

ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR PADA KAPAL WISATA SUNGAI KALIMAS

Budianto¹⁾

¹⁾ Teknik Desain dan Manufaktur, Politeknik Perkapalam Negeri Surabaya, Indonesia
Email: budianto.structure@gmail.com

Abstrak

Dalam mengembangkan sektor pariwisata di sungai Kalimas Surabaya, salah satu diantaranya adalah pembuatan perahu wisata sungai Kalimas. Dalam perancangan kapal wisata kalimas dengan menggunakan bahan komposit FRP (*Fiber Reinforcement Plastic*) yang menggunakan serat buatan alam yang tidak merusak ekosistem di sungai Kalimas dan memiliki kekuatan struktur kapal yang baik. Analisis perancangan struktur dalam perahu wisata sungai Kalimas yang menggunakan bahan FRP yang diterapkan pada analisis struktur konstruksi dengan menggunakan metode elemen hingga. Dimana diterapkan dengan mampu menerima beban baik dari dalam maupun luar pada perahu wisata sungai Kalimas FRP tersebut. Kemampuan kekuatan struktur yang cukup aman diijinkan, dengan nilai tenggangan bending yang masih dalam nilai dibawah 67 mPa. Dimana dalam keadaan kondisi hogging maupun saggging telah dianalisis cukup aman kekuatan pada struktur perahu wisata sungai Kalimas FRP yang dapat timbul pembebanan akibat adanya *manouvering* tersebut, baik secara global memanjang kapal maupun struktur lokal didudukan mesin yang merupakan fokus konsentarsi utama. Untuk Struktur lokal di dudukan mesin dimana menerima beban statis dari mesin outboard maupun beban dinamis yang ditimbulkan akibat pergerakan perahu wisata Kalimas FRP tersebut. Perhitungan dengan mekanisme pembebanan distribusi merata ataupun beban terpusat merupakan faktor utama hasil analisis perancangan struktur perahu wisata sungai Kalimas yang efisien dan efektif.

Kata Kunci : Pembebanan, Struktur, dudukan M/E outboard.

1. PENDAHULUAN

Dalam mengembangkan sektor pariwisata di sungai Kalimas, salah satu diantaranya adalah pembuatan perahu wisata sungai Kalimas. Disamping itu secara tidak langsung akan menambah minat warga Surabaya dalam mengembangkan keindahan kota dengan ikut berpartisipasi dalam menjaga kebersihan disekitar bantaran sungai Kalimas. Perahu wisata sungai Kalimas dirancang dengan bahan-bahan yang ramah lingkungan sehingga tidak mengganggu kelestarian ekosistem yang berada di sungai Kalimas. Dalam perancangan kapal wisata sungai kalimas dengan menggunakan bahan komposit FRP (*Fiber Reinforcement Plastic*) yang menggunakan serat buatan alam yang tidak merusak ekosistem di sungai Kalimas dan kekuatan bahan FRP yang digunakan dapat diperhitungkan kekuatannya dengan analisis struktur.

Analisis perancangan dalam perahu wisata kalimas yang menggunakan bahan FRP diterapkan pada analisis struktur konstruksi dimana mampu menerima beban-beban baik dari dalam maupun luar pada perahu wisata sungai Kalimas FRP tersebut, hal itu akan pengaruh terhadap tingkat keselamatan perahu wisata sungai Kalimas dalam melakukan operasional. Dimana dalam keadaan kondisi hogging maupun saggging. Diperlukan menganalisis kekuatan pada struktur perahu wisata sungai Kalimas yang berbahan FRP yang dapat timbul akibat adanya operasional tersebut, baik secara global memanjang kapal maupun struktur lokal didudukan mesin yang merupakan fokus utama. Untuk Struktur lokal didudukan mesin dimana menerima beban statis dari mesin outboard maupun beban dinamis yang ditimbulkan akibat pergerakan kapal wisata dengan bahan FRP tersebut. Perhitungan dengan mekanisme pembebanan distribusi merata ataupun beban

terpusat merupakan faktor utama dalam perancangan perahu wisata sungai Kalimas. Dengan menggunakan metode elemen hingga, dimana struktur yang dianalisis dibentuk dalam element-element didiskritsi yang lebih kecil dan sederhana (mesh) dalam jumlah yang berhingga dengan pemberian nilai kondisi batas pada struktur yang disimulasikan tersebut. Untuk melakukan analisis dengan simulasi struktur lokal dengan validasi perhitungan manual, pada metode elemen hingga dapat menghitung nilai Von Mises yang secara fisik merupakan perwujudan dari nilai maksimum tegangan yang terjadi atau dengan kata lain merupakan kumpulan tegangan-teganagan yang terjadi di dalam struktur kapal wisata sungai Kalimas sehingga dapat digunakan dalam melakukan analisis kekuatan struktur lokal khususnya pada kedudukan mesin outboard. Penerapan dalam analisis dengan metode elemen hingga dalam proses perancangan kapal wisata sungai Kalimas yang berbahan FRP dengan melakukan pertimbangan-pertimbangan teknis dalam analisis kekuatan kapal wisata sungai kalimas akan memberikan nilai tambah pada kemampuan kekuatan struktur kapal wisata sungai Kalimas.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Regulasi Kapal FRP

Begitu banyak perusahaan yang memproduksi kapal fiberglass untuk berbagai keperluan mulai dari kapal kecil, kapal layar hingga kapal penumpang serta kapal Wisata. Ada banyak peraturan yang mengatur tentang kapal fiberglass diantaranya kita bisa mengacu Pada Regulasi yang dikeluarkan oleh biro klasifikasi atau lainnya. Diantaranya ada GL (germanischer lloyd), LR (Lloyd Register), DNV, Serta CE Mark.

