

konstruksi dudukan MBES. Konstruksi tersebut kemudian dianalisis menggunakan metode elemen hingga dan dikaji apakah kekuatan desain sudah memenuhi kriteria kekuatan yang diijinkan berdasarkan peraturan klas BKI (2017).

Adapun lingkup dari kegiatan studi yang telah dilakukan adalah meliputi penentuan tipe dudukan MBES, membuat desain awal dan konstruksi dudukan MBES, memodelkan konstruksi dudukan MBES pada *software* elemen hingga, melakukan perhitungan elemen hingga dan menganalisis hasil perhitungan dengan mengacu pada kriteria dari *rule* BKI.

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam melakukan kajian terkait papaer ini, maka penulis melakukan kajian mengenai paper-paper yang sudah pernah ada sebelumnya antara lain paper yang pernah ditulis oleh AbuBakar dan Dow (2013) membahas tentang perbandingan antara data eksperimen dengan penetrasi yang mengakibatkan kerusakan. Pada paper ini juga membandingkan antara simulasi numerik dan investigasi langsung pada saat kapal sedang *docking*. Simulasi numerik dilakukan menggunakan *softwae* FEM ABAQUS untuk memodelkan seperti yang tampak pada saat investigasi langsung ke kapal. Terdapat tiga level kompleksitas yang digunakan dalam memodelkan *double bottom structure* yang dikonsentrasikan pada bagian dalam dan luar yaitu penguatan longitudinal pada *shell plating* dan struktur dengan penguatan longitudinal pada lantai. Hasil pada paper ini adalah simulasi *finite element analisis* dapat diterima bila dibandingkan dengan pengamatan langsung. Simulasi numerik lebih murah untuk dilakukan bila dibandingkan dengan studi eksperimen, tetapi lebih baik bila tetap membandingkan hasil simulasi numerik dengan studi eksperimen untuk lebih meyakinkan hasil.

Paper selanjutnya ditulis oleh Wang, dkk. (2019) yang membahas tentang struktur pelindung untuk mengurangi resiko benturan atau tabrakan pada kapal. Sebagai salah satu struktur yang digunakan untuk perlindungan terhadap benturan, *flexible floating device* sudah banyak digunakan pada kapal. Paper ini bertujuan untuk mengevaluasi efektifitas dari *flexible floating anti collision device* yang sudah diadopsi pada Zhanjiang Bay Bridge di Cina. Hasil dari paper ini adalah penggunaan material *flexible floating anti collision device* yang sudah banyak digunakan pada kapal 52300 DWT, 50000 DWT dan 5000 DWT. Dari

studi ini didapatkan bahwa material *floating device* dapat digunakan untuk menggantikan material yang terdapat pada bagian depan kapal untuk mengurangi deformasi plastis yang terlalu besar akibat benturan pada lambung kapal.

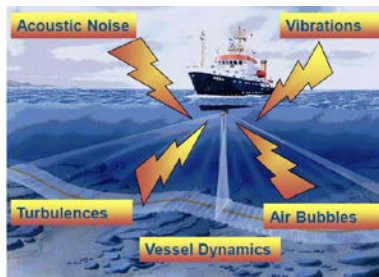
Paper lain yang membahas tentang metode penggunaan elemen hingga FEM adalah Mujahid dan Nugroho (2010) yang membahas tentang perhitungan pemodelan *submerged floating tunnel* (SFT) dengan menggunakan simulasi numerik berbasis metode elemen hingga. Analisa struktur terowongan apung menggunakan prinsip kerja dengan mendeskripsikan seluruh beban (*force*) pada SFT berupa beban internal dan eksternal yang bekerja akan diperoleh momen reaksi yang terjadi sepanjang badan SFT, dengan mengetahui luas penampang melintang SFT maka dapat diperoleh *bending stress* di seluruh badan SFT. Kesimpulan pada *paper* ini adalah tegangan yang dihasilkan oleh beban lingkungan jauh lebih besar dibandingkan beban muatan SFT. Untuk beban muatan *bending stress* terbesar terjadi pada daerah tekukan yang mungkin disebabkan oleh adanya konsentrasi tegangan pada daerah tersebut, daerah yang sama juga terjadi untuk beban lingkungan. *Bending stress* maksimum σ_Z sebesar -12789259 MPa pada titik 3, sedangkan *bending stress* maksimum σ_X sebesar 3957409 MPa pada titik 2. Untuk momen reaksi maksimum sumbu X sebesar 2.05 MPa pada titik 2 dan pada sumbu Z sebesar -9.81 MPa pada titik 2.

