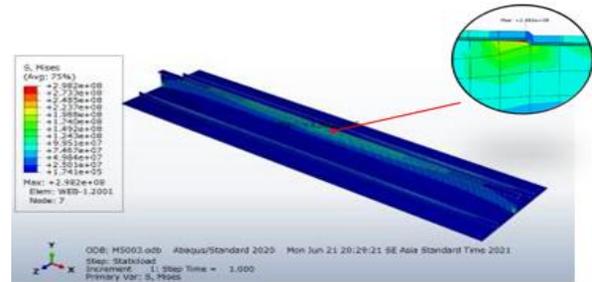
$$\sigma_{vm} = \sqrt{I_1^2 - 3I_2} \tag{2.2}$$

$$I_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \tag{2.3}$$

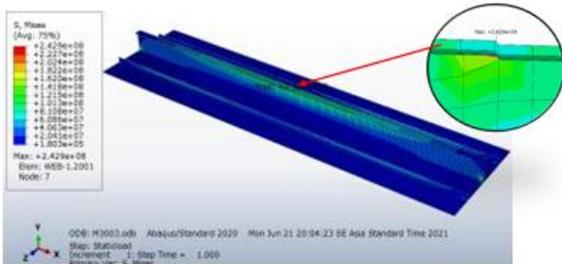
$$I_2 = \sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x - \tau_{xz}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{xy}^2 \tag{2.4}$$



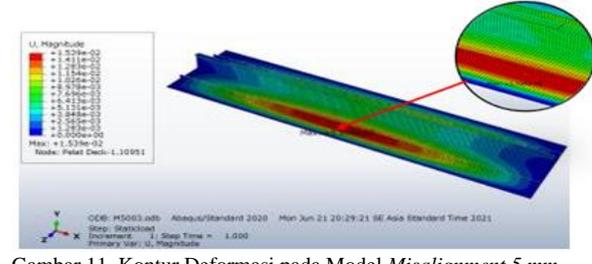
Gambar 7. Kontur Deformasi pada Model *Misalignment* 1 mm.



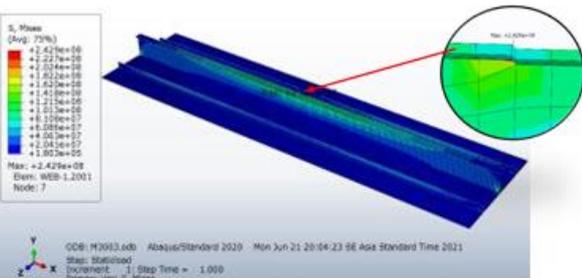
Gambar 10. Lokasi Konsentrasi Tegangan pada Model *Misalignment* 5 mm.



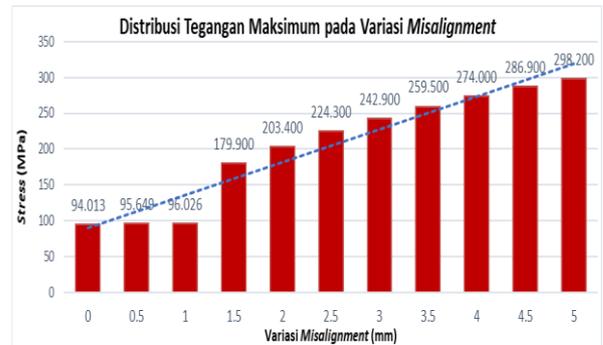
Gambar 8. Lokasi Konsentrasi Tegangan pada Model *Misalignment* 3 mm.



Gambar 11. Kontur Deformasi pada Model *Misalignment* 5 mm.



Gambar 9. Kontur Deformasi pada Model *Misalignment* 3 mm.



Gambar 12. Diagram Distribusi Tegangan Maksimum pada Variasi *Misalignment*.