2.2. Material FRP

Dari proses pencampuran menghasilkan material FRP yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya. Pemakaian material FRP dalam bidang industri perkapalan dimulai sejak tahun 1942 khusus untuk kapal-kapal berukuran kurang dari 60 m. FRP (Fiberglass Reinforced Plastic) yang merupakan penggabungan antara serat gelas dan resin. Serat gelas sebagai penguat dalam komposit sedangkan resin sebagai matrik yang

berfungsi melindungi serat gelas. Untuk mengetahui kekuatan tarik dari FRP maka dilakukan pengujian tarik menurut standar ASTM D638. Pengujian dilakukan pada temperatur dan kelembaban ruangan (30°C dan 80%) serta temperatur dan kelembaban standar. Setelah dilakukan pengujian, kekuatan tarik pada temperatur dan kelembaban ruangan lebih tinggi yaitu 98.7 MPa untuk V-5M dan 107.45 MPa untuk V-3M-WR-M. Dari pengujian dua pengkondisian ini dapat dikatakan kondisi ruangan lebih baik daripada kondisi standar. [3]

2.3. Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga berawal pada kebutuhan untuk menyelesaikan permasalahan kompleks dibidang Teknik Sipil dan Teknik Aeronautika terutama pada permasalahan elastisitas dan analisis struktur. Perkembangan Metode Elemen Hingga diawali atas jerih payah Alexander Hrennikoff (1941) dan Richard Courant (1942). Pendekatan yang dilakukan oleh para pioneer ini benar-benar berbeda, namun mereka mempopulerkan satu nilai yang esensial, yaitu: Diskretisasi Jaringan/ Pembagian Jaringan pada sebuah bidang pengaruh (domain) yang menerus menjadi kumpulan sub-domain yang berbeda. Perkembangan Metode Elemen Hingga secara sungguh-sungguh diawali pada pertengahan sampai dengan akhir dekade 1950an untuk bidang airframe dan analisis struktur. Metode Elemen Hingga di mekanika struktur sering didasari pada prinsip energi, dimana Metode Elemen Hingga menyediakan secara keseluruhan intuisi dan basis fisik yang dapat menjadi bahan pertimbangan yang baik bagi para insinyur struktur. [6]

2.4. Analisis Kekuatan Struktur Kapal

Dalam analisis kekuatan struktur kapal dapat dihitung dengan menentukan nilai maksimum momen yang terjadi baik dalam kondisi hogging maupun saggging, dimana tetap memperhatikan modulus penampang kapal wisata yang berbahan FRP aktual untuk menghindari resiko kapal patah karena tidak mampu menahan momen dengan akibat adanya pembebanan-pembebanan yang terjadi pada struktur kapal wisata yang berbahan FRP. Metode yang digunakan yaitu Metode Elemen Hingga (MEH) dengan menggunakan paket program struktur

analisis. Metode ini merupakan salah satu metode yang sangat populer pada saat ini penguanya cukup intensif dibidang rekayasa. Metode ini bersifat computer driven artinya semakin berdaya guna tinggi seiring dengan perkembangan laju teknologi digital komputer, dalam kondisi dewasa ini. Disamping juga, sebagai umpan balik untuk menyempurnakan simulasi Metode Elemen Hingga.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam tahap persiapan dilakukan hal-hal sebagai berikut:

- a. Melakukan perhitungan-perhitungan ukuran utama ataupun dengan kapal wisata sungai pembanding.
- b. Melakukan perencanaan awal Basic design, rencana umum dan rencana garis
- c. Melakukan pengumpulan data-data estimasi materials untuk kapal wisata sungai berbahan FRP tersebut, dimana dibutuhkan mechanical propertis sebagai dasar perhitungan scantling.
- d. Membuat perencanaan gambar konstruksi kapal wisata sungai Kalimas.

Melakukan analisis survei lokasi rencana penempatan kapal wisata sungai Kalimas, mengetahui laju arus, kedalaman sungai kalimas, adanya lintasan jembatan, sandaran kapal, dll. Dimana hal itu untuk membantu menghitung kondisi pembebanan kapal wisata sungai Kalimas,

Dalam hal ini menggunakan Rules BKI untuk kapal FRP, dimana dilakukan perhitungan section modulus untuk struktur konstruksi, disamping itu melakukan arrangemant terhadap peralatan yang dipasang. BKI (Biro Klasifikasi Indonesia) merupakan salah satu biro klasifikasi kapal yang ada di dunia yang sudah mengeluarkan peraturan - peraturan termasuk di dalamnya perhitungan dan standar yang baku yang diantaranya adalah peraturan tentang kapal fiberglass. Dimana perencanaan jarak gading pada umumnya diambil 500 mm. Langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan secara manual untuk mengetahui nilai modulus kapal berdasarkan data-data kapal yang telah didapatkan saat pengukuran di lapangan. Modulus kapal dapat dicari dengan menghitung nilai-nilai luas, titik berat dan momen inersia pada setiap pelat dan profil.

Melakukan daftar estimasi berat konstuksi struktur kapal wisata sungai Kalimas berbahan FRP termasuk perletakan distribusi dikapal, dengan memperhatikan posisi penempatan termasuk LCG, TCG dan KG. Melakukan perhitungan distribusi beban pada tiap-tiap penampang frame terhadap gaya geser maupun moment bending yang terjadi. Dimana hal itu termasuk posisi letak tangki-tangki, letak mesin tempel, letak peralatan navigai, hal ini akan memberikan nilai-nilai momen yang terjadi pada kapal wisata sungai Kalimas.

Perhitungan momen akibat pembebanan yang terjadi baik dalam hogging maupun sagging. Kondisi kapal wisata sungai kalimas yang terjadi baik hogging maupun sagging dapat memberikan efek besarnya tegangan kapal wisata sungai kalimas yang terjadi, dimana kapal dikondisikan dalam kondisi ekstrim diatas dua tumpuan maupun diatas satu tumpuan ditengah, sehingga hal tersebut memberikan gambaran kemungkinan maksimum pembebanan pada kapal wisata sungai yang berbahan FRP tersebut. Berdasarkan data dari masing-masing distribusi berat dengan berapa besar lengan panjang yang terjadi akan memberikan pengaruh terhadap nilai momen yang terjadi, disamping juga gaya geser akibat reaction force dari komponen berat kapal.