Paper lain yang juga membahas tentang FEM adalah Nugroho dan Pitoyo (2012) membahas tentang studi pemodelan numerik berbasis metode elemen hingga dari badan kapal berbahan aluminium EN AC-43100 dengan menggunakan perangkat lunak Ansys 13 (Ansys Inc., 2013). Dari hasil pemodelan ini berupa sebaran tegangan normal untuk seluruh badan kapal pada kondisi gelombang (*wave induced*). Verifikasi hasil dari pemodelan numerik dilakukan dengan perhitungan analitik kekuatan memanjang kapal. Hasil dari perhitungan menggunakan simulasi numerik sebesar 19.6 MPa sedangkan pada perhitungan analitik sebesar 20.1 MPa pada konstruksi alas, sedangkan pada dek utama hasil dari simulasi numerik sebesar 17.5 MPa dan hasil dari perhitungan analitik sebesar 18.1 MPa.

Dudukan MBES

Dalam menentukan tipe dudukan transduser untuk *mounted* MBES, perlu dipertimbangkan beberapa

Desain dan Analisis Struktur *Fairing* Dudukan *Multibeam Echosounder* (MBES) pada KR Baruna Jaya I
Menggunakan Metode Elemen Hingga
(Arfis Maydino Firmansyah Putra, Tris Handoyo, Kusnindar Prihutomomo dan Wasis Dwi Aryawan)



Gambar 1. Beberapa parameter dalam penentuan model dudukan transduser

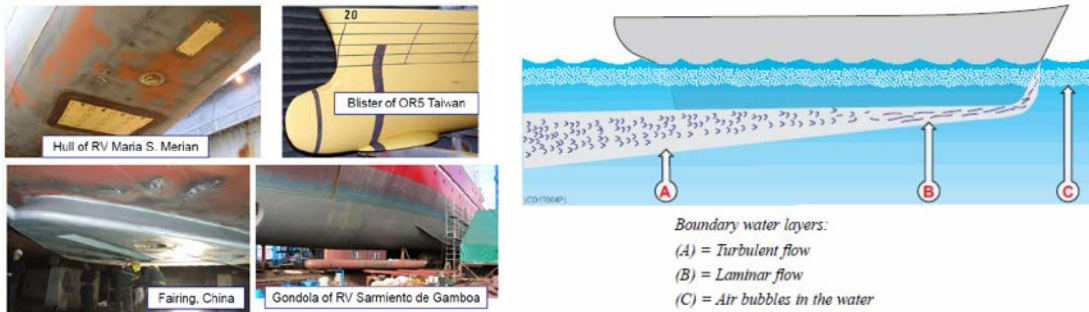
parameter yang dapat mempengaruhi kualitas data dalam pemasangan serta pemilihan dudukan transduser, sehingga kualitas data yang dihasilkan akan optimal (Gambar 1), diantaranya adalah *noise* akustik, vibrasi, turbulen dan gelembung udara (*air bubble*).

Tipe Dudukan Transduser

Beberapa tipe dudukan transduser yang tersedia untuk pemegang MBES adalah seperti ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Tipe dudukan transduser