Dimana,

$$I_1 = \text{Stress Invariant 1}$$

$$I_2 = \text{Stress Invariant 2}$$

$$\sigma_{vm} = \text{Tegangan von Mises (N/m}^2\text{)}$$

$$\sigma_x = \text{Tegangan normal pada sumbu x (N/m}^2\text{)}$$

$$\sigma_y = \text{Tegangan normal pada sumbu y (N/m}^2\text{)}$$

$$\sigma_z = \text{Tegangan normal pada sumbu z (N/m}^2\text{)}$$

$$\tau_{xy} = \text{Tegangan geser pada bidang x yang bekerja sejajar sumbu y (N/m}^2\text{)}$$

$$\tau_{yz} = \text{Tegangan geser pada bidang y yang bekerja sejajar sumbu z (N/m}^2\text{)}$$

$$\tau_{zx} = \text{Tegangan geser pada bidang z yang bekerja sejajar sumbu x (N/m}^2\text{)}$$

E. Tegangan Ijin

Tegangan ijin merupakan sebuah tegangan yang tidak boleh dilampaui sebuah sistem struktur, dimanapun letaknya akibat faktor keamanan. Secara umum tegangan ijin dirumuskan seperti pada persamaan (2.5) [6].

$$\sigma_{ijin} = \frac{\sigma_y}{n} \tag{2.5}$$

Dimana,

$$n = \text{Faktor keamanan}$$

$$\sigma_{ijin} = \text{Tegangan ijin (N/m}^2\text{)}$$

$$\sigma_y = \text{Tegangan normal (N/m}^2\text{)}$$

Pada persamaan (2.5), apabila semakin tinggi faktor keamanan (n), maka semakin rendah juga tegangan ijin dari struktur. Besar nilai faktor keamanan harus lebih dari 1,0 supaya tegangan luluh dari material struktur tidak terlewati.

Berdasarkan peraturan BKI (Biro Klasifikasi Indonesia, 2021), tegangan yang diijinkan tidak boleh melebihi persamaan (2.6) dan (2.7).

$$\sigma_{perm} = \frac{150}{k} \tag{2.6}$$

$$k = \frac{235}{ReH} \tag{2.7}$$

Dimana,

$$k = \text{Faktor material}$$

$$ReH = \text{Yield strength (MPa)}$$

$$\sigma_{perm} = \text{Tegangan ijin (N/m}^2\text{)}$$

F. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah metode numerik yang berguna untuk menyelesaikan masalah teknik (matematika dan fisika) khususnya dalam menyelesaikan analisis struktur. Persoalan yang dapat dipecahkan dengan menggunakan metode elemen hingga meliputi analisis struktural, perpindahan panas, aliran fluida, transportasi massa, potensial elektromagnetik. Metode numerik menghasilkan nilai perkiraan yang tidak diketahui jumlah titik di kontinum.

Tabel 3.
Hasil Nilai Tegangan dan Deformasi Maksimum pada Model *Center Deck Girder*

Misalignment (mm)	Stress (MPa)	Deformasi (mm)
0	94,013	0,01528
0,5	95,649	0,01528
1	96,026	0,01529
1,5	179,900	0,01530
2	203,400	0,01532
2,5	224,300	0,01533
3	242,900	0,01534
3,5	259,500	0,01535
4	274,000	0,01537
4,5	286,900	0,01538
5	298,200	0,01539

Tabel 4.
Hasil Nilai Tegangan dan Deformasi Maksimum pada Model

Misalignment (mm)	Stress (MPa)		Keterangan
	FEM	Allowable BKI	
0	94,013	226,596	Memenuhi
0,5	95,649	226,596	Memenuhi
1	96,026	226,596	Memenuhi
1,5	179,900	226,596	Memenuhi
2	203,400	226,596	Memenuhi
2,5	224,300	226,596	Memenuhi
3	242,900	226,596	Tidak
3,5	259,500	226,596	Tidak
4	274,000	226,596	Tidak
4,5	286,900	226,596	Tidak
5	298,200	226,596	Tidak

Oleh karena itu, proses pemodelan body dibagi oleh sistem objek yang lebih kecil yang saling berhubungan pada titik-titik umum ke dua atau lebih elemen (titik atau node) dan/atau garis batas dan/atau permukaan disebut diskritisasi. Solusi untuk masalah struktural biasanya mengacu pada penentuan perpindahan pada setiap node dan tekanan di setiap elemen yang membentuk struktur dikenakan pada beban yang diberikan [7].