Rules BKI untuk kapal wisata sungai Kalimas yang berbahan FRP memberikan nilai allowable bending moment yang nantinya akan memberikan batasan moment yang diijinkan oleh Klasifikasi, dimana harus masuk kedalam range yang diberikan oleh Klasifikasi. Dimana dalam hal ini diberikan angka 67 mPa tegangan ijin yang diberikan klasifikasi dimana kemudian dikalikan dengan modulus permintaan sehingga didapatkan bending moment yang diijinkan.

Hasil kekuatan memanjang memberikan perancangan desain kapal wisata sungai Kalimas yang berbahan FRP yang mampu menerima kondisi pembebanan baik secara statis maupun dinamis. Tujuan perhitungan kekuatan memanjang adalah untuk menentukan tegangan yang dialami badan kapal sebagai suatu kesatuan pada arah memanjang. Tegangan ini diakibatkan oleh keadaan dimana berat kapal pada suatu titik sepanjang kapal tidak disangga oleh gaya tekan air ke atas yang sama bedarnya. Jika perbedaan penyebaran memanjang antara gaya berat dan gaya tekan semakin besar, maka pembebanan yang

bekerja pada kapal makin besar juga. Penyebaran memanjang dari berat kapal ditentukan oleh keadaan muatan, sedangkan penyebaran gaya tekan ke atas ditentukan oleh keadaan gelombang.

Kondisi dudukan mesin sangat berpotensi terjadi retak akibat gaya statis dan dinamis akibat getaran ataupun operasional mesin outboard. Beberapa langkah dapat dilakukan sebagai berikut, antara lain

- Melakukan simulasi pada struktur lokal pondasi.
- Melakukan input material properties.
- Melakukan meshing.
- Melakukan input perhitungan pembeban.
- Melakukan kondisi batas.
- Melakukan Pre-Processing.

Tegangan yang diijinkan Rules BKI untuk kapal wisata sungai yang berbahan FRP memberikan nilai tegangan bending yang diijinkan yang nantinya akan memberikan batasan tegangan oleh Klasifikasi dan harus masuk kedalam range yang diberikan oleh Klasifikasi. Dimana dalam hal ini diberikan nilai tegangan bending maksimum yang diijinkan adalah 67 mPa sedangkan hasil untuk tegangan geser yang diijinkan adalah 45 mPa. Hasil tegangan akan memberikan kesimpulan dan saran pada analisis kekuatan struktur kapal wisata sungai Kalimas yang berbahan FRP yang efisien dan efektif.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Tahap Persiapan

Melakukan penentuan ukuran utama kapal sebagai acuan dasar dalam perancangan dengan menganalisis kekuatan struktur kapal wisata sungai Kalimas dengan material berbahan FRP.

Ukuran utama kapal wisata sungai Kalimas:

Panjang kapal	8.00	m.
Lebar kapal	2.20	m.
Tinggi kapal	1.15	m.
Sarat kapal	0.40	m.
Kecepatan Kapal	10-12	knot.

Materials yang digunakan pada kapal wisata ungai Kalimas menggunakan *Fiberglass Reinforced Plastics* (FRP) yang merupakan komposit yang terbentuk dari kombinasi antara dua atau lebih material pembentukan yang menjadi penyusun, dengan melalui proses pencampuran yang tidak homogen dengan bersifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda. Jenis

material yang digunakan adalah FRP jenis WR 600 V-5M dengan kuat tarik 84.7325 mPa. Untuk tenaga penggerak kapal wisata sungai Kalimas adalah sebagai berikut:

- Kapal wisata sungai Kalimas digerakkan oleh motor penggerak outboard dengan 1 X 25 HP.
- Motor penggerak dan instalasinya ada dibelakang dengan dilengkapi belt penghubung yang dikoneksikan kedalam steering di kemudi kapal wisata sungai Kalimas.

Sehingga didapatkan perencanaan data-data yang mendukung dalam perhitungan kekuatan stuktur kapal wisata sungai Kalimas, yang mampu dalam menrima beban yang terjadi dan memiliki struktur yang efektif dan efisien.

4.2. Perhitungan Scantling

Untuk ukuran scantling konstruksi kapal wisata sungai Kalimas ditentukan oleh besaran modulus dan momen inersia dari material FRP atau profil berdasarkan peraturan yang disyaratkan oleh BKI tentang prosedur laminasi. Sedangkan Panjang konstruksi (L) digunakan sebagai panjang perhitungan dalam perancangan kapal wisata sungai Kalimas.

Diketahui :	Lwl	=	7.90	m
	Lpp	=	7.60	m
	96% Lwl	=	7.58	m
	97% Lwl	=	7.66	m

Sehingga:

$$L = 7.50 \text{ m}$$

Pada ukuran jarak gading (a) dari 0.2 L dibelakang FP sampai dengan sekat ceruk buritan ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$a = \frac{L}{500} + 0.48 \text{ [m]} \dots \dots \dots (1)$$

$$= 0.495 \text{ m}$$

$$= 0.5 \text{ m}$$

Perhitungan pembebanan diambil dari perhitungan akibat beban statis dan pembebanan akibat tekanan permukaan air. Dimana pembebanan merata pada struktur lambung kapal wisata sungai Kalimas yang terkena tekanan air.