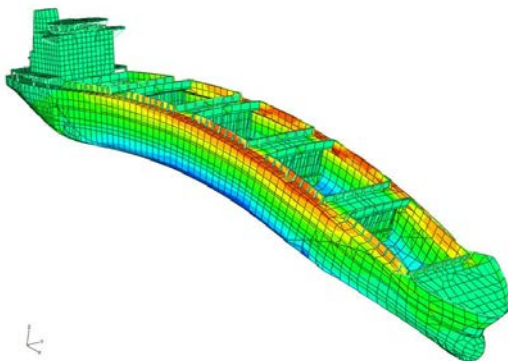
No	Tipe Dudukan	Kelebihan	Kekurangan
1.	Hull mounted Transduser dipasang langsung ke lambung (<i>bottom</i>) kapal tanpa adanya dudukan.	<ul style="list-style-type: none"> Tidak ada penambahan <i>draft</i> kapal; Tidak perlu biaya tambahan untuk pembuatan dudukan transduser baru. 	<ul style="list-style-type: none"> Pada tahap desain perlu memprediksi dan menentukan lokasi paling sesuai untuk meminimalisir efek yang ditimbulkan seperti <i>air bubble</i>, vibrasi dll.; Pengaruh <i>acoustic noise</i>, vibrasi, turbulen dan gelembung udara yang besar.
2.	Blister Lambung kapal dilebarkan atau dimodifikasi sedemikian rupa untuk mengoptimasi bentuk kapal dengan adanya penambahan transduser.	<ul style="list-style-type: none"> Tidak ada penambahan <i>draft</i> kapal; Ruang yang cukup untuk <i>transducer array</i>; Berkurangnya gelembung udara yang signifikan karena bentuk sudut <i>cover</i> transduser yang negatif dan posisi yang lebih baik. 	<ul style="list-style-type: none"> Pengaruh gerakan kapal kepada transduser sangat besar karena posisi <i>blister</i> berada di depan kapal.
3.	Fairing Tipe ini hampir sama dengan tipe <i>blister</i> , hanya saja posisi dudukan sedikit diturunkan dari badan kapal dan disambung atau dilas langsung dengan badan kapal.	<ul style="list-style-type: none"> Ruang <i>transducer array</i> yang memadai; Fabrikasi relatif lebih mudah dan murah; Sedikit pengaruh dari gelembung udara. 	<ul style="list-style-type: none"> Penambahan <i>draft</i> kapal (sekitar 0.75 meter), yang mana penambahan <i>draft</i> ini relatif tinggi, namun masih bisa dikatakan normal.
4.	Gondola	<ul style="list-style-type: none"> Ruang <i>transducer array</i> yang memadai; Pengaruh <i>acoustic noise</i>, turbulensi dan gelembung udara sedikit. 	<ul style="list-style-type: none"> Penambahan <i>draft</i> kapal yang cukup signifikan (sampai 1.5 meter); Membutuhkan ruangan dan penyusunan balok yang lebih kompleks saat pengedokan; Kemungkinan dapat mengurangi kecepatan kapal dan berdampak pada olah gerak kapal; Gondola itu sendiri akan menyebabkan vibrasi.



Gambar 2. Tipe dudukan MBES dan konsep distraksi aliran

Metode Elemen Hingga (FEM)

Metode elemen hingga adalah metode numerik untuk memecahkan masalah teknik, sains dan matematika, salah satunya adalah analisa struktur. Dimana setiap bentuk struktur dimodelkan kedalam matematika diskrit berupa elemen-elemen terbatas yang dirangkai menjadi sebuah fungsi matematika. Fungsi tersebut berupa persamaan matrik yang di-invers oleh iterasi komputer untuk mendapatkan nilai yang dicari. Untuk analisa struktur, nilai yang dicari adalah nilai perpindahan nodal-nodal yang nantinya akan diterjemahkan kedalam nilai tegangan (*stress*) atau yang lainnya. Yang dimaksud dengan perpindahan nodal-nodal adalah perpindahan titik akibat pembebanan yang dialami oleh struktur. Gambar 3 adalah salah satu contoh pemodelan elemen hingga pada struktur kapal.



Gambar 3. Contoh analisis FEM pada struktur kapal

Kontinum atau benda (struktur) dibagi-bagi menjadi beberapa bagian yang lebih kecil, maka elemen kecil ini disebut elemen hingga. Proses pembagian kontinum menjadi elemen hingga disebut proses diskretisasi (pembagian). Dinamakan elemen hingga karena ukuran elemen kecil ini berhingga (bukannya kecil tak berhingga) dan umumnya

mempunyai bentuk geometri yang lebih sederhana dibanding dengan kontinumnya. Secara umum elemen pada metode elemen hingga dibedakan menjadi tiga, yaitu 1D, 2D dan 3D.