G. Konvergensi Model

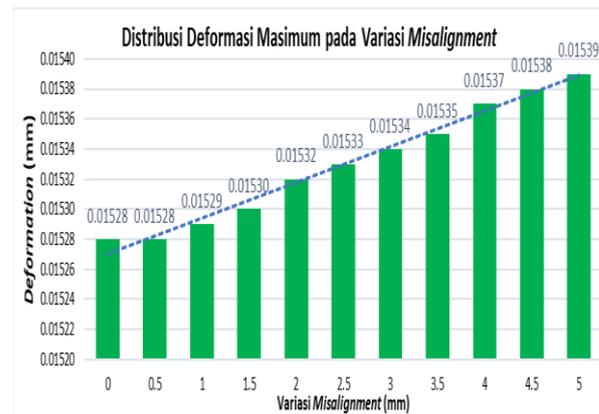
Analisis konvergensi merupakan proses untuk mendapatkan suatu nilai elemen yang optimal dengan hasil yang akurat dan efisien pada waktu menganalisis, ada tahapan dimana model geometrik diberikan elemen dan node sehingga dapat dianalisis secara matematis. Tahap ini disebut dengan tahap *meshing*. Satu komponen penting dalam *meshing* adalah konvergensi model di mana komponen dari tahap ini bertujuan untuk memastikan bahwa ukuran elemen yang digunakan tidak berpengaruh pada hasil analisis [8].

Ukuran elemen berpengaruh pada tingkat akurasi analisis. Semakin kecil ukuran elemen, semakin akurat tingkat keakuratan analisis elemen sehingga tersebut [1]. Pengurangan ukuran elemen berarti menambah jumlah elemen sehingga membutuhkan lebih banyak waktu dan membutuhkan biaya komputasi yang lebih tinggi.

Dalam praktiknya, konvergensi model dilakukan dengan membandingkan ukuran elemen atau jumlah elemen dengan tegangan hasil analisis elemen hingga dengan membuat grafik ukuran elemen versus hasil analisis tegangan. Kebijakan memilih ukuran elemen yang akan digunakan dalam proses analisis elemen hingga ditentukan dengan memilih ukuran elemen dimana hasil analisis tegangan tidak berubah ketika ukurannya diperkecil.

Tabel 5.
Perhitungan Nilai *Safety Factor*

Misalignment (mm)	FEM	Yield Strength	Faktor Keamanan	Ket.
0	94,013	355	3,8	Aman
0,5	95,649	355	3,7	Aman
1	96,026	355	3,7	Aman
1,5	179,900	355	2,0	Aman
2	203,400	355	1,7	Aman
2,5	224,300	355	1,6	Aman
3	242,900	355	1,5	Aman
3,5	259,500	355	1,4	Aman
4	274,000	355	1,3	Aman
4,5	286,900	355	1,2	Aman
5	298,200	355	1,2	Aman



Gambar 13. Diagram Distribusi Deformasi Maksimum pada Variasi Misalignment.

H. Safety Factor

Safety factor adalah sebuah faktor yang menjelaskan tingkat kekuatan sebuah material menerima beban dari luar yaitu beban tekan dan beban tarik. Apabila *failure structural* harus dihindari, maka beban yang dapat dipikul oleh suatu struktur harus lebih besar daripada beban yang akan dialami selama digunakan. Gaya yang diperlukan agar terjadi tingkat optimal material di dalam menahan beban dari luar hingga putus yang disebut *ultimate load*. Untuk membagi *ultimate load* dengan luas penampang, akan diperoleh *ultimate strength* atau *ultimate stress* suatu material [9].