Beban dasar dinamik luar

$$P_0 = 2,1(CB+0,7).c_o.c_L.f.c_{RW} \text{ [kN/m}^2\text{]} \dots \dots \dots (2)$$

$$P_0 = 4.25 \text{ kN/m}^2 \text{ (untuk kulit lambung)}$$

$$P_0 = 3.52 \text{ kN/m}^2 \text{ (untuk penegar)}$$

$$P_0 = 2.82 \text{ kN/m}^2 \text{ (untuk penumpu)}$$

Beban alas

$$P_B = 10T + P_0 \times c_f \text{ [kN/m}^2\text{]} \dots \dots \dots (3)$$

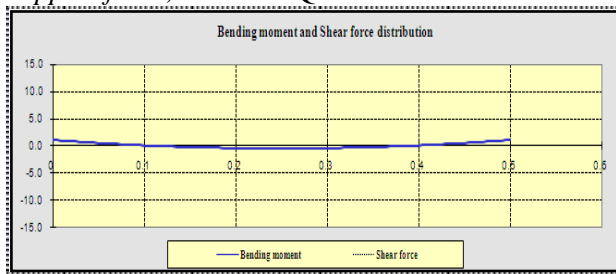
- $P_B = 8.24 \text{ kN/m}^2$ (untuk kulit lambung)
- $P_B = 7.76 \text{ kN/m}^2$ (untuk penegar)
- $P_B = 6.56 \text{ kN/m}^2$ (untuk penumpu)

Modulus penampang yang merupakan hasil dari perhitungan konversi ukuran profil yang dibutuhkan yang mampu menerima pembebanan pada kapal wisata sungai Kalimas.

$$\sigma = \frac{M(z - N)}{I_y} = \frac{M}{Z} \dots\dots\dots (4)$$

a. Side Girder (SG) atau Center Girder (CG)

- Length $L = 0.5 \text{ m}$
- Degree of fixation, left end $k_A = 1.0$
- Degree of fixation, right end $k_B = 1.0$
- Young's modulus $E = 140.0 \text{ GPa}$
- Moment, end A $M_a = 1.0 \text{ kNm}$
- Moment, end B $M_b = 1.0 \text{ kNm}$
- Support force, end A $Q_a = 12.5 \text{ kN}$
- Support force, end B $Q_b = 12.5 \text{ kN}$



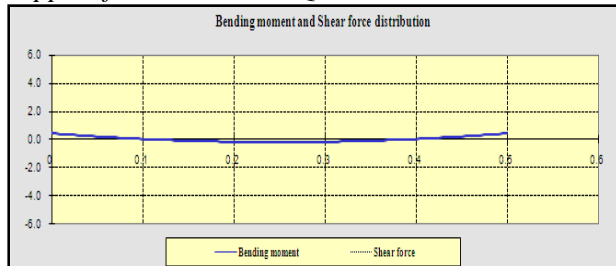
Grafik 1 Diagram Momen dan Geser CG/SG

Penampang modulus permintaan

- $Z_{req} = 10 \text{ M} / \sigma$
- $= (10 \times 1.0) \text{ kNm} / (85/1.5) \text{ MPa}$
- $= 10000000 \text{ Nmm} / 56.70 \text{ MPa}$
- $= 176366.84 \text{ mm}^3$
- $= 176 \text{ cm}^3$

b. Transversal frame

- Length $L = 0.5 \text{ m}$
- Degree of fixation, left end $k_A = 1.0$
- Degree of fixation, right end $k_B = 1.0$
- Young's modulus $E = 140.0 \text{ GPa}$
- Moment, end A $M_a = 0.4 \text{ kNm}$
- Moment, end B $M_b = 0.4 \text{ kNm}$
- Support force, end A $Q_a = 5.0 \text{ kN}$
- Support force, end B $Q_b = 5.0 \text{ kN}$



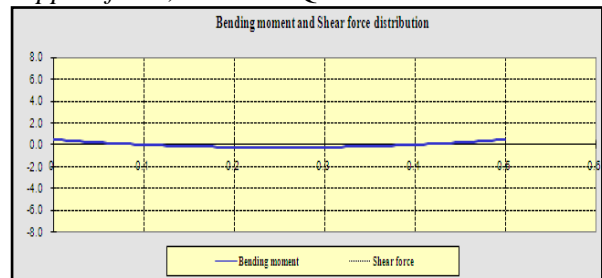
Grafik 2 Diagram Momen dan Geser Frame

Penampang modulus permintaan

- $Z_{req} = 10 \text{ M} / \sigma$
- $= (10 \times 0.4) \text{ kNm} / (85/1.5) \text{ MPa}$
- $= 4000000 \text{ Nmm} / 56.70 \text{ MPa}$
- $= 70546.73 \text{ mm}^3$
- $= 70 \text{ cm}^3$

c. Transversal Floor

- Length $L = 0.5 \text{ m}$
- Degree of fixation, left end $k_A = 1.0$
- Degree of fixation, right end $k_B = 1.0$
- Young's modulus $E = 140.0 \text{ GPa}$
- Moment, end A $M_a = 0.5 \text{ kNm}$
- Moment, end B $M_b = 0.5 \text{ kNm}$
- Support force, end A $Q_a = 6.3 \text{ kN}$
- Support force, end B $Q_b = 6.3 \text{ kN}$



Grafik 3 Diagram Momen dan Geser Floor

Penampang modulus permintaan

- $Z_{req} = 10 \text{ M} / \sigma$
- $= (10 \times 0.5) \text{ kNm} / (85/1.5) \text{ MPa}$
- $= 5000000 \text{ Nmm} / 56.70 \text{ MPa}$
- $= 88183.42 \text{ mm}^3$
- $= 53 \text{ cm}^3$

Ukuran scantling konstruksi kapal ditentukan oleh besaran modulus dan momen inersia dari material lambung FRP atau profil berdasarkan peraturan yang disyaratkan oleh BKI, prosedur laminasi, sebagai berikut:

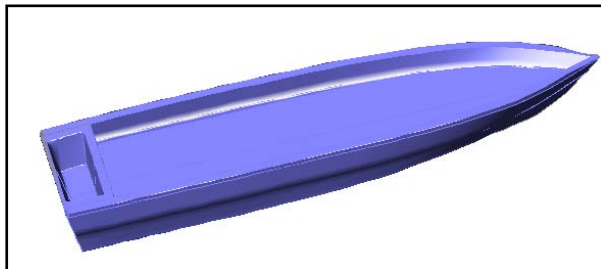
- Center/Side girder 130×70
- Neutral axis, from bottom $N_a = 6.0 \text{ cm}$
- Moment of inertia $I_z = 1282 \text{ cm}^4$
- Section modulus, bottom $Z_b = 197 \text{ cm}^3$
- Section modulus, top $Z_t = 197 \text{ cm}^3$
- Web area $A_w = 91.0 \text{ cm}^2$

- Transversal frame 85×60
- Neutral axis, from bottom $N_a = 4.3 \text{ cm}$
- Moment of inertia $I_z = 307 \text{ cm}^4$
- Section modulus, bottom $Z_b = 72 \text{ cm}^3$
- Section modulus, top $Z_t = 72 \text{ cm}^3$
- Web area $w = 51.0 \text{ cm}^2$
- Floor 90×60
- Neutral axis, from bottom $N_a = 4.5 \text{ cm}$
- Moment of inertia $I_z = 365 \text{ cm}^4$

$$\begin{aligned} \text{Section modulus, bottom } Z_b &= 81 \text{ cm}^3 \\ \text{Section modulus, top } Z_t &= 81 \text{ cm}^3 \\ \text{Web area } A_w &= 54.0 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

4.3. Simulasi Kapal wisata sungai Kalimas

Untuk melakukan perhitungan berat kapal beserta komponen struktur penyusun pada struktur lambung kapal wisata sungai Kalimas yang berbahan FRP. Diterapkan beberapa komponen material struktur sesuai dengan layer ketebalan, jumlah penumpu dan penegar sesuai bentuk layer komponen yang akan mempengaruhi kapasitas berat struktur kapal wisata sungai Kalimas yang berbahan FRP.



Gambar 1 Bentuk Lambung Kapal wisata sungai Kalimas

Kapal wisata sungai Kalimas yang berbahan FRP tersebut dilengkapi dengan *chine* yang berfungsi untuk meningkatkan stabilitas kapal, karena dapat memberikan tambahan gaya momen pengembali dan juga dapat menambah stabilitas, serta memberikan kekuatan kapal secara memanjang.

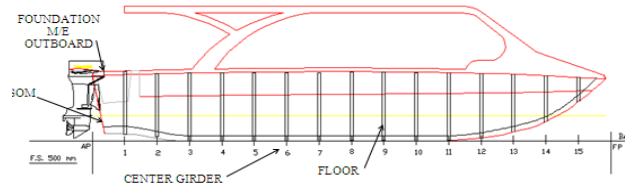
Bentuk lambung kapal wisata sungai Kalimas yang berbahan FRP dirancang dengan lambung tipe V dengan *chine* untuk memberikan perlakuan khusus, karena dalam operasional diperlukan dengan kecepatan tinggi. Disamping itu, juga keandalan kapal wisata sungai Kalimas yang berbahan FRP itu cukup mampu dalam menerima beban eksternal dari air sungai yang cukup dalam tahap tingkat 1 (gelombang ketinggian air maksimum ± 1 meter).

4.4. Detail Konstruksi Kapal FRP

Detail konstruksi pada struktur kapal dapat memperoleh gambaran secara global dari wujud perencanaan konstruksi kapal wisata sungai Kalimas yang berbahan FRP yang dibangun, dimana meliputi gambar tentang tebal layer, ukuran penumpu, tipe konstruksi, peletakan

gading-gading dalam struktur kapal wisata sungai Kalimas yang berbahan FRP. Disamping itu proses peletakan struktur kapal telah

mendapatkan pengawasan dan perhatian khusus, sehingga mendapatkan kekuatan fabrikasi antar struktur yang efektif dan efisien.



Gambar 2 Detail Konstruksi

Pada kedudukan mesin tempel luar atau M/E *outboard* dimana digunakan sebagai penumpu mesin *outboard*, hal tersebut memberikan kekuatan pada struktur, karena mampu menahan beban akibat dari kinerja M/E *outboard* dari getaran yang ditimbulkan. Sedangkan untuk *floor*, *transversal frame* dan *side girder* memberikan kekuatan secara memanjang kapal. Sehingga hal itu memberikan dampak yang efektif sebagai penumpu struktur kapal.



Gambar 3 Simulasi 3D

Konstruksi kapal wisata sungai Kalimas lambung kapal terbuat dari bahan *Fibreglass Reinforce Plastics* (FRP) dilaminasi dari "Female Mould" dan proses konstruksi kapal FRP dikerjakan dengan *system metode "Hand Lay Up"* dengan cara lapis demi lapis. Dimana untuk udara yang terperangkap di dalam proses laminasi harus benar-benar tidak ada, hal itu untuk memastikan kekuatan struktur

4.5. Perhitungan Estimasi Berat Kapal dan Distribusi Berat Kapal

Pada perhitungan estimasi berat kapal dihitung dengan cara menghitung tiap komponen-komponen struktur pada kapal wisata sungai Kalimas tersebut, dengan menghitung masing-masing berat komponen dengan menampilkan berapa titik berat dan jarak secara memanjang X atau yang disebut LCG (*Longitudinal Center Gravity*), untuk titik berat secara melintang Y yang biasa disebut TCG (*Transversal Center Gravity*), dan untuk titik berat secara *horizontal Z*

yang biasa disebut KG (*Keel Gravity*). Yang nantinya akan di jumlahkan untuk menentukan titik berat kapal wisata Kalimas tersebut.