Dengan metode elemen hingga kita dapat mengubah suatu masalah dengan jumlah derajat kebebasan tertentu sehingga proses pemecahannya akan lebih sederhana. Misalnya suatu batang panjang yang bentuk fisiknya tidak lurus, dipotong-potong sependek mungkin sehingga terbentuk batang-batang pendek yang relatif lurus. Maka pada batang yang panjang tadi disebut kontinum dan batang yang pendek disebut elemen hingga.

METODOLOGI

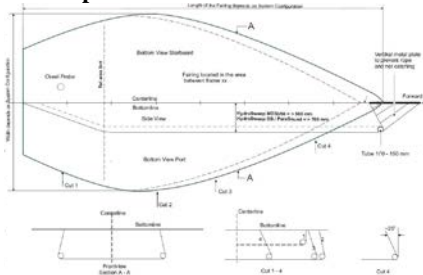
Makalah ini disusun dari hasil rangkaian kegiatan meliputi kajian pustaka, survei lapangan, pembuatan desain dudukan MBES, pembuatan model geometri dan konstruksi serta analisa numerik.

Tinjauan pustaka mencakup studi mengenai dudukan transduser, metode elemen hingga, peraturan BKI terkait konstruksi kapal. Survei lapangan dilakukan di objek studi, yaitu KR Baruna Jaya I. Survei ini dimaksudkan untuk mengetahui kondisi aktual pada kapal, serta pengumpulan data-data yang dibutuhkan dalam tahapan desain, seperti rencana garis, profil konstruksi, diagram hidrostatik, dll.

Pembuatan desain dudukan transduser dilakukan dengan mempertimbangkan referensi terkait hasil studi literatur serta pengumpulan data dan wawancara yang dilakukan kepada penyedia peralatan MBES dan perwakilan pemilik kapal. Hasil desain ini kemudian digambarkan dalam model komputer serta dirinci struktur konstruksinya untuk keperluan analisa metode elemen hingga. Analisa metode elemen hingga terhadap desain dudukan MBES bertujuan untuk mendapatkan gambaran kekuatan struktur konstruksi dudukan MBES.

HASIL DAN PEMBAHASAN
Pemilihan Tipe Dudukan MBES

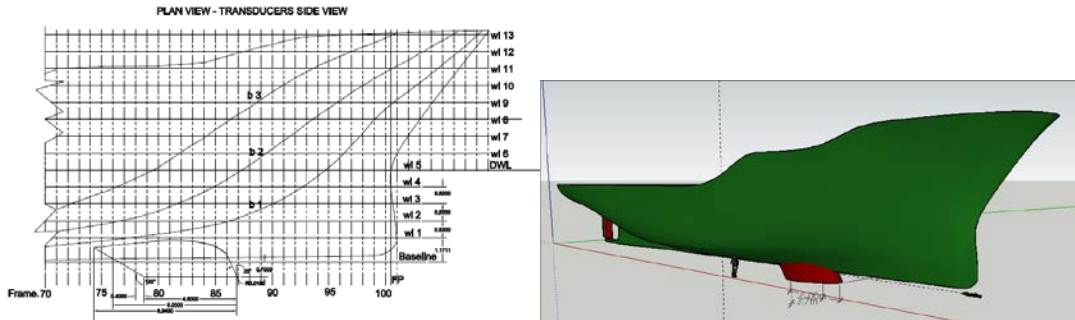
Tipe dudukan MBES yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe *fairing*. Tipe ini dipilih dengan pertimbangan terhadap kualitas data yang dihasilkan, kemudahan dan kecepatan konstruksi, serta biaya pekerjaan. Sketsa awal desain *fairing* unuk KR Baruna Jaya I adalah sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Sketsa awal desain *fairing*