Besarnya nilai *safety factor* dapat dirumuskan dengan persamaan (2.8).

$$n = \frac{\sigma_y}{\sigma} \tag{2.8}$$

Dimana,

- n = Faktor keamanan
- σ_y = yield stress (N/m²)
- σ = stress (N/m²)

III. METODOLOGI

A. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh data yang diperlukan dalam pengerjaan tugas akhir ini. Data yang dikumpulkan adalah data kapal patroli berupa ukuran utama kapal, rencana umum (*general arrangement*), gambar potongan melintang (*midship section*), dan *block division*. Untuk data ukuran utama kapal digambarkan pada Tabel 1.

B. Perhitungan Pembebanan

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan nilai pembebanan pada geladak cuaca kapal dengan menggunakan persamaan (2.1) dan berat total dari bangunan atas. Pembebanan yang diberikan pada geladak adalah beban pelat yang dihitung berdasarkan *rules* dari BKI (Biro Klasifikasi Indonesia, 2021). Setelah diperoleh hasilnya, maka beban geladak cuaca dan total berat bangunan atas yang dijumlahkan. Perhitungan beban diperoleh dari pengolahan data-data yang telah didapatkan sebelumnya, salah satunya yaitu ukuran utama kapal

C. Pemodelan pada Finite Element Analysis (FEA)

Pada model struktur geladak, pemodelan dilakukan dengan cara memodelkan bagian-bagian *main deck* menggunakan *finite element analysis software*. Bagian-bagian tersebut adalah pelat geladak ($l=6$ m, $t=7$ mm), *center deck girder* (*web* 6x300 mm dan *face* 8x100 mm), dan *flat bar* (8x100mm). Kemudian, setelah seluruh bagian telah dimodelkan maka *assembly* geladak dapat dilakukan. Terdapat dua jenis model struktur geladak, yaitu model tanpa *misalignment* dan model variasi *misalignment* (0,5 mm; 1 mm; 1,5 mm; 2 mm; 2,5 mm; 3 mm; 3,5 mm, 4,5 mm; 4,5 mm dan 5 mm.). Model variasi *misalignment* dibedakan berdasarkan perbedaan tinggi *center deck girder* bagian *face plate*. Setiap variasi memiliki nilai rentang sebesar 0,5 mm dan batas maksimal besar nilai variasi *misalignment* pada tugas akhir ini adalah 5 mm yang ditetapkan sebagai proses yang akan mempengaruhi hasil data.

Pembebanan diperoleh dari perhitungan rumus persamaan (2.1) dan berat total *superstructure*. Beban total yang didapatkan untuk digunakan pada model struktur geladak ini adalah 9,283 kN/m². Kondisi batas yang digunakan adalah *pinned* dimana semua *nodes* pada permukaan yang dipilih akan diperbaiki sehingga tidak dapat terjadi translasi dan rotasi terhadap semua sumbu. Interaksi yang digunakan dalam *software* elemen hingga pada model menggunakan fitur *tie constraint*.

D. Mesh

Meshing adalah proses mempartisi model menjadi elemen-elemen yang lebih kecil. Semakin kecil area *mesh*, semakin banyak elemen yang dibuat. Ada beberapa metode untuk membuat elemen *mesh* dalam *software* elemen hingga, termasuk *hexahedral*, *tetrahedral*, atau campuran keduanya. Ada beberapa jenis teknik untuk membentuk *mesh* dengan bentuk *hexahedral*, seperti terstruktur, menyapu, dan bottom-up. Dalam penelitian ini, *mesh* berstruktur *hexahedral* digunakan sebagai teknik untuk membentuk elemen *mesh*. Metode *meshing* ini baik digunakan dalam analisis numerik karena hasil *meshing* akan lebih rapi dan terstruktur sehingga *output* yang dihasilkan lebih mudah konvergen dan presisi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum Misalignment