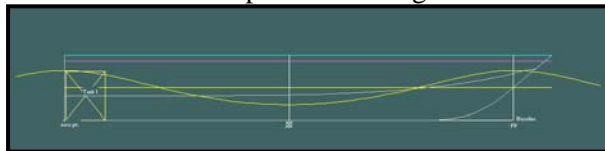
Berikut ini adalah besarnya estimasi berat kapal wisata sungai Kalimas dan distribusi berat ditampilkan sebagai berikut:

Tabel 1 Estimasi Berat Kapal

Item	Berat	LCG	VCG	TCG
	(ton)	(mm)	(mm)	(mm)
Lightship	1.51	3900.00	420.00	0.00
Tank 1	0.35	200.00	300.00	0.00
	1.86	LCG=3931	VCG=351	TCG=0

4.6. Perhitungan Kondisi Momen Pembebanan yang Terjadi

Kondisi momen yang terjadi akibat pembebanan pada kapal wisata sungai Kalimas akan mempengaruhi besarnya tegangan lentur, tegangan geser dan besarnya deformasi yang terjadi pada struktur kapal. Kemampuan untuk menahan momen yang ada, akan mempengaruhi kekuatan dari struktur kapal wisata sungai Kalimas. Dimana besarnya momen yang terjadi dikondisikan kapal sebagai batang yang berada pada satu puncak gelombang (*hogging*) ataupun berada di dua tumpuan (*sagging*). Inersia pada kapal wisata sungai Kalimas yang akan mempengaruhi penampang modulus, yang mampu mempengaruhi besarnya tegangan lentur dan tegangan geser yang terjadi. Disamping itu juga struktur kapal wisata sungai Kalimas dibatasi dengan besarnya deformasi yang terjadi dengan peraturan regulasi yang berlaku. Maka hal ini perlu diperhatikan nilai kekuatan struktur kapal wisata sungai Kalimas.



Gambar 4. Pengaruh Gelombang pada Struktur kapal wisata sungai Kalimas

Struktur tangki yang berada dibagian belakang kapal wisata sungai Kalimas akan memberikan reaksi titik berat kapal yang relatif agak kebelakang karena posisi dan pengaruh gaya gravitasi yang mengakibatkan besarnya momen yang terjadi, yang nantinya akan memberikan reaksi pada *buoyancy* kapal wisata sungai Kalimas. Hal itu kapal seolah-olah akan mengalami tingkat pembebanan statis dan dinamis yang bekerja pada struktur lambung kapal wisata

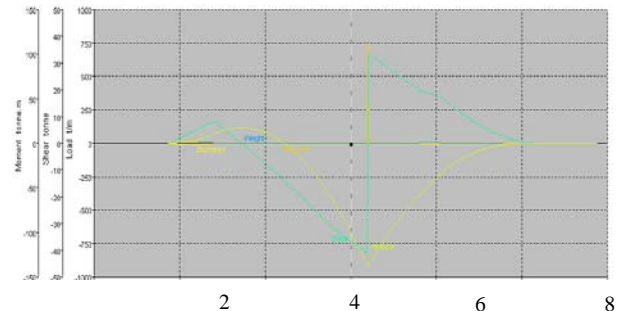
sungai Kalimas secara langsung, akan tetapi besarnya penumpu samping dan gading-gading akan memberikan reaksi kekatan akibat reaksi gaya yang terjadi.

Momen yang terjadi pada struktur kapal wisata sungai Kalimas yang ditentukan dalam rumus sebagai berikut :

$$M_w = \int_L dM_w = \rho g \int_L b(x)h(x)dx = C_M \rho g h_w L^2 B \dots (5)$$

Dimana panjang dan lebar kapal merupakan salah satu parameter pembuat besarnya momen yang terjadi. Oleh sebab itu semakin panjang kapal akan mempengaruhi semakin besar lengan yang ada, yang dapat menimbulkan besarnya momen yang terjadi. Sehingga dibutuhkan besarnya momen inersia kapal yang nantinya akan memperkecil nilai tegangan yang terjadi. Hal ini dimaksudkan bahwa memberikan penumpu samping dan gading-gading struktur kapal cukup inersia dalam menahan beban momen yang ada.

Pada struktur kapal wisata sungai Kalimas tersebut telah dihitung besarnya kekuatan memanjang kapal, dengan menampilkan distribusi berat kapal, gaya geser, besarnya bending moment serta besarnya buoyancy kapal wisata sungai Kalimas dimana dalam kondisi cukup aman dengan nilai tegangan yang terjadi karena adanya modulus aktual yang cukup dari kapal wisata sungai Kalimas.



Gambar 5. Kekuatan Memanjang kapal wisata sungai Kalimas

4.7. Tegangan yang Diijinkan

Untuk memastikan kapal wisata sungai Kalimas, dengan kekuatan struktur cukup kuat dalam menahan beban momen yang terjadi maka hal tersebut dapat dihitung dengan nilai tegangan yang diijinkan. Dimana dalam perancangan struktur kapal wisata sungai Kalimas menggunakan desain elastik maka tegangan yang terjadi tidak boleh terjadi pada daerah plastic,

sehingga hal tersebut dibatasi dengan besarnya faktor keamanan. Tegangan yang terjadi berada didalam rentang elastis sehingga memiliki nilai regangan yang kecil, yang mampu kembali kedalam kondisi semula jika beban selesai bekerja. Sesuai dengan ketentuan regulasi digunakan perumusan tegangan yang diijinkan sebagai berikut:

$$F = F_y / F.S. \dots\dots\dots (6)$$

Dimana

F_y = kuat tarik (MPa)

$F.S.$ = Faktor keamanan

Untuk pembenanan statik:

FS = 1.67 untuk tegangan bending

FS = 2.50 untuk tegangan geser

Untuk Pembebanan kombinasi:

FS = 1.25 untuk tegangan aksial dan tegangan bending

FS = 1.88 untuk tegangan geser

Dimana material yang digunakan adalah FRP jenis WR 600 V-5M dengan kuat tarik 84.7325 Mpa

F tegangan yang diijinkan untuk tegangan aksial dan tegangan bending

$$\begin{aligned} F &= \frac{F_y}{F.S} \\ &= \frac{84.73}{1.25} \\ &= 67.786 \text{ MPa} \end{aligned}$$