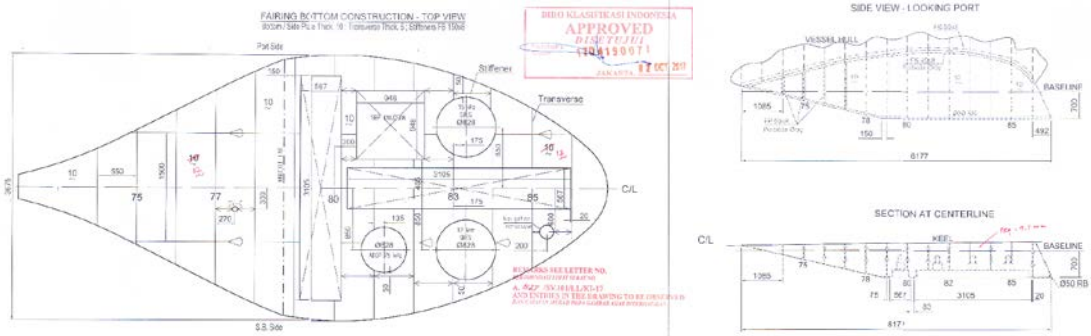
Desain dan Konstruksi *Fairing* MBES

Desain *fairing* dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 5. *Transducer fairing* installed at KR Baruna Jaya 2D & 3D view (Tim Perkapalan Balai Teksurla, 2017)

Desain konstruksi *fairing* dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 6. Konstruksi *bottom* dan memanjang *fairing* (Tim Perkapalan Balai Teksurla, 2017)

Analisa Struktur Konstruksi *Fairing*

Analisis kekuatan struktur dilakukan, selain untuk mengetahui kekuatan dan keandalan desain, juga merupakan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan sertifikasi dari BKI. Sehubungan dengan itu, hal-hal yang dilakukan dalam analisis struktur *fairing* untuk KR Baruna Jaya I adalah sebagai berikut:

1. Memodelkan konstruksi *fairing*;
2. Memberikan kondisi-kondisi pembebanan;
3. Melakukan perhitungan elemen hingga (FEM);
4. Menganalisis hasil perhitungan berdasarkan kriteria *rule* BKI.

Dalam analisis struktur ini, dilakukan tiga kasus pembebanan yaitu:

1. Kasus A: pembebanan hidrostatis;
2. Kasus B: pembebanan sensor;
3. Kasus C: pembebanan hidrostatis dan sensor.

Menurut *rule* BKI, tegangan ijin untuk pelat adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sigma_{perm} &= \text{permissible design stress [N/mm}^2\text{]} \\ &= \left(0,8 + \frac{L}{450} \right) \frac{230}{k} \quad \text{[N/mm}^2\text{]} \text{ for } L < 90 \text{ m} \\ &= \frac{230}{k} \quad \text{[N/mm}^2\text{]} \text{ for } L \geq 90 \text{ m} \end{aligned}$$

sedangkan tegangan ijin untuk penegar yang lain adalah:

$$\text{bending stress: } \sigma_b = \frac{150}{k} \quad [\text{N/mm}^2]$$

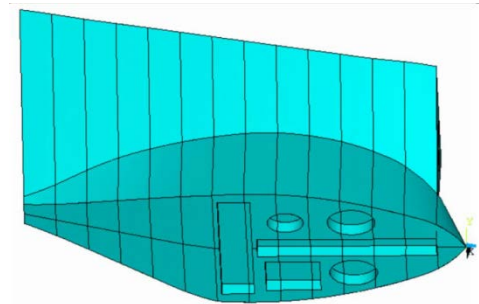
$$\text{shear stress: } \tau = \frac{100}{k} \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$\text{equivalent stress: } \sigma_v = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \tau^2} = \frac{180}{k} \quad [\text{N/mm}^2]$$

Tipe material yang digunakan pada struktur konstruksi *fairing* ini adalah baja A36 (*mild steel*). Material A36 adalah material baja dengan properti sebagai berikut:

1. Berat jenis : 7860 kg/m³
2. Tegangan luluh (*yield*) : 235 MPa (36 psi)
3. Modulus elastisitas : 207 GPa
4. *Poisson ratio* : 0.3

Model konstruksi *fairing* dibuat dalam bentuk 3D (Gambar 7) berdasarkan desain garis kapal dan potongan melintang gading. Model 3D tersebut disusun menjadi elemen-elemen dengan parameter ukuran tebal *wrang* 8 mm dan ukuran tebal pelat kulit 10 mm.