Misalignment terjadi pada sambungan antar *center deck girder* pada sambungan blok (*joint block*) yang terletak di bagian *main deck* kapal patroli yang dilakukan perbaikan dengan *fit up* ulang atau *insert plate* minimal 300 mm dengan menggeser bagian *girder* pada posisi yang tepat dan memperhatikan celahnya (*gap*) mulai 0 mm sampai 3 mm. Penentuan panjang celah (*gap*) kemiringan *center deck girder* didasari oleh standar atau aturan yang diberikan IACS.

Kutipan standar atau aturan kemiringan yang digunakan adalah IACS No. 47 tentang *Shipbuilding and Repair Quality Standard, detail Alignment of height of T-bar, L-angle bar or bulb* pada Gambar 1.

B. Analisis Konvergensi

Saat proses simulasi FEA diperlukan konvergensi untuk model yang dianalisis. Konvergensi model ini bertujuan untuk mendapatkan nilai elemen yang optimal pada simulasi FEA. Terdapat dua model struktur geladak yang dilakukan konvergensi yaitu model tanpa *misalignment* (*misalignment* 0 mm) dan model *misalignment* (*misalignment* 0,5 mm). Analisis Konvergensi model dilakukan dengan membagi rentang ukuran *mesh* dari ukuran elemen 0,1 cm hingga 0,03 cm dengan *range* 0,01 cm.

Terlihat dari Gambar 2 bahwa model struktur geladak tanpa *misalignment* mulai mengalami konvergen pada jumlah elemen sekitar 14002 elemen dan seterusnya. Dengan memperhatikan spesifikasi komputer yang digunakan untuk menjalankan program elemen hingga, maka ukuran elemen yang digunakan pada tahap pembebanan adalah 0,03 cm dengan jumlah elemen sebanyak 14400 elemen.

Terlihat dari Gambar 3 bahwa model struktur geladak dengan *misalignment* mulai mengalami konvergen pada jumlah elemen sekitar 14002 elemen dan seterusnya. Dengan memperhatikan spesifikasi komputer yang digunakan untuk menjalankan program elemen hingga, maka ukuran elemen yang digunakan pada tahap pembebanan adalah 0,03 cm dengan jumlah elemen sebanyak 14413 elemen.

C. Perhitungan

1) Perhitungan Pembebanan

Untuk memperoleh nilai beban geladak maka digunakan persamaan beban pada geladak cuaca pada persamaan (2.1). Dari perhitungan beban pada geladak cuaca kapal diperoleh nilai sebesar 7,77 kN/m²; 3,69 kN/m²; 2,95 kN/m². Dari nilai tersebut nilai beban diambil dari nilai yang terbesar yaitu 7,77 kN/m² yang merupakan nilai beban dari pelat geladak.

2) Perhitungan Berat Superstructure

Kapal Patroli yang digunakan pada penelitian ini memiliki bangunan atas yang terdiri dari *raised deck*, *navigation deck*, dan *compas deck*. Beratnya diperoleh dari perhitungan volume tiap-tiap profil dan *piece part* dalam satuan kN/m². Hasil rekapitulasi perhitungan berat bangunan atas ditunjukkan pada Tabel 2.

D. Analisis Hasil Tegangan dan Deformasi pada FEA

Berikut ini merupakan hasil *von mises stress* dan *deformation* untuk setiap model yang dihasilkan dari *finite element analysis software*:

1) Model Misalignment 0 mm (Model tanpa Misalignment)

Gambar 4 menunjukkan nilai *von mises stress* pada model *misalignment* 0 mm sebesar 94,013 MPa yang terletak pada area berwarna hijau di bagian sambungan antar *center deck girder*, sedangkan nilai *von mises stress* maksimum sebesar 165,9 MPa yang terletak pada area berwarna merah di bagian ujung-ujung *center deck girder*.