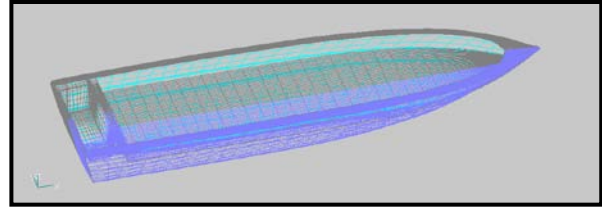
F tegangan yang diijinkan untuk tegangan geser

$$\begin{aligned} F &= \frac{F_y}{F.S} \\ &= \frac{84.73}{1.88} \\ &= 45.071 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4.8. MEH Struktur kapal wisata sungai Kalimas

Analisis tegangan yang terjadi pada kapal wisata sungai Kalimas dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga. Dimana struktur kapal wisata sungai Kalimas didiskritisasi menjadi elemen-elemen, yang sebelumnya dilakukan dengan menentukan bentuk elemen yang sesuai dan sudah divalidasi.

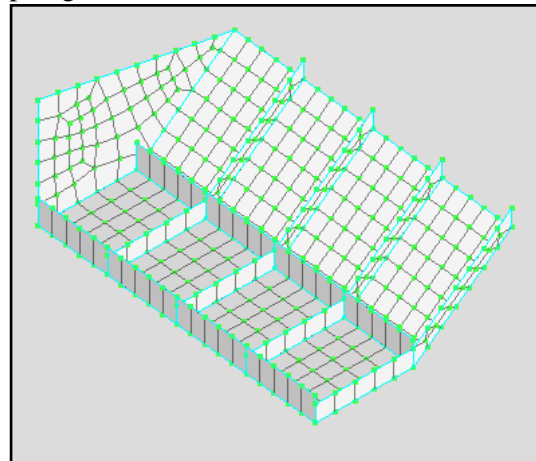
Bentuk kapal dimodelkan seluruh komponen struktur kapal, tidak termasuk komponen interior dan M/E outboard karena dalam hal ini difungsikan sebagai subyek pembebanan lokal yang terjadi dalam struktur kapal wisata sungai Kalimas. Adapun hasil dari simulasi kapal wisata sungai Kalimas adalah sebagai berikut:



Gambar 6. Simulasi FEA

Melalui proses validasi yang dilakukan untuk bentuk elemen, yaitu pada awal simulasi menggunakan perhitungan teori sederhana balok tumpuan solid pejal yang dibandingkan dengan penggunaan bentuk elemen solid pada metode elemen hingga, yang hasil tingkat keakuratan mencapai 98% dari perhitungan teori sederhana balok tumpuan. Sehingga bentuk elemen solid yang akan digunakan sudah ada parameter perbandingan, dengan kata lain sudah divalidasi. Dalam hal ini, penerapan yang digunakan bentuk elemen solid adalah sebagai berikut:

- Bentuk elemen : tetrahedral
- Mesher : tetrahedral meshing
- Topologi : tetrahedral 10



Gambar 7. Meshing

4.9. Pembebanan dan Perletakan

Pembebanan dilakukan pada bagian permukaan lambung dengan penerapan tekanan hidrostatis yang terjadi dikenakan secara merata. Untuk beban terpusat dikenakan pada kondisi pondasi M/E Outboard, dimana beban bekerja secara aksial yang berasal dari berat sendiri M/E Outboard dan berat akibat terkena pengaruh gaya eksitasi akibat dari operasionalnya motor. Hal itu secara tidak langsung mempengaruhi distribusi pembebanan yang terjadi pada struktur kapal wisata sungai Kalimas.

Untuk kondisi perletakan dilakukan kedalam beberapa kondisi yang paling ekstrim yaitu dalam kondisi *hogging* dan *sogging*. Adapun kondisi perletakan dilakukan sebagai berikut:

Tabel 2 Kondisi Perletakan

Location	Translasi			Rotasi		
	δ_x	δ_y	δ_z	θ_x	θ_y	θ_z
Plane A	X	X	X	-	-	-
Plane B	X	-	-	-	X	X
Line C	-	-	S	-	-	-
Point a	-	X	-	-	-	-
Point c	Fh	-	-	-	-	-

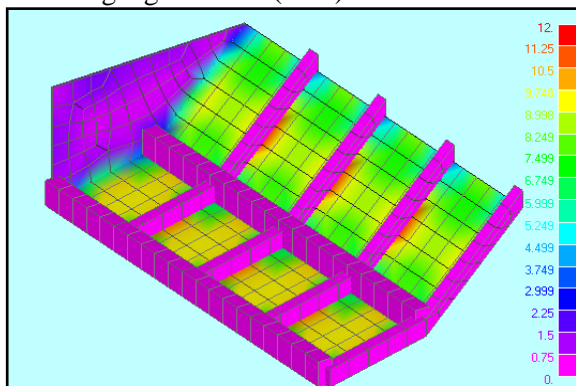
Catatan

- X : Jepit
- : Bebas
- S : Pegas
- Fh : Gaya horizontal

4.10. Hasil Analisis

Hasil analisis yang digunakan adalah Principle Stresses yang merupakan perwujudan dari tegangan aktual pada struktur kapal wisata sungai Kalimas yang terjadi. Dimana hasil tegangan maksimum mempunyai nilai 12 MPa, Kondisi tersebut masih dalam rentang daerah elastik sehingga struktur kapal masih kondisi cukup aman. Adapun tegangan yang diijinkan mencapai 67.786 MPa sedangkan tegangan aktual adalah sekitar 12 MPa, dengan rasio tegangan 0.18 atau 18% sehingga cukup aman dengan kondisi pembebanan yang terjadi.