Gambar 7. Geometri model 3D konstruksi *fairing*

Dalam metode elemen hingga, susunan elemen-elemen pada pemodelan kostruksi harus mewakili sifat struktur, serta pemilihan elemen bergantung pada sifat matematik dari elemen. Pada analisis ini, hanya digunakan satu tipe elemen, yaitu elemen kulit (*shell*). Tahapan selanjutnya adalah mendiskitkan model geometri menjadi susunan elemen-elemen hingga dan titik-titik nodal yang akan dianalisis atau disebut *meshing*. Hasil *meshing* ditunjukkan oleh Gambar 8.



Gambar 8. Susunan *mesh* pada plat kulit luardan struktur bagian dalam

Meshing perlu diverifikasi dengan memperhitungkan kestabilan nilai defleksi dan hasil tegangan, yang disebut sebagai uji konvergensi. Nilai konvergensi diperoleh dari perbandingan antara ukuran, jumlah elemen dan perhitungan tegangan. Jika grafik menunjukkan kurva konvergen atau penurunan perbedaan nilai hingga kurang dari 2%, maka ukuran elemen valid digunakan dalam perhitungan. Hasil uji konvergensi ditunjukkan oleh Tabel 2 dan Gambar 9.

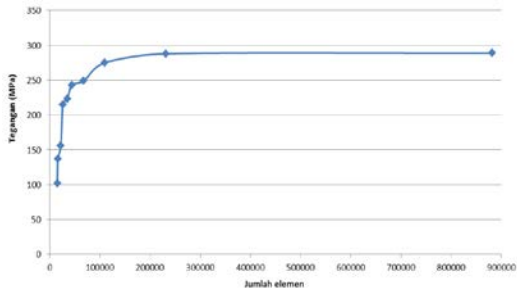
Parameter lain yang harus ditentukan dalam pemodelan elemen hingga adalah kondisi batas. Kondisi batas adalah kondisi dimana harus diberikan tumpuan-tumpuan pada stuktur yang merupakan pemodelan hubungan struktur yang ditinjau dengan struktur di sekitarnya. Tipe kondisi batas yang digunakan adalah tipe jepit pada pelat *inner bottom*, seperti ditunjukkan dengan konfigurasi warna kuning dalam Gambar10.

Setelah parameter-parameter dalam elemen hingga ini telah ditentukan, maka dilakukan uji pembebanan. Sebagaimana telah disampaikan pada paragraf di atas bahwa telah dilakukan tiga (3) kasus kondisi uji pembebanan.

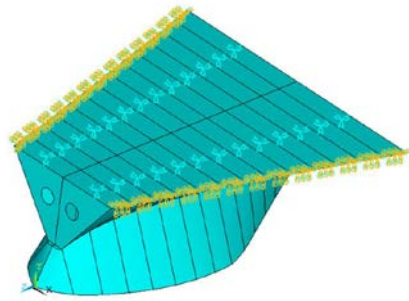
Tabel 2. Uji konvergensi dalam analisis struktur *fairing*

Ukuran Elemen (m)	Jumlah Elemen	Hasil Perhitungan Tegangan (MPa)	Nilai perbedaan
0.2	15104	102	-
0.18	16492	137	33%
0.16	22152	156	15%
0.14	26128	215	37%
0.12	35174	223	8%
0.1	43871	243	8%
0.08	67742	249	3%
0.06	109827	275	10%
0.04	231461	288	6%
0.02	881504	289	1%