Selain *von mises stress*, besar deformasi yang terjadi juga dapat dilihat pada Gambar 5 dengan nilai deformasi maksimum sebesar 0,01528 mm dimana deformasi tersebut terjadi pada *flat bar* yang terletak di sebelah kiri *center deck girder*. Kontur deformasi pada model struktur geladak

cenderung terpusat pada sambungan antar *flat bar* pada area yang berwarna merah.

2) Model Misalignment 1 mm

Gambar 6 menunjukkan nilai *von mises stress* pada model *misalignment* 1 mm sebesar 96,026 MPa yang terletak pada area berwarna hijau di bagian sambungan antar *center deck girder*, sedangkan nilai *von mises stress* maksimum sebesar 166,4 MPa yang terletak pada area berwarna merah di bagian ujung-ujung *center deck girder*.

Besar deformasi yang terjadi juga dapat dilihat pada Gambar 7 dengan nilai deformasi maksimum sebesar 0,01529 mm dimana deformasi tersebut terjadi pada *flat bar* yang terletak di sebelah kiri *center deck girder*. Kontur deformasi pada model struktur geladak cenderung terpusat pada sambungan antar *flat bar* pada area yang berwarna merah.

3) Model Misalignment 3 mm

Gambar 8 menunjukkan nilai *von mises stress* maksimum *center deck girder* pada model *misalignment* 3 mm sebesar 242,9 MPa yang terletak pada area berwarna merah di bagian sambungan antar *center deck girder*.

Besar deformasi yang terjadi juga dapat dilihat pada Gambar 9 dengan nilai deformasi maksimum sebesar 0,01534 mm dimana deformasi tersebut terjadi pada *flat bar* yang terletak di sebelah kiri *center deck girder*. Kontur deformasi pada model struktur geladak cenderung terpusat pada sambungan antar *flat bar* pada area yang berwarna merah.

4) Model Misalignment 5 mm

Gambar 10 menunjukkan nilai *von mises stress* maksimum *center deck girder* pada model *misalignment* 4 mm sebesar 298,2 MPa yang terletak pada area berwarna merah di bagian sambungan antar *center deck girder*.

Besar deformasi yang terjadi juga dapat dilihat pada Gambar 11 dengan nilai deformasi maksimum sebesar 0,01539 mm dimana deformasi tersebut terjadi pada *flat bar* yang terletak di sebelah kiri *center deck girder*. Kontur deformasi pada model struktur geladak cenderung terpusat pada sambungan antar *flat bar* pada area yang berwarna merah.

5) Pembahasan Model Center Deck Girder dengan Variasi Misalignment

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dijelaskan sebelumnya, maka hasil nilai tegangan dan deformasi ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 menunjukkan nilai tegangan maksimum dan deformasi maksimum pada *center deck girder* setiap variasi *misalignment*. Nilai tegangan maksimum dan deformasi maksimum pada setiap variasi mengalami kenaikan. Nilai tegangan maksimum dan deformasi maksimum tertinggi terjadi pada *center deck girder* dengan variasi *misalignment* 5 mm sebesar 298,2 MPa dan 0,01539 mm, sedangkan tegangan maksimum dan deformasi maksimum terendah terjadi pada *center deck girder* dengan besar nilai variasi *misalignment* 0 mm sebesar 94,013 MPa dan 0,01528 mm. Distribusi tegangan maksimum dan deformasi maksimum dapat dilihat pada Gambar 12 dan Gambar 13.