Satuan tegangan dalam (mPa)

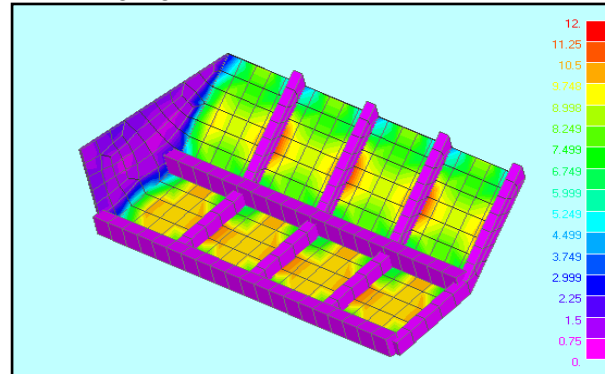


Gambar 8. Maximum Principle Stress

Untuk lebih detail tegangan akan ditunjukkan simulasi dengan tidak menampilkan elemen struktur sehingga akan tampak terlihat langsung distribusi tegangan yang terjadi. Beberapa konsentrasi tegangan yang terjadi, terletak pada pertemuan antara gading utama dengan penumpu

samping, hal ini akan memberikan perhatian khusus bahwa struktur tersebut cukup efektif menerima beban yang ada, oleh sebab itu perlu diberikan penguatan-penguatan tambahan pada struktur kapal wisata sungai Kalimas yang mengalami konsentrasi tegangan yang cukup tinggi untuk menghindarkan dari adanya retak lokal. Untuk lebih detail ditunjukkan visualisasi sebagai berikut:

Satuan tegangan dalam (mPa)



Gambar 9. Distribusi Tegangan

Bentuk lambung yang lebih *stream line* akan memberikan penyebaran distribusi tegangan yang lebih sempurna, hal tersebut memberikan pengaruh nilai tegangan yang relatif lebih kecil. Material FRP dengan laminasi mempunyai tingkat kekuatan yang cukup, khususnya buat struktur kapal yang mempunyai lengan berukuran pendek, dengan hasil nilai momen yang terjadi relatif lebih kecil sehingga struktur masih cukup aman dari kondisi pembebanan yang ada.

Sedangkan besarnya deformasi pada struktur kapal mencapai 0.3 mm, masih cukup aman kondisi deformasi yang terjadi. Dimana deformasi yang diijinkan adalah $\delta_a \leq L/1000$ atau kurang dari 8.0 mm Sehingga struktur kekuatan kapal dapat diterima.

Output Vectors			
Deformation	Type	ID	Value
1..Total Translation	Node	Maximum 108	0.310628
		Minimum 1	0.
Contour			
7033..Plate Top VonMises Stress	Element	Maximum 69	12.0629
		Minimum 293	0.

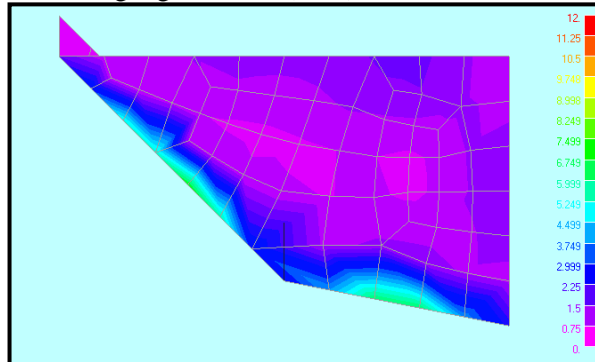
Gambar 10. Deformasi

4.11 Detail Tegangan Pondasi M/E Outboard

Nilai tegangan yang terjadi pada dudukan M/E Outboard menghasilkan nilai yang paling tinggi mencapai 6.75 MPa, hal itu ditunjukkan pada konsentrasi tegangan yang terjadi. Oleh sebab itu struktur pendukung pada daerah transom perlu

diperhatikan mengingat akan dampak kelelahan material yang dialami, karena akibat beban berulang dari motor beroperasi. Untuk lebih detail diterapkan tambahan penguat dibawah struktur pondasi tersebut.

Satuan tegangan dalam (mPa)



Gambar 11. Detail Tegangan pada Transom

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kekuatan struktur kapal wisata sungai Kalimas dengan pembebanan yang terjadi menghasilkan tegangan aktual adalah sekitar 12 mPa, sedangkan tegangan yang diijinkan mencapai 67.786 MPa. jadi rasio tegangan mencapai 0.18 atau 18% sehingga cukup aman dengan kondisi pembebanan yang terjadi. Dengan nilai deformasi kapal mencapai 0.3 mm dengan rasio deformasi 0.04 % kurang dari 8 mm deformasi yang diijinkan ($\delta a < L/1000$).

5.2 Saran

Memberikan perhatian khusus terhadap struktur kapal wisata sungai Kalimas yang mengalami konsentrasi tegangan yang cukup tinggi untuk menghindarkan dari adanya retak lokal ataupun pecah komponen struktur, dengan memberikan penguatan-penguatan tambahan pada struktur ataupun memperbesar ukuran penampang modulus struktur.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Brady, James E. 1982. General Chemistry, Principle and Structure. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- [2] Clemons, Craig M. and Daniel F. Caulfield. 2005. Functional Fillers for Plastics. Edited by M. Xanthos. 11: Natural Fiber Copyright © 2005 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co KGaA ISBN 3-527-31054-1
- [3] Dedi & Djoko Setyanto, 2004, Material FRP, Indonesia
- [4] Kim, Jang-Kyo. 1998. Engineered Interfaces in Fiber Reinforced Composites. Elsevier.
- [5] Lehmann, (1995), Simulation of main engine excitation Force in global analyses, RINA, london.
- [6] Metode Elemen Hingga, Wikipedia, 2007
- [7] Stevanoic, Dejan et.al. 1999. The Influence of Rubber Particle Concentration on Fracture Toughness of Interlayer-Toughed Vinyl Ester/Glass Fibre Composite. Paper presented on ICCM-12 (International Committee on Composite Materials), Paris 1999.