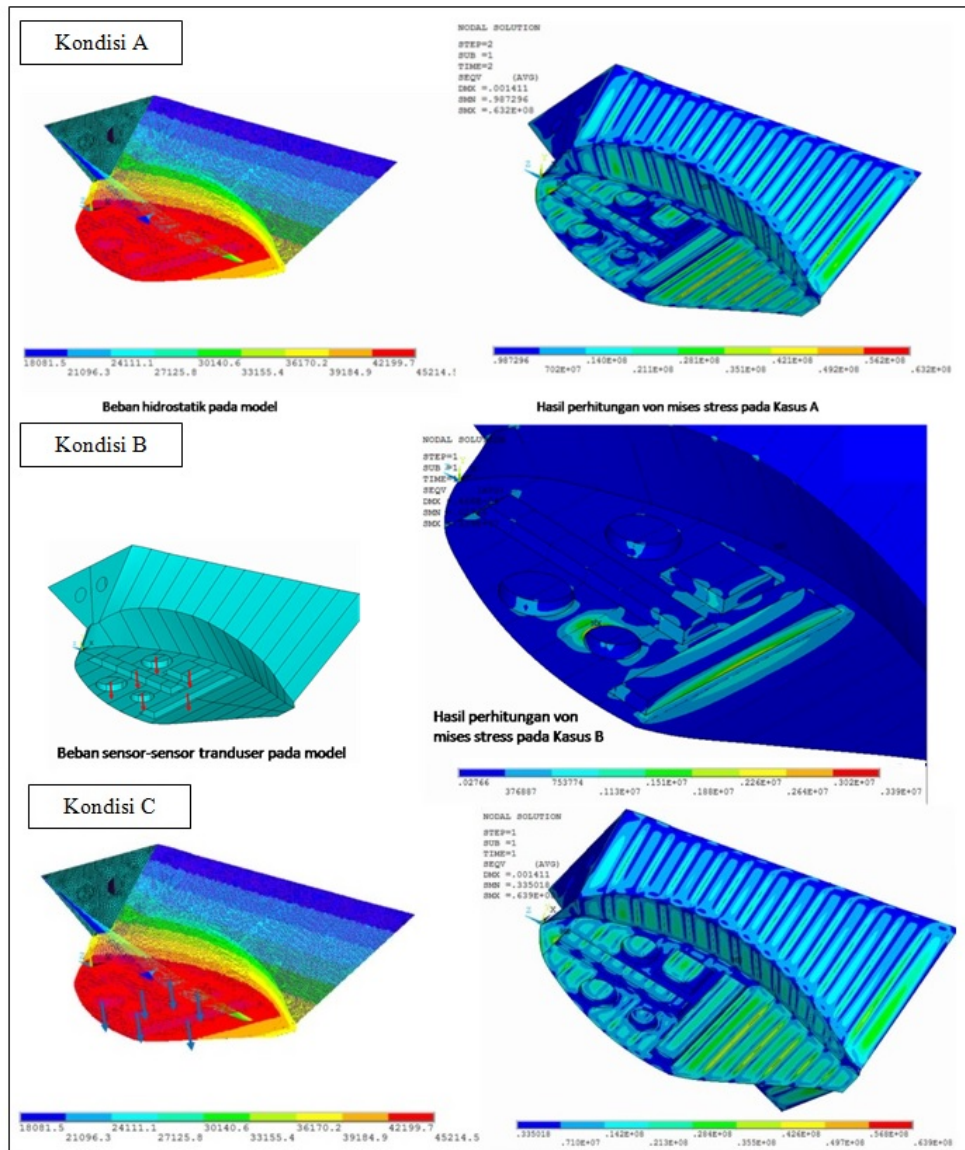
Desain dan Analisis Struktur *Fairing* Dudukan *Multibeam Echosounder* (MBES) pada KR Baruna Jaya I Menggunakan Metode Elemen Hingga (Arfis Maydino Firmansyah Putra, Tris Handoyo, Kusnindar Priohutomo dan Wasis Dwi Aryawan)



Gambar 9. Grafik uji konvergensi dalam analisis struktur *fairing*



Gambar 10. Kondisi batas pada *fairing*



Gambar 11. Hasil uji pembebanan Kondisi A, B dan C

Hasil Pemodelan FEM

1. Kondisi A (Pembebanan Hidrostatik)

Beban hidrostatik dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$P_{hidrostatik} = \rho_{air\ laut} \cdot T \cdot g \tag{1}$$

dimana:

- $P_{hidrostatik}$ = gaya hidrostatik
- $\rho_{air\ laut}$ = massa jenis air laut
- T = sarat airkapal
- g = percepatangravitasi

Nilai pembebanan hidrostatik pada model yang diperoleh adalah:

$$P_{hidrostatik} = 1025 \text{ kg/m}^3 \times 4.5 \text{ m} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 45202.5 \text{ N/m}^2$$

Dari hasil pemodelan FEM, nilai tegangan von Mises terbesar pada Kondisi A sebesar 63.2 MPa. Tegangan ini terjadi pada sambungan *wrang* dengan pelat (Gambar 11).