Gambar 12 menunjukkan bahwa tegangan maksimum tertinggi terjadi pada *center deck girder* dengan variasi *misalignment* 5 mm sebesar 298,2 MPa dan tegangan maksimum terendah terjadi pada *center deck girder* dengan

besar nilai variasi *misalignment* 0 mm sebesar 94,013 MPa. Sehingga diagram pada Gambar 12 dapat disimpulkan bahwa kenaikan besar nilai dari tegangan maksimum dipengaruhi oleh besar nilai variasi *misalignment*, dimana semakin besar *misalignment* yang terjadi pada *center deck girder* maka semakin besar juga tegangan maksimum yang dihasilkan.

Telah dijelaskan sebelumnya bahwa deformasi maksimum terjadi pada salah satu *flat bar* pada model struktur geladak, sehingga pada diagram Gambar 13 deformasi maksimum tertinggi ditunjukkan dengan besar nilai variasi *misalignment* 5 mm sebesar 0,01539 mm dan deformasi maksimum terendah ditunjukkan dengan besar nilai variasi *misalignment* 0 mm sebesar 0,01528 mm. Sehingga diagram pada Gambar 13 dapat disimpulkan bahwa kenaikan besar nilai dari deformasi maksimum dipengaruhi oleh besar nilai variasi *misalignment*, dimana semakin besar *misalignment* yang terjadi pada *center deck girder* maka semakin besar juga deformasi maksimum yang dihasilkan.

E. Pengecekan Hasil Analisis

Dengan diperolehnya besar tegangan maksimum dari masing-masing variasi *misalignment* pada *center deck girder* apakah memenuhi atau tidak memenuhi tegangan ijin yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Berdasarkan Tabel 4, dapat dilihat perbandingan nilai tegangan maksimum dari masing-masing variasi *misalignment* pada simulasi FEA dengan perhitungan rumus dari *rules* BKI (Biro Klasifikasi Indonesia, 2021). Nilai tegangan ijin diperoleh sebesar 226,596 MPa. Dimana dari hasil tersebut dapat dinyatakan bahwa sebagian besar tegangan maksimum yang diperoleh dari variasi *misalignment* pada *center deck girder* masih dalam batas yang diijinkan, yaitu variasi *misalignment* 0 mm sampai 2,5 mm. Sedangkan variasi 3 mm sampai 5 mm melebihi batas dari tegangan yang. Sehingga variasi *misalignment* 0 mm sampai variasi *misalignment* 2,5 mm dikategorikan memenuhi karena tegangan maksimum yang dihasilkan masih di bawah tegangan ijin.

F. Safety Factor

Besar nilai *safety factor* yang digunakan adalah berdasarkan rumus faktor keamanan (n) = (*yield strength/stress*) ditunjukkan pada Tabel 5. Berdasarkan Tabel 5, hasil perhitungan *safety factor* menunjukkan bahwa *safety factor* yang dihasilkan adalah lebih dari 1,0 semua, sehingga dinyatakan aman namun aman terhadap *yield strength*. Tetapi ada yang tidak aman atau tidak memenuhi jika berdasarkan dari tegangan ijin BKI.

G. Acceptance Criteria IACS No. 47 terhadap Misalignment

Standar tentang *misalignment* yang digunakan adalah IACS No. 47 tentang *Shipbuilding and Repair Quality Standard, Table 7.2 - Alignment detail Alignment of height of T-bar, L-angle bar or bulb* seperti Gambar 1. Dan telah dijelaskan bahwa besar *misalignment* yang diperbolehkan oleh IACS adalah sebesar 0 mm sampai 3 mm. Pada Tabel 4 yang menjelaskan hasil pengecekan nilai tegangan yang memenuhi tegangan ijin BKI dan Tabel 5 yang menjelaskan hasil perhitungan nilai *safety factor* yang dinyatakan aman. Dari kedua penjelasan tersebut, dapat diketahui bahwa nilai tegangan maksimum yang dihasilkan dari masing-masing

variasi *misalignment* pada sambungan *center deck girder* ada yang memenuhi dan tidak memenuhi dari tegangan ijin BKI namun semua variasi *misalignment* dinyatakan aman *safety factor*-nya berdasarkan *yield strength*. Sehingga *misalignment center deck girder* pada model struktur geladak yang memenuhi standar IACS No. 47 adalah model *misalignment* 0 mm; 0,5 mm; 1 mm; 1,5 mm; 2 mm; 2,5 mm.