2. Kondisi B

Pada Kondisi B, pembebanan yang terjadi adalah merupakan berat sensor-sensor transduser yang dikaitkan pada struktur *fairing*. Dari hasil pemodelan FEM, nilai tegangan von Mises terbesar pada Kondisi B 3.39 MPa. Tegangan terbesar ini terjadi pada sambungan *bottom plate* dan *casing sensor* (Gambar 11).

3. Kondisi C

Pembebanan untuk Kondisi C terdiri dari beban hidrostatik dan berat sensor-sensor transduser. FEM untuk Kondisi C memberikan hasil tegangan von Mises terbesar dengan nilai 63.9 MPa. Tegangan sebesar itu terjadi pada sambungan *wrang* dengan *bottom plate* serta *bottom plate* dengan *casing sensor* (Gambar 11).

Untuk lebih memperjelas hasil analisa maka dibuat tabel yang membandingkan hasil ketiga kondisi pembebanan dan ditabelkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Tegangan von Mises hasil pemodelan FEM untuk tiga kondisi pembebanan

Kondisi Pembebanan	Tegangan von Mises (MPa)	Tegangan Ijin (MPa)	Unity Check	Keterangan
Kondisi A	63.20	180	0.351	Memenuhi
Kondisi B	3.39	180	0.018	Memenuhi
Kondisi C	63.90	180	0.355	Memenuhi

KESIMPULAN

Tegangan ijin struktur kapal dengan material baja A36 yang disyaratkan oleh klas BKI adalah 180 MPa. Dari hasil pemodelan menggunakan FEM diketahui bahwa tegangan von Mises yang dihasilkan untuk kondisi pembebanan A, B dan C pada *fairing* dudukan MBES adalah masing-masing, 63.20, 3.39 dan 63.9 MPa. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa nilai tegangan yang dihasilkan dari pemodelan FEM kesemuanya lebih kecil dari tegangan ijin yang disyaratkan oleh BKI.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa desain struktur *fairing* MBES memenuhi peraturan klas BKI. Selanjutnya hal ini menunjukkan bahwa *fairing* MBES aman secara konstruksi bila dipasang pada KR Baruna Jaya I.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Balai Teknologi Survey Kelautan-BPPT, PT. Asmin Adi Sentosa dan Jurusan Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS) yang telah memberikan kesempatan, fasilitas dan dukungannya kepada kami untuk dapat melakukan kajian hingga tersusunnya paper ini.

DAFTAR PUSTAKA

AbuBakar, Anuar dan Dow, R. S. (2013). Simulation of Ship Grounding Damage Using the Finite Element Method. *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 50 (5): 623–636.

ANSYS Inc. 2013. LS-DYNA Keyword User’s Manual. Troy: Livermore Software Technology Corporation (LSTC).

BKI. (2017). *Rules for Hull Volume II*. Biro Klasifikasi Indonesia, Jakarta.

Tim Perkapalan Balai Teksurla. 2017. *Desain Fairing dan Jalur Pipa KR Baruna Jaya I*. Tangerang Selatan: BPPT.

Mujahid, A. S. dan Nugroho, W. H. (2010). Analisa Bending Stress pada Submerged Floating Tunnel. *Jurnal Wave*, Vol. 4 (1): 1–5.

Nugroho, W. H. dan Pitoyo. (2012). Study Numerik Distribusi Tegangan Badan Kapal Berbahan Aluminum. *Jurnal Wave*, Vol. 6 (1): 1–6.

Wang, J. J., Song, Y. C., Wang, W. dan Chen, C. J. (2019). Evaluation of Flexible Floating Anti-Collision Device Subjected to Ship Impact using Finite Element Method. *Ocean Engineering*, Vol. 178: 321–33

Desain dan Analisis Struktur *Fairing* Dudukan *Multibeam Echosounder* (MBES) pada KR Baruna Jaya I
Menggunakan Metode Elemen Hingga
(Arfis Maydino Firmansyah Putra, Tris Handoyo, Kusnindar Priohutomo dan Wasis Dwi Aryawan)

Halaman kosong