Menurut standar BKI, dari *allowable stress* yang diijinkan tidak masuk pada *misalignment* 3 mm. Namun menurut standar IACS, *misalignment* 3 mm masih memenuhi kriteria sehingga masih diperbolehkan. *Misalignment* 3 mm tidak diperbolehkan meskipun IACS memperbolehkan karena dari hasil perhitungan yang diperoleh tidak memenuhi syarat dan melebihi yang diijinkan. Apabila *misalignment* 3 mm tetap diperbolehkan maka *misalignment* diatas 3 mm dilakukan repair dengan memangkas 300 mm pada pelat yang *misalignment*. Jadi, pelat yang memiliki ukuran atau posisi lebih tinggi dipangkas 300 mm di daerah pelat *web* dan dipotong dengan alat potong (blander). Kemudian dipukul agar tinggi pelat *face* sama dengan sambungan pelat *face* sebelah kanannya yang selanjutnya dilakukan pengelasan.

V. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis pengaruh *misalignment center deck girder* terhadap tegangan setempat pada kapal patroli 73 m yang dibahas pada bab IV, maka dapat disimpulkan bahwa; (1) Untuk kondisi tegangan setempat pada *misalignment center deck girder* yang sesuai aturan IACS No.47, variasi *misalignment* mulai 3 mm menghasilkan tegangan yang tidak memenuhi tegangan ijin BKI dan sesuai dengan aturan IACS

No.47. Sedangkan variasi *misalignment* 0 mm sampai 5 mm menghasilkan tegangan yang memenuhi *safety factor* berdasarkan *yield strength* dari material baja AH-36; (2) Besar nilai tegangan yang dihasilkan dari model tanpa *misalignment* menghasilkan nilai tegangan yang berbeda dengan model *misalignment*. Dimana semakin besar *misalignment* yang terjadi maka semakin besar juga nilai tegangan yang dihasilkan. Nilai tegangan maksimum terendah yang diperoleh adalah sebesar 94,013 MPa pada model *misalignment* 0 mm adalah sebesar 298,2 MPa pada model *misalignment* 5 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] O. F. Hughes and J. K. Paik, "Ship Structural Analysis and Design," 2010.
- [2] T. Putranto, A. Imron, and T. Yulianto, "Kajian penentuan getaran sistem propulsi kapal patroli dengan metode elemen hingga," *J. Kelaut. Nas.*, vol. 13, no. 2, pp. 99–105, 2018.
- [3] X. Liu, W. Songa, Z. Yana, W. Qianga, and H. Pan, "Misalignment Effect on Stress Concentration of Thickness Mismatched Plate Structures.," in *21st European Conference on Fracture*, 2016, vol. 2, pp. 2038–2045, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.prostr.2016.06.256>.
- [4] B. K. Indonesia, "Rules For The Classification And Construction: Part 1. Seagoing Ships, vol. XIV. Jakarta, Indonesia," 2014.
- [5] I.-C. Jong and W. Springer, "Teaching Von Misses Stress: From Principal Axes To Nonprincipal Axes," Arkansas, 2009.
- [6] M. Gere and S. P. Timoshenko, *Mekanika Bahan Jilid 1*. Jakarta: Erlangga, 2000.
- [7] D. L. Logan, *A First Course in the Finite Element Method, 4th ed.* Toronto: Nelson, 2007.
- [8] NAFEMS, "The Importance of Mesh Convergence - 1," 2018. [Online]. Available: www.nafems.org.
- [9] E. P. Popov, *Mechanics of Materials*. Berkeley: University of California, 2nd ed. Berkeley, 1984.